

УДК 62-589.2

Я.А. Жабура, К.О. Беліков

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

Спрощене розв'язання оберненої кінематичної задачі для дельта-робота з поворотною платформою

Серед роботів-маніпуляторів, що використовуються в промисловості, за структурою можна виділити два основних види: механізми з послідовною і паралельною кінематикою. В порівнянні з послідовними механізмами, їм властиві суттєво менша матеріалоемність, що веде за собою більшу економічність, більша точність розміщення інструменту в просторі [1] та невелика маса рухомої частини, що дозволяє досягти прискорень інструменту до 50g [2].

В даній роботі розглядається модифікація дельта-робота [3] з приводами обертальної дії, що має шість ступенів свободи за рахунок введення трьох додаткових обертальних приводів.

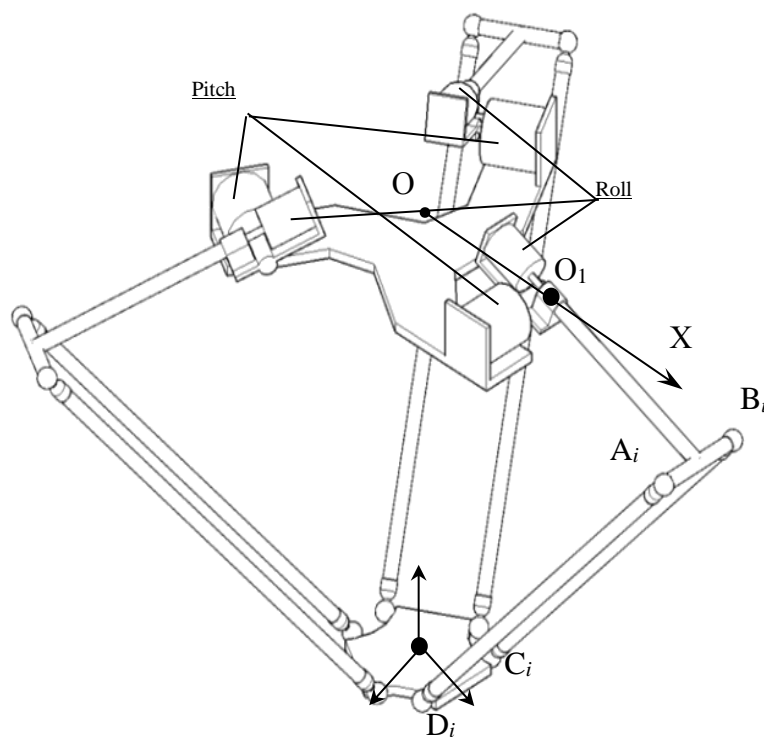


Рис. 1. Тривимірна модель прототипу дельта-робота з поворотною платформою

Для визначення алгоритму формування законів керування приводами (Рис. 1, Pitch та Roll) за вхідними координатами положення поворотної платформи (положення інструмента) необхідно виконати кінематичний аналіз. Кінематичний аналіз передбачає розв'язання двох задач – прямої та зворотної. Пряма задача полягає у визначенні абсолютних координат виконавчого органу по заданим узагальненим координатам, тобто визначенні положення та орієнтації поворотної платформи у вибраній системі координат за значеннями кутів повороту валів поворотних приводів, які однозначно визначають його положення. Зворотня задача кінематики полягає у визначенні значень кутів повороту валів за заданим положенням інструменту [4].

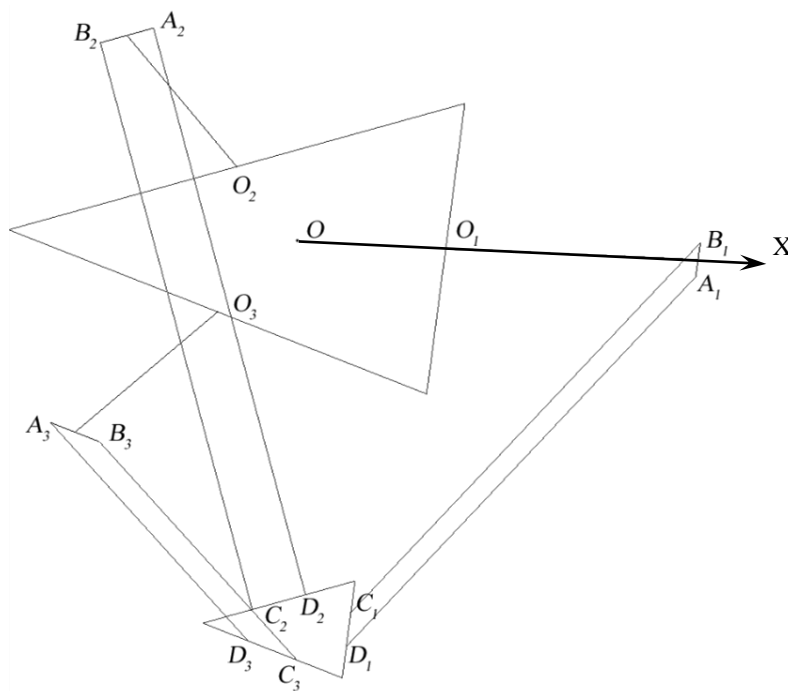


Рис. 2. Розрахункова схема дельта-робота з поворотною платформою:

O – центр нерухомої платформи, O_i нерухомі точки на основі,

A_i, B_i, C_i та D_i належать ланкам механізму

Перехід з узагальнених координат в абсолютні може виконуватися за допомогою спільного розв'язання системи рівнянь, що описують відстані між точками механізму та колінеарність прямих. При цьому отримана система рівнянь може бути розв'язана тільки чисельними методами і потребує значного машинного часу на розв'язання.

В даній роботі розглянуто спосіб спрощення переходу, що полягає в апроксимації однієї з величин. Для чого чотирикутні ланки $A_iB_iC_iD_i$, в процесі аналізу, замінюються прямими ланками постійної довжини c_i , які спираються на середини сторін A_iB_i та C_iD_i . Це дозволяє отримати систему рівнянь, що визначають координати кожної ланки. При такому алгоритмі вираховуються координати середин відрізків C_iD_i та розв'язується система з трьох рівнянь (1), що тривіально спрощується до системи з двох рівнянь (2), для ланки, що співпадає з віссю OX , та за допомогою повороту системи координат на 120° аналогічно для решти ланок.

$$\begin{cases} x_{Pi}^2 + y_{Pi}^2 + z_{Pi}^2 = h_i^2 \\ (x_{Pi} - l_i)_i^2 + (y_{Pi} - m_i)_i^2 + (z_{Pi} - n_i)_i^2 = c_i^2 \\ y_{Pi} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Система (1) розв'язується в системах координат, пов'язаних з точками O_i , при цьому (l_i, m_i, n_i) – координати середин відрізків C_iD_i , h_i – відстані від точок O_i до середин відрізків A_iB_i .

$$\begin{cases} x_{Pi}^2 + z_{Pi}^2 = h_{Pi}^2 \\ (x_{Pi} - l_i)_i^2 + (z_{Pi} - n_i)_i^2 = c_i^2 \end{cases} \quad (2)$$

Тоді остаточно кут повороту Θ вихідного валу приводу визначається за формулою (3).

$$\theta(x_P, z_P) = \begin{cases} -\arccos\left(\frac{x_P}{\sqrt{x_P^2 + z_P^2}}\right), & z_P < 0 \\ \arccos\left(\frac{x_P}{\sqrt{x_P^2 + z_P^2}}\right), & z_P \geq 0. \end{cases} \quad (3)$$

При цьому апроксимація вносить похибку в розрахунки, оскільки чотирикутник $A_iB_iC_iD_i$ є просторовою стрижневою системою, а відстань між серединами протилежних сторін не є постійною величиною. Значення похибки (рис.3) може бути враховано за рівняннями (4).

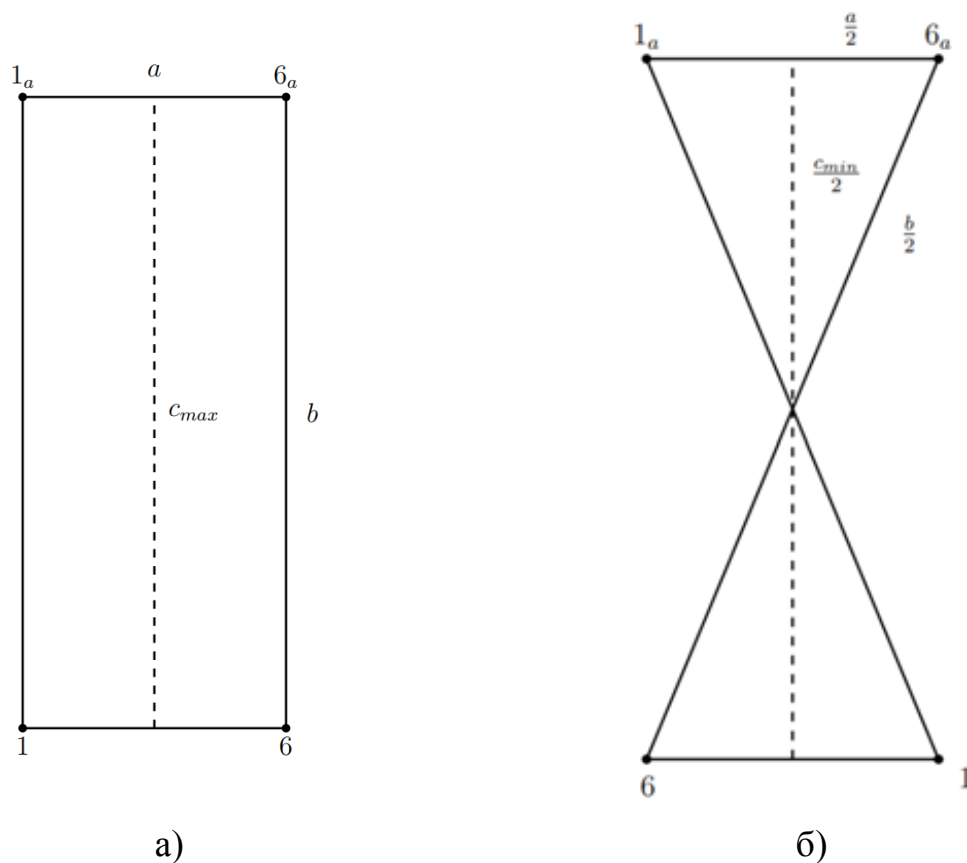


Рис. 3. Визначення значень похибки при апроксимації для c_i :
 а) – крайнє положення, що відповідає максимальному значенню c_i ;
 б) – крайнє положення, що відповідає мінімальному значенню c_i

На довжині $b = 314$ мм та ширині $a = 64$ мм чотирикутної ланки розрахункова похибка довжини умовної ланки без врахування робочої області, виходячи з рівняння (4) дорівнює 14 мм, $\Delta_{\max} = 0,045 \cdot b$.

$$\begin{cases} c_{\min} = \sqrt{b^2 - a^2} \\ c_{\max} = b \end{cases} \quad (4)$$

Ця величина була перевірена на прототипі даного робота. Найбільше значення похибки для робочої області, отримане в експерименті дорівнює 11 мм, тобто $\Delta_{\max} = 0,035 \cdot b$.

Проте, враховуючи значне спрощення алгоритму знаходження абсолютного положення рухомого органа відносно узагальнених координат, використання цього методу розрахунку є доцільним. При цьому для зменшення похибки можна зберігати реальні значення довжини умовної ланки для певної

кількості положень. Це дозволить підвищити точність апроксимації до необхідного рівня.

Висновки:

1. Представлено метод розрахунку оберненої кінематики дельта-робота з поворотною платформою, що полягає в апроксимації змінної довжини ланки і дозволяє значно спростити розрахунки.

2. Встановлено, що значення похибки при апроксимації складає менше 5%, що для кінематичного аналізу є задовільним, але не з огляду оцінки точності позиціонування.

3. Запропоновано метод для зменшення похибки, викликані апроксимацією, що робить доцільним використання цього методу розрахунку.

Список використаних джерел

1. Briot S. Are parallel robots more accurate than serial robots? / Briot, S. and Bonev, I.A., - Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering, Vol. 31, No. 4, 2007.

2. Delta Parallel Robot — the Story of Success. By Ilan Bonev. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.parallemic.org/Reviews/Review002.html>.

3. Пат. US 4976582 A. Device for the movement and positioning of an element in space / Reymond Clavel. - US 07/403,987; заявл. 6.09.1989; опублік. 11.12.1990.

4. Крижанівський В.А., Кузнєцов Ю.М., Валявський І.А., Склярів Р.А. Технологічне обладнання з паралельною кінематикою: Навчальний посібник для ВНЗ./Під ред. Ю.М. Кузнєцова. – Кіровоград, 2004. – 499с. ISBN 966-7822-76-1.