

А. М. Кириченко, доц., канд. техн. наук, О. В. Шелепко, асп., М.І. Черновол, проф., д-р техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

Просторова жорсткість верстата з механізмом паралельної структури «пентапод»

Визначено матрицю жорсткості просторового механізму «пентапод» як суму матриць жорсткості окремих ланок, отримано залежності поступальної та крутильної жорсткості по осям координат від положення робочого органа.

паралельна кінематика, пентапод, матриця жорсткості

Протягом останніх років велика увага приділяється розвитку і дослідженню обладнання на основі механізмів паралельної структури [1], оскільки над верстатами традиційної компоновки вони мають ряд переваг, до яких відноситься підвищення швидкості і прискорення робочого органа, просторова жорсткість і модульна конструкція.

Значний інтерес серед обладнання з паралельною структурою представляють верстати з механізмом, які мають п'ять ступенів вільності, типу «пентапод» [2]. У такому обладнанні спеціальне розміщення шарнірних опор дозволяє обмежитись п'ятьма приводами з ланками змінної довжини і забезпечити широкі можливості орієнтації робочого органа [3].

Актуальним і невирішеним питанням для верстата «пентапод» є теоретичне визначення та аналіз параметрів жорсткості у робочому просторі, оскільки жорсткість є одним з найважливіших показників матеріалообробного технологічного обладнання, який впливає на точність обробки, якість обробленої поверхні, вантажну спроможність та динамічні показники обладнання з паралельною структурою.

Розрахункова схема верстата «пентапод» для визначення жорсткості механізму зображена на рис. 1. З основою механізму зв'язана абсолютна система координат з початком координат у точці O , а з робочим органом з'єднана відносна рухома система координат з початком у точці O' . Центри шарнірів основи розміщені в точках A_i , центри шарнірів рухомої платформи (робочого органа) – в точках B_i .

У [4] показано, що матриця просторової жорсткості системи з пружних ланок дорівнює сумі матриць жорсткості окремих ланок:

$$K_O = \sum_{i=1}^n K_i, \quad (1)$$

де K_i – матриці жорсткості окремих ланок, що визначається за формулою:

$$K_i = k_i \cdot \mathbf{N}_i \cdot \mathbf{N}_i^T; \quad (2)$$

k_i – жорсткість ланки;

$$\mathbf{N}_i = \begin{bmatrix} \mathbf{n}_i \\ \mathbf{r}_B \times \mathbf{n}_i \end{bmatrix} \text{ для ланки у вигляді лінійної пружини, } \mathbf{N}_i = \begin{bmatrix} 0 \\ \mathbf{r}_B \times \mathbf{n}_i \end{bmatrix} \text{ для ланки у}$$

вигляді крутильної пружини;

\mathbf{n}_i – одиничний вектор осі штанги

$$\mathbf{n}_i = \frac{\left(R \cdot \left(z_{B_i} - \frac{(z_{A_i} - z_{B_i}) \cdot \mathbf{r}_B}{\sqrt{x_{A_i}^2 + y_{A_i}^2}} \right) + \mathbf{r}_0 \right) - \mathbf{r}_{A_i}}{\left| \left(R \cdot \left(z_{B_i} - \frac{(z_{A_i} - z_{B_i}) \cdot \mathbf{r}_B}{\sqrt{x_{A_i}^2 + y_{A_i}^2}} \right) + \mathbf{r}_0 \right) - \mathbf{r}_{A_i} \right|}; \quad (3)$$

R – матриця повороту системи координат робочого органа відносно системи координат основи;

$x_{A_i}, y_{A_i}, z_{A_i}$ – координати точки A_i ;

z_{B_i} – координати точки B_i ;

\mathbf{r}_B – радіус-вектор точки B_i в абсолютній системі координат основи;

\mathbf{r}_0 – радіус-вектор початку координат робочого органа в системі координат основи;

\mathbf{r}_{A_i} – радіус-вектор точки A_i в абсолютній системі координат основи.

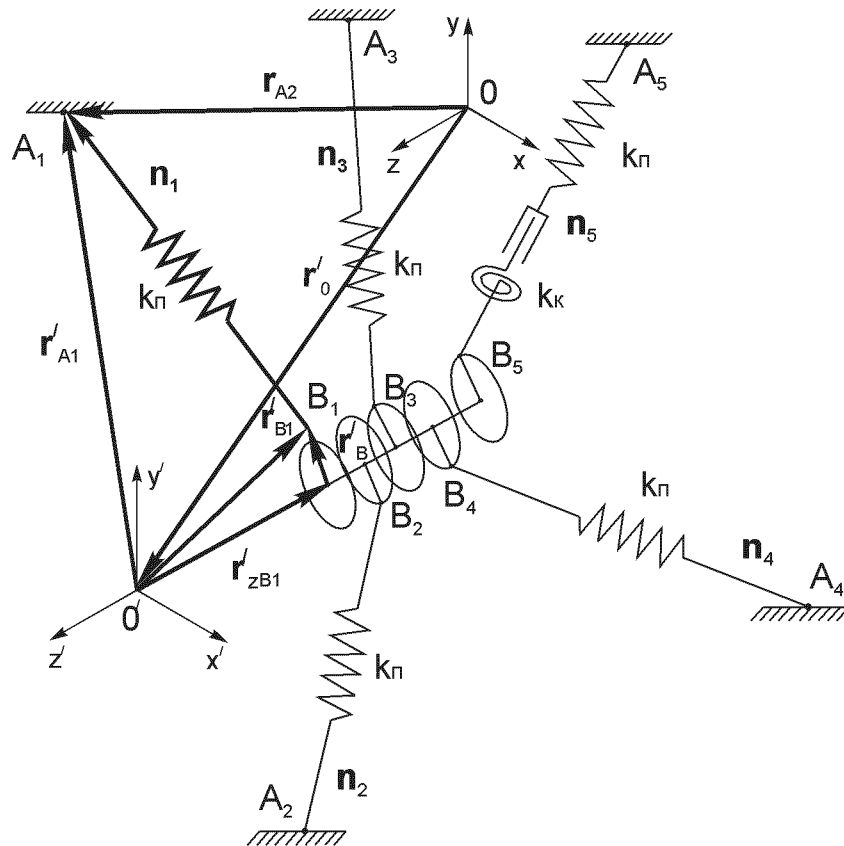


Рисунок 1 – Схема визначення матриці жорсткості

Загальний вигляд матриці жорсткості для просторового механізму паралельної структури «пентапод»:

$$K = \sum_{i=1}^5 k_n \cdot \begin{bmatrix} n_i \\ \mathbf{r}_B \times n_i \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} n_i \\ \mathbf{r}_B \times n_i \end{bmatrix}^T + k_k \cdot \begin{bmatrix} n_5 \\ \mathbf{r}_B \times n_5 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} n_5 \\ \mathbf{r}_B \times n_5 \end{bmatrix}^T, \quad (4)$$

Матриця жорсткості верстата «пентапод», при відомих положеннях координат

$$\text{верхніх шарнірів } A_i = \begin{bmatrix} 0,43 & -0,43 & 0,43 & -0,43 & 0,015 \\ 0,5298 & 0,5298 & 0,5298 & 0,5298 & 0,5298 \\ -0,31 & -0,31 & 0,31 & 0,31 & 0,43 \end{bmatrix} :$$

$$K = \begin{pmatrix} 133,4 & 4,223 & 8,145 & 4,579 & 22,74 & 0 \\ 4,223 & 295,1 & -20,46 & -60,69 & -4,579 & 0 \\ 8,145 & -20,46 & 71,5 & -2,622 & 2,807 & 0 \\ 4,579 & -60,69 & -2,622 & 13,82 & 4,274 & 0,731 \\ 22,74 & -4,579 & 2,807 & 4,274 & 96,92 & 25,82 \\ 0 & 0 & 0 & 0,731 & 25,82 & 7,191 \end{pmatrix} \cdot 10^6$$

За результатами обчислення матриці жорсткості у робочому просторі шляхом зміни координат полюсу робочого органу в межах від -0,45 м до 0,45 м по осям X, Y та Z побудовані графіки залежності поступальної та крутильної жорсткості по осям координат від положення робочого органу (рис. 2).

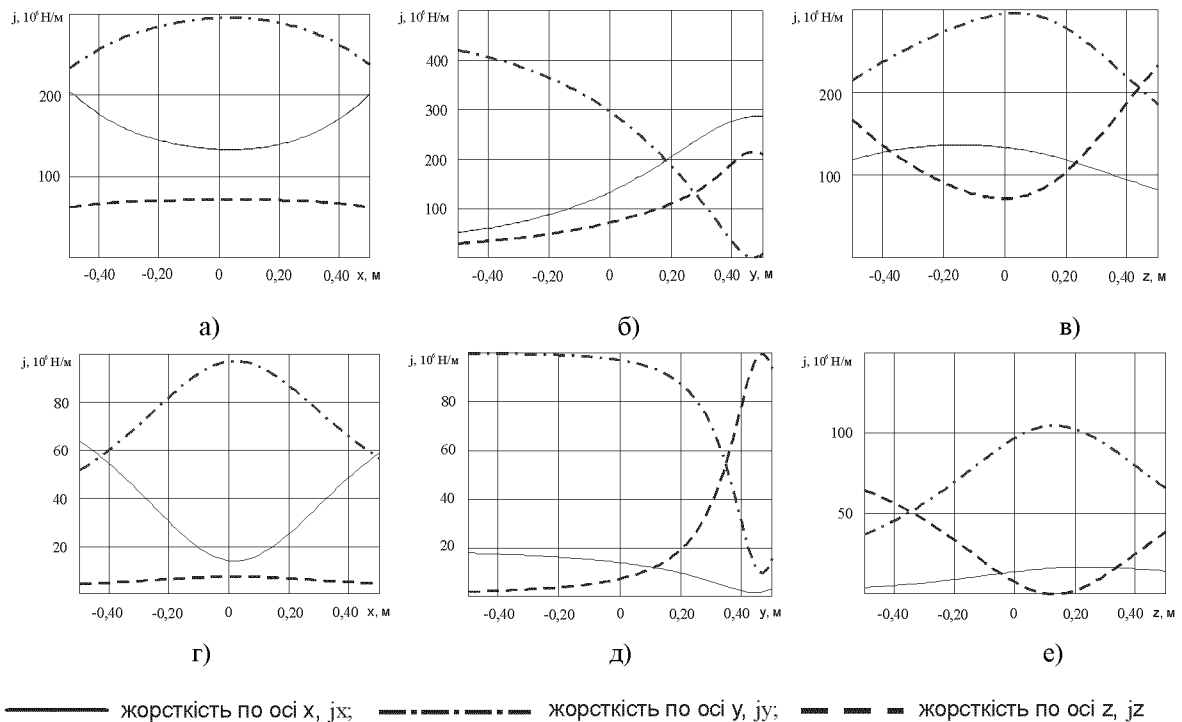


Рисунок 2 – Залежність поступальної (а-в) та крутильної (г-е) жорсткості по осям координат від положення робочого органа

Аналіз наведених залежностей показує, що координатна жорсткість максимальна у напрямку осі Y, менша у напрямку осі X, мінімальна у напрямку осі Z. Крутильна жорсткість максимальна відносно осі Y і у кілька разів менша відносно осей X та Z. Максимальна жорсткість по осі X спостерігається при центральному положенні робочого органу, тоді як жорсткість по осі Z при цьому мінімальна.

Висновки:

1. Шарнірно закріплені ланки механізму паралельної структури «пентапод» можна розглядати як лінійні та крутильні пружини з відомою жорсткістю, і відповідно визначити їх матриці жорсткості.

2. Теоретично визначено матрицю просторової жорсткості п'ятикоординатного верстата паралельної структури «пентапод» як суму матриць жорсткості окремих ланок.

3. Розрахункова матриця просторової жорсткості симетрична. Координатна жорсткість максимальна у напрямку осі Y, менша у напрямку осі X, мінімальна у напрямку осі Z. Крутильна жорсткість максимальна відносно осі Y та досить невелика відносно осей X, Z.

4. Аналіз залежностей поступальної жорсткості від координат полюсу робочого органа показує, що жорсткість у напрямку осі X не перевищує жорсткості штанги, а жорсткість у напрямку осей Y та Z перевищує її у 1,5-3 рази.

Список літератури

1. Merlet J.-P. Parallel Robots. – Springer-Verlag New York Inc., 2006. – 394 p.
2. Metrom [Электронный ресурс] // Официальный сайт разработчика. – Режим доступа к ресурсу: <http://metrom.com>
3. Пономаренко О. В. Робочий простір п'ятикоординатного верстата з паралельною структурою / О. В. Пономаренко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин / Вип. 41, ч. II. – Кіровоград: КНТУ, 2011. – С. 232-236.
4. Кириченко А. М. Матриця жорсткості просторових механізмів паралельної структури з пружними ланками / А. М. Кириченко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин / Вип. 40, ч. I – Кіровоград: КНТУ, 2010. - С. 256-262.

А. Кириченко, О. Шелепко, М. Черновол

Пространственная жесткость станка с механизмом параллельной структуры «пентапод»

Определена матрица жесткости пространственного механизма «пентапод» как сумма матриц жесткости отдельных звеньев, получены зависимости поступательной и вращательной жесткости по осям координат от положения рабочего органа.

A. Kyrychenko, O. Shelepko, M. Chernovol

Spatial rigidity of machine tool with parallel manipulator «pentapod»

The rigidity matrix of parallel manipulator «pentapod» is obtained as a sum of rigidity matrices of separate links. The translational and rotational stiffness is analyzed depending on position of end effector.

Одержано 11.10.12