

УДК 621.01-621.9.06

В.Б. Струтинський, проф., д-р техн. наук*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»***А.М. Кириченко, доц., канд. техн. наук***Кіровоградський національний технічний університет*

Експериментальне визначення матриці жорсткості моделі гексапода

Розроблено модель гексапода, конструкцію дослідного стенду та методику експериментального дослідження. За вимірними величинами пружних переміщень під навантаженням визначено елементи матриці просторової жорсткості моделі гексапода, проведено порівняння з теоретичними розрахунками.

механізм паралельної структури, гексапод, матриця жорсткості, дослідний стенд

Вступ. Сучасна промисловість, зокрема у галузі сільськогосподарського машинобудування, потребує нових підходів до створення верстатного обладнання для високошвидкісної обробки. Одним з найбільш перспективних напрямків є створення верстатів на основі механізмів паралельної структури, що завдяки малій масі робочого органа дозволяють досягти високих швидкостей та прискорень, мають високу енергетичну ефективність та порівняно низьку металомісткість. Зокрема, для багатокоординатної обробки є доцільним використання верстатів на основі механізму «гексапод» [1].

Постановка задачі. Одною з найважливіших задач при розробці обладнання з механізмами паралельної структури є досягнення високої жорсткості у робочому просторі. Зв'язок між узагальненим переміщенням робочого органа Δ під навантаженням та величиною останнього W встановлюється рівняннями

$$W = K \Delta, \quad \Delta = C W, \quad (1)$$

де K – матриця просторової жорсткості розмірністю 6×6 , яка характеризує загальну жорсткість обладнання з паралельною кінематикою, $C = K^{-1}$ – матриця податливості, зворотна до матриці просторової жорсткості.

Просторова жорсткість гексапода проаналізована теоретично у роботах [2, 3]. Спроби вимірювання жорсткості моделі гексапода зроблені у [4], ретельне експериментальне дослідження жорсткості верстата-гексапода «Гексамех-1» проведене у [5], проте з одержаних даних неможливо виключити жорсткість станини та інших вузлів і відокремити матрицю жорсткості власне механізму паралельної структури. Тому задача експериментального визначення матриці жорсткості механізму паралельної структури «гексапод» є актуальною, що визначає мету роботи.

Основна частина. Для експериментального визначення просторової жорсткості розроблено модель механізму паралельної структури «гексапод» та вимірювальний



Рисунок 1 – Модель гексапода

стенд. Модель гексапода (рис. 1) складається з жорсткої основи 1 діаметром 600 мм, яка за допомогою шести телескопічних розсувних штанг 2 регульованої довжини шарнірно з'єднана з рухомою платформою 3. Шарнірні опори 4 (рис. 2), ідентичні для основи та рухомої платформи, виконані за принципом карданних шарнірів з двома ступенями вільності. Штанги (рис. 3) складаються з двох телескопічних труб, які фіксуються за допомогою цангового затиску. Осі шарнірних опор основи нахилені на 45° до площини основи за допомогою кутників, що дозволяє сумістити діапазон кутів повороту опори з необхідним діапазоном положень осей штанг моделі.



Рисунок 2 – Подвійна шарнірна опора



Рисунок 3 – Телескопічна штанга

Для проведення вимірювань модель гексапода закріплена на жорсткій нерухомій плиті 1 (рис. 4), на якій також встановлено кутник 9 з упорною плитою 8, яка має ряд заглиблень з кроком 50 мм для упору навантажувального пристрою 7.

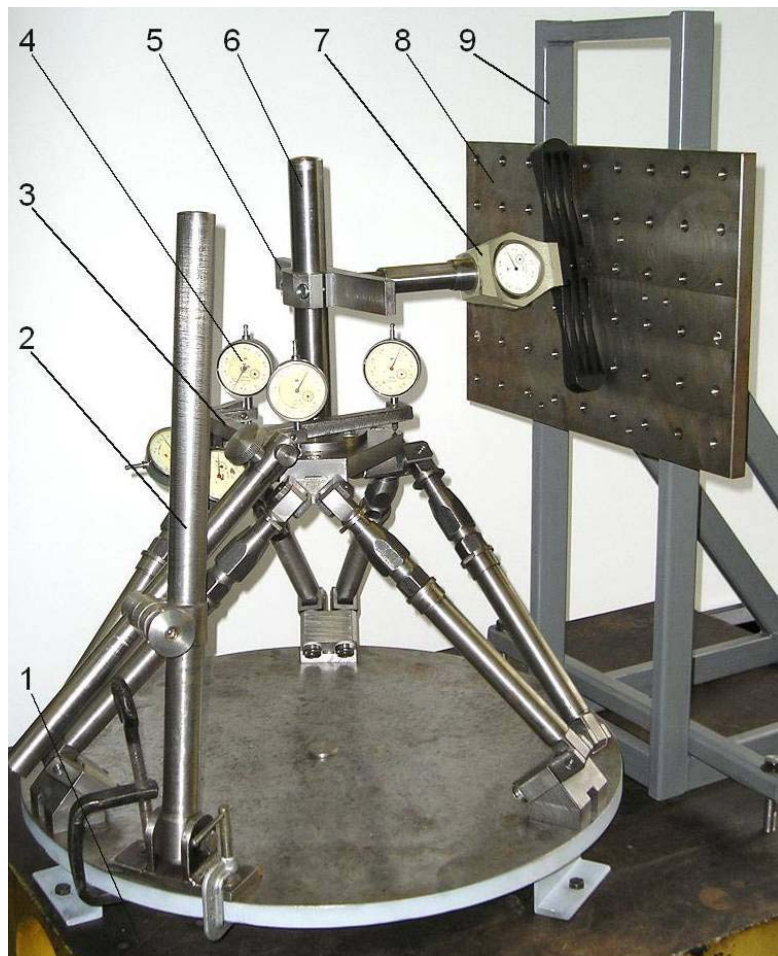


Рисунок 4 – Дослідний стенд для вимірювання жорсткості моделі гексапода

На рухомій платформі гексапода закріплено циліндричну оправку 6, на якій встановлено навантажувальну планку 5 з рядом заглиблень для упору навантажувального пристрою, у якості якого використано гвинтовий навантажувач, суміщений з динамометром ДОСМ-3-0,5У (максимальне вимірюване зусилля 500 Н). Оскільки планка може рухатись та обертатися навколо осі оправки, це дозволяє прикладати силу у площині платформи під довільним кутом відносно осі оправки, імітувати навантаження на різній висоті від платформи, по осі або на відстані від осі, зверху або знизу платформи. Вимірювальне оснащення представляє собою оправку 3 для розміщення шести вимірювальних пристроїв 4, закріплену на основі гексапода за допомогою регульованої стійки 2, яка дозволяє змінювати положення та орієнтацію оправки відповідно до положення платформи. У якості вимірювальних пристроїв використані індикатори годинникового типу ИЧ-10 з ціною поділки 0,01 мм. Така конструкція стенду дозволяє практично виключити з вимірювання усі пружні переміщення, окрім власне деформацій штанг механізму паралельної структури, що досягається завдяки розміщенню індикаторів переміщень на жорсткій основі гексапода.

Згідно з [6] для визначення компонентів узагальненого переміщення платформи – переміщень δ_x , δ_y , δ_z та кутів повороту φ_x , φ_y , φ_z необхідно виміряти відхилення $\delta_1 - \delta_6$ у шести точках рухомої платформи, відповідним чином розташованих у просторі. Розроблена схема розміщення індикаторів відносно платформи моделі гексапода показана на рис. 5, координати розміщення індикаторів наведені у табл. 1.

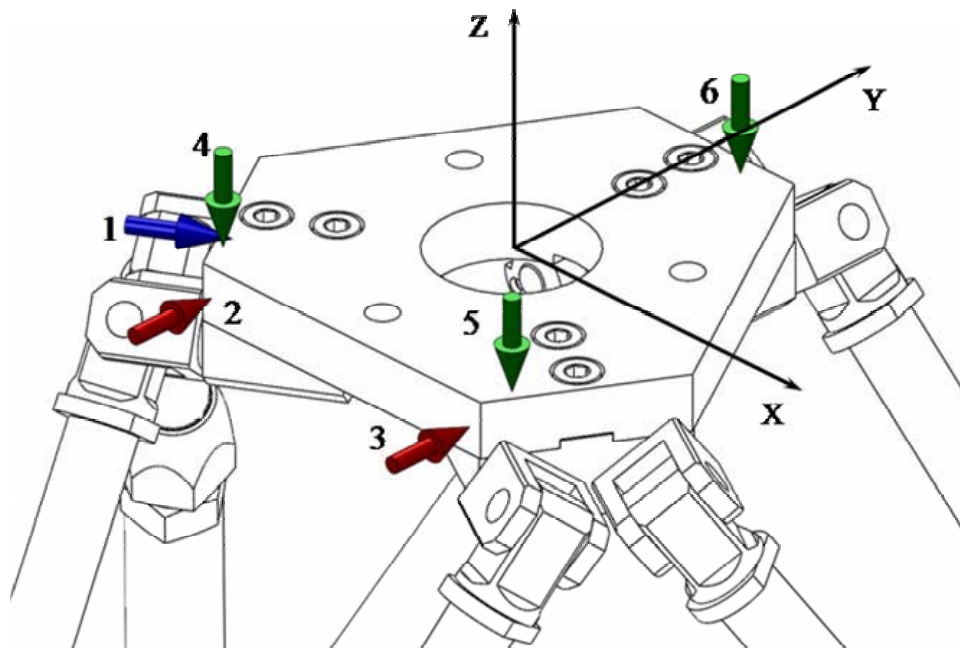


Рисунок 5 – Схема розміщення вимірювальних індикаторів відносно рухомої платформи

Таблиця 1 – Розміщення вимірювальних індикаторів

Точка	Координати відносно центру платформи					
	Точок вимірювання			Векторів напрямку зсуву		
	x_k , М	y_k , М	z_k , М	a_{xk}	a_{yk}	a_{zk}
1	-0,069	-0,040	0	$-\sin 60^\circ$	$-\cos 60^\circ$	0
2	-0,050	-0,066	0	0	-1	0
3	0,050	-0,066	0	0	-1	0
4	-0,056	-0,055	-0,09	0	0	1
5	0,056	-0,055	9	0	0	1
6	0,015	0,073	9	0	0	1

Вектор узагальненого переміщення рухомої платформи гексапода дорівнює

$$\Delta = M^{-1} \cdot d, \quad (2)$$

де M – матриця 6×6 передатних коефіцієнтів

$$M = \begin{pmatrix} a_{x1} & a_{y1} & a_{z1} & m_{x1} & m_{y1} & m_{z1} \\ a_{x2} & a_{y2} & a_{z2} & m_{x2} & m_{y2} & m_{z2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{x6} & a_{y6} & a_{z6} & m_{x6} & m_{y6} & m_{z6} \end{pmatrix}, \quad (3)$$

a_{xk}, a_{yk}, a_{zk} – координати невласного вектору напрямку зсуву;

$m_x = ya_x - za_y$; $m_y = za_x - xa_z$; $m_z = xa_y - ya_x$ – координати моменту вектора a

відносно осей координат;

d – вектор шостого порядку виміряних відхилень;

$\Delta = (\delta_x, \delta_y, \delta_z, \varphi_x, \varphi_y, \varphi_z)^T$ – вектор 6×1 узагальненого переміщення.

Для розробленої конструкції стенду матриця передатних коефіцієнтів має вигляд

$$M = \begin{pmatrix} -0.866 & -0.5 & 0 & 0 & 0 & -0.00014 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0.05 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & -0.05 \\ 0 & 0 & 1 & -0.055 & 0.056 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -0.055 & -0.056 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0.073 & -0.015 & 0 \end{pmatrix}.$$

Метою експериментального визначення жорсткості механізмів паралельної структури є ідентифікація елементів матриці просторової жорсткості за результатами вимірювань. Розрахунок матриці жорсткості 6×6 може бути проведений з розгляду результатів 6 вимірювань, які дадуть 36 рівнянь відповідно кількості невідомих елементів матриці K . Таким чином, вимірювання можна використати для запису системи рівнянь (1) у вигляді

$$\begin{bmatrix} \delta_x^1 & \delta_y^1 & \delta_z^1 & \varphi_x^1 & \varphi_y^1 & \varphi_z^1 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & \delta_x^1 & \delta_x^1 & \delta_x^1 & \varphi_z^1 & \varphi_x^1 & \varphi_x^1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \delta_x^6 & \delta_y^6 & \delta_z^6 & \varphi_x^6 & \varphi_y^6 & \varphi_z^6 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & \delta_x^6 & \delta_y^6 & \delta_z^6 & \varphi_x^6 & \varphi_y^6 & \varphi_z^6 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} k_{11} \\ k_{12} \\ k_{13} \\ k_{14} \\ k_{15} \\ k_{16} \\ \dots \\ k_{61} \\ k_{62} \\ k_{63} \\ k_{64} \\ k_{65} \\ k_{66} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_x^1 \\ F_y^1 \\ F_z^1 \\ M_x^1 \\ M_y^1 \\ M_z^1 \\ \dots \\ F_x^6 \\ F_y^6 \\ F_z^6 \\ M_x^6 \\ M_y^6 \\ M_z^6 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

де коефіцієнти k_{ij} відповідають елементам матриці жорсткості.

Чисельний розв’язок рівняння (4) дає шукані значення 36 елементів матриці жорсткості, коли при відомих зусиллях виміряні пружні переміщення у 6 дослідів для даного механізму в одному положенні. Якщо навантажувати рухому платформу лише

силами та моментами у напрямках координатних осей, з 36 рівнянь залишаються 6, тобто можна розрахувати коефіцієнти матриці жорсткості за результатами вимірювання пружних переміщень у 6 дослідях.

Проте створити навантаження на рухому платформу у вигляді чистого моменту досить складно, тому запропоновано інший метод визначення елементів матриці жорсткості за 6 дослідями, сутність якого полягає у навантаженні рухомої платформи силами у напрямках координатних осей. У напрямку кожної осі сила прикладається двічі: у початку координат (моменти навколо усіх осей дорівнюють нулю), та на певній відстані від початку координат по одній з осей (моменти відносно усіх осей, крім одної, дорівнюють нулю). Таким чином, набір векторів узагальненого навантаження для 6 дослідів складає

$$\mathbf{W}_1 = \begin{bmatrix} F_x \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \mathbf{W}_2 = \begin{bmatrix} F_x \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ F_x \cdot y_0 \end{bmatrix}, \mathbf{W}_3 = \begin{bmatrix} 0 \\ F_y \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \mathbf{W}_4 = \begin{bmatrix} 0 \\ F_y \\ 0 \\ F_y \cdot z_0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \mathbf{W}_5 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ F_z \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \mathbf{W}_6 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ F_z \\ 0 \\ F_z \cdot x_0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (5)$$

де x_0, y_0, z_0 – відповідні відстані прикладення сил по осям координат.

Якщо вважати матрицю жорсткості постійною, пружні переміщення від суми навантажень дорівнюють сумі переміщень від окремих навантажень (принцип суперпозиції)

$$\Delta(\mathbf{W}_1 + \mathbf{W}_2) = \Delta(\mathbf{W}_1) + \Delta(\mathbf{W}_2). \quad (6)$$

Тоді вектори пружних переміщень від чистого моменту визначаються як

$$\Delta_{M_x} = \Delta_{W_4} - \Delta_{W_3}, \Delta_{M_y} = \Delta_{W_6} - \Delta_{W_5}, \Delta_{M_z} = \Delta_{W_2} - \Delta_{W_1}, \quad (7)$$

а стовпчики матриці податливості розраховуються безпосередньо з даних вимірювання векторів узагальненого переміщення

$$C^{<i>} = \Delta_i / F_i. \quad (8)$$

Таким чином, при правильному виборі векторів навантаження в результаті 6 дослідів можна одержати інформацію про усі 36 коефіцієнтів матриці податливості, оберненням якої легко отримати матрицю жорсткості.

Оскільки при вимірюванні не завжди є можливість прикласти навантаження у центрі координат платформи, запропоновано навантаження виконувати у довільно обраній точці оправки платформи, а для переносу вимірних векторів узагальненого переміщення з центра координат платформи до точки навантаження скористатися залежністю [7]

$$\Delta' = T^{-T} \Delta, \quad (9)$$

де T – матриця просторового перетворення

$$T = \begin{bmatrix} R & 0 \\ -R[\mathbf{p}]_x & R \end{bmatrix}, \quad (10)$$

$[\mathbf{p}]_x$ – кососиметрична матриця 3x3, породжена вектором \mathbf{p} паралельного переносу; R – матриця відносного повороту систем координат.

$$[\mathbf{p}]_k = \begin{bmatrix} 0 & -\rho_3 & \rho_2 \\ \rho_3 & 0 & -\rho_1 \\ -\rho_2 & \rho_1 & 0 \end{bmatrix}. \quad (11)$$

Визначивши матрицю жорсткості у системі координат з центром у точці навантаження, можна привести її до системи координат основи або рухомої платформи за допомогою перетворення

$$K' = TKT^T. \quad (12)$$

Як відомо [2], матриця просторової жорсткості повинна бути симетричною позитивно визначеною або напіввизначеною (у випадку особливого положення). Проте обчислена за результатами експериментів матриця жорсткості такою не буде внаслідок похибок вимірювання та аналізу даних. У [8] показано, що для несиметричної дійсної матриці існує єдина симетрична позитивно (напів)визначена матриця, яка визначається наближенням за нормою Фробеніуса на основі симетричного компонента початкової матриці за умови мінімізації залежності

$$\min \|K - K_s\|_F, \quad (13)$$

де K – початкова матриця;

K_s – шукана симетрична позитивно (напів)визначена матриця.

Для визначення найближчої симетричної позитивно визначеної матриці необхідно знайти симетричний компонент матриці K

$$U = \frac{K + K^T}{2} \quad (14)$$

та провести спектральний розклад матриці U такий, що

$$U = Z \Lambda Z^T, \quad (15)$$

де $Z Z^T = I$, $\Lambda = \text{diag}(\lambda_i)$, λ_i – власні значення матриці U (стовпчики матриці Z у спектральному розкладі представляють собою власні вектори матриці U).

Тоді шукана симетрична позитивно визначена матриця жорсткості за нормою Фробеніуса визначається як

$$K_{SPSD} = \frac{U + Z \text{diag}(|\lambda_i|) Z^T}{2}. \quad (16)$$

На першому етапі виміряна жорсткість окремих штанг з шарнірами. Для кожної штанги навантаження силою 500 Н проводилось 5 разів, результати усереднювалися. Виміряна жорсткість штанг наведена у табл. 2.

Таблиця 2 – Жорсткість окремих штанг гексапода

№ штанги	1	2	3	4	5	6
Жорсткість, 10^6 Н/м	6,2	5,9	5,7	5,3	6,1	5,8

Теоретично розрахована за методикою [3] згідно з даними табл. 2 матриця жорсткості моделі гексапода у системі координат основи при центральному положенні платформи і відстані між площинами центрів шарнірів основи та платформи 0,3 м має вигляд

$$K = \begin{bmatrix} 6.24 & -0.04 & -0.07 & 0.04 & 2.25 & -0.03 \\ -0.04 & 6.56 & -0.13 & -2.34 & 0.01 & 0.00 \\ -0.07 & -0.13 & 22.20 & 0.10 & -0.03 & -0.04 \\ 0.04 & -2.34 & 0.10 & 0.92 & 0.00 & -0.00 \\ 2.25 & 0.01 & -0.03 & 0.00 & 0.90 & -0.01 \\ -0.03 & 0.00 & -0.04 & -0.00 & -0.01 & 0.11 \end{bmatrix} \cdot 10^6.$$

Для повного визначення матриці жорсткості проведено вимірювання пружних переміщень при навантаженні згідно з (5) силою 500 Н у точці з радіус-вектором у системі координат платформи $\mathbf{p} = (0 \ 0 \ 0,13)^T$ м ($F_x = F_y = F_z = 500$ Н, $x_0 = y_0 = z_0 = 0,1$ м). Для кожного з шести векторів узагальненого навантаження вимірювання проведено тричі, розраховані середні значення переміщень індикаторів наведені у табл. 3.

Таблиця 3 – Середні величини переміщень індикаторів, 10^{-2} мм

Вектор навантаження	№ штанги					
	1	2	3	4	5	6
W ₁	- 9.5	- 10.5	- 5.5	- 3.5	0.5	- 3.5
W ₂	- 0.5	2.5	- 11.5	- 8.5	0.5	0.0
W ₃	0.0	- 2.5	- 11.0	- 7.0	0.0	0.5
W ₄	2.5	3.0	3.0	- 1.0	3.0	6.0
W ₅	- 1.5	- 2.5	3.5	- 1.0	2.5	- 0.5
W ₆	- 0.5	- 1.0	- 3.0	1.5	2.5	1.5

Визначена за експериментальними даними згідно з викладеною методикою матриця жорсткості у точці прикладення навантаження дорівнює

$$K_E = \begin{bmatrix} 6.39 & 0.12 & 2.02 & 0.08 & -0.55 & -0.01 \\ -0.12 & 5.74 & 0.58 & 0.30 & 0.02 & 0.03 \\ -0.81 & -0.33 & 18.27 & 0.11 & 0.12 & 0.08 \\ 0.01 & 0.41 & 0.08 & 0.09 & 0.00 & 0.00 \\ -0.42 & -0.02 & -0.25 & -0.02 & 0.12 & -0.02 \\ -0.01 & 0.13 & -0.17 & 0.02 & 0.02 & 0.09 \end{bmatrix} \cdot 10^6.$$

Після приведення до найближчої симетричної позитивно визначеної матриця жорсткості приймає вигляд

$$K_{ES} = \begin{bmatrix} 6.39 & 0.00 & 0.60 & 0.05 & -0.48 & -0.01 \\ 0.00 & 5.74 & 0.13 & 0.35 & 0.00 & 0.08 \\ 0.60 & 0.13 & 18.27 & 0.10 & -0.06 & -0.05 \\ 0.05 & 0.35 & 0.10 & 0.09 & -0.01 & 0.01 \\ -0.48 & 0.00 & -0.06 & -0.01 & 0.12 & 0.00 \\ -0.01 & 0.08 & -0.05 & 0.01 & 0.00 & 0.09 \end{bmatrix} \cdot 10^6,$$

а приведена до центру координат основи матриця жорсткості дорівнює

$$K_{E0} = \begin{bmatrix} 6.39 & 0.00 & 0.60 & 0.05 & 2.26 & -0.01 \\ 0.00 & 5.74 & 0.13 & -2.11 & 0.00 & 0.08 \\ 0.60 & 0.13 & 18.27 & 0.04 & 0.19 & -0.05 \\ 0.05 & -2.11 & 0.04 & 0.85 & 0.01 & -0.02 \\ 2.26 & 0.00 & 0.19 & 0.01 & 0.89 & -0.01 \\ -0.01 & 0.08 & -0.05 & -0.02 & -0.01 & 0.09 \end{bmatrix} \cdot 10^6.$$

Порівняння теоретично та експериментально визначених матриць жорсткості та їх власних чисел (табл. 4) показує, що характер матриць ідентичний, найбільша різниця між відповідними елементами головної діагоналі складає 18%, власними числами – до 22%.

Таблиця 4 – Власні числа матриць жорсткості

Визначені теоретично	21.90	6.97	7.30	0.11	0.08	0.08
Визначені експериментально	18.30	6.39	5.76	0.09	0.08	0.07
Різниця, %	17	9	22	14	0	12

Поступальна координатна жорсткість по осям Y та Z дещо нижче, ніж розрахована теоретично. Кутова жорсткість по осі Y співпадає з визначеною теоретично, по осям X та Z – дещо нижча. Усі експериментально визначені власні значення матриці жорсткості не перевищують розрахованих теоретично. Таке зниження жорсткості може пояснюватися особливостями експериментального визначення жорсткості штанг (різні кутові положення шарнірних опор штанг при вимірюванні жорсткості та на моделі), а також похибками вимірювання.

Висновки:

1. Для експериментального визначення просторової жорсткості розроблено та виготовлено модель механізму паралельної структури «гексапод» з ланками регульованої довжини, навантажувальний пристрій та оправку для розміщення індикаторів, що утворюють дослідний стенд для вимірювання жорсткості.

2. Розроблено методику виконання та обробки результатів експериментальних досліджень, що дозволяє визначити матрицю жорсткості моделі гексапода за результатами шести дослідів з вимірювання пружних переміщень при навантаженні у довільній точці платформи.

3. Експериментально визначені жорсткості штанг та матриця жорсткості моделі гексапода в центральному положенні рухомої платформи. Результати експериментальних досліджень добре узгоджуються з теоретичними розрахунками, найбільша різниця між елементами головної діагоналі теоретично та експериментально визначених матриць жорсткості складає 18%, між власними числами – 22%.

Список літератури

1. Merlet J.P. Parallel Robots, 2nd ed. – Springer, 2006. – 394 p.
2. 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.
3. 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.
4. Валявський І.А. Експериментальне вимірювання пружних переміщень верстата-гексапода / І.А. Валявський, А.М. Кириченко // Збірник наукових праць Кіровоградського національного

- технічного університету / Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин / – Вип. 38. – Кіровоград: КНТУ, 2008. – С. 119-124.
5. Серков Н.А., Результаты экспериментальных исследований механизма параллельной структуры на примере станка «Гексамех-1» / Н.А. Серков, И.В. Вайнштейн, А.А. Мерзляков, Р.О. Сироткин // Вестник научно-технического развития. 2008. – № 5 (9). – С. 67-88.
 6. Решетов Д.Н., Портман В.Т. Точность металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1986. – 336 с.
 7. Струтинський В.Б. Математичний апарат векторів шостого порядку для розрахунків жорсткості просторових механізмів паралельної структури / В.Б. Струтинський, А.М. Кириченко // Вісник СумДУ. Серія «Технічні науки». – 2010. – №2. – С. 142-154.
 8. Higham N.J. Computing a nearest symmetric positive semidefinite matrix / N.J. Higham // Linear Algebra and its applications. – 1988. – Vol. 103. – P. 103-118.

В.Струтинский, А.Кириченко

Экспериментальное определение матрицы жесткости модели гексапода

Разработана методика экспериментального определения матрицы жесткости, изготовлена модель гексапода и экспериментальный стенд. По измеренным величинам упругих перемещений под нагрузкой определены элементы матрицы жесткости, проведено сравнение с теоретическими расчетами.

V.Strutynsky, A.Kyrychenko

The experimental identification of stiffness matrix of hexapod

The approach to experimental identification of stiffness matrix of hexapod is suggested. The hexapod model and measurement rig are manufactured. The stiffness matrix components obtained from measured elastic deformation values, and compared to theoretical computations.

Одержано 11.10.11

УДК 6.31.3

В.І. Рубльов, проф., д-р техн. наук

Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ

Види моделей сертифікації сільськогосподарської техніки

Розглянути моделі сертифікації на прикладі сільськогосподарської техніки. В основі знаходяться моделі регламентовані нормативними документами. Моделі розглядаються з урахуванням видів об'єктів, які підлягають сертифікації. В якості об'єктів розглядаються одиничний виріб, партія продукції (виробів), продукція, що випускається серійно. Для кожного виду об'єктів розглядаються види робіт при сертифікаційних випробуваннях. Крім всього розглядається технічний нагляд за продукцією з урахуванням її виду і моделі сертифікації.

сертифікація, моделі, види об'єктів сертифікації, сертифікаційні випробування, види моделей, сільськогосподарська техніка

Постановка проблеми. Ринок сільськогосподарської техніки (далі “СГТ”) завантажений продукцією закордонних фірм і фірм, що на промислово-фінансових угодах виробляють СГТ в Україні. Крім того, деякі покупці купують окремі марки СГТ. Все це ускладнює експлуатацію, технічне обслуговування і ремонт великого різноманіття СГТ. Вищесказане визначає **проблему захисту суспільства від постачання неякісної СГТ в Україну.**