

УДК 62-231:621.9.04

А.М. Кириченко, д-р техн. наук

О.В. Шелепко, здобувач

Кіровоградський національний технічний університет, м. Кіровоград, Україна

С.П. Сапон, ст. викладач

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

КІНЕМАТИКА П'ЯТИКООРДИНАТНОГО ВЕРСТАТА З ПАРАЛЕЛЬНОЮ СТРУКТУРОЮ

А.Н. Кириченко, д-р техн. наук

О.В. Шелепко, соискатель

Кировоградский национальный технический университет, г. Кировоград, Украина

С.П. Сапон, ст. преподаватель

Черниговский государственный технологический университет, г. Чернигов, Украина

КИНЕМАТИКА ПЯТИКООРДИНАТНОГО СТАНКА С ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРОЙ

A.M. Kyrychenko, Doctor of Technical Sciences

O.V. Shelepko, applicant

Kirovohrad National Technical University, Kirovohrad, Ukraine

S.P. Sapon, senior teacher

Chernihiv State Technological University, Chernihiv, Ukraine

KINEMATICS OF FIVE-AXIS PARALLEL MANIPULATOR

Проведено аналіз кінематичних залежностей верстата з механізмом паралельної структури «пентапод». Запропоновано аналітичний метод розв'язання зворотної задачі кінематики, визначено діапазони переміщення штанг при заданій траєкторії руху робочого органа. Побудовано алгоритм чисельного розв'язку прямої задачі кінематики, з використанням якого визначено просторове переміщення робочого органа при зміні довжини штанг.

Ключові слова: паралельна кінематика, пентапод, робочий орган, штанга змінної довжини.

Проведен анализ кинематических зависимостей станка с механизмом параллельной структуры «пентапод». Предложен аналитический метод решения обратной задачи кинематики, определены диапазоны перемещения штанг при заданной траектории движения рабочего органа. Построен алгоритм численного решения прямой задачи кинематики, с использованием которого определено пространственное перемещение рабочего органа при изменении длины штанг.

Ключевые слова: параллельная кинематика, пентапод, рабочий орган, штанга переменной длины.

The inverse kinematic problem of parallel manipulator "pentapod" is investigated. An analytical solution is given for the inverse kinematics, the range of joints movement is defined for a given trajectory of the end effector. An algorithm is given for the numerical solution of forward kinematics, which is used to find the spatial movement of the end effector when changing the links length.

Key words: parallel kinematics, pentapod, end effector, variable length link.

Постановка проблеми. На сьогодні в машинобудуванні збільшився попит на використання верстатів паралельної структури, оскільки у порівнянні з традиційними верстатами вони характеризуються високими швидкостями та прискореннями робочого органа внаслідок малих рухомих мас, високою жорсткістю завдяки просторовій конструкції, елементи якої сприймають лише осьове навантаження, гнучкістю та універсальністю використання.

Серед багатокординатних верстатів з паралельною структурою широкого розповсюдження набули верстати-гексаподи, які мають шість штанг змінної довжини [1]. Останнім часом значний інтерес представляють механізми з п'ятьма штангами змінної довжини, наприклад, «пентапод» [2; 3], на основі якого побудовані верстат METROM PM 1400 [4] (рис. 1). Вони забезпечують оброблення по п'яти координатам, робочий орган механізму може забезпечувати великі кути повороту відносно вертикальної і горизонтальної осі – до 90°, тоді як гексапод – до 30°.

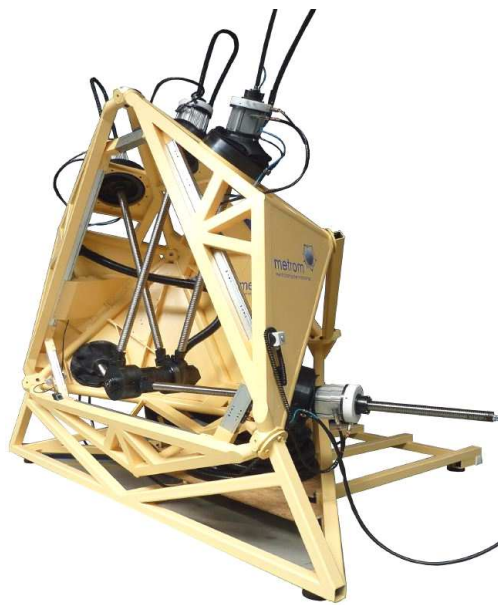


Рис. 1. Мобільний фрезерний верстат Metrom PM 1400 (Німеччина)

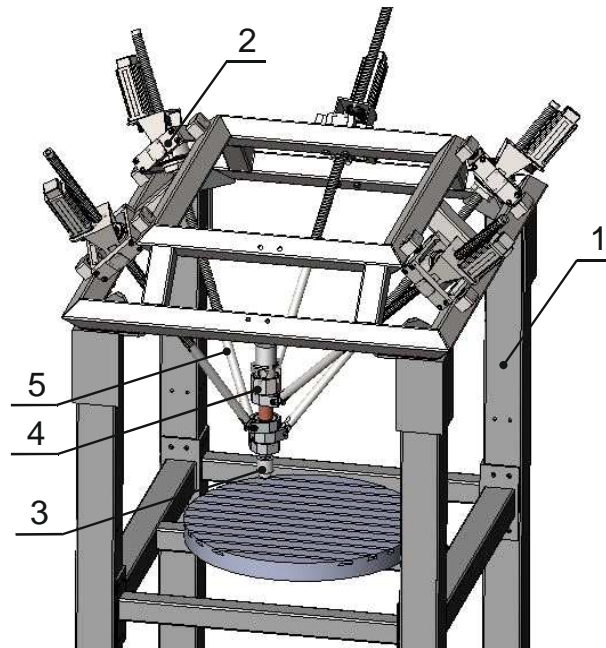


Рис. 2. Модель дослідного зразка верстата з механізмом «пентапод»: 1 – основа; 2 – шарнірні опори; 3 – робочий орган; 4 – шарнірні опори; 5 – штанги

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Незважаючи на переваги «пентапода» над верстатами-гексаподами, у вітчизняній літературі їх дослідження відсутні. У світових дослідженнях кінематики механізму «пентапод» [5], автори визначають довжину ланок за допомогою розв'язку двох квадратних рівнянь з врахуванням додаткових обмежень для вибору правильного рішення з кількох варіантів, що викликає зайві обчислювальні витрати і може призводити до похибок.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Пошук простого аналітичного рішення зворотної та прямої кінематичних залежностей, визначення діапазонів зміни координат приводів при виконанні робочим органом заданих просторових траєкторій.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є розв'язання прямої та зворотної задач кінематики та аналіз кінематичних залежностей верстата з механізмом паралельної структури «пентапод».

Виклад основного матеріалу. Модель дослідного зразка п'ятикоординатного верстата на основі просторового механізму паралельної структури «пентапод» зображена на рис. 2. Верстат складається з основи 1, на якій розміщено п'ять карданних підвісів 2, зі штангами змінної довжини 5. Іншим кінцем кожна штанга прикріплена до робочого органу 3 через шарніри 4 таким чином, що вісь кожної штанги проходить через вісь робочого органу.

Розрахункова схема механізму «пентапод» зображена на рис. 3, а. З основою механізму пов'язана абсолютна система координат з початком координат у точці O , а з робочим органом – відносна рухома система координат з початком у точці O' .

Центри шарнірів основи розміщені в точках A_i , центри шарнірів рухомої платформи (робочого органу) – в точках B_i . Довжина штанг позначається l_i . Радіус-вектори точок A_i в абсолютній системі координат основи дорівнюють $\mathbf{ra}_i = (x_{a_i}, y_{a_i}, z_{a_i})$, радіус-вектори точок B_{0i} у системі координат робочого органу дорівнюють $\mathbf{rb}_{0i} = (0, 0, z_{b_{0i}})$, радіус-вектори точок B_i у відносній системі координат робочого органу дорівнюють $\mathbf{rb}'_i = (x_{b'_i}, y_{b'_i}, z_{b'_i})$, радіус-вектор початку координат робочого органу в системі координат основи $\mathbf{r0} = (x_0, y_0, z_0)$ (рис. 3, а).

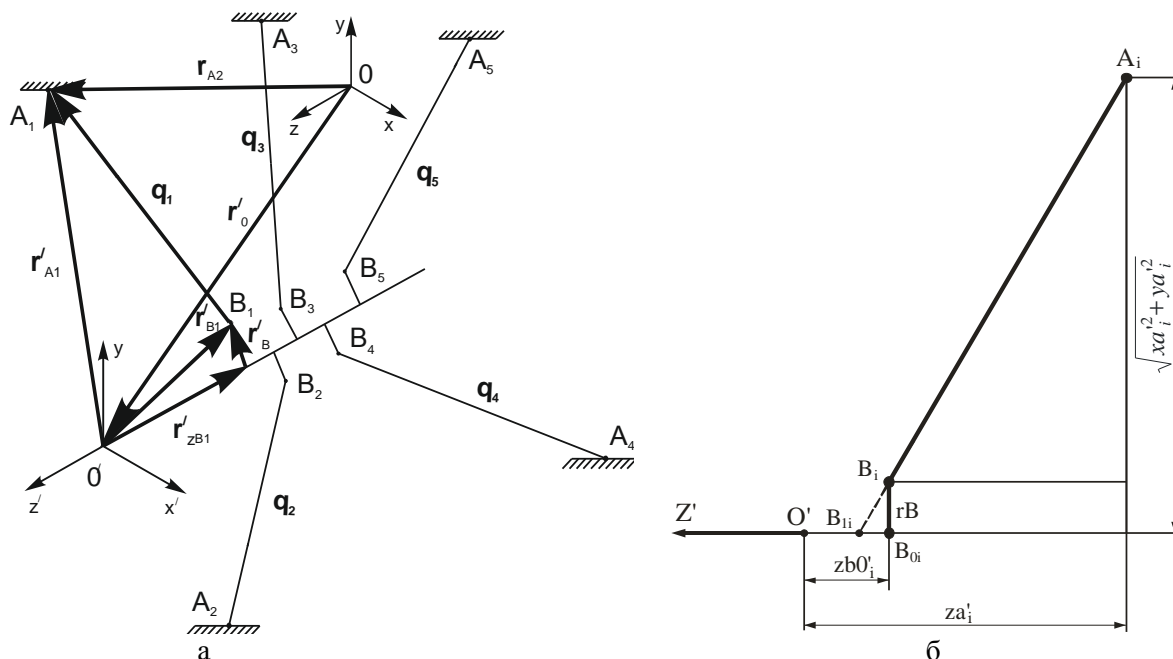


Рис. 3. Розрахункові схеми механізму «пентапод»: а – загальна; б – визначення довжини ланки

Координати шарнірів основи A_i у системі координат робочого органа можна визначити з векторного рівняння [6]

$$\mathbf{ra}'_i = R^{-1}(\mathbf{ra}_i - \mathbf{r0}), \tag{1}$$

де \mathbf{ra}_i і \mathbf{ra}'_i – радіус-вектори центра шарніра основи в системі координат основи та робочого органа відповідно; R – матриця повороту системи координат робочого органа відносно системи координат основи (матриця напрямних косинусів).

Знаючи координати точок A_i та B_{0i} в системі координат робочого органа, відповідно до схеми (рис. 3, б) можна визначити довжину штанги A_iB_i таким чином:

$$q_i = \sqrt{(\sqrt{x_{Ai}^2 + y_{Ai}^2} - r)^2 + (z_{Ai} - z_{Bi})^2}. \tag{2}$$

Кінематичні залежності механізму проаналізовані при заданій траєкторії руху робочого органа у вигляді кола, діаметром 400 мм (рис. 4, а) та лінійного переміщення (рис. 4, б), у площині XOZ.

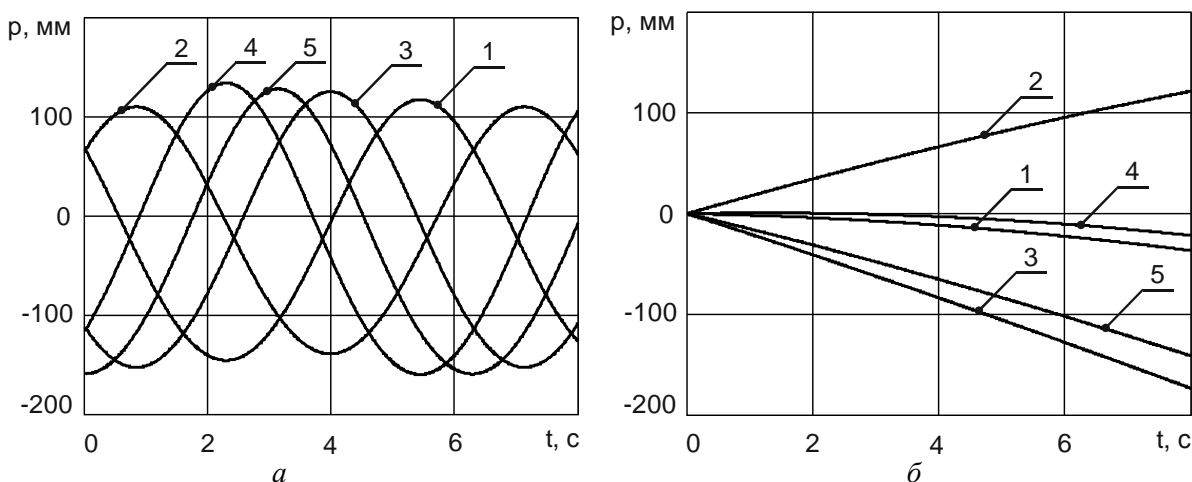


Рис. 4. Графіки залежності переміщення штанг при русі по заданій траєкторії: а – переміщення по колу; б – лінійне переміщення по осі X; 1-5 – номери ланок

З графіків видно, що у механізмі з паралельною структурою «пентапод» при переміщенні робочого органа по колу найменший діапазон зміни довжини спостерігається у штанги 2, а найбільший у штанги 4, різниця переміщень штанг механізму невелика. При лінійній траєкторії руху найменше переміщення зазнають штанги 1, 4, а найбільші значення переміщення у штанги 3, 5.

Для знаходження положення робочого органа чисельним методом [2] при відомій довжині ланок слід використовувати алгоритм розрахунку (рис. 5).

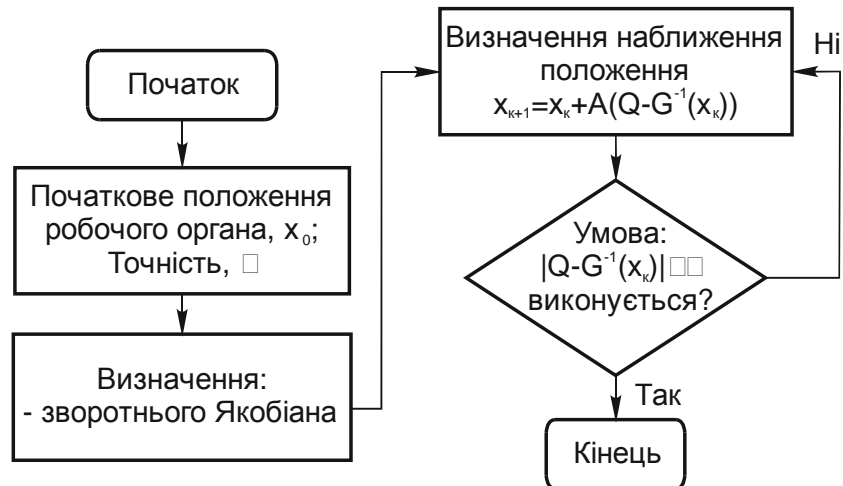


Рис. 5. Алгоритм розрахунку прямої кінематики

Розглянуті прямі кінематичні залежності зміни переміщення робочого органа при переміщенні однієї зі штанг при незмінній довжині інших чотирьох (рис. 6).

З графіка (рис. 6, а) видно, що найбільше переміщення робочого органа механізму при переміщенні першої штанги спостерігається по осям X та Z, зміна кутів нахилу робочого органа незначна. З графіка (рис. 6, б) можна спостерігати, що найбільше переміщення по осі X відбувається при зміні довжини 1-ї та 2-ї штанг.

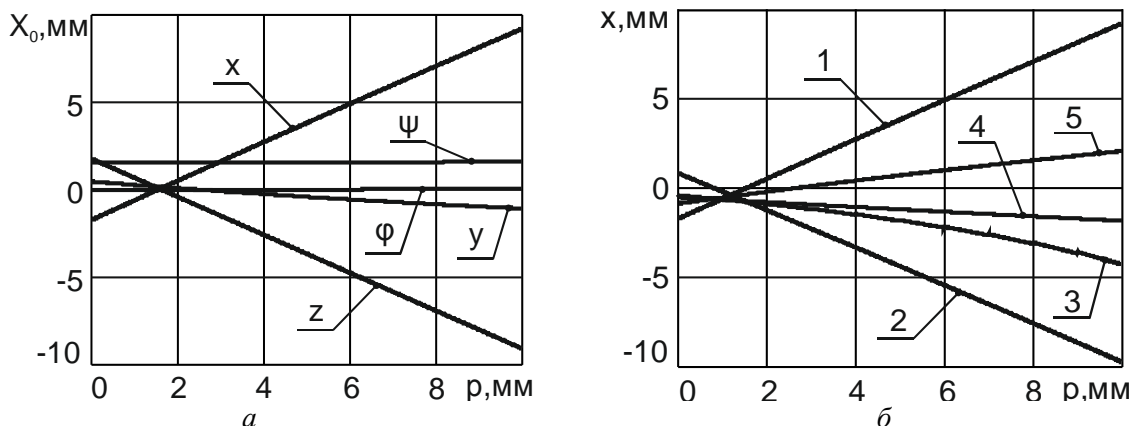


Рис. 6. Переміщення робочого органа: а – при переміщенні першої штанги; б – по осі X при почерговому переміщенні кожної штанги

Висновки і пропозиції:

1. Вперше отримано однозначний аналітичний розв’язок зворотних кінематичних залежностей, необхідних для управління приводами верстата з механізмом «пентапод», з використанням яких визначено діапазони переміщення штанг при заданій траєкторії руху робочого органа в часі.

2. Побудовано алгоритм чисельного розв’язку прямої кінематичної залежності, реалізація якого дозволила визначити просторове переміщення робочого органа при зміні довжини штанг.

3. Отримані результати дозволили окреслити напрямки подальших досліджень, зокрема визначення точності позиціонування робочого органа верстата з механізмом «пентапод».

Список використаних джерел

1. *Технологічне* обладнання з паралельною кінематикою: навчальний посібник для ВНЗ / В. А. Крижанівський, Ю. М. Кузнецов, І. А. Валявський, Р. А. Склярів ; за ред. Ю. М. Кузнецова. – Кіровоград, 2004. – 450 с.
2. *Merlet J.-P.* Parallel Robots. – Springer-Verlag New York Inc., 2006. – 394 p.
3. *Пат.* № 3295224 США. МПК B25J17/02, B23Q1/25, B23Q1/54. Device for the displacement and or positioning of an object in five axes / R. Neugebauer, C. Schwaar, M. Schwaar. – № US 10/836594; заявл. 30.04.2004; опубл. 12.09.2006. – 15 с.
4. *Metrom mechatronische maschinen* [Electronic resource] // Офіційний сайт виробника. – Access mode : www.metrom.com.
5. *Bär G. F.* Kinematic Analysis of a Pentapod Robot / Gert F. Bär, Gunter Weiß // Journal for Geometry and Graphics 10 (2006). – No. 2. – P. 173-182.
6. *Струтинський В. Б.* Теоретичний аналіз жорсткості шестикоординатного механізму паралельної структури / В. Б. Струтинський, А. М. Кириченко // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія «Машинобудування». – 2009. – № 57. – С. 198-207.