

## УДК 62-231.31:621.833

Р. П. ПОГРЕБНЯК<sup>1\*</sup>, М. Р. ПОГРЕБНЯК<sup>2\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Прикладна механіка», Національна металургійна академія України, пр. Гагаріна, 4, Дніпро, Україна, 49005, тел. +38 (091)9065424, ел. пошта [rogrebnyakk@ukr.net](mailto:rogrebnyakk@ukr.net), ORCID 0000-0002-4685-1818

<sup>2\*</sup>Каф. «Автоматизація та комп'ютерні системи», Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», пр. ім. Дмитра Яворницького, 19, Дніпро, Україна, 49005, тел. +38 (095) 499 75 01, ел. пошта [mrogrebnyakk@gmail.com](mailto:mrogrebnyakk@gmail.com), ORCID 0000-0002-2961-3383

## ПОШУК ТА УСУНЕННЯ ПОВТОРЮВАНИХ ЗВ'ЯЗКІВ У СХЕМІ НАПРЯМНОГО КРИВОШИПНО-ПОВЗУНКОВОГО МЕХАНІЗМУ ЗАХОПЛЮВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ

**Мета.** Автори мають на меті виконати структурний аналіз напрямного кривошипно-повзункового спареного механізму захоплювального пристрою зі змінною структурою із зовнішніми неутримувальними зв'язками. Також потрібно визначити кількість внутрішніх і зовнішніх повторюваних зв'язків у контурах механізму на різних етапах його функціонування, оцінити їхню можливу шкідливість та запропонувати способи їх зменшення. **Методика.** Досягнення поставленої мети здійснено з використанням універсальної структурної теорії механізмів Озолса для аналізу механізму захоплювального пристрою як механізму із геометричними внутрішніми й фрикційними голономними зовнішніми зв'язками. Використано внутрішню й зовнішню структурні формули Озолса. **Результати.** Одинадцятиланковий стрижньовий механізм захоплювача побудований на основі спареного центрального паралелограмного кривошипно-повзункового механізму з ведучими кривошипами. Синхронні ведучі кривошипи впливають на подовжені за повзуни шатуни, що з'єднані з повзунами та затискними елементами захоплювача, які завдяки паралелограмам здійснюють плоскопаралельний рух. Структурний аналіз виконано для двох станів механізму: до та після затискання об'єкта маніпулювання. У першому стані механізму, де прийнято, що всі кінематичні пари V класу, однорухома схема містить тринадцять внутрішніх надлишкових зв'язків. У другому стані механізму, коли діють зовнішні, зокрема й фрикційні голономні зв'язки, схема налічує додатково ще п'ять зовнішніх повторюваних зв'язків. Показано їхнє поконтурне розташування й можливі наслідки їхнього існування. **Наукова новизна.** Уперше проведено структурний аналіз захоплювального пристрою, виконаного на основі спареного кривошипно-повзункового механізму змінної структури з внутрішніми та зовнішніми зв'язками. Здійснено поконтурний аналіз, пошук та усунення у внутрішніх контурах та зменшення кількості шкідливих повторюваних зв'язків у зовнішньому контурі механізму. **Практична значимість.** Розроблено практичні рекомендації щодо зміни рухомостей кінематичних пар для усунення всіх повторюваних зв'язків у внутрішніх контурах механізму. Для зменшення кількості шкідливих повторювань зав'язків запропоновано введення самоустановлюваного розвантажувального з'єднання у зовнішній контур механізму.

**Ключові слова:** механічний захоплювач; структурний аналіз; рухомість механізму; повторювальні зв'язки; зовнішні зв'язки

### Вступ

Відомо, що захоплювальні (захватні) пристрої (захоплювачі), як і будь-які інші механізми, мають більшу експлуатаційну надійність, якщо вони спроектовані й виконані без повторюваних (надлишкових) зв'язків у кінематичних парах. Захватні пристрої маніпуляторів, як окремі нескладні механізми з індивідуальним приводом, мають невелику кількість ланок із переважно однорухомими кінематичними парами.

Механізми без повторюваних зав'язків (ПЗ) [1, 15] мають суттєві переваги над іншими механізмами. У таких механізмах не виникають додаткові реакції, що не обумовлені дією зовнішнього технологічного навантаження, тобто вони статично визначені; вони не чутливі до незначного відхилення розмірів ланок механізму й станини, їх пружних деформацій під дією технологічного й монтажного навантаження, тому легко збираються та не потребують підгону й обкатки; вони не схильні до утворення зазорів і зношування кінематичних пар; мають нижчу вартість

## МАШИНОБУДУВАННЯ

експлуатації й вищу надійність. У разі деформацій, що викликані навантаженням, температурними умовами або похибками виготовлення, ПЗ створюють значні додаткові зусилля в рухомих з'єднаннях, збільшують зношування й знижують коефіцієнт корисної дії. За неприпустимо великих деформацій ці додаткові зусилля можуть виявитися настільки значними, що механізм заклинається або руйнується.

Тому проектування й модернізацію механізмів захоплювачів необхідно здійснювати за схемами, які позбавлені шкідливих ПЗ, що гарантує отримання більш ефективного й надійного механізму. Такі механізми ще називають самоуставлюваними.

Схеми механізмів захоплювачів мають змінну структуру з різними параметрами, що змінюються на різних етапах роботи. Структурний аналіз проводять двічі – до та після затискання об'єкта маніпулювання затискними елементами захоплювача. На етапі затискання накладаються зовнішні зв'язки, у тому числі й односторонні неутримуючі [14]. Структурний аналіз окремих механізмів захоплювачів із пошуком та усуненням шкідливих ПЗ виконаний у роботах [3, 4, 14].

У роботі [2] був здійснений геометричний синтез схем напрямних кривошипно-повзункових механізмів за критерієм енергетичного індексу передачі руху та визначені оптимальні відносні параметри таких механізмів. Завершити раціональне проектування схеми повинен структурний аналіз із пошуком та усуненням ПЗ.

Одинадцятиланковий важільний механізм захоплювача побудований на основі спареного центрального паралелограмного кривошипно-повзункового механізму з ведучими кривошипами. Ведучий кривошип 1 (рис. 1, а), що нерухомо закріплений на зубчастому колесі, приводить у рух інше зубчасте колесо з нерухомо закріпленим кривошипом 6 таким чином, що кривошипи 1 і 6 обертаються з однаковою швидкістю у протилежних напрямках. Кривошипи впливають на подовжені шатунні 2 і 7, що з'єднані з повзунками 3 і 8 та затискними елементами захоплювача 5 і 10. Повзуни 3 і 8 переміщуються в напрямних станини 0. Ланки 4 і 9 утворюють паралелограми, тому рух затискних елементів захоплювача має плоскопаралельний характер.

Паралелограмні вантажозахватні механізми мають підвищену вантажопідйомність, а об'єктом маніпулювання є найчастіше деталі призматичної форми.

Численні дослідження різних схем і конструкцій захоплювачів різного призначення [5, 13, 16, 18] дозволили напрацювати корисні рекомендації з проектування таких механізмів і спрогнозувати тенденції розвитку [19]. Однак проектування схем механічних хватних пристроїв не часто супроводжується структурним аналізом і синтезом механізму. Зазвичай конструктор обмежується підрахуванням числа ступенів свободи механізму, а найважливіший структурний параметр будь-якого механізму – повторювані зв'язки, залишаються не визначеними і не вжито заходів щодо їх усунення.

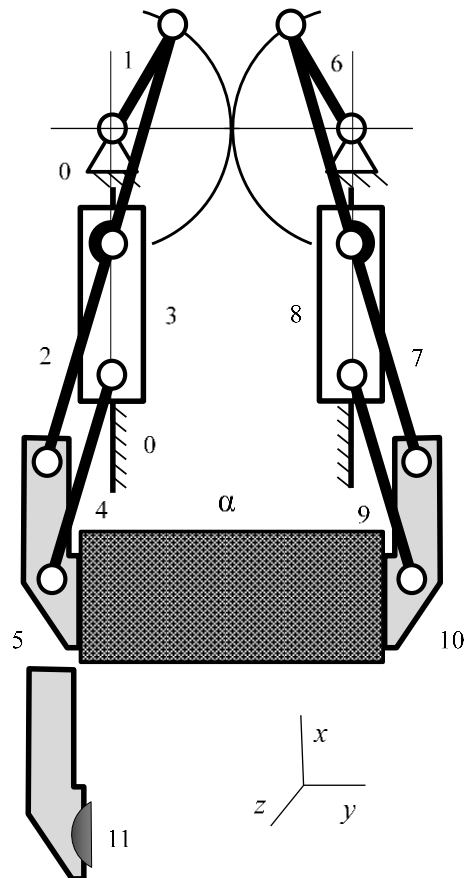


Рис. 1. Кінематична схема спареного напрямного кривошипно-повзункового механізму захоплювача

Fig. 1. Kinematic scheme of the coupled guiding slide-crank mechanism of the gripping device

## МАШИНОБУДУВАННЯ

**Мета**

Основна мета роботи – провести структурний аналіз спареного паралелограмного кривошипно-повзункового захоплювального пристрою як механізму змінної структури, що має зовнішні неутримуючі зв'язки із визначенням кількості й розташування повторюваних зв'язків у внутрішніх і зовнішніх контурах схеми механізму, та з'ясувати способи їх зменшення.

**Методика**

Досягнення поставленої мети здійснено засобами теорії механізмів і машин із використанням основних положень універсальної структурної теорії Озолса для аналізу механізму захоплювального пристрою як механізму внутрішніми й зовнішніми зв'язками.

Механізм захоплювального пристрою є механізмом змінної структури, й тому його структурне дослідження проведено для кожного стану окремо з використанням зовнішніх та внутрішніх структурних залежностей. За цими залежностями відокремлено внутрішні та зовнішні повторювані зв'язки.

Із багатьох структурних формул [15] зручно користуватися формулою Озолса [1]:

$$\sigma = W + 6k - f. \quad (1)$$

Це дозволяє з'ясувати наявність ПЗ і їх розташування за контурами механізму.

**Результати**

Структурний аналіз із визначенням ПЗ виконують не за кінематичною схемою, а за побудованою на її основі структурною схемою [1], за схемою з використанням графів [12], теорії гвинта [11], табличним способом [15] або методом матроїдів [10].

Ведучі базові ланки на структурній схемі зображують фігурами з точковим штрихуванням або подвійними лініями для ланки у вигляді повідка. Ведучі пари зображуються подвійним концентричним колом, римськими цифрами позначений клас (число зв'язків) кінематичних пар, арабськими позначені ланки механізму.

Пласкою структурною схемою може бути зображений будь-який механізм, у тому числі й просторовий [1].

Спочатку проведемо структурний аналіз простого кривошипно-повзункового механізму притискача, що лежить в основі більш складного захватного пристрою, який ми розглядаємо. Схема складається з трьох рухомих ланок 1, 2, 3 й нерухокої стійки 0 (рис. 2), і в стані до притискання ланки 2 до стійки 0 має чотири однорухомі зв'язки. Кількість внутрішніх ПЗ знайдемо за формулою (1): у цьому одноконтурному механізмі ( $k = 1$ ) рухомість  $W = 1$ , загальне число рухомостей усіх зв'язків складе  $f = 4 \cdot 1 = 4$ , а  $\sigma = 1 + 6 \cdot 1 - 4 = 3$ . У стані притискання шатуна 2 до стійки 0 у схемі утворюється ще один контур 0–2–3, а рухомість механізму зникає ( $W = 0$ ). Якщо контакт у парі 0–2 точковий, то це зв'язання можна прийняти п'ятирухомим, а замикання пари силовим. Число рухомостей усіх зв'язків стане  $f = 4 \cdot 1 + 1 \cdot 5 = 9$ , а кількість ПЗ у такому двоконтурному механізмі не зміниться:  $\sigma = 0 + 6 \cdot 2 - 9 = 3$  і всі вони залишаться в контурі 0–1–2–3. Якщо контакт у парі 0–2 буде пласким, а зв'язання трирухомим, то відповідно до збільшення накладених зв'язків збільшиться й кількість ПЗ.

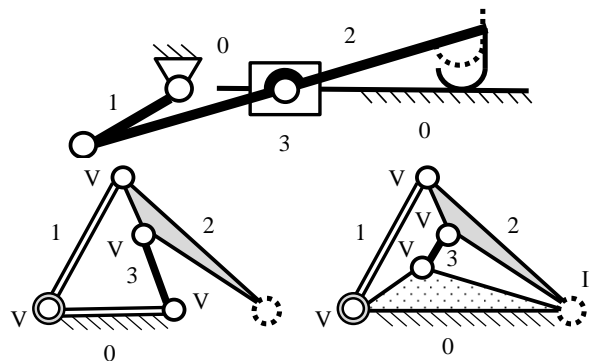


Рис. 2. Кінематична й структурні схеми кривошипно-повзункового механізму притискача

Fig. 2. Kinematic and structural schemes of the slide-crank mechanism of the gripper

Структурний аналіз затискного пристрою «КІРР К066D» з пошуком ПЗ матричним методом Девіса [11] і з їх усуненням за допомогою методу матроїдів виконано в роботі [6]; за таким же підходом автори виконали аналіз для інших механізмів [7, 8]. Навіть для простих механізмів цей шлях надто складний, хоча й дозволяє отримати всі можливі варіанти самоустановлювальних (без ПЗ) механізмів за цією схемою. Не всі варіанти можуть бути реалізовані, й остаточний

## МАШИНОБУДУВАННЯ

вибір схеми та конструкції залишається за проєктувальником і є суб'єктивним. Запропонований авторами самоустановлювальний механізм затискного пристрою з п'ятирухою точковою парою в зовнішньому контурі виглядає невдалим, бо під навантаженням пара перетвориться в трирухому й поверне в схему 2 ПЗ. Можлива також поява групової рухомості в окремих положеннях стрижньового механізму, яку таким чином виявити неможливо.

Структурний аналіз захватного пристрою (рис. 1), побудованого на основі вище розглянутого механізму (рис. 2), виконаємо у два етапи за допомогою методу Озолса.

Перший етап – об'єкт маніпулювання не затиснутий. Складна симетрична одношарова напіввідкрита з сімома базовими ланками структурна схема механізму (рис. 3, а) має десять рухомих ланок ( $n - 1 = 10$ ), п'ятнадцять з'єднань ( $p = 15$ ) і п'ять контурів ( $k = 5$ , п'ятого класу). Правильність побудови структурної схеми перевіримо основною геометричною залежністю  $p = n + k - 1$  ( $15 = 10 + 5 - 1$ ).

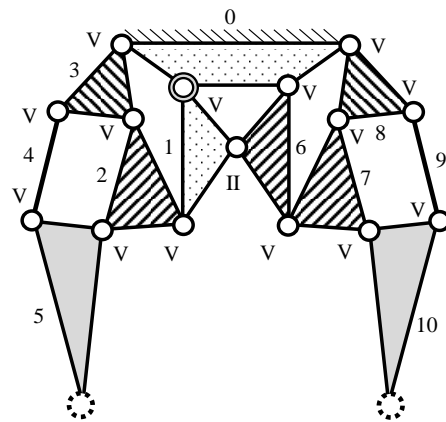
Число ступенів свободи визначимо за формулою [1]:

$$W = b + c + d, \quad (2)$$

де  $c$  – число основних рухомостей (за числом сил рушійних),  $b$  – число додаткових рухомостей (з урахуванням місцевих),  $d$  – число динамічних зв'язків. У механізмі одна ведуча ланка й одна рушійна сила, тому  $c = 1$ , додаткових рухомостей і динамічних зв'язків у схемі немає ( $b = d = 0$ ), тому  $W = 1$ . У схемі 14 однорухомих пар V класу й одна чотирирухома пара II класу (зубчаста передача), загальна рухомість усіх 15 кінематичних пар складе  $f = 14 \cdot 1 + 1 \cdot 4 = 18$ .

За формулою (1) число ПЗ складе  $\sigma = 1 + 6 \cdot 5 - 18 = 13$ . Симетрична схема має чотири топологічно однакові контури, у яких утворюються по три ПЗ. Ще один ПЗ знаходиться в контурі 0–1–6. Можлива непаралельність і перекіс осей шарнірів і повзунка в контурах основних механізмів (0–1–2–3, 0–6–7–8) та паралелограмів (2–3–4–5, 7–8–9–10) створює внутрішнє скручування й вигин шатунів, і ці деформації будуть викликані не дією зовнішньої сили, а дією ПЗ. Один ПЗ в контурі зубчастої передачі 0–1–6 потребує точної паралельності осей шарнірів коліс.

а – а



б – б

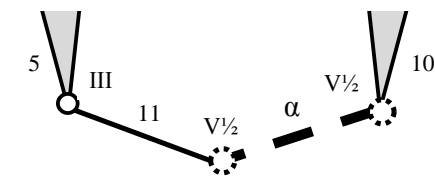
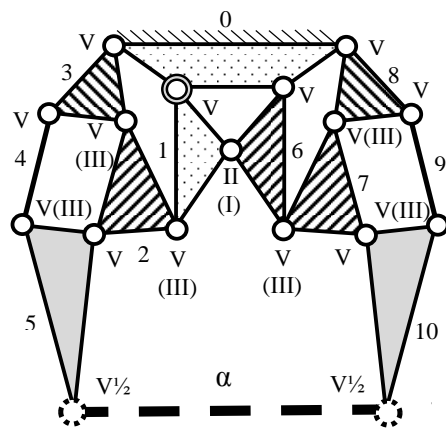


Рис. 3. Структурні схеми напрямного кривошипно-повзункового механізму захоплювача на різних етапах його роботи:

а – до затискування об'єкта; б – об'єкт затиснутий

Fig. 3. Structural schemes of the guide crank-slider mechanism of the gripper at different stages of its operation:

a – before gripping an object; b – the object is gripped

Залишення більшості ПЗ у схемі викличе напруги під час складання механізму, а під час роботи – знос та утворення зазорів у зчленуваннях.

Зменшення кількості ПЗ може бути досягнута збільшенням рухомостей кінематичних пар. На структурній схемі у дужках (рис. 3, б) позначені рекомендовані для заміни класи кінематичних пар, які не складні до виконання

## МАШИНОБУДУВАННЯ

й дозволяють позбавитися ПЗ у внутрішніх контурах. Для позбавлення ПЗ у контурі із зубчастю передачею її можна виконати з діжкоподібним зубом, що зменшить клас пари до першого. Сполуки подовжених шатунів 2 й 7 із кривошипними шарнірами III класу, а шарніри, якими вони сполучаються із затискними елементами 5 і 10, залишені однорухомими V класу. З'єднання коромисел 4 й 9 із повзунками 3 і 8 також виконані сферичними шарнірами III класу. У такій покращеній схемі загальна рухомість усіх пар тепер складе  $f = 8 \cdot 1 + 6 \cdot 3 + 1 \cdot 5 = 31$ , а внутрішні ПЗ у схемі тепер відсутні  $\sigma = 1 + 6 \cdot 5 - 31 = 0$ .

*Другий етап – об'єкт маніпулювання затиснутий.* Структура механізму змінилася (рис. 3, б), накладені зовнішні зв'язки між затискними елементами та об'єктом маніпулювання. Під час затискання між об'єктом та затискними елементами накладаються зовнішні зв'язки, тому згідно з [1] розглянемо два стани механізму: ізольовано від зовнішніх тіл, із якими він має зовнішні зв'язки (ізольовано від об'єкта маніпулювання), і в робочому стані, коли діють зовнішні зв'язки (об'єкт затиснутий). За діючих додатково накладених зовнішніх зв'язків механізм має робочу рухомість  $W_p$ , за усунених зовнішніх зв'язків механізм має фактичну рухомість  $W_\phi$ . Робоча рухомість  $W_p$  менша за фактичну  $W_\phi$  на кількість накладених зовнішніх зв'язків. Одне положення механізму відповідає стану, коли об'єкт затиснутий, інше – вільного від об'єкта маніпулювання.

Для більш точного підрахунку кількості зовнішніх ПЗ у механізмі із зовнішніми й неутримуючими зв'язками використовуємо скореговану [14] зовнішню структурну формулу:

$$\sigma_a = S_a - [(W_\phi - W_p) + W_a - S_{ai}], \quad (3)$$

тут  $\sigma_a$  – число зовнішніх ПЗ,  $W_a$  – зменшення рухомостей зовнішніх тіл від дії зовнішніх зв'язків,  $S_a$  – число зовнішніх зв'язків,  $S_{ai}$  – число зовнішніх зв'язків, які одночасно позбавляють рухомості зовнішнє тіло й усувають основну рухомість механізму [14].

Після затискання об'єкта маніпулювання  $a$  механізм і зовнішнє тіло повністю втрачають рухомість  $W_p = 0$ , і в схемі утворюється ще один

незалежний контур 1–2–5–а–10–7–б. Якщо затискні елементи плоскі, а тертя між ними й об'єктом захоплювання достатнє, і він не може рухатися відносно механізму, то в зовнішніх парах 5–а і 10–а за цих умов утворюються зв'язки  $V\frac{1}{2}$  класу, де один геометричний зв'язок здійснює одностороннє обмеження руху вздовж осі у. Ще два геометричних зв'язки дозволяють передати 2 моменти навколо осей  $z$  і  $x$ , та три голономних фрикційних зв'язки [17], які здатні передати 2 сили вздовж осей  $z$  і  $x$  і момент навколо осі у.  $S_{ai} = 1$  – один загальний зв'язок одночасно позбавляє рухомості об'єкт маніпулювання й усуває основну рухомість механізму.

Кількість зовнішніх ПЗ за залежністю (3) складе  $\sigma_a = 11 - [(1 - 0) + 6 - 1] = 5$ : три ПЗ обмежують передачу сил уздовж осей  $x$  і  $z$  і передачу моменту навколо осі у та утворюються фрикційними голономними зв'язками. Було б достатньо, щоб ці фрикційні зв'язки накладал один затискний елемент захоплювача. Два інші з виявлених зовнішніх ПЗ вимагають дотримання у двох взаємно перпендикулярних площинах паралельності поверхонь затискних елементів і бічних поверхонь об'єкта. Для їх нейтралізації без зміни форми контактуючих поверхонь доцільно ввести в схему розвантажувальне з'єднання, яке компенсує можливі перекося під час затискання об'єкта. Таким з'єднанням може бути сферична пара 10–11 (рис. 1, знизу ліворуч), після введення якої її самоустановлення компенсує можливу непаралельність бічних сторін об'єкта. Ці ПЗ особливо небезпечні тим, що їх дія під час затискання має багаторазовий динамічний характер і створює два реактивних моменти, які не викликані дією сил затискання.

Можна, якщо дозволяє технологія, використати адаптивні конструкції затискних елементів із накладками [9] або м'які захоплювачі [18], що в зовнішньому контурі накладають динамічні зв'язки, які зменшують або виключають утворення ПЗ. Такого роду динамічні зв'язки не можуть бути застосовані у внутрішніх контурах механізму, де необхідна обов'язкова однозначність положень і швидкостей ланок, яка може бути забезпечена твердими ланками.

Структурна схема механізму захоплювача, яка позбавлена шкідливих ПЗ, представлена на рис. 3, б (внизу). Фактична рухомість механізму перед накладенням зовнішніх зв'язків і після

## МАШИНОБУДУВАННЯ

введення розвантажувального з'єднання складе  $W_{\phi} = 1 + 3 = 4$ , де до основної рухомості додаються три місцевих рухомості ланки 11. Кількість зовнішніх ПЗ суттєво зменшалась  $\sigma_a = 12 - (4 - 0) - 6 = 2$ , а залишені два голономних зовнішніх ПЗ, що подвійно обмежують переміщення об'єкта затискання за двома координатами у площині  $zOy$ , зменшують питомий тиск контакту, підвищують вантажопідйомність механізму захоплювача і не шкідливі.

Виконаний за запропонованою поліпшеною схемою захоплювальний пристрій, де внутрішні ПЗ відсутні, а кількість зовнішніх ПЗ мінімальна, має безумовно, більш високу надійність експлуатації.

#### Наукова новизна та практична значимість

Уперше проведено структурний аналіз захоплювального пристрою, виконаного на основі спареного кривошипно-повзункового механізму змінної структури з внутрішніми та зовнішніми зв'язками. Здійснено поконтурний аналіз, пошук та усунення у внутрішніх контурах та зменшення кількості шкідливих повторюваних зв'язків у зовнішньому контурі механізму.

Розроблено практичні рекомендації щодо зміни рухомостей кінематичних пар для усунення всіх повторюваних зв'язків у внутрішніх контурах та введення самоустановлювального розвантажувального з'єднання у зовнішній контур механізму.

#### Висновки

Від коректного визначення та усунення шкідливих повторюваних зв'язків у контурах схеми суттєво залежить надійність механізмів захоплювачів і їх правильна побудова.

Захватні пристрої із паралельними та спареними механізмами мають змінну структуру й велику кількість повторюваних зв'язків у внутрішніх та зовнішніх контурах. Для виявлення та зменшення зовнішніх повторюваних зв'язків зручно застосувати зовнішню структурну формулу О. Озолса.

Структурний аналіз механізмів захоплювачів як механізмів змінної структури повинен бути виконаний для двох станів механізму. Спочатку потрібен аналіз, пошук та усунення внутрішніх повторюваних зв'язків у схемі до затискання об'єкта маніпулювання. Потім проводяться аналіз, пошук та усунення зовнішніх повторюваних зв'язків у схемі з утворенням зовнішнім контуром між ланками механізму й об'єктом маніпулювання.

Усунення шкідливих повторюваних зв'язків у зовнішньому контурі може бути виконане за рахунок уведення розвантажувального з'єднання для компенсації перекосів поверхонь затискних елементів та об'єкта маніпулювання, зниження класу зовнішніх кінематичних пар, за рахунок використання адаптивних затискних елементів або м'яких захоплювачів.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Озол О. Г. *Основы конструирования и расчета механизмов*. Рига : Звайгзне, 1979. 360 с.
2. Погребняк Р. П., Погребняк М. Р. Кінематичний синтез прямолінійно-напрямних центральних кривошипно-повзункових механізмів захоплювального пристрою за енергетичним індексом передачі руху. *Наука та прогрес транспорту*. 2020. № 1 (85). С. 88–98. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2020/199726>
3. Погребняк Р. П. Пошук та усунення надлишкових зв'язків у захоплюючих пристроях (захоплювачах) механізмів маніпуляторів. *Металургійна і гірничорудна промисловість*. 2015. № 7 (296). С. 91–95.
4. Погребняк Р. П. Повторювані зв'язки у схемах стрижньового повзунко-шатуного механізму захоплювального пристрою. *Наука та прогрес транспорту*. 2018. № 4 (76). С. 81–88. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2018/140547>
5. Челпанов И. Б., Колпашников С. Н. Схваты промышленных роботов. Ленинград : Машиностроение, 1989. 287 с.
6. Artmann V. N., Barrett R. L. P., Martins D., Simon R. Analysis and elimination of redundant constraints in clamping devices. *25th ABCM International Congress of Mechanical Engineering (COBEM 2019)*. 2019. P. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.26678/ABCM.COBE2019.COBE2019-1340>

7. Artmann V. N., Barreto R. L., Carboni A. P., Simoni R., Martins D. Type synthesis of self-aligning mechanisms applied to the leg rest section of an hospital bed. *In IFToMM World Congress on Mechanism and Machine Science*. 2019. P. 1413–1422. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-20131-9\\_139](https://doi.org/10.1007/978-3-030-20131-9_139)
8. Barreto R. L. P., Martins D., Carboni A. P., Simoni R., Dai J. S. Self-aligning analysis of the metamorphic palm of the kcl/tju metamorphic hand. *In 2018 International Conference on Reconfigurable Mechanisms and Robots (ReMAR)*. 2018. P. 1–8. DOI: <https://doi.org/10.1109/REMAR.2018.8449886>
9. Chang C.-M., Gerez L., Elangovan N., Zisimatos A., Liarokapis M. On Alternative Uses of Structural Compliance for the Development of Adaptive Robot Grippers and Hands. *Frontiers in Neurorobotics*. 2019. Vol. 13, Art. 91. P. 1–16. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnbot.2019.00091>
10. Carboni A. P., Simas H., Martins D. Analysis of Self-aligning Mechanisms by Means of Matroid Theory. *Mechanisms and Machine Science*. Vol. 54. P. 61–73. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-67567-1\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-67567-1_6)
11. Davies T. Freedom and constraint in coupling networks. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C : Journal of Mechanical Engineering Science*. 2006. Vol. 220, No. 7. P. 989–1010. DOI: <https://doi.org/10.1243/09544062C09105>
12. Lu Yi., Ye N. J., Lu Y. Analysis and determination of associated linkage, redundant constraint, and degree of freedom of closed mechanisms with redundant constraints and/or passive degree of freedom. *ASME Journal of Mechanical Design*. 2012. Vol. 134, Iss. 6. P. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.1115/1.4006525>
13. Monkman G. J., Hesse S., Steinmann R., Schunk H. *Robot grippers*. Weinheim : Wiley-VCH, 2007. 463 p. DOI: <https://doi.org/10.1002/9783527610280>
14. Pogrebnyak R. P. Structural analysis and rational design parallelogram arm gripping device. *Theory and practice steel industry*. 2015. № 1/2. P. 123–125.
15. Reshetov L. *Self-Aligning Mechanisms* : Reference book / Transl. from Russian by L. Sachs. Moscow : Mir, 1986. 528 p.
16. *Robot Grippers (International trends in manufacturing technology)*. Ed. by Pham D. T., Haginbotham W. B. Bedford : IFS, 1986. 443 p.
17. Schlenoff C., Balakirsky S., Christensen H. Robust grasp preimages under unknown mass and friction distributions. *Integrated Computer-Aided Engineering*. 2018. Vol. 25, Iss. 2. P. 99–110. DOI: <https://doi.org/10.3233/ICA-180568>
18. Shintake J., Cacucciolo V., Floreano D., Shea H. Soft Robotic Grippers. *Advanced Materials*. 2018. Vol. 30, Iss. 29. P. 1–33. DOI: <https://doi.org/10.1002/adma.201707035>
19. Tai K., El-Sayed A. R., Shahriari M., Biglarbegian M., Mahmud S. State of the Art Robotic Grippers and Applications. *Robotics*. 2016. Vol. 5, Iss. 11. P. 1–20. DOI: <https://doi.org/10.3390/robotics5020011>

Р. П. ПОГРЕБНЯК<sup>1\*</sup>, М. Р. ПОГРЕБНЯК<sup>2\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Прикладна механіка», Національна металургічна академія України, пр. Гагарина, 4, Дніпро, Україна, 49005, тел. +38 (091) 906 54 24, ел. пошта [pogrebnyakk@ukr.net](mailto:pogrebnyakk@ukr.net), ORCID 0000-0002-4685-1818

<sup>2\*</sup>Каф. «Автоматизація і комп'ютерні системи», Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», пр. ім. Дмитрія Яворницького, 19, Дніпро, Україна, 49005, тел. +38 (095) 499 75 01, ел. пошта [mpogrebnyakk@gmail.com](mailto:mpogrebnyakk@gmail.com), ORCID 0000-0002-2961-3383

## ПОИСК И УСТРАНЕНИЕ ПОВТОРЯЮЩИХСЯ СВЯЗЕЙ В СХЕМЕ НАПРАВЛЯЮЩЕГО КРИВОШИПНО-ПОЛЗУНКОВОГО МЕХАНИЗМА ЗАХВАТЫВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

**Цель.** Авторы имеют целью провести структурный анализ направляющего кривошипно-ползункового спаренного механизма захватывающего устройства переменной структуры с внешними неустойчивыми связями. Также нужно определить количество внутренних и внешних повторяющихся связей в контурах механизма на разных этапах его функционирования, оценить их возможную вредность и предложить способы их уменьшения. **Методика.** Достижение поставленной цели осуществлено на основе универсальной структурной теории механизмов Озолса для анализа механизма захвата как механизма с геометрическими, внутренними и фрикционными голономными внешними связями. Используются внутренняя и внешняя структурные формулы Озолса. **Результаты.** Одиннадцатизвенный стержневой механизм захвата построен на основе

## МАШИНОБУДУВАННЯ

спареного центрального паралелограмного кривошипно-ползункового механізму з ведучими кривошипами. Синхронні ведучі кривошипи впливають на удлиннені за ползуни шатуни, з'єднані з ползунами і зажимними елементами захвата, які завдяки паралелограмам здійснюють плоско-паралельне рух. Структурний аналіз виконано для двох станів механізму: до і після зажима об'єкта маніпулювання. В першому стані механізму, де прийнято, що всі кінематичні пари V класу, одноподвижна схема містить тринадцять внутрішніх избыточних зв'язей. Во другому стані механізму, коли діють зовнішні, в тому числі і фрикційні голономні зв'язі, в схемі утворюється додатково ще п'ять зовнішніх повторюючих зв'язей. Показано їх поконтурне розташування і можливі наслідки їх дії. **Научна новизна.** Вперше проведено структурний аналіз захоплюючого пристрою, виконаного на основі спареного кривошипно-ползункового механізму змінної структури з внутрішніми і зовнішніми зв'язями. Виконано поконтурний аналіз, пошук і усунення в внутрішніх контурах і зменшення кількості шкідливих повторюючих зв'язей в зовнішньому контурі механізму. **Практична значимість.** Розроблено практичні рекомендації по зміні подвижностей кінематичних пар для усунення всіх повторюючих зв'язей в внутрішніх контурах механізму. Для зменшення кількості шкідливих повторюючих зв'язей пропонується введення самоуставлюючого роз'єднувача в зовнішній контур механізму.

*Ключові слова:* механічний захват; структурний аналіз; подвижність механізму; повторюючі зв'язі; зовнішні зв'язі

R. P. POGREBNIYAK<sup>1\*</sup>, M. R. POHREBNIYAK<sup>2\*</sup>

<sup>1\*</sup>Деп. «Applied Mechanics», National Metallurgical Academy of Ukraine, Naharina Av., 4, Dnipro, Ukraine, 49005, tel. +38 (091) 906 54 24, e-mail pogrebnyakk@ukr.net, ORCID 0000-0002-4685-1818

<sup>2\*</sup>Деп. «Automation and Computer Systems», National Technical University «Dnipro Polytechnic», Dmytra Yavornytskoho Av., 19, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (095) 499 75 01, e-mail mpogrebnyakk@gmail.com, ORCID 0000-0002-2961-3383

## SEARCH AND ELIMINATION OF REPEATED CONNECTIONS IN THE SCHEME OF GUIDING SLIDE-CRANK MECHANISM OF THE GRIPPING DEVICE

**Purpose.** The article is aimed to carry out a structural analysis of the coupled straight-guiding crank-slide mechanism of variable structure gripping devices with external unilateral constraints. It is also necessary to determine the number of internal and external repeating connections in the contours of the mechanism at different stages of its functioning, to assess their possible perniciousness and to suggest ways to reduce them. **Methodology.** Achieving this goal is carried out based on the universal structural theory of Ozols mechanisms for analyzing the gripping device as a mechanism with geometric, internal and frictional holonomic external constraints. Ozols internal and external structural formulas are used. **Findings.** The eleven-link gripping device is built on the basis of coupled central parallelogram crank-slider mechanism with a driving cranks. Synchronous driving cranks act on elongated connecting rods connected to sliders and gripping clamp elements. Gripping clamp elements carry out plane-parallel movement. Structural analysis was performed using structural schemes for two states of the mechanism: before clamping the object and in the state of the clamped object. In the first state of the mechanism with kinematic pairs of class V, the one-movable scheme contains thirteen internal redundant constraints. In the second state of the mechanism, external constraints act and in the scheme another five additional external repeating constraints are formed. Their contour arrangement and possible consequences of their action are shown. **Originality.** Structural analysis of the coupled crank-slider mechanism of the gripping device as a mechanism of a variable structure with internal and external connections is carried out for the first time. It is performed contour analysis, search and elimination, as well as reduction of pernicious repeated connections in the internal and external contour of the mechanism. **Practical value.** Practical recommendations have been developed on changing the mobilities of sliding pairs to eliminate all repeated connections in the internal contours of the mechanism. To reduce the number of pernicious repeated connections, the introduction of a self-centering unloading coupling into the external contour of the mechanism is proposed.

*Keywords:* mechanical gripping device; structural analysis; mobility of mechanism; repeated connections; external connections



## REFERENCES

1. Ozol, O. G. (1979). *Osnovy konstruirovaniya i rascheta mekhanizmov*. Riga: Zvaygzne. (in Russian)
2. Pogrebnyak, R. P., & Pohrebniak, M. R. (2020). Kinematic synthesis of the guide bearing central slide-crank mechanism of the gripping device based on the energetic motion transmission index. *Science and Transport Progress*, 1(85), 88-98. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2020/199726> (in Ukrainian)
3. Pogrebnyak, R. P. (2015). Poshuk ta usunennya nadlishkovikh zv'yazkiv u zakhoplyuyuchykh pristryakh(zakhoplyuvachakh) mekhanizmiv manipulyatoriv. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost* 7(296), 91-95. (in Ukrainian)
4. Pogrebnyak, R. P. (2018). Repeated connections in the schemes of link slider-crank mechanism of gripping device. *Science and Transport Progress*, 4(76), 81-88. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2018/140547> (in Ukrainian)
5. Chelpanov, I. B., & Kolpashnikov, S. N. (1989). *Skhvaty promyshlennykh robotov*. Leningrad: Mashinostroyeniye. (in Russian)
6. Artmann, V. N., Barrett, R. L. P., Martins, D., & Simon, R. (2019) Analysis and elimination of redundant constraints in clamping devices. *25th ABCM International Congress of Mechanical Engineering (COBEM 2019)*, 1-10. DOI: <https://doi:10.26678/ABCM.COBEM2019.COB2019-1340> (in English)
7. Artmann, V. N., Barreto, R. L., Carboni, A. P., Simoni, R., & Martins, D. (2019). Type synthesis of self-aligning mechanisms applied to the leg rest section of an hospital bed. *In IFToMM World Congress on Mechanism and Machine Science*, 1413-1422. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-20131-9\\_139](https://doi.org/10.1007/978-3-030-20131-9_139) (in English)
8. Barreto, R. L. P., Martins, D., Carboni, A. P., Simoni, R., & Dai, J. S. (2018). Self-aligning Analysis of the Metamorphic Palm of the KCL/TJU Metamorphic Hand. *2018 International Conference on Reconfigurable Mechanisms and Robots (ReMAR)*, 1-8. DOI: <https://doi:10.1109/REMAR.2018.8449886> (in English)
9. Chang, C.-M., Gerez, L., Elangovan, N., Zisimatos, A., & Liarokapis, M. (2019), On Alternative Uses of Structural Compliance for the Development of Adaptive Robot Grippers and Hands. *Frontiers in Neurorobotics*, 13(91), 1-16. DOI: <https://doi:10.3389/fnbot.2019.00091>(in English)
10. Carboni, A. P., Simas, H., & Martins, D. (2017). Analysis of Self-aligning Mechanisms by Means of Matroid Theory. *Mechanisms and Machine Science*, 54, 61-73. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-67567-1\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-67567-1_6) (in English)
11. Davies, T. (2006). Freedom and constraint in coupling networks. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 220(7), 989-1010. DOI: <https://doi:10.1243/09544062C09105> (in English)
12. Lu, Yi., Ye, N. J., & Lu, Y. (2012). Analysis and determination of associated linkage, redundant constraint, and degree of freedom of closed mechanisms with redundant constraints and/or passive degree of freedom. *ASME Journal of Mechanical Design*, 134(6), 1-9. DOI: <https://doi:10.1115/1.4006525> (in English)
13. Monkman, G., Hesse, S., Steinmann, R., & Schunk, H. (2007). *Robot grippers*. Weinheim: Wiley-VCH. DOI: <https://doi:10.1002/9783527610280> (in English)
14. Pogrebnyak, R. P. (2015). Structural analysis and rational design parallelogram arm gripping device. *Theory and Practice Steel Industry*, 1-2, 123-125. (in English)
15. Reshetov, L. (1986). *Self-Aligning Mechanisms: Reference book*. (Sachs L. (transl.)). Moscow: Mir. (in English)
16. Pham, D. T., & Haginbotham, W. B. (Eds.). (1986). *Robot Grippers (International trends in manufacturing technology)*. Bedford: IFS. (in English)
17. Schlenoff, C., Balakirsky, S. & Christensen, H. (2018). Robust grasp preimages under unknown mass and friction distributions. *Integrated Computer-Aided Engineering*, 25(2), 99-110. DOI: <https://doi:10.3233/ICA-180568> (in English)
18. Shintake, J., Cacucciolo, V., Floreano, D., & Shea, H. (2018). Soft Robotic Grippers. *Advanced Materials*, 30(29), 1-33. DOI: <https://doi:10.1002/adma.201707035> (in English)
19. Tai, K., El-Sayed, A.R., Shahriari, M., Biglarbegian, M., & Mahmud, S. (2016). State of the Art Robotic Grippers and Applications. *Robotics*, 5(11), 1-20. DOI: <https://doi:10.3390/robotics5020011>(in English)

Надійшла до редколегії: 21.01.2020

Прийнята до друку: 22.05.2020