

УДК 621.7

І. Мілай, магістрант

О. Скібінський, канд. техн. наук, доцент

А. Заїка, аспірант

Центральноукраїнський національний технічний університет

РОЗРОБКА ВЕРСТАТА ПАРАЛЕЛЬНОЇ СТРУКТУРИ З ЛАНКАМИ ПОСТІЙНОЇ ДОВЖИНИ

У статті розглянуто основні схеми механізмів з паралельною кінематичною структурою, проаналізовано можливість їх використання у верстатному обладнанні з трьома координатними переміщеннями робочого органу. Для досліджень обрано механізм «ортоглайд», який дає змогу забезпечити робочий простір наблизений за формою до куба. Розраховано та проаналізовано зворотні кінематичні залежності механізму обладнання на основі механізмів паралельної структури, «ортоглайд», зворотні кінематичні залежності, особливі положення

Постановка проблеми. Обладнання на основі механізмів паралельної структури відіграють важливу роль в різних галузях техніки, включаючи робототехніку, машинобудування та авіацію. Їх особливість полягає в тому, що кінематика взаємодії рухомих частин визначається в основному паралельним розташуванням зв'язків та шарнірів, що дозволяє досягати високої точності та стійкості в русі.

Основною особливістю паралельних кінематичних структур є використання паралельних зв'язків, що дозволяють керувати рухом кількох частин одночасно. Це сприяє високій швидкості та точності переміщень. [1]

Механізми з паралельною кінематичною структурою мають високий рівень стійкості та жорсткості, що робить їх ефективними в галузях, де потрібна велика точність та мінімальні відхилення від заданих траєкторій.

Порівняно з іншими типами механізмів, паралельні структури часто є меншими та легшими, що робить їх ефективними в областях з обмеженим простором.

Паралельні механізми широко використовуються в промислових роботах, де важлива точність та швидкість рухів. Вони застосовуються у виробництві, зборці, а також у хірургічних роботах.

У виробництві та монтажі складних механізмів, де потрібно багато ступенів вільності та точність позиціонування, паралельні структури можуть забезпечити оптимальні умови для роботи [2].

У системах управління літальними апаратами та дронами, паралельні кінематичні механізми можуть забезпечувати швидке та точне управління.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження та розвиток паралельних кінематичних механізмів продовжуються, як вітчизняними (А. Кириченко, В. Струтинський, Ю. Кузнецов, І. Валявський) так і закордонними (J-P.Merlet, D. Chablat, P. Wenger) вченими, щоб ще більше розширювати можливості використання даних механізмів в різних галузях.

Мета й завдання дослідження. Метою дослідження є розробка та дослідження роботи трьохкоординатного верстата з ланками постійної довжини.

Розглянувши основні схеми механізмів з паралельною кінематичною структурою, проаналізуємо можливість їх використання у верстатному обладнанні з трьома координатними переміщеннями робочого органу.

Очевидно, що для трьохкоординатної обробки можна застосувати трьохкоординатні механізми («трипод», «тріаглайд», «дельта»).

Схеми типу «трипода» та «тріаглайда» вимагають додаткового застосування механізму орієнтації осі робочого органу [3]

Механізм «ортоглайд» дає змогу забезпечити робочий простір наблизений за формою до куба, що безумовно є ще однією перевагою в порівнянні з іншими трьохкоординатними механізмами паралельної структури [4].

Об'єктом дослідження є механізм паралельної структури з ланками постійної довжини «ортоглайд».

Предметом дослідження є залежність положення приводів від положення виконавчого органа верстата на основі механізму «ортоглайд».

Виклад основного матеріалу. Розроблена тривимірна модель трьохкоординатного верстата паралельної структури з ланками постійної довжини зображена на рисунку 1.

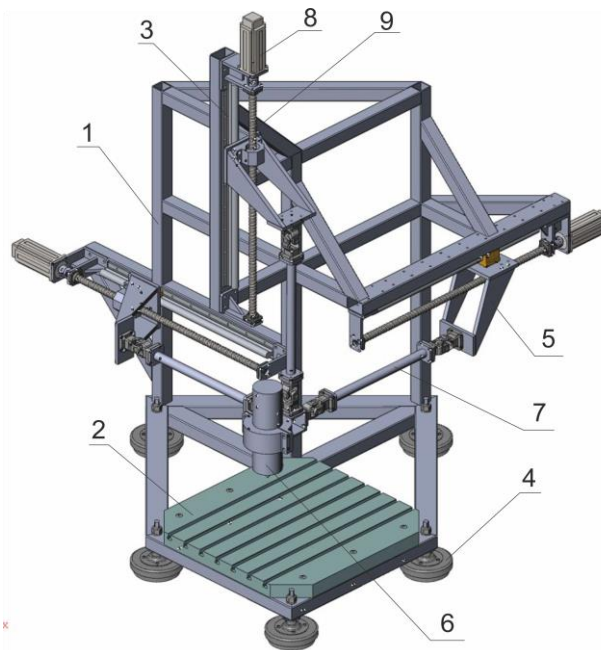


Рисунок 1 – Модель трьохкоординатного верстата паралельної структури з ланками постійної довжини

Верстат містить основу, яка складається зі зварної рами 1, розміщеного на ній столу 2, напрямних рейок 3 та віброопор 4. Напрямні рейки встановлені на раму ортогонально, тобто взаємоперпендикулярно. По напрямним рухаються повзуни 5, які шарнірно зв'язані зі шпиндельним вузлом 6 за допомогою штанг постійної довжини 7.

Працює верстат наступним чином. Заготовка, що оброблюється, встановлюється і закріплюється на столі 2. Потім вмикаються приводи, які забезпечують шпиндельному вузлу 6 рухи формоутворення. Починається процес обробки.

Регульовані електродвигуни 8 за допомогою кулько-гвинтових передач 9 надають повзунам 5 взаємоузгоджені переміщення вздовж осей X, Y та Z по напрямним кочення 3. Шарнірне з'єднання повзунів 5 за допомогою штанг постійної довжини 7 зі шпиндельним вузлом 6 дає можливість останньому переміщуватись над столом 2 по координатам X, Y та Z.

Таким чином, конструкція розробленого верстата на основі механізму паралельної структури «ортоглайд» вирішує задачу зменшення інерційності рухомих елементів та матеріаломісткості в цілому.

Кінематика ортоглайда показана на рисунку 2. Це складові трьох ідентичних кінематичних ланцюгів, які формально описуються як PRPaR, де P, R і Pa означають призматичний, повторно витий, і шарніри паралелограма відповідно. Є три приводи, які приводять в дію ортогональні призматичні шарніри. Тіло (з інструментом) з'єднується з призматичними шарнірами через набір трьох кінематичних ланцюгів. Усередині кожного

ланцюга, один паралелограм використаний і орієнтований так, що тіло обмежене лише до перевідних переміщень. Аранжування шарнірів в ланцюгах PRPaR було визначене, щоб виключити будь-яку реакцію зв'язку в Декартовій робочій області. [4]

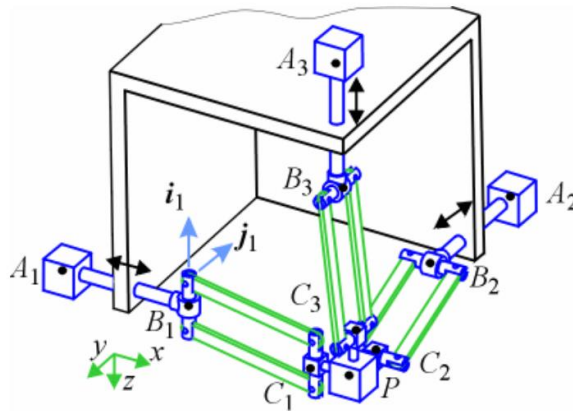


Рисунок 2 – Розрахункова схема ортоглайда.

Щоб отримати кінематичні вирівнювання ортоглайда, розміщують довідковий корпус в пересіченні призматичних об'єднаних координат і вирівнюють координатну вісь з ними (Рис. 3), дотримуючись правила "правої руки". Позначимо також вхідний вектор призматичних змінних шарнірів як i вектор позиції вихідних відгуків centre пункту інструменту, як $p = (p_x, p_y, p_z)$. Зважаючи на очевидні властивості паралелограмів, геометрична модель ортоглайда може бути представлена в спрощеній формі, яка зв'язується сполучено сферичними шарнірами до центру інструменту в одній стороні і до призматичних шарнірів передачі в іншій стороні. Використовуючи це позначення, кінематичні вирівнювання ковзання можуть бути написані як вказано нижче:

$$\begin{aligned} (p_x - \rho_x)^2 + p_y^2 + p_z^2 &= L^2 \\ p_x^2 + (p_y - \rho_y)^2 + p_z^2 &= L^2 \\ p_x^2 + p_y^2 + (p_z - \rho_z)^2 &= L^2 \end{aligned} \quad (1)$$

де L - довжина паралелограма "Нульова" позиція $p_0 = (0,0,0)$ відповідає змінні шарнірів $= (L, L, L)$, (Рис. 4).

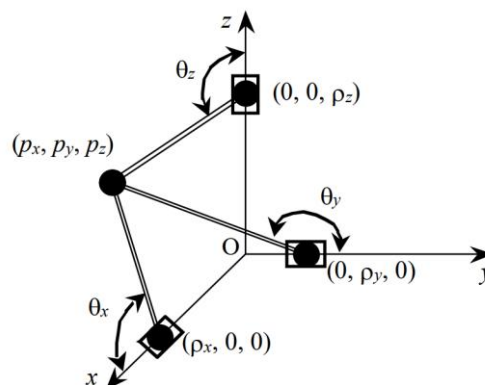


Рисунок 3 – Геометрична модель

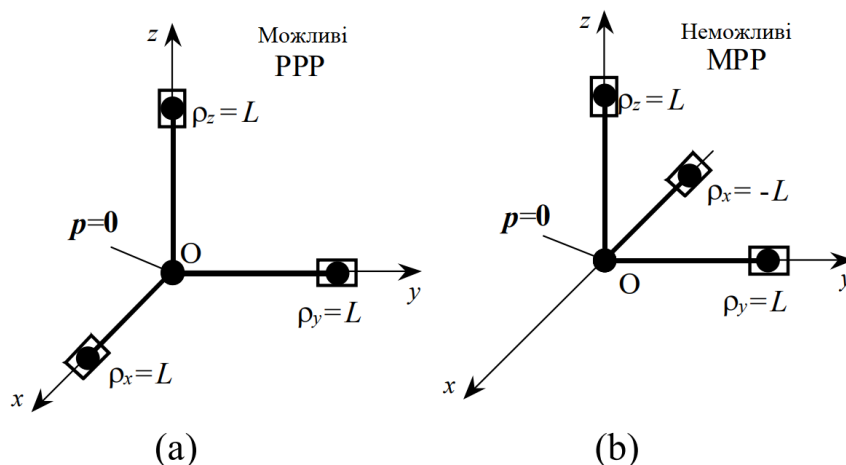


Рисунок 4 – Можливі і неможливі «нульові» конфігурації

Наступні обмеження:

$$0 < \rho_x \leq 2L; 0 < \rho_y \leq 2L; 0 < \rho_z \leq 2L \quad (2)$$

які по суті впливають на форму робочої області. Верхня границя ($p < 2L$) і нижня ($p > 0$).

Для зворотної кінематики, позиція кінцевої точки (ρ_x, ρ_y, ρ_z), мета – знайти об'єднані змінні (ρ_x, ρ_y, ρ_z). Розраховуючи зворотну кінематику є декілька рішень, відповідних тій же локалізації інструменту, рішення мають бути відносно «гілки» алгоритму. Наприклад, якщо мета – досягти послідовності переміщення інструменту по дуговій траєкторії, треба уникати можливих появ нульових конфігурацій рухів маніпулятора. Від геометричної моделі (1) ортоглайда, зворотні кінематичні вирівнювання можуть бути виведені, як:

$$\begin{aligned} \rho_x &= p_x + S_x \sqrt{L^2 - p_y^2 - p_z^2} \\ \rho_y &= p_y + S_y \sqrt{L^2 - p_x^2 - p_z^2} \\ \rho_z &= p_z + S_z \sqrt{L^2 - p_x^2 - p_y^2} \end{aligned} \quad (3)$$

де s_x, s_y, s_z - індекси, які дорівнюють ± 1 . Вісім різних гілок зворотного кінематичного алгоритму, який буде надалі PPP, MPP...MMM, наступний за знаком відповідного коефіцієнта (тобто зображення знаками MPP відповідає індексам: $S_x = -1; S_y = +1; S_z = +1$)

Очевидно, що, якщо зворотне кінематичне рішення існує, то кінцевий результат (ρ_x, ρ_y, ρ_z) належить до об'єму, зв'язаного перетином трьох циліндрів

$$C_L = \left\{ \mathbf{P} \left| p_x^2 + p_y^2 \leq L^2; p_x^2 + p_z^2 \leq L^2; p_y^2 + p_z^2 \leq L^2 \right. \right\} \quad (4)$$

це гарантує позитивні значення під квадратним коренем в (3). Проте, це не достатньо, оскільки нижчі об'єднані межі (2) накладають додаткові обмеження, які скорочують вибір потенційного рішення.

$$\begin{aligned} p_x &> -S_x \sqrt{L^2 - p_y^2 + p_z^2}; \\ p_y &> -S_y \sqrt{L^2 - p_x^2 + p_z^2}; \\ p_x &> -S_x \sqrt{L^2 - p_x^2 + p_y^2}, \end{aligned} \quad (5)$$

Маючи розв'язок зворотних кінематичних залежностей, за допомогою програмного середовища MATLAB, моделюємо роботу приводів верстата згідно схеми (Рис. 3.6), а саме: переміщення приводів P_x, P_y, P_z в залежності від прямолінійного переміщення робочого органу по одній з координат протягом 2 секунд (Рис. 3.6, 3.7, 3.8).

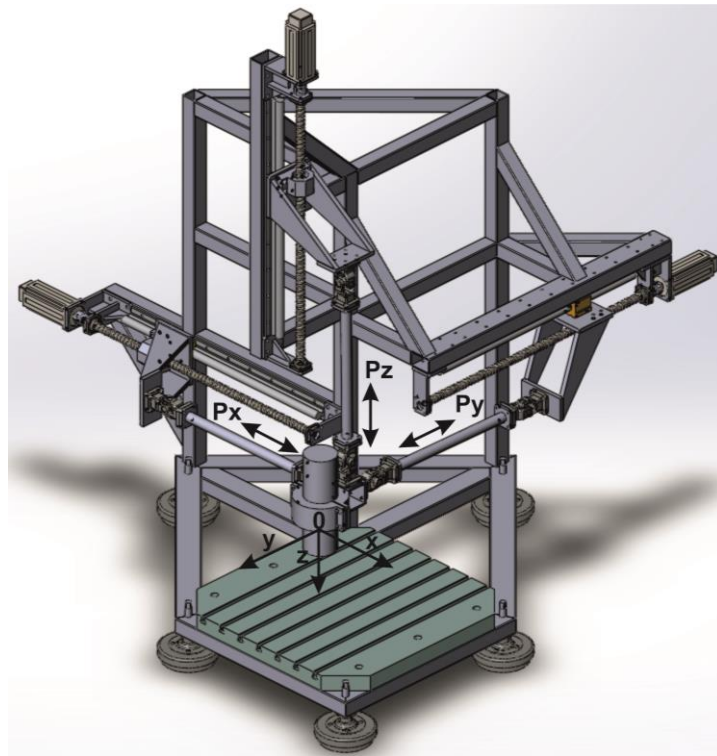


Рисунок 6 – Схема напрямів переміщення робочого органу та приводів верстата

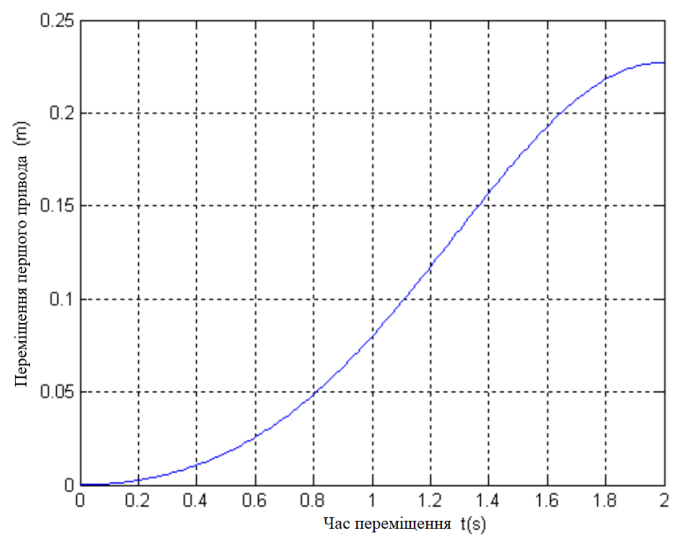


Рисунок 7 – Залежність переміщення першого привода від переміщення робочого органу

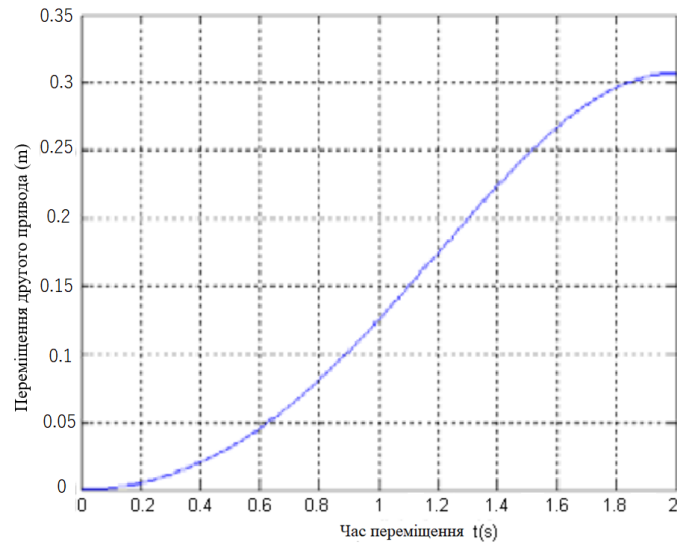


Рисунок 8 – Залежність переміщення другого привода від переміщення робочого органу

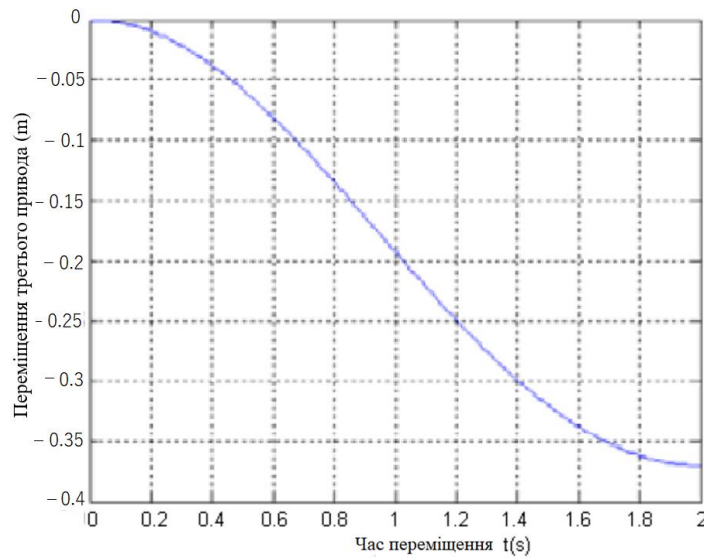


Рисунок 9 – Залежність переміщення третього привода від переміщення робочого органу

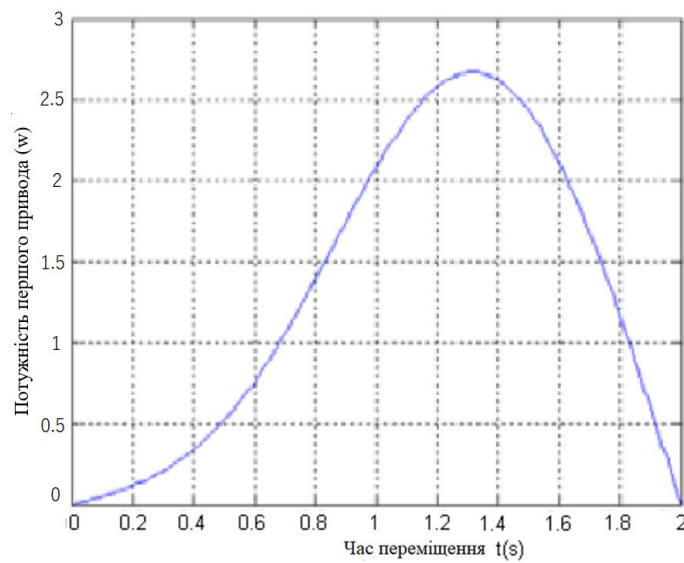


Рисунок 10 – Залежність потужності першого привода від переміщення робочого органу

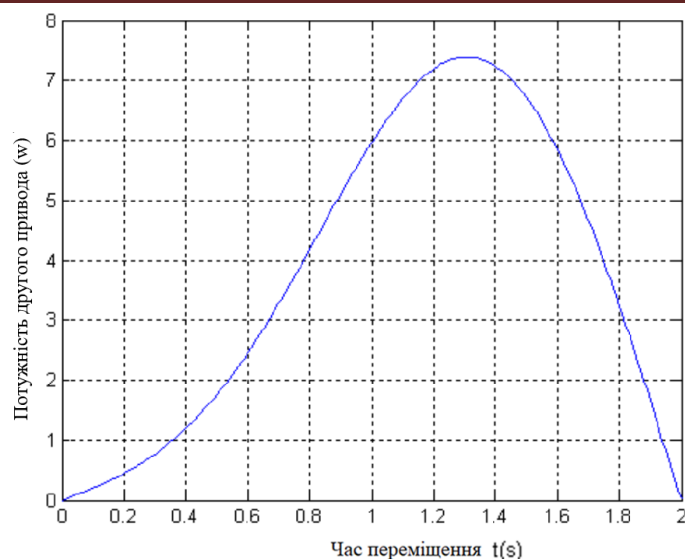


Рисунок 11 – Залежність потужності другого привода від переміщення робочого органу

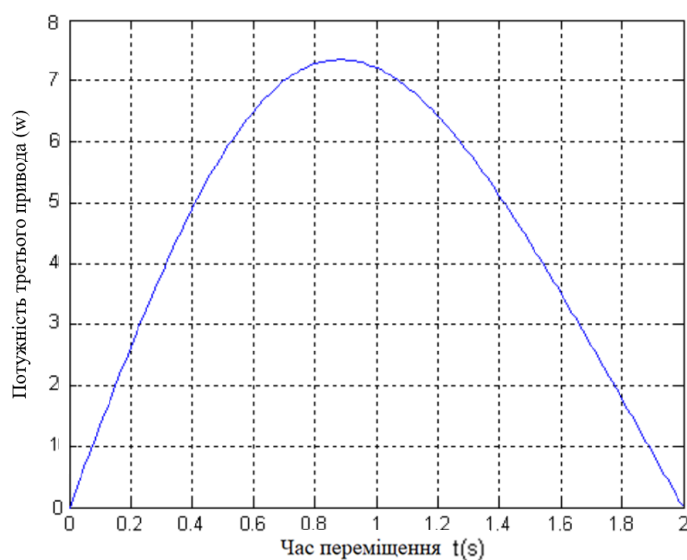


Рисунок 12 – Залежність потужності третього привода від переміщення робочого органу

Проаналізувавши графіки на (Рис. 7, 8, 9) бачимо, що при переміщенні робочого органу зі швидкістю 0,4 м/с по осі X, протягом 2 секунд, перший привід, що переміщується по відповідній осі, зміститься на 225 мм. Другий привід, що переміщується по осі Z зміститься на 320 мм, а третій привід, який переміщується по висі Y, зміститься у від'ємному напрямку на 360 мм.

Також проведено моделювання споживаної потужності приводами при виконанні переміщення робочого органу по осі X, з тією ж швидкістю та тим самим часом переміщення. Проаналізувавши отримані залежності (Рис. 10, 11, 12), можна прийти до висновку, що споживана потужність першого привода буде 2,7 W. Споживана потужність другого та третього привода буде майже однаковою, приблизно по 7,2 W.

Висновки. В статті проаналізовано існуючі схеми механізмів паралельної структури. Аналіз показав, що одним з раціональних варіантів компоновки трьохкоординатного верстата є використання механізму паралельної структури типу «ортоглайд». При цьому переміщення робочого органу по координатам X, Y та Z відбувається за рахунок переміщення приводів по ортогонально розміщеним напрямкам, що унеможливує виникнення особливих положень механізму. На ряду з іншими верстатами даного типу вдалося зменшити матеріаломісткість

конструктивних елементів, а відповідно і енергозатратність приводів. Розраховано та проаналізовано зворотні кінематичні залежності механізму.

Список літератури

1. Крижанівський В.А., Кузнецов Ю.М., Валявський І.А., Скляр Р.А. Технологічне обладнання з паралельною кінематикою: Навчальний посібник для ВНЗ. – Кіровоград: ІМЕКС, 2004. – 449 с.
2. Кириченко А.М. Дослідження кінематики трьохкоординатного 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..
3. J-P.Merlet, Parallel robots, Kluwer Academic Publishers, 2000).
4. D. Chablat and P. Wenger, “Architecture Optimization, of a 3-DOF Parallel Mechanism for Machining Applications, The Orthoglide,” IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol. 19, pp. 403–410, 2003.