

## ТОЧНІСТЬ ВЕРСТАТІВ ІЗ ПЛОСКИМИ МЕХАНІЗМАМИ ПАРАЛЕЛЬНОЇ СТРУКТУРИ

*С.М. Зайка, аспірант:*

*А.М. Кириченко, канд. техн. наук, доцент,*

*Кіровоградський національний технічний університет, м. Кіровоград*

Серед технологічного обладнання (ТО) з паралельною кінематикою значне поширення набули верстати з комбінованою кінематичною структурою, в яких механізм паралельної структури поєднується з одною або кількома звичайними осями координат, що дозволяє об'єднати переваги та компенсувати недоліки верстатів з традиційною й паралельною кінематикою.

Це дає змогу задовольняти такі вимоги, як:

- висока гнучкість виробництва;
- низька матеріаломісткість;
- надвисокі швидкості допоміжних рухів;
- високі динамічні характеристики.

До традиційних для застосування подібних верстатів галузей машинобудування: авіакосмічної промисловості, виробництва інструментів, прес-форм і штампів - останнім часом приєдналася і деревообробна промисловість, де паралельна кінематика дозволяє ефективно вирішувати завдання подальшого підвищення продуктивності обробки [1].

Закордонними фірмами розробляються трикоординатні верстати з плоскими механізмами паралельної структури (МПС), такими як: „лямбда”, „біглайд” та „v-,w-подібні”, які потенційно дуже перспективні, але поки що не набули великого поширення, оскільки недостатньо досліджені і мають недостатньо раціональні конструкції.

З проведеного аналізу можливості використання існуючих плоских МПС для створення комбінованого обладнання випливає, що використання таких (МПС), як „лямбда” та „біглайд” дає ряд переваг, серед яких – відносно проста конструкція і в той же час високі технічні характеристики за рахунок високої жорсткості та можливості одержання робочої зони необмеженої довжини.

Але оскільки „лямбда” має певні конструктивні переваги в порівнянні з „біглайд”, такі як: менша кількість напрямних, вільний доступ до робочої зони тощо, то основою для розроблення і дослідження верстата обрано саме «лямбда».

Питанням аналізу структури та кінематики верстатів на основі плоских МПС присвячені численні праці [2, 3], якими встановлені методи одержання прямих та обернених кінематичних залежностей, досліджено особливі положення та динамічні характеристики.

Однак важливим моментом при дослідженні механізмів паралельної структури поряд із вищепереліченими є питання точності. Точність – один із найважливіших показників якості технологічного обладнання, що суттєво впливає на всі критерії працездатності їхніх механізмів, а відповідно і на вихідні показники обладнання: швидкохідність, енерговитрати, матеріаломісткість, надійність, довговічність. Точність технологічного обладнання вирішальною мірою визначає точність виробів. Розвиток техніки тісно пов'язаний з безперервним підвищенням вимог до точності верстатів, включаючи її збереження під навантаженням і в часі [4].

Для проведення досліджень механізму „лямбда” розроблено узагальнену схему (рис. 1), яка відрізняється від звичайної можливістю не лише регулювання довжинами конструктивних елементів, а й дає змогу визначити оптимальне положення шарнірних з'єднань.

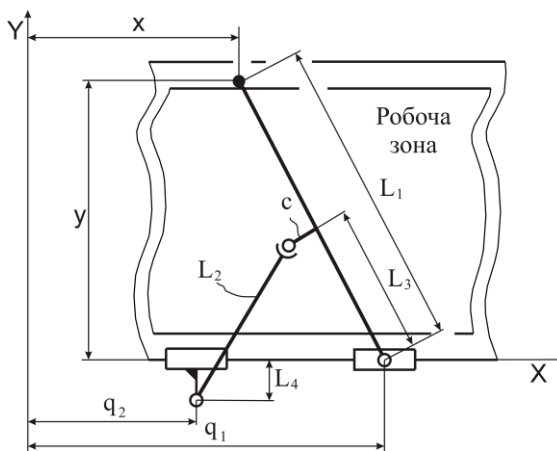


Рисунок 1 – Узагальнена схема механізму „лямбда”

Згідно з узагальненою схемою МПС „лямбда” розв'язано пряму задачу кінематики (1) і (2), яка є досить складною, оскільки для переміщення робочого органа по осях координат необхідний одночасний узгоджений рух кількох приводів. Проте саме розв'язання прямої задачі кінематики дає змогу перейти до визначення точності – одного з найважливіших показників якості верстатів, що суттєво впливає на всі вихідні характеристики.

$$x = q_1 - \left[ L_1^2 - L_1^2 \cdot \cos \left( \arccos \left( \frac{\left( \sqrt{L_3^2 + c^2} \right)^2 + \left( \frac{L_2^2 - \left( \sqrt{L_3^2 + c^2} \right)^2 - \left( \sqrt{(q_1 - q_2)^2 + L_4^2} \right)^2}{2 \cdot \sqrt{(q_1 - q_2)^2 + L_4^2}} \right)^2}{\sqrt{L_3^2 + c^2}} \right) + \arctg \left( \frac{L_4}{q_1 - q_2} \right) + \arctg \left( \frac{c}{L_3} \right) \right] \right]^2, \quad (1)$$

$$y = L_1^2 \cdot \cos \left( \arccos \left( \frac{\left( \sqrt{L_3^2 + c^2} \right)^2 + \left( \frac{L_2^2 - \left( \sqrt{L_3^2 + c^2} \right)^2 - \left( \sqrt{(q_1 - q_2)^2 + L_4^2} \right)^2}{2 \cdot \sqrt{(q_1 - q_2)^2 + L_4^2}} \right)^2}{\sqrt{L_3^2 + c^2}} \right) + \arctg \left( \frac{L_4}{q_1 - q_2} \right) + \arctg \left( \frac{c}{L_3} \right) \right) \right], \quad (2)$$

де  $q_1$  та  $q_2$  – величини переміщень приводів;  $L_1, L_2, L_3, L_4$  та  $c$  – довжини ланок механізму та відстані розташування шарнірів.

Відомо, що точність відпрацювання координатних переміщень верстатів визначається точністю позиціонування їх приводів. Тобто для визначення точності верстата на основі МПС необхідно знати точність приводів його ланок і визначити її вплив на точність позиціонування робочого органа [5].

Перед дослідженням точності необхідно здійснити візуалізацію передачі похибки від приводів до виконавчого органа (рис. 2).

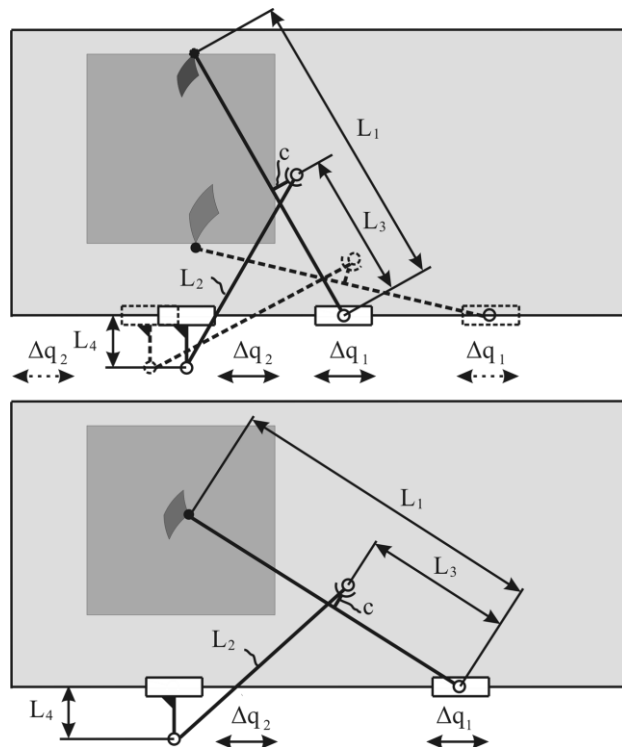


Рисунок 2 – Передача похибки від приводів до виконавчого органа

Розглянемо вплив точності приводів на точність верстата з плоским МПС „лямбда”. Нехай при заданих розмірах робочої зони 200×250 мм переміщення приводів дорівнюють малій величині  $\delta$ . Тоді переміщення робочого органа по осі X буде дорівнювати

$$\Delta x = \left( \frac{dx}{dq_1} \pm \frac{dx}{dq_2} \right) \delta. \quad (3)$$

Оскільки робоча зона по довжині X нескінченна, то цікавість викликає в першу чергу розподіл точності по координаті Y:

$$\Delta y = \left( \frac{dy}{dq_1} \pm \frac{dy}{dq_2} \right) \delta, \quad (4)$$

де знак „+” відповідає одному напрямку переміщень приводів, а різноспрямованим переміщенням відповідає знак „-”;

$\frac{dx}{dq_1}$ ,  $\frac{dx}{dq_2}$ ,  $\frac{dy}{dq_1}$ ,  $\frac{dy}{dq_2}$  – похідні від переміщень робочого органа по осі X та Y відповідно.

Тоді результуюча похибка положення робочого органа дорівнює

$$\Delta = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}. \quad (5)$$

Звідси результуюча похибка дорівнюватиме

$$\Delta = \delta \sqrt{\left( \frac{dx}{dq_1} \pm \frac{dx}{dq_2} \right)^2 + \left( \frac{dy}{dq_1} \pm \frac{dy}{dq_2} \right)^2}. \quad (6)$$

Підставивши розраховані значення у формули (3), (4) та провівши відповідні розрахунки, отримуємо залежності величини компонентів похибки  $\Delta x$  та  $\Delta y$  від переміщення робочого органа по осі Y, за результатами яких будемо графік (рис. 3).

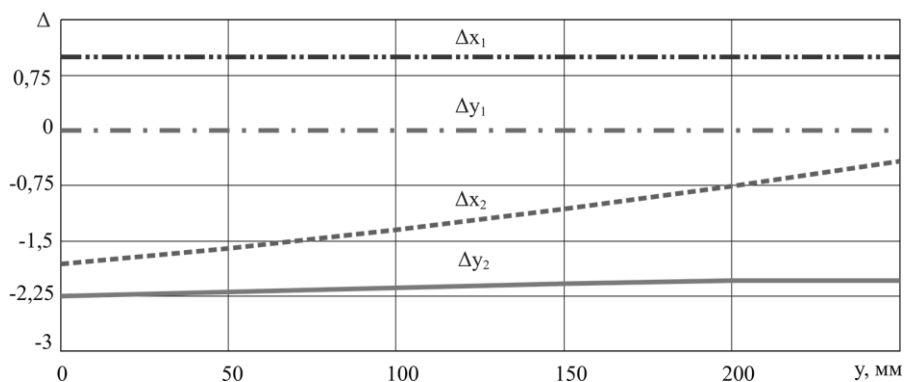


Рисунок 3 – Графік залежності компонентів похибки від зміни положення виконавчого органа по координаті Y

При розгляді впливу точності приводів на точність верстата на основі плоского МПС „лямбда” встановлено, що при переміщенні приводів в одному напрямку  $\Delta x_1$  та  $\Delta y_1$  похибка буде визначатися величиною переміщення, причому в напрямку X вона дорівнюватиме заданій величині переміщення приводів, тобто  $\delta$ , а в напрямку Y буде нульовою. При різноспрямованому переміщенні приводів  $\Delta x_2$  та  $\Delta y_2$  похибка в напрямку X на ближній межі робочої зони буде перевищувати похибку переміщення приводів майже вдвічі, а на дальній межі – зменшиться до  $0,5 \delta$ . В напрямку Y похибка на ближній межі робочої зони становить  $2,25 \delta$ , а на дальній зменшується приблизно до  $2 \delta$ .

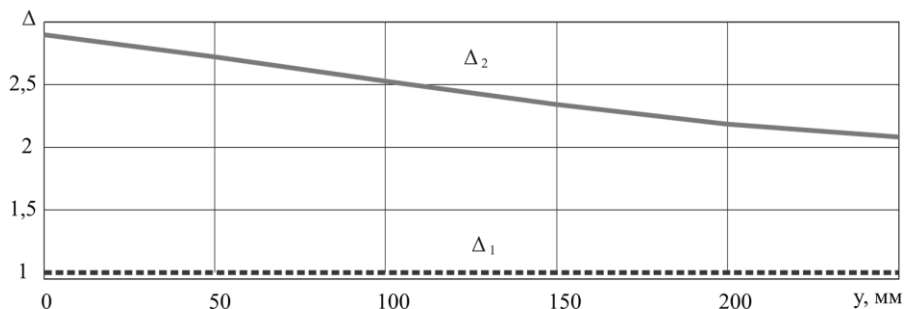


Рисунок 4 – Графік залежності результуючої похибки від зміни положення виконавчого органа по координаті Y

Після розрахунків згідно з формулою (6) отримано залежності результуючої похибки від зміни положення виконавчого органа по координаті Y та побудовано графік (рис. 4).

З графіка видно, що результуюча похибка в напрямку X стала і дорівнює похибці привода, а в напрямку Y перевищує похибку приводів у 2,8; 2,4; 2,1 рази на ближній межі, в центрі та на дальній межі робочої зони відповідно.

Таким чином, постає питання оптимізації змінних конструктивних параметрів плоского механізму паралельної структури „лямбда” для одержання максимально можливої точності позиціонування виконавчого органа верстата без зменшення робочої зони.

Дана методика визначення точності може бути застосована і для інших плоских механізмів паралельної структури, які використовуються як база для проектування і виготовлення верстатів.

## SUMMARY

*Influence of exactness of positioning of drives is considered on exactness of positioning of working organ of machine-tool with the flat mechanism of parallel structure "lambda".*

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Потапов В.А. Станки с параллельной кинематикой – это другие станки. Третий семинар по параллельной кинематике [<http://www.stankoinform.ru/articlefirst.htm>]: Станки, современные технологии и инструмент для металлообработки. Информационно-аналитический сайт по материалам зарубежной печати.
2. Kuhfuss В. Transformation of Tracking Error in Parallel Kinematic Machining / В. Kuhfuss, G. Goch // Vom Fachbereich Produktionstechnik der Universität Bremen. – Tag der mündlichen Prüfung: 28. November 2008.
3. Кириченко А.М. Дослідження кінематики трикоординатного верстата з комбінованою структурою / А.М. Кириченко, С.М. Заїка, Л.В. Ленченко // Зб. наук. праць КНТУ: техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград, 2008. – № 20. – С. 118-124.
4. Решетов Д.Н. Точность металлорежущих станков // Д.Н. Решетов, В.Т. Портман. – М.: Машиностроение, 1986. – 336 с., ил.
5. Підвищення точності верстатів з двокоординатними механізмами паралельної структури / тези VII Міжнародної науково-технічної конференції АС ПГП. - Кременчук, 2008. - С. 63.