

УДК 621.825

<https://doi.org/10.31713/vt4201916>

Гевко І. Б., д.т.н, професор, Комар Р. В., к.т.н., доцент, Гудь В. З., к.т.н. (Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль), **Марчук Н. М., к.т.н.** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

СТРУКТУРНИЙ СИНТЕЗ ПРУЖНО-ЗАПОБІЖНИХ МУФТ ГВИНТОВИХ КОНВЕЄРІВ

Варіанти конструктивного виконання пружно-запобіжних муфт доцільно генерувати з використанням структурно-схемного синтезу. Даний метод забезпечує створення найбільш раціональних конструктивних схем муфт з покращеними захисними та компенсуючими властивостями. Структурний синтез, на основі побудованої морфологічної матриці та системного аналізу, забезпечує отримання повної варіативної кількості конструкцій пружно-запобіжних муфт з покращеними техніко-економічними характеристиками для їх застосування у приводах гвинтових конвеєрів.

Ключові слова: пружно-запобіжна муфта, гвинтовий конвеєр, синтез, морфологічний аналіз.

Постановка проблеми. Гвинтові конвеєри широко використовуються у різних галузях економіки при переміщенні сільськогосподарських культур, харчових та фармацевтичних продуктів, будівельних матеріалів, металевої стружки тощо. Під час їхньої експлуатації за рахунок нестабільності завантаження матеріалу та потрапляння сторонніх предметів часто виникають перевантаження технологічного та аварійного характеру, що призводять до деформацій і поломок їх окремих елементів, і особливо гвинтових робочих органів. Відтак для забезпечення стабільного процесу транспортування і безвідмовної роботи гвинтових конвеєрів необхідно використовувати в конструкціях їх приводів ефективні пружно-запобіжні муфти. Відповідно завдання створення і дослідження ефективних конструкцій пружно-запобіжних муфт гвинтових конвеєрів є актуальним.

Аналіз відомих досліджень та публікацій. Основи конструювання, проектування та дослідження конструктивно-силових параметрів і динаміки пружно-запобіжних муфт заклали такі вчені, як В.С. Поляков, І.Д. Барбаш, О.А. Ряховский [5], В.О. Малащенко [2], Б.М. Гевко, І.В. Луців [6]. Питанням розробки методик синтезу механі-



змів присвячені праці А.І. Половінкіна [4], Ю.М. Кузнєцова [1], В.М. Одріна, С.С. Картавова [3] та багатьох інших. Проте питанням синтезу імпульсних запобіжних муфт та гвинтових робочих органів гвинтових транспортно-технологічних систем з метою отримання конструкцій з покращеними техніко-економічними характеристиками на сьогоднішній день недостатньо приділено уваги, що зумовлює потребу в подальших дослідженнях.

Мета роботи. Метою роботи є проведення структурного синтезу пружно-запобіжних муфт гвинтових конвеєрів методом ієрархічного групування за допомогою морфологічного аналізу для отримання конструкцій з покращеними техніко-економічними характеристиками.

Результати досліджень. Будь-яка конструктивна особливість пружно-запобіжної муфти має певне призначення. Ці специфічні особливості забезпечують певні функціонально-експлуатаційні показники муфт. Поєднання пружних та демпфуючих властивостей в пружинах різних типів з специфічними елементами зачеплення забезпечують конструкціям пружно-запобіжних муфт значний ресурс, високу навантажувальну здатність та значні компенсаційні властивості при перевантаженні гвинтових конвеєрів при різноманітних експлуатаційних режимах (пуск в завантаженому стані, заклинювання шнека в кожусі викликане потраплянням сторонніх предметів або з технологічних причин тощо).

Генерування альтернативних варіантів пружно-запобіжних муфт доцільно проводити з використанням структурно-схемного синтезу, який забезпечує створення найбільш раціональних схем муфт за умови покращення їх захисних та компенсуючих властивостей. Даний метод передбачає синтез варіантів на основі побудованої морфологічної матриці й дозволяє отримати повну кількість рішень [1]. Проте враховуючи те, що кількість отриманих альтернатив у результаті такого синтезу є надто значною, доцільно скористатись його різновидом – методом синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу [7].

На основні виконаного аналізу складено морфологічну матрицю (табл. 1) з морфологічними ознаками елементів генерованих конструкцій (альтернативи внесені з виконанням критичного аналізу) пружно-запобіжних муфт та зв'язків між ними.

Модель механічної системи «Пружно-запобіжна муфта», згідно запропонованого групування, зображено на рисунку. Виходячи з важливості окремих ознак при проектуванні цих муфт, до першого ієрархічного рівня слід віднести виконання рельєфу торцевої поверхні веденої півмуфти (ознака 1) і виконання пружини (ознака 5); до дру-

гого ієрархічного рівня слід віднести комбінацію елементів зачеплення (ознака 2), виконання і наявність демпфера (ознаки 3 і 4), комбінацію пружних елементів (ознака 6) і напрям передачі навантаження (ознака 7); до третього ієрархічного рівня слід віднести регулювання передавального навантаження (ознаки 8 і 9). Оскільки дані елементи не мають значного впливу один на одного при проектуванні, то ми їх позначимо як окремі підгрупи ієрархічних рівнів. Мінімальна кількість генерованих варіантів пружно-запобіжних муфт при використанні методу синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу становитиме:

$$N_{ПЗМ} = \begin{vmatrix} 1.1 \\ 1.2 \\ 1.3 \\ 1.4 \\ 1.5 \\ 1.6 \\ 1.7 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 5.1 \\ 5.2 \\ 5.3 \\ 5.4 \\ 5.5 \\ 5.6 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 2.1 \\ 2.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 3.1 \\ 3.2 \\ 3.3 \\ 3.4 \\ 3.5 \\ 3.6 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 4.1 \\ 4.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 6.1 \\ 6.2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 7.1 \\ 7.2 \\ 7.3 \\ 7.4 \\ 7.5 \\ 7.6 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 8.1 \\ 8.2 \\ 8.3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 9.1 \\ 9.2 \end{vmatrix} = 26.$$

При використанні класичного методу синтезу з допомогою морфологічного аналізу [1] кількість згенерованих конструкцій може бути значно більшою – 36288.

Таблиця 1

Морфологічна таблиця конструктивних ознак та елементів пружно-запобіжних муфт

Рельєф торцевої поверхні веденої півмуфти		Демпфер		Пружний елемент		7. Напрямок передачі навантаження	Регулювання навантаження	
1. Виконання	2. Комбінація елементів зчеплення	3. Виконання	4. Наявність	5. Виконання пружини	6. Комбінація		8. Пружина стиснення	9. Гайка
1.1. З кулачками 1.2. З лунками під кульки 1.3. З пазами під кульки	2.1. Одного типу 2.2. Двох типів	3.1. Втулка 3.2. Диск 3.3. Кульки	4.1. Присутній 4.2. Відсутній	5.1. Циліндрична 5.2. Прямокутна 5.3. Конічна	6.1. Одного типу 6.2. Двох типів	7.1. Осьовий 7.2. Радіальний 7.3. Під кутом 7.4. Осьовий і під кутом	8.1. Циліндрична 8.2. Прямокутна	9.1. Одна 9.2. Дві



продовження табл. 1

1.4. З лунками під конічні стержні		3.4. Конічні стержні		5.4. Гіперболоїдна		7.5. Осьовий і радіальний	8.3. Тарільчачаста	
1.5. З лунками під ролики		3.5. Ролики		5.5. Г-подібна		7.6. Під кутом і радіальний		
1.6. З пазами під ролики		3.6. Тарільчасті пружини		5.6. П-подібна				
1.7. З фрикційними накладками								

Форми пружних елементів різного виконання, їх поперечні перерізи та розташування показано в табл. 2.

Таблиця 2

Пружні елементи пружно-запобіжних муфт

Форми пружних елементів, їх поперечні перерізи та розташування		
1) Гвинтовий елемент циліндричної форми	2) Гвинтовий елемент у формі гіперболоїда	3) Комбінований гвинтовий елемент
4) Гвинтовий елемент циліндричної форми і циліндричного перерізу	5) Гвинтовий елемент конічної форми і циліндричного перерізу	6) Гвинтовий елемент циліндричної форми і прямокутного перерізу
7) Гвинтовий елемент циліндричної форми П-подібного перерізу	8) Гвинтовий елемент циліндричної форми V-подібного перерізу	9) Комбінований елемент П-подібного та прямокутного перерізів

продовження табл. 2

		
10) Комбінований гвинтовий елемент V-подібного та прямокутного перерізів	11) Комбінований гвинтовий елемент V і П-подібних та прямокутного перерізів	12) Комбінований гвинтовий елемент циліндричної форми прямокутних перерізів

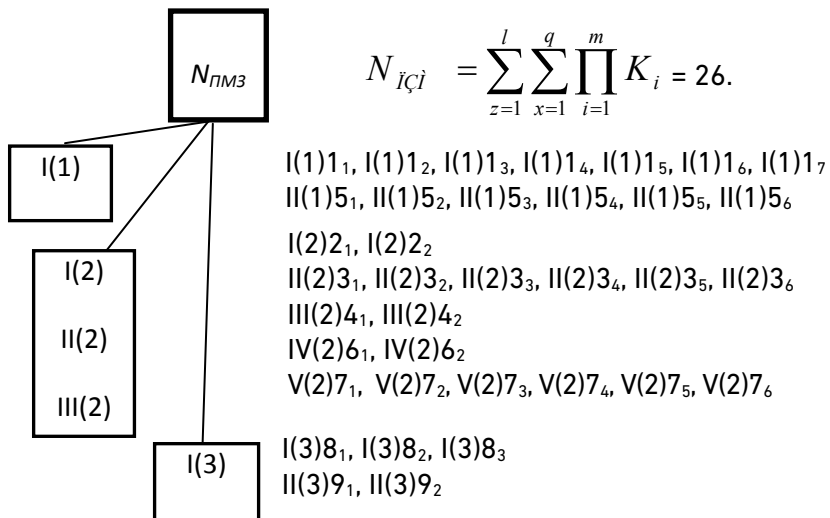


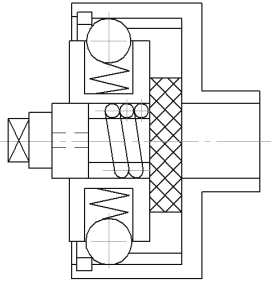
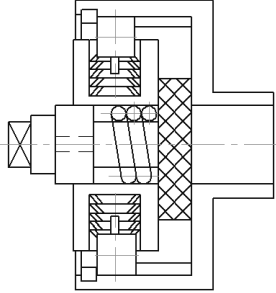
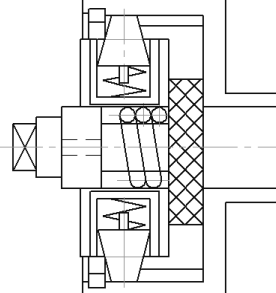
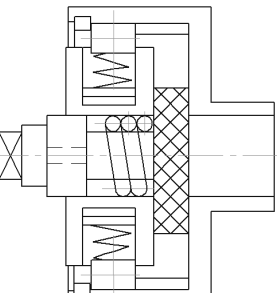
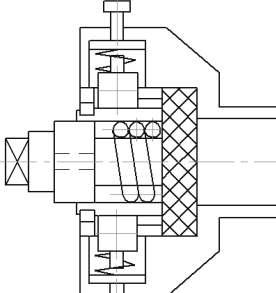
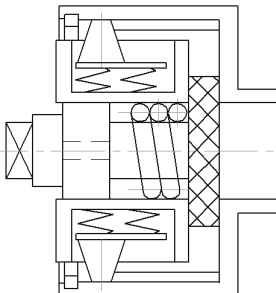
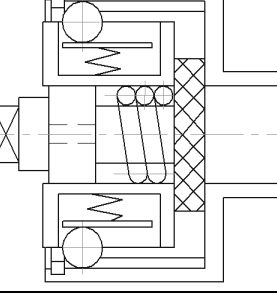
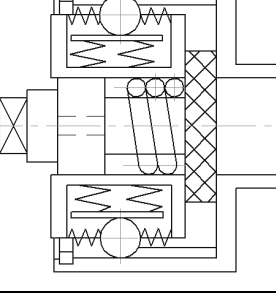
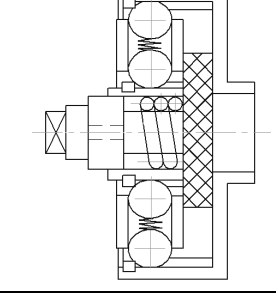
Рисунок. Модель механічної системи «Пружно-запобіжна муфта»: I-V – підгрупи ієрархічного рівня; (1)-(3) – відповідні ієрархічні рівні

Використовуючи системно-морфологічний синтез і виходячи із відповідних умов роботи гвинтових конвеєрів та необхідному їх захисті, є можливість розроблення різних варіантів конструктивного виконання пружно-запобіжних муфт. Окремі схеми синтезованих конструкцій пружно-запобіжних муфт зведено у табл. 3.

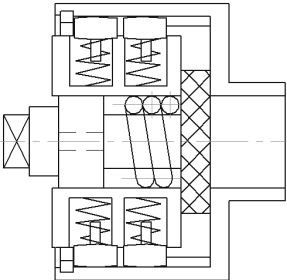
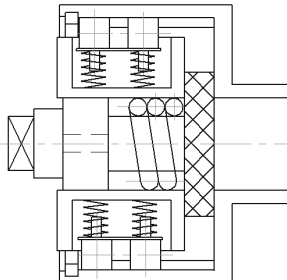
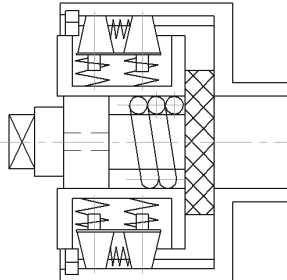
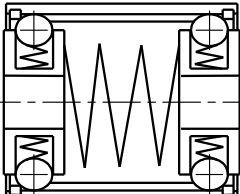
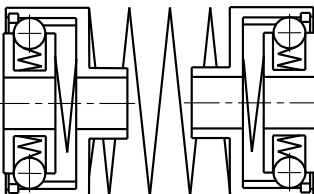
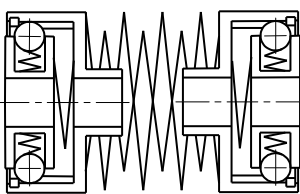
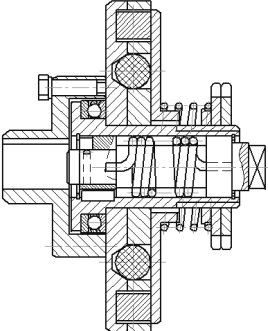
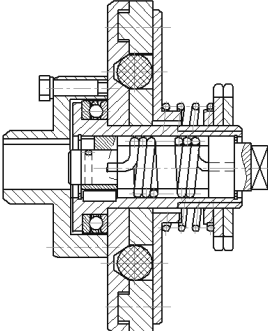
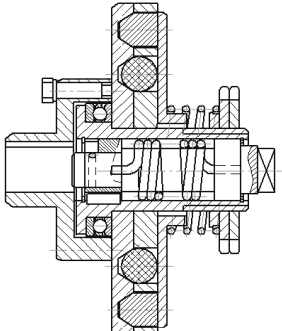


Таблиця 3

Схеми синтезованих конструкцій пружно-запобіжних муфт з різним напрямком розміщення елементів зчеплення

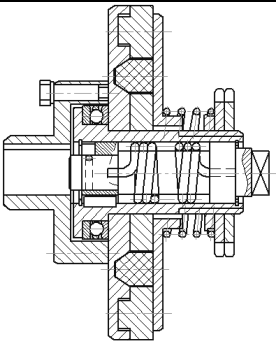
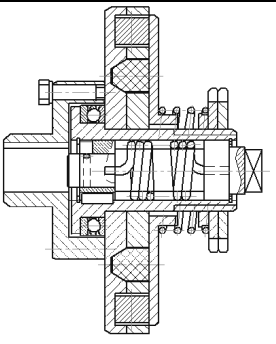
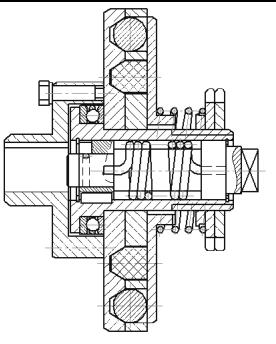
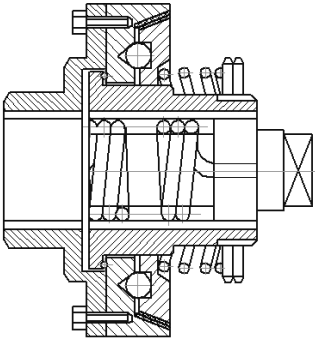
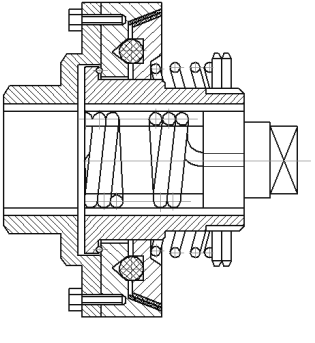
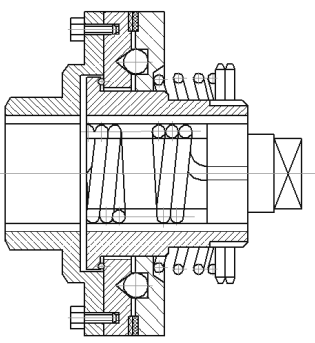
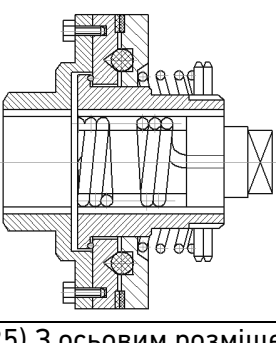
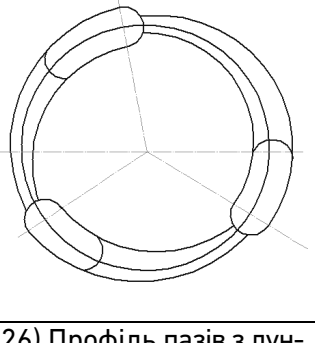
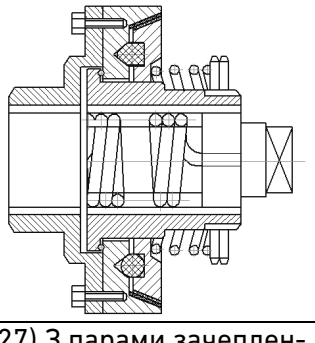
Компонувальне виконання конструкцій пружно-запобіжних муфт		
		
1) Радіальне розміщення пар циліндричні пружини-кульки-пази з демпфером	2) Радіальне розміщення пар тарілчасті вити пружини-кулачки-пази	3) Радіальне розміщення швидкозмінних пар циліндричні пружини-конічні стержні-пази
		
4) З регулюванням сили підтиску роликів шайбами з демпфером	5) З регулюванням сили стиснення пружини різьбовим з'єднанням	6) З діагональними «плаваючими» конічними стержнями
		
7) З односторонніми «плаваючими» кульками	8) З центральними «плаваючими» кульками	9) Здвоєна в радіальному напрямку з демпфером

продовження табл. 3

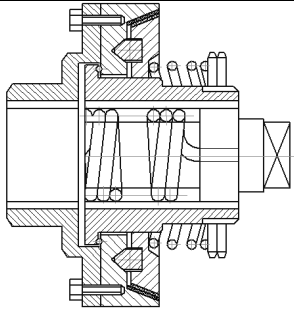
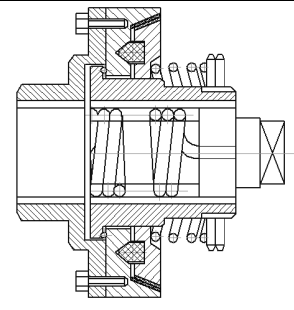
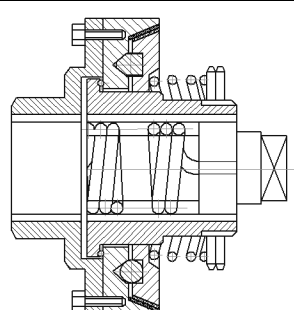
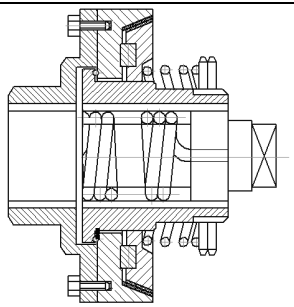
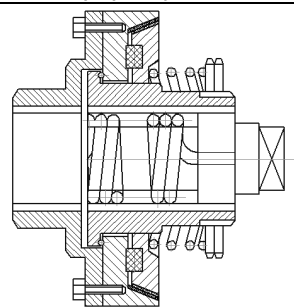
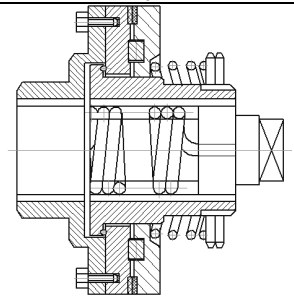
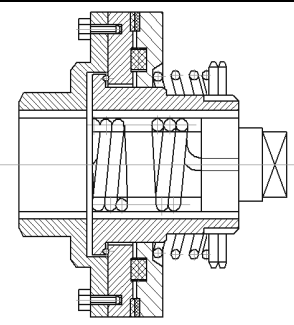
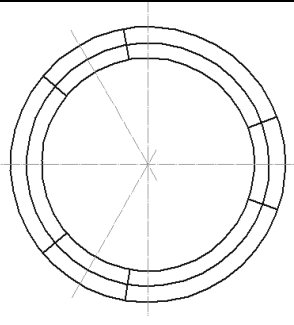
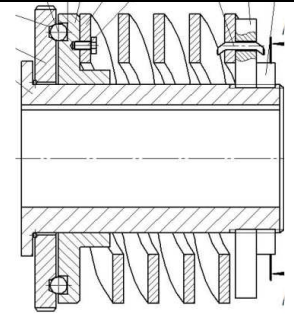
		
<p>10) З дворядним розміщенням пари пружина-кулачки з демпфером</p>	<p>11) З дворядним розміщенням «плаваючих» кулакчків з демпфером</p>	<p>12) З різностороннім розміщенням подвійних «плаваючих» конічних стержнів</p>
		
<p>13) Здвоєна в осьовому напрямку, з обоймою</p>	<p>14) Здвоєна в осьовому напрямку, без обойми</p>	<p>15) З комбінованим пружним елементом</p>
		
<p>16) З осьовим розміщенням пар зачеплення ролики-лунки, кульки (демпфер)-лунки</p>	<p>17) З розміщенням пар зачеплення кулачки-кульки (демпфер)-лунки</p>	<p>18) З розміщенням пар зачеплення конічні стержні-лунки, кульки (демпфер)-лунки</p>



продовження табл. 3

		
19) З розміщенням пар зачеплення кулачки-кулачки, конічні стержні (демпфер)-лунки	20) З розміщенням пар зачеплення ролики-лунки, конічні стержні (демпфер)-лунки	21) З розміщенням пар зачеплення кульки-лунки, конічні стержні (демпфер)-лунки
		
22) З розміщенням під кутом пар зачеплення фрикційні накладки і кульки-пази	23) З розміщенням під кутом пар зачеплення фрикційні накладки і кульки (демпфер)-лунки	24) З осьовим розміщенням пар зачеплення фрикційні накладки і кульки-пази
		
25) З осьовим розміщенням пар зачеплення фрикційні накладки і кульки (демпфер)-лунки	26) Профіль пазів з лунками під елементи зачеплення кульки	27) З парами зачеплення фрикційні накладки і кульки та конічні стержні (демпфер)-лунки

продовження табл. 3

		
<p>28) З розміщенням під кутом пар зачеплення фрикційні накладки і конічні стержні-лунки</p>	<p>29) З розміщенням під кутом пар зачеплення фрикційні накладки і конічні стержні (демпфер)-лунки</p>	<p>30) З розміщенням під кутом пар зачеплення фрикційні накладки і кульки і конічні стержні-лунки</p>
		
<p>31) З розміщенням під кутом пар зачеплення фрикційні накладки і ролики-пази</p>	<p>32) З розміщенням під кутом пар зачеплення фрикційні накладки і ролики (демпфер)-лунки</p>	<p>33) З осьовим розміщенням пар зачеплення фрикційні накладки і ролики-пази</p>
		
<p>34) З осьовим розміщенням пар зачеплення фрикційні накладки і ролики (демпфер)-лунки</p>	<p>35) Профіль пазів з лунками під елементи зачеплення ролики</p>	<p>36) З осьовим розміщенням пар зачеплення лунки-лунки і гвинтовий пружним елементом прямокутного перерізу</p>



Вибір конкретного альтернативи пружно-запобіжної муфти слід приймати лише після її попередніх розрахунків з врахуванням окремих характеристик, позаяк кожна конструкція муфти матиме свої переваги і недоліки. Проводячи аналіз синтезованих конструкцій пружно-запобіжних муфт з різним напрямком розміщення елементів зчеплення, можна констатувати, що використання спарених елементів конструктивно ускладнює і здорожує даний клас муфт, а також призводить до збільшення їх габаритів. Тому використання спарених елементів зчеплення виправдовується у разі виникнення потреби в зростанні компенсційних характеристик в таких пристроях захисту (табл. 3, № 1-12, 16-21, 23, 25, 27, 29, 32, 34) або при виникненні необхідності у зростанні плавності спрацювання за рахунок введення в конструкцію пазів з лунками (табл. 3, № 31, 33) під елементи зчеплення кульки (табл. 3, № 26) чи ролики (табл. 3, № 35).

Слід відмітити, що муфти з радіальним розташуванням елементів зчеплення є конструктивно складнішими у порівнянні з муфтами, в яких елементи зчеплення розташовані в осьовому напрямку чи під кутом. Проте при потребі мінімізації радіальних розмірів муфти такі схеми матимуть перевагу. В таких конструкціях пари контактів (пружина-кулька, пружина-ролик, пружина-конічний стержень) доцільно поміщати у міні корпуси типу «стакан» і в разі зміни жорсткості пружного елемента достатньо просто замінити пару контакту разом із міні корпусом.

Підвищення пружних і демпфуючих характеристик, що зменшують динамічні навантаження при появі заклинювання шнека в корпусі чи різких пусках гвинтових конвеєрів (особливо в завантаженому стані), а також збільшення навантажувальної здатності можна досягти введенням додаткових пружних елементів і їх відповідним розміщенням. У більшості представлених конструкцій в табл. 3 (№ 1-12, 16-25, 27-34) пружні елементи розташовуються в середині муфти, що забезпечує її компактність. Проте таке розташування конструктивно не дозволяє закріплювати муфту на обох валах привода і шнека, і потребує додаткових проміжних ланок для кріплення у конструкції гвинтового конвеєра. А винесення пружних елементів на зовнішню периферію (табл. 3, № 13-15, 36) ці проблеми усуває.

При проведенні структурного синтезу пружно-запобіжних муфт гвинтових конвеєрів, виходячи з умов забезпечення бажаних функціональних характеристик, а також простоти та надійності конструкцій, її технологічності і низької собівартості було розроблено і досліджено значну кількість працездатних конструкцій муфт даного типу,

на окремі конструкції яких отримано патенти України на винахід (№ 112995, № 115032, № 115032, № 43244А).

Висновки. Проведено структурний синтез пружно-запобіжних муфт гвинтових конвеєрів методом ієрархічного групування за допомогою морфологічного аналізу. Отримано конструкції муфт з покращеними техніко-економічними характеристиками, які забезпечують підвищені пружні й демпфуючі характеристики, що зменшують динамічні навантаження при появі заклинювання шнека в корпусі чи різких пусках гвинтових конвеєрів (особливо в завантаженому стані). Також розроблені на основі проведеного синтезу пружно-запобіжні муфти характеризуються простою та надійністю конструкцій, технологічністю і низькою собівартістю.

1. Кузнєцов Ю. М., Луців І. В., Дубиняк С. А. Теорія технічних систем. Київ-Тернопіль : 1997. 310 с. 2. Малащенко В. О. Муфти приводів. Конструкції та приклади розрахунків. Львів : Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2006. 196 с. 3. Одрин В. М., Картавов С. С. Морфологический анализ систем : Построение морфологических матриц. К. : Наукова думка, 1977. 183 с. 4. Половинкин А. И. Основы инженерного творчества : учеб. пособие для студентов вузов. М. : Машиностроение, 1988. 368 с. 5. Поляков В. С., Барбаш И. Д., Ряховский О. А. Справочник по муфтам. Л. : Машиностроение, 1979. 343 с. 6. Гевко Б. М., Луців І. В., Гевко І. Б., Комар Р. В., Дубиняк Т. С. Пружно-запобіжні муфти: конструкції, розрахунок, дослідження. Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2019. 200 с. 7. Гевко І. Б., Гудь В. З., Шуст І. М. Синтез телескопічних гвинтових конвеєрів. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві.* Харків, 2016. Вип. 168. С. 85–91.

REFERENCES:

1. Kuznietsov Yu. M., Lutsiv I. V., Dubyniak S. A. Teoriia tekhnichnykh system. Kyiv-Ternopil : 1997. 310 s. 2. Malashchenko V. O. Mufty pryvodiv. Konstruktsii ta pryklady rozrakhunkiv. Lviv : Vyd-vo Nats. Un-tu «Lvivska politekhnika», 2006. 196 s. 3. Odrin V. M., Kartavov S. S. Morfolohicheskii analiz system : Postroenie morfolohicheskikh matritys. K. : Naukova dumka, 1977. 183 s. 4. Polovinkin A. I. Osnovy inzhenernoho tvorchestva : ucheb. posobie dlia studentov vuzov. M. : Mashinostroenie, 1988. 368 s. 5. Poliakov V. S., Barbash I. D., Riakhovskii O. A. Spravochnik po muftam. L. : Mashinostroenie, 1979. 343 s. 6. Hevko B. M., Lutsiv I. V., Hevko I. B., Komar R. V., Dubyniak T. S. Pruzhno-zapobizhni mufty: konstruktsii, rozrakhunok, doslidzhennia. Ternopil : FOP 182



Palianytsia V.A., 2019. 200 s. **7**. Hevko I. B., Hud V. Z., Shust I. M. Syntez teleskopichnykh hvyntovykh konveieriv. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka. Resursozberihaiuchi tekhnolohii, materialy ta obladnannia u remontnomu vyrobnytstvi*. Kharkiv, 2016. Vyp. 168. S. 85–91.

Hevko I. B., Doctor of Engineering, Professor, Komar R. V., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Hud V. Z., Candidate of Engineering (Ph.D.) (Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil), **Marchuk N. M., Candidate of Engineering (Ph.D.)** (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

STRUCTURAL SYNTHESIS OF ELASTICALLY SAFETY CLUTCH SCREW CONVEYORS

It is advisable to generate variants of constructive execution of elastic-protective couplings using structural-circuit synthesis. This method provides the creation of the most rational design schemes of couplings with improved protective and compensating properties. Structural synthesis, based on the constructed morphological matrix and system analysis, provides a complete variant number of designs of elastic-safety couplings with improved technical and economic characteristics for their use in screw conveyor drives. Structural synthesis of elastic-safety couplings of screw conveyors by hierarchical grouping was performed using morphological analysis. Couplings with improved technical and economic characteristics are obtained, which provide increased elastic and damping characteristics, which reduce dynamic loads when the screw is jammed in the housing or sharp starts of the screw conveyors (especially in the loaded state). Also developed on the basis of the synthesis of elastic-safety couplings are characterized by simple and reliable structures, manufacturability and low cost.

Keywords: elastic-safety coupling, screw conveyor, synthesis, morphological analysis.

Гевко И. Б., д.т.н, профессор, Комар Р. В., к.т.н., доцент, Гудь В. З., к.т.н. (Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя, г. Тернополь), **Марчук Н. Н., к.т.н.** (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ УПРУГО-ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ МУФТ ВИНТОВЫХ КОНВЕЙЕРОВ

Варианты конструктивного исполнения упруго-предупредительных муфт целесообразно генерировать с использованием структурно-схемного синтеза. Данный метод обеспечивает создание наиболее рациональных конструктивных схем муфт с улучшенными защитными и компенсирующими свойствами. Структурный синтез на основе построенной морфологической матрицы и системного анализа, обеспечивает получение полной вариативной количества конструкций упруго-предупредительных муфт с улучшенными технико-экономическими характеристиками для их применения в приводах винтовых конвейеров.

***Ключевые слова:* упруго-предохранительная муфта, винтовой конвейер, синтез, морфологический анализ.**
