

**І. Павленко, докт. техн. наук; В. Мажара**

*Кіровоградський національний технічний університет*

## **ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ АНАЛІЗУ КІЛЬКОСТІ ВИКОНАНЬ ДВОЗАХВАТНИХ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ**

*В статті розглядаються методика аналізу кількості виконань двозахватних промислових роботів. Зазначена методика бере до уваги усі відмінні ознаки, що оцінюють можливі різновиди конструкцій роботів. В основу розробки покладені конструктивні та кінематичні особливості будови захватних пристроїв двозахватних промислових роботів, які враховують кількість ланок, умови їх приєднання, напрямки з'єднання, особливості приєднання захватів та кількість ступенів рухомості в двозахватному пристрої.*

**I. Pavlenko; V. Mazhara**

## **THEORETICAL FUNDAMENTALS OF THE OPERATIONS AMOUNT ANALYSIS OF THE DOUBLE-CLAMPED INDUSTRIAL ROBOTS**

*In the article the methods of analysis of the amount of operations of the double-clawed industrial robots have been viewed. The above-mentioned methods take into account all the distinctive features, which appraise the possible varieties of the constructions of robots. The constructional and kinematical peculiarities of the structure of the double-clawed industrial robots, which take into account the number of links, the conditions of their joining, the directions of the connection, the peculiarities of joining of the claws and the amount of the degrees of traveling in the double-clawed device have been assumed as the basis of the treatise.*

Використання двозахватних промислових роботів при виконанні завантажувально-розвантажувальних операцій значно підвищує продуктивність РТК у порівнянні з однозахватними роботами.

Для ґрунтовного аналізу можливих виконань двозахватних пристроїв роботів необхідно розробити методіку, яка дозволяє визначити кількість теоретично можливих варіантів схем пристроїв, що досліджуються, та встановити напрямок пошуку найбільш доцільних варіантів.

В основу вирішення цієї задачі покладені всі відмінні ознаки, які оцінюють можливі різновиди конструкцій двозахватних пристроїв. В найбільш узагальненому вигляді схеми двозахватних пристроїв відрізняються конструктивними та кінематичними особливостями їх виконання.

Конструктивні особливості [1] враховують кількість ланок, з яких складається пристрій, умови їх з'єднання між собою та особливості приєднання до них захватів. А кінематичні [2] – оцінюються кількістю ступенів рухомості ланок двозахватних пристроїв та характером їх реалізації. Таким чином, загальна кількість теоретично можливих варіантів конструктивно – кінематичних схем ( $m_m$ ) двозахватних пристроїв:

$$m_m = m_{\text{кон}}^m \cdot m_{\text{кін}}^m, \quad (1)$$

де  $m_{\text{кон}}^m$  – теоретична кількість конструктивних варіантів;

$m_{\text{кін}}^m$  – теоретична кількість кінематичних варіантів.

Розглянемо, насамперед, теоретичну кількість конструктивних варіантів, яка залежить від:

- кількості ланок ( $L$ ), що формують конструктивну схему пристрою ( $m_l$ );
- умов приєднання ланок в конструкції пристрою ( $m_y$ );
- напрямків з'єднання ланок ( $m_n$ );
- особливості приєднання захватів до ланок пристрою ( $m_z$ ).

Відповідно сумарна кількість теоретично можливих конструктивних варіантів для пристроїв з різною кількістю ланок буде:

$$m_{\text{кон}}^m = \sum_{i=1}^{m_d} \cdot \sum_{i=1}^{m_y} m_n^m \cdot m_3^m. \quad (2)$$

Знаки суми вказують, що кількість варіантів може визначатися для пристроїв з різною кількістю ланок у пристроях та різними умовами їх приєднання.

Кількість конструктивних варіантів, яка залежить від кількості ланок пристрою, є величина конкретна для того чи іншого варіанту двозахватного пристрою і може бути  $m_n = 1...3$ . Більшу кількість ланок у конструкції пристрою можна оцінювати подібно, але такі виконання є досить складними і малодоцільними, а тому в даній роботі не розглядаються.

Щодо особливостей (умов) приєднання ланок, можна виділити два варіанти:

- ланки з'єднуються своїми кінцями (рис. 1, в, г, і ін.);
- одна з ланок з'єднується своєю кінцевою частиною з другою ланкою в проміжку між її кінцями (рис. 1, а, і ін.). В таких випадках найбільш доцільним є приєднання ланок посередені їх довжини, що робить конструкцію симетричною та урівноваженою. В структурних формулах ці особливості можна позначати:

$L_c$  – ланка приєднана своєю серединою;

$L_k$  – ланка приєднана кінцевою частиною.

Таким чином, для кожного з'єднання  $m_y = 2$ .

Що стосується кількості варіантів, які визначають можливі напрямки з'єднання ланок ( $m_n$ ), то вони можуть бути: співвісними (/), паралельними (//), перпендикулярними ( $\perp$ ), перехресними (перпендикулярними, що не перетинається) (X), під довільним кутом (V).

Останній варіант є малодоцільним, а тому він буде враховуватись тільки при окремо обґрунтованих умовах. Тому кожне з'єднання ланок теоретично має чотири варіанти.

Вказані напрямки з'єднання необхідно враховувати не тільки для суміжних ланок, які безпосередньо з'єднуються між собою, а й по відношенню до несуміжної (попередньої) ланки.

Якщо в конструкції пристрою є одна ланка (Л), а відповідно одне з'єднання між вихідною ланкою (ВЛ) і ланкою пристрою (Л) (рис. 1,а), то теоретична кількість напрямків їх з'єднання -  $m_n^m = 4$ . Деякі з них практично не можуть бути реалізовані.

Якщо в конструкції пристрою використовуються дві ланки, які з'єднуються своїми кінцями з вихідною ланкою (ВЛ) в одній точці (рис. 1,в), то кількість теоретично можливих варіантів визначається в наступній послідовності. Приймаючи за умову, що кожна з цих ланок може мати теоретично чотири напрямки розміщення по відношенню до ВЛ, то загальна кількість таких варіантів буде дорівнювати:

$$m_n^m = 4^2 = 16.$$

У дволанковій конструкції, де ланки  $L_1$  і  $L_2$  з'єднуються між собою послідовно, спочатку визначаються варіанти приєднання першої ланки  $L_1$  до ВЛ. Таких варіантів також теоретично чотири, як і в попередньому пристрої, що має одну ланку. При визначенні кількості варіантів по напрямках приєднання ланки  $L_2$  до ланки  $L_1$  необхідно додатково враховувати напрямки розміщення другої ланки ( $L_2$ ) по відношенню до попередньої ланки (ВЛ). Так, наприклад, варіант (рис. 1, г), в якому ланка  $L_2$  приєднана до ланки  $L_1$  – перпендикулярно, виконаний за структурою:

$$ВЛ \perp L_{1к} \perp L_{2к}.$$

Якщо у формулі вказати напрямки приєднання ланки  $L_2$  по відношенню до ланки ВЛ, який є паралельним, то формула буде мати вигляд:

$$ВЛ \perp L_{1к} \perp // L_{2к}.$$

Цей варіант можна ще конкретизувати, вказавши, в якому напрямку приєднана ланка  $L_2$ . Відповідно до рис. 1, г, формула матиме вигляд:

$$ВЛ \perp L_{1к} \perp \left| \right| L_{2к}.$$

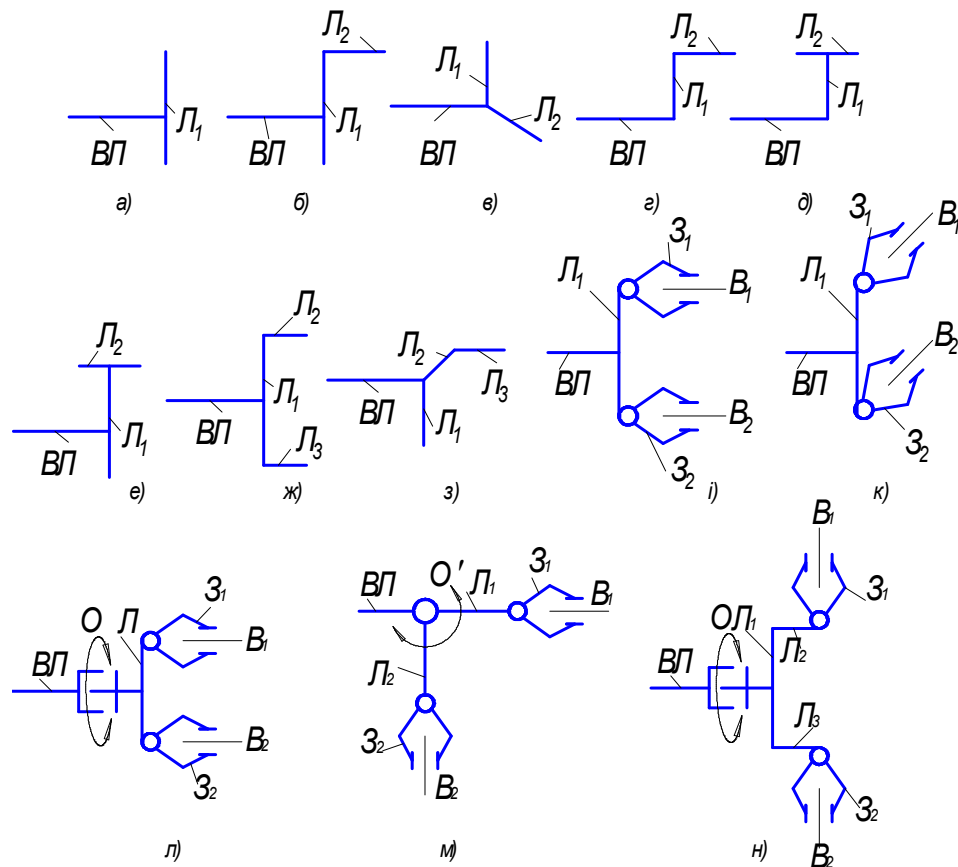


Рисунок 1 – Конструктивні (а – к) та конструктивно – кінематичні (л – н) двозахватних пристроїв.

Таким чином, для дволанкового пристрою кількість варіантів напрямків з'єднання ланок буде дорівнювати добутку кількості варіантів ( $m_{n1}$ ) з'єднання в першій парі ланок (ВЛ – Л<sub>1</sub>) та кількості ( $m_{n2}$ ) варіантів у другій парі (Л<sub>1</sub> – Л<sub>2</sub>). Тоді кількість варіантів у парі ВЛ – Л<sub>1</sub> буде дорівнювати  $m_{n1}^m = 4$ , а в парі Л<sub>1</sub> – Л<sub>2</sub>:

$$m_{n2}^m = 4 \cdot 4 \cdot 2 = 32 \text{ варіанти,}$$

де перша четвірка вказує, що ланка Л<sub>2</sub> може бути приєднана в чотирьох теоретично можливих напрямках (співвісно, паралельно, перпендикулярно, перехресно) до ланки (Л<sub>1</sub>). Друга четвірка вказує, що ця ж ланка (Л<sub>2</sub>) такими ж чотирма напрямками може бути розміщена по відношенню до попередньої ланки (ВЛ). А двійка, що ці напрямки можуть бути в різні напрямки (вліво чи вправо, вгору чи вниз і т.п.). Тож загальна теоретична кількість варіантів для другого варіанту буде:

$$m_n^m = m_{n1}^m \cdot m_{n2}^m = 4 \cdot 32 = 128.$$

Для варіанту з трьома ланками (рис. 1, ж) маємо три точки з'єднання ланок: ВЛ – Л<sub>1</sub>, Л<sub>1</sub> – Л<sub>2</sub> і Л<sub>1</sub> – Л<sub>3</sub>. Тоді кількість теоретично можливих варіантів ( $m_n^m$ ) в таких конструктивних схемах буде:

$$m_n^m = m_{n1}^m \cdot m_{n2}^m \cdot m_{n3}^m, \quad (3)$$

де  $m_{n1}^m; m_{n2}^m; m_{n3}^m$  - відповідно кількість варіантів напрямків з'єднання для точок з'єднання ВЛ – Л<sub>1</sub>, Л<sub>1</sub> – Л<sub>2</sub> і Л<sub>1</sub> – Л<sub>3</sub>. В цих конструкціях також до вихідної ланки (ВЛ) може приєднуватися одна (рис. 1, ж) чи дві (рис. 1, з) ланки з відповідною кількістю варіантів приєднання.

Оскільки це з'єднання є першим, то в ньому не враховується, в який напрямок виконується з'єднання (вліво чи вправо, вниз чи вгору і ін.), так як це практично рівнозначно різному просторовому положенню ланок ВЛ і Л<sub>1</sub> при тому ж їх конструктивному виконанні. Це дозволяє дещо зменшити кількість теоретично можливих варіантів без втрати їх реальних виконань.

Для наступних з'єднань ланок  $L_1 - L_2$  і  $L_1 - L_3$  кількість таких варіантів з'єднань подібна до аналогічних дволанкових пристроїв, а тому:

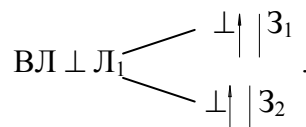
$$m_{n2}^m = m_{n2}^l = 4 \cdot 4 \cdot 2 = 32 \text{ варіанти.}$$

Тоді загальна кількість теоретично можливих варіантів напрямків з'єднань трьохланкових пристроїв з послідовним з'єднанням ланок буде:

$$m_n^m = m_{n1}^m \cdot m_{n2}^m \cdot m_{n3}^m = 4 \cdot 32 \cdot 32 = 4096 \text{ варіантів.}$$

Додатковим різновидом конструктивного виконання пристрою є особливості приєднання захватів до ланок. Так як захвати приєднуються до кінців ланок ( $L_i$ ), то цей різновид може визначатися напрямком приєднання осі захвату до осі ланки.

Відповідно кожен захват до ланки може теоретично приєднуватися чотирма напрямками (співвісно, паралельно, перпендикулярно та перехресно). Для одностанкового пристрою рис. 1, і, умова перпендикулярного приєднання захватів до ланки  $L_1$  вимагає уточнення цього приєднання по відношенню до попередньої ланки (ВЛ), зокрема, що вісь захватів паралельна до осі вихідної ланки. Але, як і в з'єднанні ланок між собою, необхідно додатково вказувати напрямлення осі захвату (вліво, вправо, вниз чи вгору і ін.). Для зазначеної схеми це уточнення присутнє в структурній формулі:



Таким чином, приєднання кожного захвату до ланки теоретично можливо 32 варіантами  $m_{31} = 4 \cdot 4 \cdot 2 = 32$ .

Так як в захватному пристрої два захвати, то загальна кількість теоретично можливих варіантів приєднання захватів становитиме:

$$m_3 = m_{31} \cdot m_{32} = 32 \cdot 32 = 1024 \text{ варіанти.}$$

Визначивши всі складові конструктивних варіантів, можна перейти до встановлення загальної теоретичної кількості таких варіантів. Наприклад, для одностанкових двозахватних пристроїв з різними умовами приєднання ланки

$$\left( \sum_{i=1}^{m_n} = m_y = 2 \right):$$

$$m_{кон}^m = m_y^m \cdot m_n^m \cdot m_3^m = 2 \cdot 4 \cdot 1024 = 8192 \text{ варіанти.}$$

Для дволанкового пристрою з сумісним приєднанням ланок до ВЛ (рис. 1, в) кількість варіантів ( $m_y = 1$ )  $m_{кон}^m = 1 \cdot 16 \cdot 1024 = 16384$ .

Для трьохланкового ( $m_y = 1$ ) варіанту -  $m_{кон}^m = 1 \cdot 4096 \cdot 1024 = 4194304$  варіанти.

Наведене обґрунтування забезпечує визначення всіх теоретично можливих варіантів, аналіз яких сприяє пошуку доцільних.

Після розгляду теоретичної кількості конструктивних варіантів переходимо до визначення теоретичної кількості кінематичних варіантів, яка залежить від:

- кількості ступенів рухомості в двозахватному пристрої;
- функціонального призначення ступенів рухомості, які бувають: ступені рухомості для зміни захватів місцями, або ступені рухомості, що є спільними для обох захватів -  $n_{зс}$ ; орієнтуючими ступенями рухомості кисті -  $n_k$ ; локально - операційні ступені рухомості -  $n_{ло}$ .

Основними, з точки зору функціонального призначення двозахватних пристроїв, є ступені рухомості зміни захватів місцями (МЗЗМ), які і будуть розглянуті як основний об'єкт дослідження. Для даних механізмів кількість теоретично можливих варіантів буде:

$$m_{кін} = m_n \cdot m_в \cdot m_к \cdot m_{нл} \cdot m_{нл2}$$

де  $m_n$  – кількість варіантів, які відзначаються порядком розміщення кінематичних пар. Якщо в МЗМ можуть використовуватися пари різних класів, то [3]:

$$m_n = \frac{N!}{n_{III}! \cdot n_{IV}! \cdot n_V!},$$

де  $N = n_{III} + n_{IV} + n_V$  - загальна кількість кінематичних пар в механізмі зміни захватів місцями, що визначається як сума кількості кінематичних пар відповідно III, IV та V-го класів;

$m_e$  – кількість варіантів за видом руху в парах V-го класу. Оскільки основних видів руху два (поступальні – П і обертові – О), то  $m_e = 2^n$ .

Так як в конструкціях двозахватних пристроїв, в основному, використовуються пари п'ятого класу, то  $n = n_v$ ,

$m_k$  – кількість варіантів за особливостями конструктивного виконання кінематичних пар. Таких різновидів для кожного виду рухів два: коли вісь рухомої ланки кінематичної пари співпадає з напрямком руху чи віссю обертання (позначаємо П і О) і коли вони не співпадають (позначаємо П' і О'). Відповідно  $m_k = 2^n$ ,

$m_{np}$  – кількість варіантів за напрямком руху в окремих ступенях рухомості. Якщо рухи відносно попереднього руху можуть бути паралельними, співвісними, перпендикулярними чи перехрещуватися, то кількість таких варіантів буде -  $m_{np} = 4^{(n-1)}$ ,

$m_{nl}$  – кількість варіантів за напрямком приєднання кінематичної пари до ланки, що її утримує. Так як приєднання є одним, але з різним напрямком, то теоретично їх, подібно до вищеведеного, може бути чотири варіанти.

Виходячи з того, що для зміни захватів місцями, як правило, використовується один ступінь рухомості, то загальна кількість теоретично можливих кінематичних варіантів для МЗМ буде  $m_{кін} = 1 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 4 = 32$ .

Подібно можна визначити кількість кінематичних варіантів для кисті чи локально – операційних механізмів, якщо вони мають місце в двозахватному пристрої.

Визначена кількість кінематичних варіантів об'єднується з конструктивними варіантами, що дає можливість оцінити загальну кількість теоретично можливих варіантів для тієї чи іншої схеми (структури) двозахватного пристрою. Так, для одноланкового пристрою (рис. 1, л) зі структурою:

$$\text{ВЛ} / \text{О} \perp \text{Л}_1 \begin{cases} \perp // \text{З}_1 \\ \perp // \text{З}_2 \end{cases},$$

буде  $m_m = m_{кон}^m \cdot m_{кін}^m = 8192 \cdot 32 = 262144$  варіантів.

Для дволанкового пристрою (рис. 1, м) зі структурою

$$\text{ВЛ} \perp \text{О}' \begin{cases} \perp \text{Л}_1 / \text{З}_1 \\ (\perp) \\ \perp \text{Л}_2 / \text{З}_2 \end{cases},$$

$m_m = m_{кон}^m \cdot m_{кін}^m = 16384 \cdot 32 = 524288$  варіантів.

Для трьохланкового пристрою (рис. 1, н) зі структурою:

$$\text{ВЛ} / \text{О} \perp \text{Л}_1 \begin{cases} \perp // \text{Л}_2 \perp \uparrow | \text{З}_1 \\ \perp // \text{Л}_3 \perp \downarrow | \text{З}_2 \end{cases},$$

чи для подібного варіанту:

$$\text{ВЛ} / \text{О} \perp \text{Л}_1 \begin{cases} \perp // \text{Л}_2 / \text{З}_1 \end{cases},$$

$$\perp // L_3 / Z_2$$

кількість конструктивно – кінематичних варіантів:

$$m_m = m_{кон}^m \cdot m_{кін}^m = 14194304 \cdot 32 = 134217728 .$$

Отримані результати свідчать, що кількість теоретично можливих варіантів виконань двозахватних пристроїв, навіть при прийнятих обмеженнях, має надзвичайно велику кількість. Тому наступним важливим завданням є розробка теоретичної методики визначення із теоретично можливих варіантів найбільш доцільних для різних виконань токарних та інших комплексів.

### **Література**

1. Павленко І.І., Мажара В.А. Конструктивна структура двозахватних пристроїв промислових роботів // Збірник наукових праць КНТУ. – Вип. 17 – Кіровоград: КНТУ, 2006. – С. 292 – 296.
2. Павленко І.І., Мажара В.А. Кінематична структура двозахватних пристроїв промислових роботів // Збірник наукових праць КНТУ. – Вип. 17 – Кіровоград: КНТУ, 2006. – С. 278 – 282.
3. Павленко І.І. Структура промислових роботів. — Кіровоград.: КІСМ, 1998. — 100 с.

*Одержано 05.06.2006 р.*