

УДК 621.01-621.9.06

А.М. Кириченко, канд. техн. наук

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

ВПЛИВ ДІАПАЗОНУ КУТІВ ПОВОРОТУ ШАРНІРНИХ ОПОР НА ОБ'ЄМ РОБОЧОГО ПРОСТОРУ ВЕРСТАТА-ГЕКСАПОДА

Наведено дискретний чисельний метод визначення робочого простору обладнання з ланками змінної довжини та встановлено вплив допустимих кутів повороту шарнірних опор на об'єм робочого простору верстата на основі механізму паралельної структури «гексапод».

Постановка проблеми

Робочий простір є одною з важливих характеристик верстатного обладнання з механізмами паралельної структури, оскільки він визначає максимальні розміри оброблюваної заготовки та допустиму орієнтацію робочого органа. Робочий простір такого обладнання має неправильну геометричну форму, залежить від розміщення полюсу інструмента відносно шарнірних опор робочого органа та його просторової орієнтації.

Аналіз досліджень і публікацій

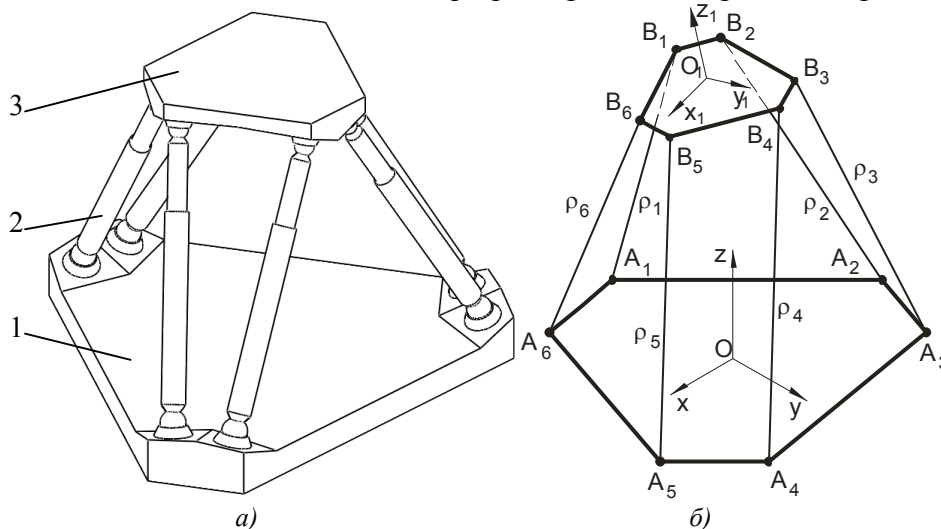
Кінематичні та геометричні залежності гексапода розглянуті у багатьох роботах, зокрема, [1, 2]. Дослідженням робочого простору верстатів з паралельною кінематикою присвячені роботи [2, 3], в яких розглядається геометричне обмеження робочого простору діапазоном зміни довжини ланок, проте, не враховано обмеження рухових можливостей робочого органа допустимими кутами повороту шарнірних опор.

Мета статті

Метою даної роботи є визначення впливу діапазону кутів повороту шарнірних опор на робочий простір верстата-гексапода з штангами змінної довжини для розробки рекомендацій з вибору шарнірних опор.

Виклад основного матеріалу

Гексапод або платформа Стюарта (рис. 1, а) складається з основи 1, до якої за допомогою шести штанг змінної довжини 2 шарнірно приєднаний робочий орган 3.



1 – основа, 2 – ланка змінної довжини, 3 – робочий орган

Рис. 1. Гексапод: а) конструкція; б) розрахункова схема

Геометричні обмеження робочого простору включають обмеження діапазоном зміни довжини ланок (штанг) гексапода

$$\rho_{\min} \leq \rho_i \leq \rho_{\max} \tag{1}$$

де ρ_{\min}, ρ_{\max} – мінімальна та максимальна довжина штанги, і допустимими кутами повороту шарнірних опор основи

$$\alpha_{Ai} \leq \alpha_{A\max} \tag{2}$$

та рухомої платформи

$$\alpha_{Bi} \leq \alpha_{B\max}, \tag{3}$$

де α_{Ai}, α_{Bi} – поточні кути відхилення; $\alpha_{A\max}, \alpha_{B\max}$ – допустимі кути відхилення опор основи та рухомої платформи відповідно.

Довжина ланок гексапода визначається з геометричних співвідношень

$$\rho_i = |A_i B_i| = |\mathbf{r}b_i - \mathbf{r}a_i|, \tag{4}$$

де $\mathbf{r}b_i$ та $\mathbf{r}a_i$ – радіус-вектори центрів шарнірів рухомої платформи та основи в системі координат основи (рис. 1, б).

Вектори шарнірів рухомої платформи B_i в системі координат основи визначаються з рівняння

$$\mathbf{r}b_i = R \mathbf{r}_i + \mathbf{r}_0, \tag{5}$$

де \mathbf{r}_i – радіус-вектор центра шарніра рухомої платформи в системі координат рухомої платформи; \mathbf{r}_0 – радіус-вектор початку координат рухомої платформи в системі координат основи, R – матриця повороту, що встановлює зв'язок вектора в рухомій системі координат з цим самим вектором в нерухомій системі. Кутам Крилова відповідає матриця повороту

$$R_K = \begin{pmatrix} \cos \vartheta \cos \varphi & -\cos \vartheta \sin \varphi & \sin \vartheta \\ \cos \psi \sin \varphi + \sin \psi \cos \varphi \sin \vartheta & \cos \psi \cos \varphi - \sin \psi \sin \varphi \sin \vartheta & -\sin \psi \cos \vartheta \\ \sin \psi \sin \varphi - \cos \psi \cos \varphi \sin \vartheta & \sin \psi \cos \varphi + \cos \psi \sin \varphi \sin \vartheta & \cos \psi \cos \vartheta \end{pmatrix}. \tag{6}$$

Одиничний вектор штанги в абсолютній системі координат з початком координат у точці O дорівнює

$$\mathbf{n}_i = \frac{\overline{A_i B_i}}{\rho_i}. \tag{7}$$

Тоді умова обмеження робочого простору для сферичних опор визначається наступним чином

$$\arccos \left(\frac{\mathbf{n}_i \cdot \mathbf{n}_{oi}}{|\mathbf{n}_i| \cdot |\mathbf{n}_{oi}|} \right) \leq \alpha_{\max}, \tag{8}$$

де $\mathbf{n}_i, \mathbf{n}_{oi}$ – одиничні вектори штанги та осі опори відповідно; α_{\max} – максимально допустимий кут відхилення опори від осі.

Для визначення належності заданої точки до робочого простору необхідно обчислити довжину ланок та кути відхилення шарнірних опор при розміщенні робочого органа у цій точці. У випадку, якщо довжина ланок та кути відхилення осей шарнірів не виходять за межі допустимих інтервалів, точка належить робочому простору. Таким чином, для визначення робочого простору необхідно перевірити на належність до робочого простору усі точки уявного просторового паралелепіпеда або кулі, границі яких напевно повинні бути більшими від робочого простору. Для визначення робочого простору можна скористатися програмою у середовищі Mathcad або Matlab.

Зокрема, за допомогою розробленого чисельного дискретного методу визначено робочий простір гексапода з діаметром рухомої платформи 0,35 м, діаметром основи 1 м, мінімальною довжиною ланок 0,4 м. Форма робочого простору в залежності від діапа-

зону зміни довжини ланок без врахування обмежень повороту шарнірів показана на рис. 2, з врахуванням обмежень у шарнірах – на рис. 3.

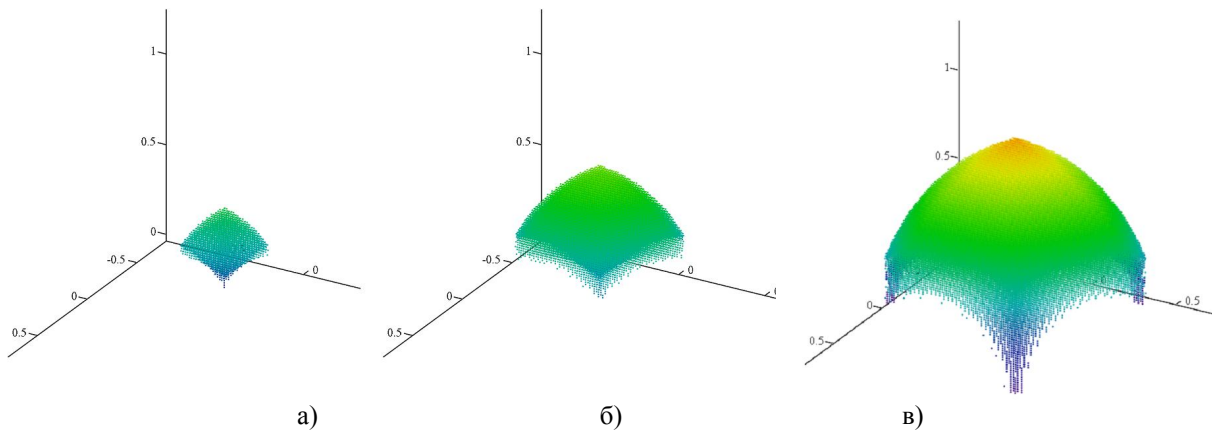


Рис. 2. Робочий простір без врахування обмежень повороту шарнірів при максимальній довжині штанг: а) 0,8 м; б) 1 м; в) 1,2 м

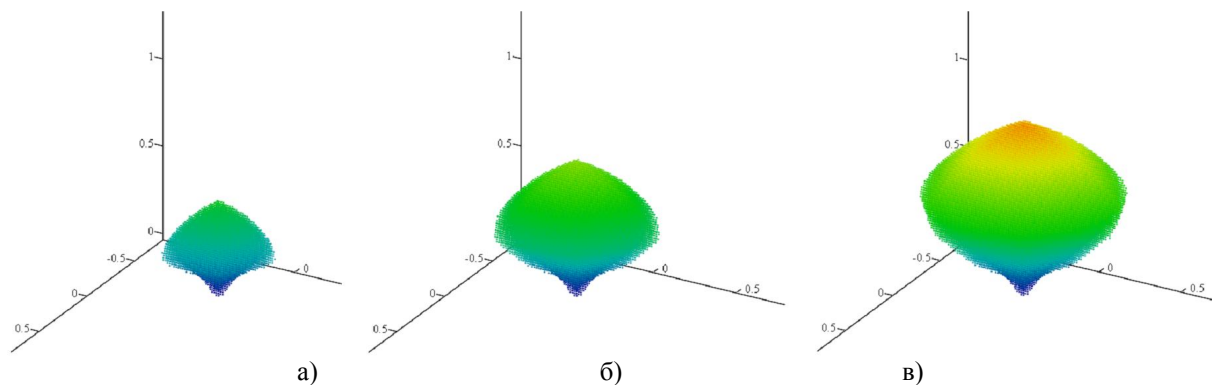


Рис. 3. Робочий простір з врахуванням обмежень повороту шарнірів при максимальній довжині штанг: а) 0,8 м; б) 1 м; в) 1,2 м

Порівняння форми та характеру розміщення робочого простору у наведених випадках дозволяє зробити висновок, що обмеження кутів повороту осей шарнірів зменшує габарити робочого простору, унеможливаючи великі відхилення робочого органа від центрального положення.

Форма робочого простору змінюється в залежності від кута нахилу осі робочого органа по відношенню до осі симетрії гексапода, як показано на рис. 4, а – для діапазону кутів повороту шарнірів рухомої платформи 90° , на рис. 4, б – для діапазону кутів повороту шарнірів рухомої платформи 60° . Із збільшенням нахилу осі робочого органа об'єм робочого простору зменшується, форма його стає зрізаною з боку, протилежного напрямку нахилу осі робочого органа.

Зменшення допустимого кута повороту шарнірів рухомої платформи веде до значного обмеження робочого простору (рис. 5, а). Для з'ясування впливу діапазону кутів повороту шарнірів розглянемо залежність об'єму робочого простору від діапазонів кутів повороту шарнірів рухомої платформи для різних кутів нахилу робочого органа відносно осі симетрії гексапода (рис. 5, б). Максимальний об'єм робочого простору спостерігається при діапазоні кутів повороту шарнірів 90° , а при 30° робочий простір стає майже нульовим. При повороті осі робочого органа відносно осі симетрії гексапода робочий простір ще значно зменшується.

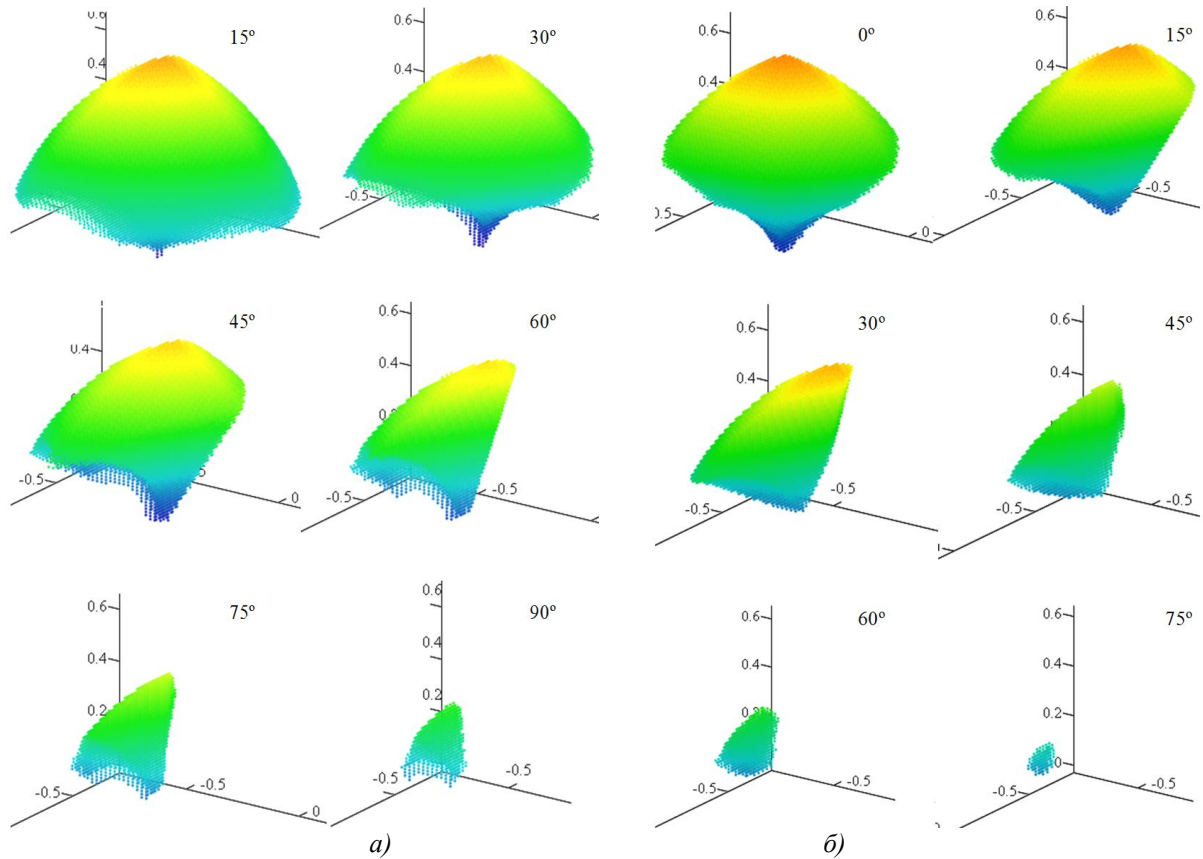


Рис. 4. Робочий простір в залежності від допустимого відхилення шарнірних опор рухомої платформи: а) 90°; б) 60°

Таким чином, діапазон кутів повороту шарнірних опор рухомої платформи здійснює вирішальний вплив на об'єм робочого простору, що вимагає застосування шарнірних опор з можливістю відхилення від осі щонайменше 60°. Таким вимогам відповідають в основному карданні опори, а використання сферичних опор не виправдано зменшить робочий простір.

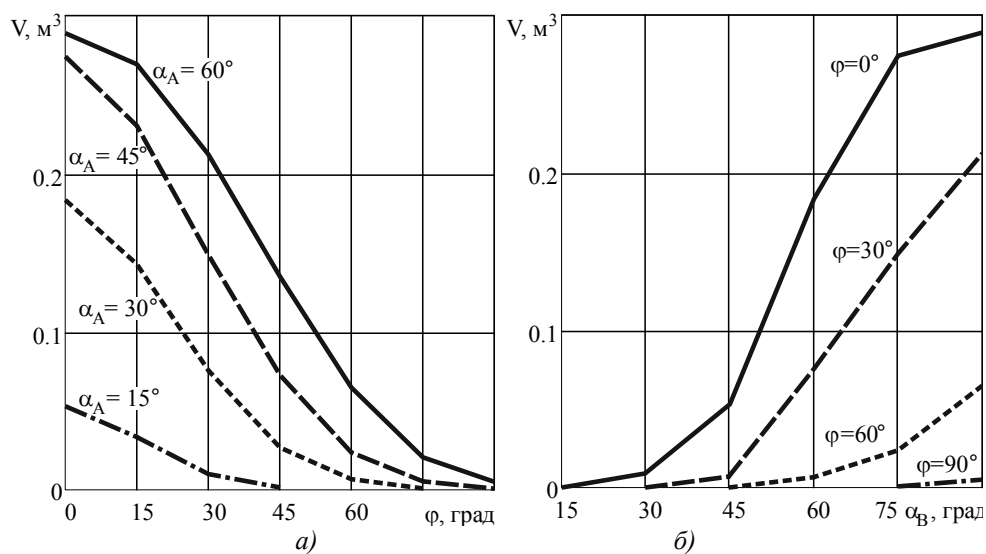


Рис. 5. Залежність об'єму робочого простору: а) від орієнтації робочого органа; б) від діапазону кутів повороту шарнірів рухомої платформи

Залежність об'єму робочого простору від допустимого відхилення шарнірних опор основи для різних кутів нахилу осі робочого органа показана на рис. 6. Збільшення кута повороту шарнірів понад 45° не призводить до істотного зростання об'єму робочого простору.

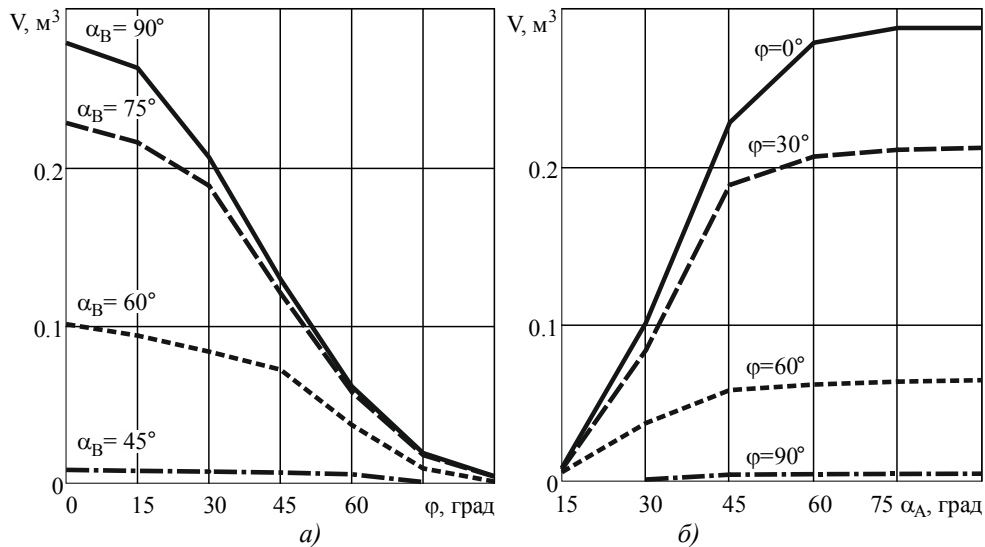


Рис. 6. Залежність об'єму робочого простору від: а) нахилу осі робочого органа; б) допустимого відхилення шарнірних опор основи

Висновки

Визначені математичні умови обмеження робочого простору та розроблено алгоритм чисельного дискретного визначення робочого простору гексапода з врахуванням довжини ланок та кутів повороту в опорних шарнірах. Встановлено, що окрім діапазону зміни довжини штанг, вирішальний вплив на форму та об'єм робочого простору здійснюють допустимі діапазони кутів повороту шарнірних опор.

Встановлено, що робочий простір зростає із збільшенням діапазону зміни довжини штанг та зменшується із зменшенням діапазону кутів повороту шарнірів рухомої платформи та основи, що особливо проявляється при нахилі осі робочого органа відносно осі симетрії.

Максимальні вимоги по діапазону повороту ставляться до шарнірів рухомої платформи, які визначають орієнтувальні можливості робочого органа. Шарнірні опори робочого органа повинні забезпечувати кут відхилення від 60° і більше, а шарнірні опори основи – близько 45° .

Список літературних джерел

1. Merlet J.-P. Parallel Robots / J.-P. Merlet. – Springer-Verlag New York Inc., 2006. – 394 p.
2. Кириченко А.М. Дослідження робочого простору верстатів-гексаподів / А.М. Кириченко, І.А. Валявський // Вісник Житомирського державного технологічного університету / Технічні науки. – Житомир, 2008. – Вип. 3(46). – С. 10-15.
3. Павленко І.І. Оцінка рухових можливостей гексапода у напрямку, перпендикулярному до осі його симетрії / І.І. Павленко, І.А. Валявський // Збірник наукових праць КНТУ. Техніка в с/г виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Вип. 22. – Кіровоград: КНТУ, 2009. – С. 3-10.