

УДК 621.87:62-567

DOI: 10.15276/pidtt.3.64.2020.01

<sup>1</sup>Семенюк В. Ф., <sup>2</sup>Проценко В. О.

<sup>1</sup>Одеський національний політехнічний університет

<sup>2</sup>Херсонська державна морська академія

## ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ЕНЕРГОПОГЛИНАЮЧИХ МЕХАНІЗМІВ З ПРОМІЖНИМИ ТІЛАМИ КОЧЕННЯ

***Анотація.** У статті проаналізовано перспективи розвитку енергопоглинаючих пристроїв з проміжними тілами кочення для машин з поступальним та обертальним робочим рухом. Подано класифікацію таких пристроїв, на основі якої запропоновано морфологічні основи створення конструкцій таких пристроїв. Запропоновано нові конструкції енергопоглинаючих пристроїв з проміжними тілами кочення та описано їхню роботу.*

***Ключові слова:** запобіжний пристрій, буфер, розсіювання енергії, морфологічний аналіз.*

**Вступ.** Захист машин від перевантажень за рахунок впровадження запобіжних та енергопоглинаючих механізмів і систем становить актуальне завдання для всіх галузей промисловості, особливо тих, де застосовується важке та унікальне обладнання [1, 2], в тому числі вантажопідйомні крани.

### **Огляд останніх публікацій.**

Актуальність описаної проблеми стала джерелом розроблення енергопоглинаючих механізмів, що з метою забезпечення потрібної характеристики, розсіяння енергії та забезпечення відсутності різкої віддачі мають достатньо складну конструкцію, містять проміжні робочі тіла у вигляді повітря чи мастила, керуючу апаратуру, трубопроводи, механічні системи [3-9].

В той же час, існує клас достатньо простих за конструкцією механізмів, що здатні ефективно виконувати описані задачі. Вони містять розташовані рядами проміжні тіла кочення (ПТК), що при спрацьовуванні переміщуються одне відносно одного, витискаючись з одного ряду в інший. Вперше такий принцип дії реалізовано з метою побудови запобіжних пристроїв для кривошипних машин, де в якості ПТК застосовано ролики [10]. Впровадження енергопоглинаючих механізмів з ПТК (ЕПМ з ПТК) надалі пошилось на вантажопідйомні крани [11] у складі комплексної системи захисту від перевантажень, що в кінцевому випадку стало джерелом появи аналогічних пристроїв, побудованих на основі застосування в якості ПТК кульок [12].

Серед переваг таких механізмів можна назвати наступні найголовніші:

- простота конструкції і невелика кількість елементів кількох найменувальних;
- можливість отримання квазінульової жорсткості за рахунок зміни кута передачі сил при взаємному переміщенні ПТК;
- розсіяння енергії на тертя, що забезпечує поглинання енергії та відсутність різкої віддачі на зворотному ході;
- висока точність спрацьовування ( $\gamma_T = 1,15 \dots 1,37$ ), чутливість ( $\gamma_C = 1,00$ ) та безвідмовність (вірогідність безвідмовної роботи складає 0,9979 протягом 1000 спрацьовувань);
- автоматичне відновлення після спрацьовування.

#### **Постановка мети та завдань дослідження.**

Особливості розроблених на сьогодні конструкцій ЕПМ з ПТК дещо звужують галузі їх застосування, серед цих особливостей основними є такі:

- невеликий робочий хід (рівний діаметру ПТК), що змушує виконувати ЕПП значної жорсткості;
- відомі конструкції допускають застосування згаданого принципу дії для ЕПМ лише у системах із поступальним робочим рухом, обмежуючи таким чином машини з обертальним робочим рухом.

З огляду на викладене, **метою** даної роботи є встановлення резерву для розвитку ЕПМ з ПТК за рахунок розроблення нових конструкцій з розширеними функціональними можливостями, в тому числі для оснащення обертальних систем.

Для досягнення мети поставлено наступні завдання:

- встановити основні морфологічні ознаки ЕПМ з ПТК;
- на основі встановлених морфологічних ознак розробити класифікацію цих механізмів;
- встановити напрямки створення нових конструкцій ЕПМ з ПТК;
- дати приклади створення нових конструкцій ЕПМ з ПТК для поступального та обертального робочого руху.

#### **Викладення основного матеріалу.**

В рамках виконання першого з поставлених завдань встановимо основні морфологічні ознаки [13, 14] ЕПМ з ПТК для майбутньої класифікації:

- вид робочого руху машини (РР), де передбачено застосування ЕПМ: обертальний ( $A_1$ ) чи поступальний ( $A_2$ );
- вид проміжних тіл кочення: кульки ( $B_1$ ) чи ролики ( $B_2$ );
- вид направляючої лінії (НЛ) (у випадку що розглядається, це лінія, по якій переміщуються осі чи центри ПТК при спрацьовуванні

ЕПМ): пряма ( $B_1$ ), дуга кола ( $B_2$ ), спіраль пласка ( $B_3$ ), спіраль просторова ( $B_4$ ).

- принцип дії: паралельний ( $\Gamma_1$ ) (кілька ПТК (ряд) переміщуються паралельними потоками), послідовний ( $\Gamma_2$ ) (ПТК переміщуються по чергово, одним потоком), комбінований ( $\Gamma_3$ ) (ПТК переміщуються по чергово рядами).

Запропонована в рамках виконання другого із завдань класифікація схематично зображена на рис. 1. Вона дозволяє виконувати морфологічний синтез ЕПМ з ПТК на рівні конструктивних схем за рахунок розкриття морфологічної матриці (1), що містить виділені ознаки і являє собою основи структурного синтезу ЕПМ. Як свідчить вираз (2), комбінації наведених морфологічних ознак можуть дати 48 основних варіантів конструктивних схем ЕПМ з ПТК.

$$EPM \text{ з ПТК} = \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \Gamma_1 \\ \Gamma_2 \\ \Gamma_3 \end{bmatrix}. \quad (1)$$

$$N_{EPMzPTK} = (A) \times (B) \times (B) \times (\Gamma) = 2 \times 2 \times 4 \times 3 = 48. \quad (2)$$

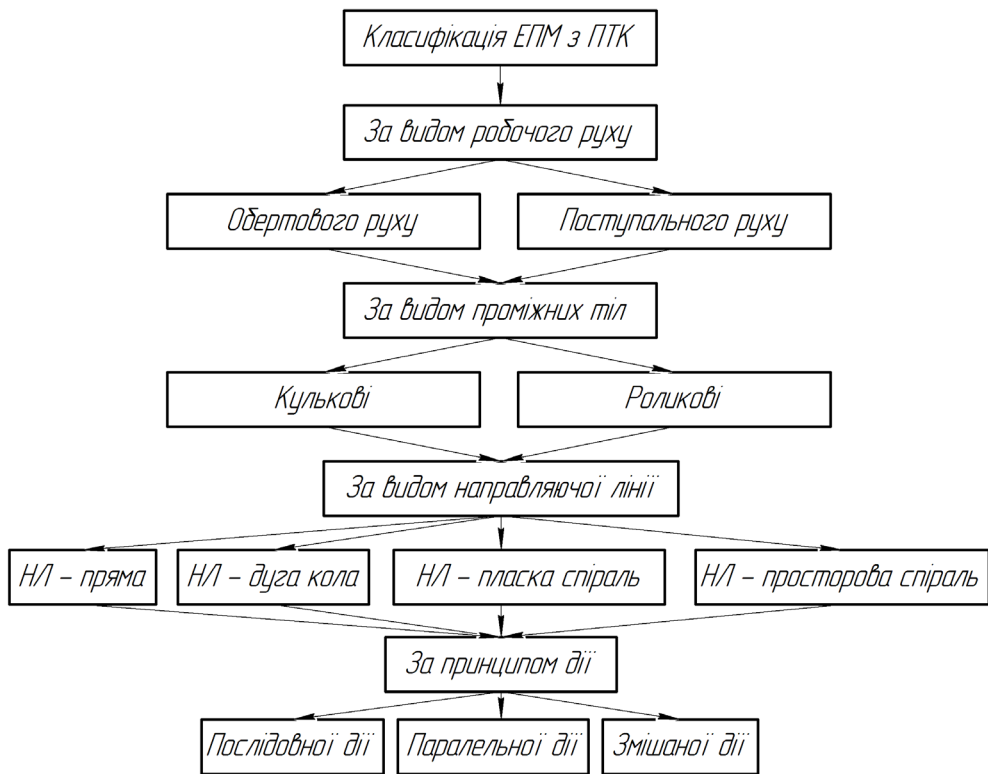


Рисунок 1 – Схема класифікації ЕПМ з ПТК

Сукупність дій проектувальника зі створення ЕПМ з ПТК показана на рис. 2 у вигляді схеми, що створена на основі запропонованої класифікації і дозволяє розробляти структурні схеми ЕПМ з ПТК.

Відомі варіанти з числа можливих конструкцій, що можуть бути отримані в результаті розкриття морфологічної матриці (1) наведені в табл. 1, що ілюструє резерв для розроблення нових конструкцій ЕПМ з ПТК.

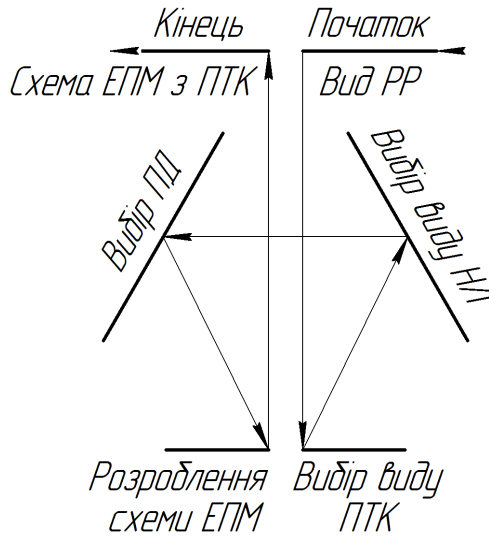


Рисунок 2 – Схема структурного синтезу ЕПМ з ПТК

Таблиця 1 – Відомі конструкції ЕПМ з ПТК

Варіант розкриття морфологічної матриці (1)	Загальна характеристика	Ким розроблено та досліджено
$A_2B_2V_1\Gamma_1$	Роликовий ЕПМ паралельної дії, направляюча лінія - пряма. Запобіжний пристрій для кривошипних та вантажопідйомних машин (РР поступальний)	Л.Б. Ерліх, В.Ф. Семенюк [10, 11]
$A_2B_1V_1\Gamma_1$	Кульковий ЕПМ паралельної дії, направляюча лінія - пряма. Буферний пристрій для кранів (РР поступальний)	В.Ф. Семенюк, В.М. Лінгур [12]

З метою ілюстрації можливостей синтезу нових схем ЕПМ з ПТК за рахунок отриманих результатів, виконаємо розроблення кількох нових пристроїв досліджуваного класу.

Цікавим є використання описаного принципу дії і розроблення ЕПМ з ПТК для оснащення пристроїв з обертальним робочим рухом (напрямок  $A_1$ ). Відповідно, на першому етапі, розглянемо варіанти  $A_1B_1B_3\Gamma_2$  та  $A_1B_2B_3\Gamma_2$  розкриття морфологічної матриці (1).

Варіанту  $A_1B_1B_3\Gamma_2$  відповідає кульковий ЕПМ послідовного принципу дії для випадку обертального робочого руху, ПТК при спрацьовуванні цього ЕПМ рухаються по дуговій направляючій лінії. Схему такого ЕПМ, виконаного у вигляді муфти, показано на рис. 3. Вона складається з двох півмуфт – зовнішньої чашоподібної 1 та внутрішньої 2, що встановлені одна в одну та мають можливість взаємодії через рухомі кульки 3. Всередині зовнішньої чашоподібної півмуфти жорстко (за рахунок сполучення з півмуфтою 1 штифтами 4) встановлено направляючий диск 5. На обох торцях направляючого диска 5 виконано сполучені вікном 6 дугоподібні пази 7 та 8, які щільно заповнені кульками 3.

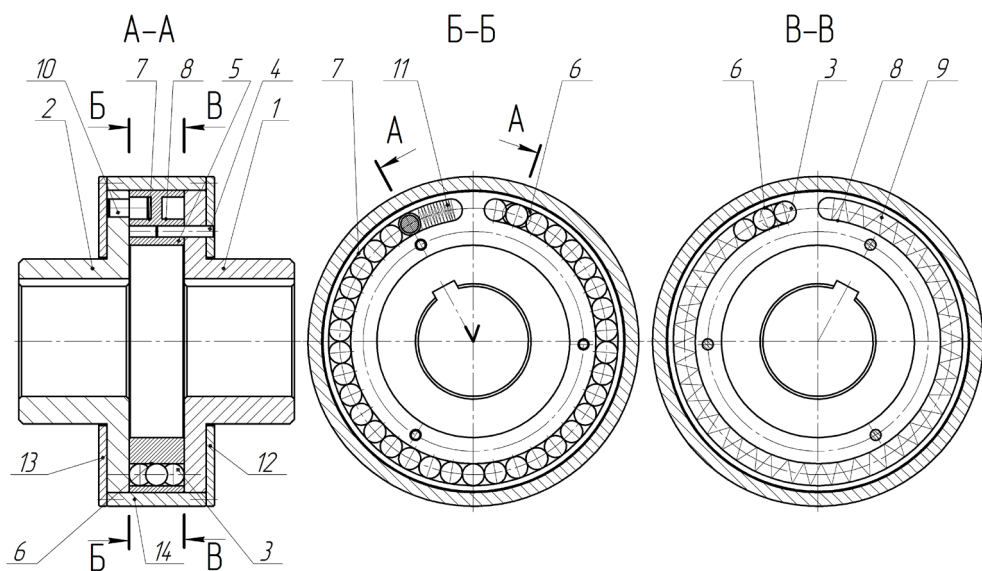


Рисунок 3 – Схема ЕПМ з ПТК за варіантом  $A_1B_1B_3\Gamma_2$  розкриття морфологічної матриці (1)

Кульки 3 мають можливість переміщення по пазах 7 і 8 та з одного з цих пазів в інший через вікно 6. В дугоподібному пазу 8 направляючого диска 5, прилеглому до торця зовнішньої чашоподібної півмуфти 1 кульки 3 встановлені з упором на пружину 9, а в дугоподібному пазу 7 направляючого диска 5, прилеглому до торця внутрішньої півмуфти 2 кульки 3 мають можливість взаємодії з

упором 10, жорстко закріпленим на внутрішній півмуфті 2. Між упором 10 та дном паза 7 встановлено пружину 11. Внутрішні частини муфти закрито кришками 12 і 13 та обіймою 14.

Муфта в усталеному режимі працює наступним чином. При обертанні ведучої півмуфти, наприклад внутрішньої 2, вона своїм упором 10 тисне на кульки 3, які встановлено в дугоподібному пазу 7, і передають тиск на дно паза 7 та диск 5, що забезпечує обертання півмуфти 1. При цьому кульки 3, що розташовані в пазу 7 також тиснуть через вікно 6 на кульки, що встановлені у дугоподібному пазу 8, які навантажують пружину 9.

При виникненні перевантаження, або стопорінні веденої зовнішньої півмуфти 1 та зупинці разом із нею диска 5, ведуча півмуфта 1 буде продовжувати обертатися, витискаючи своїм упором 10 кульки 3 з паза 7 у паз 8 через вікно 6. За рахунок цього кількість кульок 3 у пазу 7 зменшуватиметься, а в пазу 8 – збільшуватиметься, стискаючи пружину 9. При цьому муфта закручуватиметься (цим забезпечуються пружні властивості та енергоємність муфти) і відбуватиметься розсіяння енергії за рахунок взаємного ковзання кульок (цим забезпечується демпфуюча здатність муфти). При реверсуванні муфти обертання передаватиметься з упора 10 на диск 5 і півмуфту 1 через пружину 11. Муфта матиме при цьому набагато меншу енергоємність.

Варіанту  $A_1B_2B_3\Gamma_2$  розкриття матриці (1) відповідає роликівий ЕПМ послідовного принципу дії для випадку обертального робочого руху, ПТК спрацьовуванні ЕПМ рухаються по дуговій направляючій лінії. Схему такого ЕПМ, виконаного у вигляді муфти, показано на рис. 4. Вона складається з, двох півмуфт – зовнішньої чашоподібної 1 та внутрішньої 2, що встановлені одна в одну, на внутрішній поверхні 3 зовнішньої півмуфти 1 та на зовнішній поверхні 4 внутрішньої півмуфти 2 виконано виступи 5 і 6, а між півмуфтами 1 і 2 щільно розташовано кількома рядами один над одним паралельно осі муфти ролики 7.

Внутрішній ряд роликів 8 встановлено на зовнішній поверхні 4 внутрішньої півмуфти, перший та останній ролики цього ряду встановлено з упором у виступ 6 внутрішньої півмуфти 2, перший через внутрішній сегментний вкладиш 9, а останній – через пружини 10. Поверх пружин 10 між півмуфтами 1 і 2 з упором у виступ 6 внутрішньої півмуфти 2 встановлено зовнішній сегментний вкладиш 11, а ролики зовнішнього ряду 12 встановлені з упором першого з них у виступ 5 зовнішньої півмуфти 1, а останнього у зовнішній сегментний вкладиш 11.

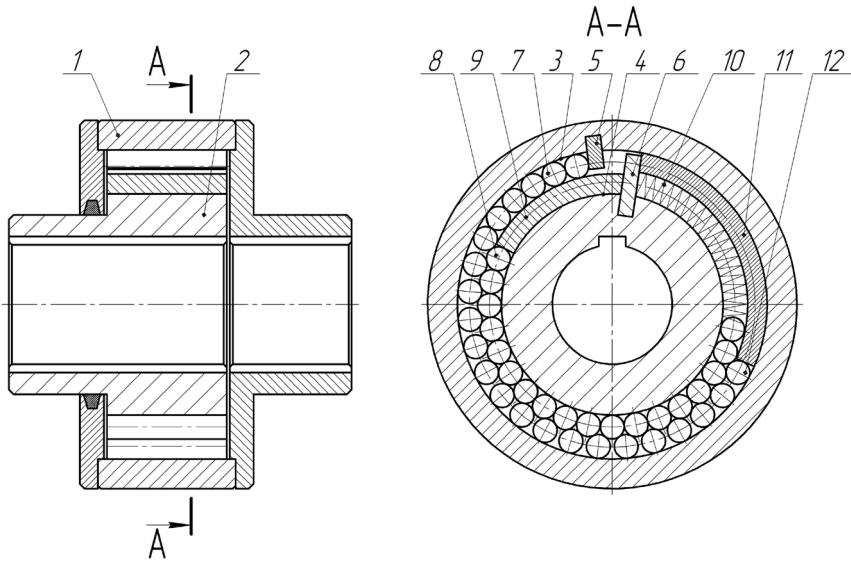


Рисунок 4 – Схема ЕПМ з ПТК за варіантом  $A_1B_2B_3\Gamma_2$  розкриття морфологічної матриці (1)

Муфта в усталеному режимі працює наступним чином. При обертанні ведучої півмуфти, наприклад зовнішньої чашоподібної 1, вона своїм виступом 5 тисне на ролики 7 зовнішнього ряду 12, які передають тиск через зовнішній сегментний вкладиш 11 на виступ 6 веденої внутрішньої півмуфти 2 і забезпечують її обертання. При цьому ролики зовнішнього ряду 12 тиснуть на ролики внутрішнього ряду 11, а ті в свою чергу, впираючись у виступ 6, навантажують пружину 10.

При виникненні перевантаження, або стопорінні веденої внутрішньої півмуфти 2 та зупинці разом із нею виступа 6 та зовнішнього сегмента 11, ролики зовнішнього ряду 12 будуть витискатись у внутрішній ряд 11 (кількість роликів у зовнішньому ряду зменшуватимуться, а у внутрішньому - збільшуватиметься), стискаючи пружину 10. При цьому відбуватиметься закручування муфти (цим забезпечуються її пружні властивості та енергоємність) і розсіяння енергії за рахунок взаємного ковзання роликів (цим забезпечується демпфуюча здатність муфти). Для забезпечення реверсивної роботи муфти між виступами 5 і 6 може бути встановлено пружини.

Мають резерв розвитку і конструкції типу буферів для поглинання енергії поступально рухомих систем. Тому на другому етапі розглядатимемо варіант  $A_1B_1B_1\Gamma_2$  розкриття морфологічної матриці (1).

Схему такого буфера показано на рис. 5, він містить корпус 1, в якому з можливістю переміщення рядами встановлено кульки, нижні два ряди яких змонтовано в пазу 2 корпусу з упором першої пари

кульок 3 в скошену поверхню клина 4, що також встановлено в пазу 2, а останньої пари кульок 5 нижнього ряду в пружини 6 через планку 7. Кульки верхнього ряду встановлені на кульки нижніх рядів з упором першої кульки 8 верхнього ряду в скошену поверхню клина 4, а остання кулька 9 верхнього ряду має можливість взаємодії зі скошеним торцем штока 10, який має можливість переміщення відносно корпуса 1.

Буфер працює наступним чином. При наїзді, наприклад, крана, або кранового візка на шток 10, він своїм скошеним торцем тисне на останню кульку 9 верхнього ряду, яка передає тиск на кульки 5 нижнього ряду, спричиняючи їх переміщення зліва-направо, стискаючи через планку 7 пружини 6. Кулька 9 при цьому переміщується в нижній ряд. Далі шток тисне на наступну кульку верхнього ряду і процес витискання кульок з верхнього ряду у нижній повторюється. Останньою в нижній ряд витискається перша кулька верхнього ряду 8 за рахунок непаралельності скошених поверхонь клина 4 та штока 10 (кути  $\alpha_1$  та  $\alpha_2$  не рівні між собою (рис. 6)). При цьому кінетична енергія крана поглинається на стискання пружин 6 та подолання тертя між кульками.

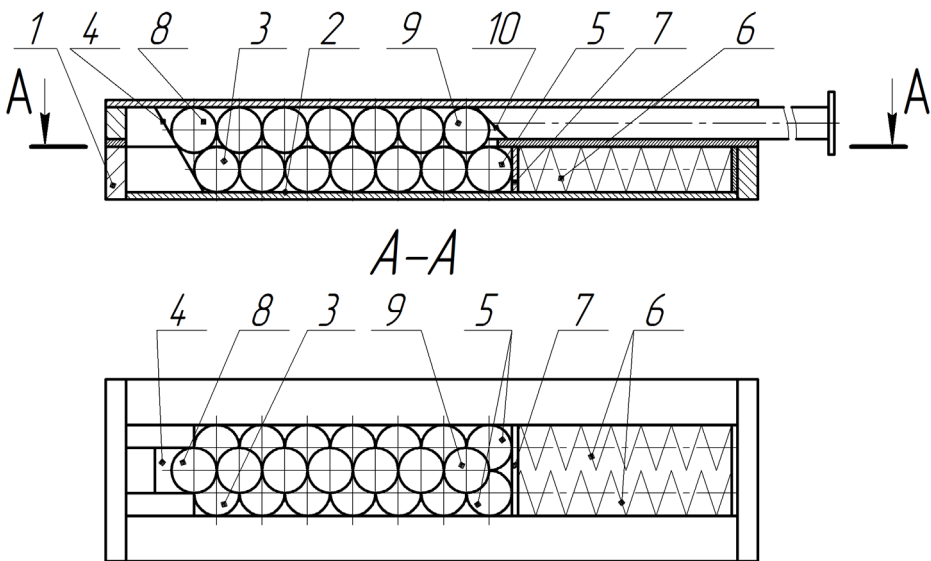


Рисунок 5 – Схема ЕПМ з ПТК за варіантом  $A_1B_1B_1\Gamma_2$  розкриття морфологічної матриці (1)

За рахунок наявності скошених поверхонь клина 4 та штока 10, після відходу крана (візка) в протилежний бік (рис. 6) та зняття навантаження зі штока 10, пружини 6 витискатимуть кульки по скошеній поверхні клина 4 у верхній ряд і працездатність буфера відновлюватиметься. Необхідною умовою забезпечення відновлення працездатності при цьому буде перевищення вертикальної складової рушійної сили, що діє на кульку над вертикальною складовою сили



опору. Перша з цих сил є результатом дії стиснених пружин на кульки нижнього ряду, друга - результатом тертя штока 10 в корпусі та по кульках.

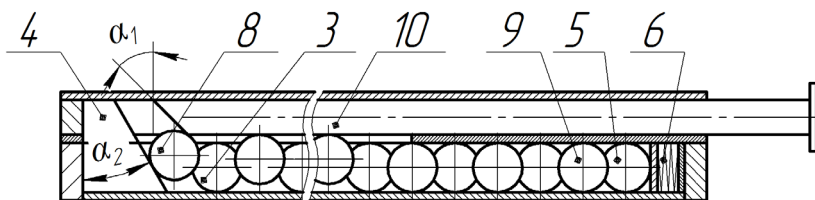


Рисунок 6 – Схема ЕПМ з ПТК за варіантом  $A_1B_1B_1Г_2$  розкриття морфологічної матриці (1)

### Висновки:

1. За рахунок використання морфологічного аналізу та синтезу доведена можливість створення нових конструкцій енергопоглинаючих механізмів з проміжними тілами кочення;

2. Запропоновано класифікацію цих механізмів, основними ознаками якої є вид робочого руху, вид проміжних тіл кочення, вид направляючої лінії та принцип дії;

3. Запропоновано алгоритм розроблення нових конструкцій таких механізмів.

4. Наведено приклади кількох розроблених нових конструкцій енергопоглинаючих механізмів з проміжними тілами кочення для машин із обертальним та поступальним робочим рухом.

### Напрямки подальших досліджень:

1. Розроблення нових конструкцій ЕПМ з ПТК.

2. Розроблення методики силового розрахунку нових конструкцій та побудова їх характеристики.

4. Дослідження динаміки машин, оснащених новими конструкціями ЕПМ з ПТК, зокрема вантажопіднімальних [15].

5. Визначення критеріїв працездатності та оцінка експлуатаційних параметрів нових конструкцій.

6. Розроблення основ розрахунків на міцність деталей нових конструкцій.

7. Експериментальне дослідження розроблених пристроїв.

### Список використаної літератури

1. Малащенко В.О. Навантажувальна здатність приводів великомасових систем / В.О. Малащенко, Г.П. Куновський. – Львів: «Новий світ–2000», 2016. – 150 с.

2. Артюх В.Г. Основы защиты металлургических машин от поломок / В.Г. Артюх. – Мариуполь: Издат. группа «Университет», 2015. – 288 с.

3. Керницький І.С. Науково–прикладні основи проектування та підвищення ефективності роботи пружних і демпфувальних елементів систем підресорювання колісних машин: автореф. дис. докт. техн. наук: спец 05.02.02 – машинознавство / І.С. Керницький. – Львів, 2001. – 36 с.

4. Сіфоров О.С. Підвищення надійності експлуатації газогідравлічних амортизаторів і накатників: автореферат дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.02.02 – машинознавство / О.С. Сіфоров. – Одеса, 2009. – 22 с.

5. Ісьєміні І.І. Підвищення ефективності захисних систем кранів мостового типу застосуванням пневмогідравлічних буферів: автореферат дис. канд. техн. наук спец. 05.05.05 – піднімально–транспортні машини / І.І. Ісьєміні. – Харків, 2014. – 24 с.

6. Вудвуд О.М. Обґрунтування конструктивних параметрів пружинно–гідравлічного гальма мостових кранів: дис. канд. техн. наук спец. 05.05.05 – піднімально-транспортні машини / О.М. Вудвуд. – Одеса, 2019. – 171 с.

7. Ерейский А.В. Обоснование структуры и выбор рациональных параметров энергонакопительной тормозной системы механизмов передвижения мостовых кранов: автореферат дис. канд. техн. наук спец. 05.05.04 – дорожные, строительные и подъемно–транспортные машины / А.В. Ерейский. – Новочеркасск, 2005. – 20 с.

8. Мартынов А.В. Исследование гравитационного торможения мостовых кранов и крановых тележек: автореферат дис. канд. техн. наук спец. 05.05.05 – подъемно-транспортные машины / А.В. Мартынов. – Харьков, 1976. – 22 с.

9. Дейнега В.И. Защита мостовых кранов от ударов при наездах на тупиковые упоры: автореферат дис. канд. техн. наук спец. 05.05.05 – подъемно-транспортные машины / В.И. Дейнега. – Новочеркасск, 1987. – 20 с.

10. Семенюк В.Ф. Разработка и исследование роликового механизма для защиты кривошипных машин от перегрузки: автореферат дис. канд. техн. наук: спец. 05.161 – машиноведение и детали машин / В.Ф. Семенюк. – Одесса, 1970. – 19 с.

11. Семенюк В.Ф. Методы расчета и проектирования предохранительных устройств тяжело нагруженных машин и механизмов: автореферат дис. докт. техн. наук: спец. 05.02.02 – машиноведение и детали машин; 05.05.05 – подъемно-транспортные машины / В.Ф. Семенюк. – Л., 1990. – 43 с.

12. Лингур В.Н. Обоснование конструктивных параметров пружинно–шариковых буферных устройств мостовых кранов: дис. канд. техн. наук спец. 05.05.05 – подъемно-транспортные машины / В.Н. Лингур. – Одесса, 2015. – 139 с.

13. Настасенко В.А. Морфологический анализ – метод синтеза тысяч изобретений: Монография. – Херсон: Айлант, 2015. – 100 с.

14. Проценко В.О. Морфологічні основи структурного синтезу пружних ланок машин змінної жорсткості з металевими елементами / В.О. Проценко // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. – Херсон: ХДМА. – 2015. - № 2(13) – С. 245 - 254.

15. Розрахунки будівельних стрілових кранів / М.П. Колісник, А.Ф. Шевченко, С.В. Ракша, В.В. Мелашич. – Дніпропетровськ: Пороги, 2015. – 815 с.

## DEVELOPMENT PROSPECTS ENERGY-ABSORBING MECHANISMS WITH INTERMEDIATE ROLLING ELEMENTS

<sup>1</sup>Semenjuk V. F., <sup>2</sup>Protsenko V. O.

<sup>1</sup>*Odessa National Polytechnic University*

<sup>2</sup>*Kherson State Maritime Academy*

**Abstract.** The article analyzes the prospects for the development of energy-absorbing devices with intermediate rolling elements for machines with progressive and rotational working motion. The classification of such devices is given, on the basis of which the morphological bases of such devices designs creation are offered. It is shown that the main morphological features of energy-absorbing devices with intermediate rolling elements are the type of working motion of the machine where they are used, the type of intermediate rolling elements, the type of guideline and the principle of operation. On the basis of the selected morphological features the classification of such devices is developed and presented in the form of the block diagram. The proposed classification became the basis for creating morphological bases for the synthesis of such devices structure. A morphological matrix of synthesis was formed and revealed, which gave 48 variants of possible designs of energy-absorbing devices with intermediate rolling elements for different variants of working motion. As part of the implementation for the proposed approach to the synthesis of energy-absorbing mechanisms, according to the obtained options for the disclosure of the morphological matrix. Development of new designs of such mechanisms for installation in machines with rotating and progressive working movement is executed. New designs of energy absorbing devices with intermediate rolling elements are proposed and their operation is described.

**Keywords.** safety device, buffer, energy dissipation, morphological analysis.