

УДК 621.9.04

В. П. Яглінський, д-р техн. наук, А. С. Обайді, Г. В. Козерацький

ДОСЛІДЖЕННЯ КРИТЕРІЮ ЗВ'ЯЗНОСТІ КОЛИВАНЬ ТРЕНАЖЕРА-ГЕКСАПОДА

Для оцінки технічного рівня тренажера-гексаподу запропоновано критерій зв'язності коливань та встановлено його розподіл для множини просторової конфігурації механізму. Опрацьована методика визначення спектрів головних частот і границь зміни критерію вібронадійності. Отримані аналітичні моделі дають можливість обрати режими функціонування тренажера в діапазоні допустимих значень критерія зв'язності коливань.

Ключові слова: механізм паралельної структури і кінематики, матриця Якобі, парціальні частоти, жорсткість.

Вступ. Забезпечення ефективності функціонування динамічних тренажерних систем на основі механізмів паралельної структури і кінематики (МПСК) досягається шляхом прогнозування технічного рівня аналогічних конструкцій та відбором кращих варіантів, починаючи зі стадії допроектних досліджень. Унікальні можливості тренажерів для екіпажів мобільних машин (ММ) на основі гексапода дозволяють здійснювати не тільки переміщення й орієнтацію об'єктів, але й виконувати широкий спектр рухів із заданою точністю за складними траєкторіями [2, 5]. Під час виконання тренувальних екіпажів бойових ММ виникають коливання, які впливають не тільки на точність і швидкість відпрацювання траєкторії, але і на надійність усієї системи та акселераційне навантаження на екіпаж. Невирішеною проблемою залишається функціонування тренажерів при резонансних режимах, під час критичних перевантажень, в умовах нестійкості орієнтації та у непередбачених ситуаціях. За таких умов дослідження спектру головних частот та критеріїв якості тренажера-гексапода в залежності від просторової орієнтації є актуальною науковою проблемою і має практичне значення для вітчизняного машинобудування.

Постановка проблеми. Для ефективного дослідження коливальних процесів тренажера-гексапода і правильної оцінки впливу динаміки на екіпаж ММ необхідно створити математичні моделі деформацій ланок тренажера, на основі яких сформулювати математичний апарат визначення головних частот. Рівень взаємного впливу коливань одних ланок тренажера на коливання інших пропонується оцінювати за наступним критерієм вібраційної зв'язності коливань

$$\gamma_{\omega} = \left(\prod_{i=1}^N \omega_i - \prod_{i=1}^N p_i \right) / \prod_{i=1}^N \omega_i, \quad (1)$$

де ω_i, p_i – головні і парціальні частоти вільних коливань пружної системи тренажера; N – кількість ступенів вільності моделі тренажера.

Критерій набуває значень в межах від 0 до 1,0. Якщо його значення близьке до одиниці, то динамічна зв'язність коливань ланок тренажера є «сильною», тобто, коливання однієї ланки суттєво визначаються коливаннями інших ланок. Якщо коефіцієнт γ_{ω} близький до нуля, то динамічна зв'язність коливань ланок є «слабкою», тобто кожна ланка здійснює коливання так ніби вона не має зв'язків з іншими ланками. Такий випадок ($\gamma_{\text{вн}} \sim 0$) для обмеження розповсюдження коливань по ланкам МПСК і зниження внаслідок цього його динамічного навантаження на екіпаж є ідеальним [6].

Аналіз відомих досліджень. Вперше теоретичні дослідження МПСК (з замкнутою кінематикою) виконані у 1645 р. К. Реном (*Christopher Wren*), значно пізніше у 1813 р. продовжені Коші (*Cauchy*), Лебегом (*Lebesgue*), 1867 р., Брикардом (*Bricard*), 1897 р. У 1947 р. шотландський інженер В. Гауф (*V. Gough*) запатентував механізм на основі замкнутого кінематичного ланцюга, який дозволяв фіксувати і орієнтувати платформу для визначення зносу пневматичних шин. Аналогічне обладнання паралельної структури сконструював інженер Д. Стюарт (*D. Stewart*) у 1965 р. Ним же вперше запропоновано термін «гексапод» [2, 4]. Конструюванню і дослідженню устаткування промислових платформ (ПП) на основі МПСК присвячені також роботи Ю. М. Кузнєцова, Д. А. Дмитрієва, М. І. Черновола, А. М. Кириченко, А. Ш. Коліскара, А. Ф. Крайнева, *J. P. Merlet* та ін. [1, 4].

Дослідження жорсткості технологічного обладнання розглянуто в роботах А. М. Кириченко, В. Б. Струтинського [2].

Метою даних досліджень є розробка аналітичних моделей для визначення спектру головних частот та критерію зв'язності коливань тренажера-гексапода в залежності від узагальнених параметрів, які однозначно визначають просторову конфігурацію МПСК.

Математична модель деформацій тренажера-гексапода. Перші моделі динамічних тренажерів мали три ступеня вільності, обмежені рухи з виконання маневрів типу тангажа і крена [5]. Сучасна компоновка тренажера екіпажу мобільних машин на основі платформи Стюарта має 6 ступенів вільності і являє собою систему, що складається з рухомої промислової платформи (ПП) 1 (рухомий базис) й нерухомого стояка (нерухомий базис) 2, з'єднаних за допомогою карданних 4 та сферичних 5 кінематичних пар з шістьма рухливими ланками (штангами) 3 змінної довжини (рис. 1) [3, 5].

Координати центрів шарнірів 0A_i нерухомої основи в базисі $OX_0Y_0Z_0$ і центрів шарнірів 5B_i платформи в рухомому координатному базисі $SXYZ$, пов'язаному з платформою, під час руху платформи не змінюються і визначаються (рис. 2) так:

$$\begin{pmatrix} {}^0A_1 \\ {}^0A_2 \\ {}^0A_3 \\ {}^0A_4 \\ {}^0A_5 \\ {}^0A_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{A1} & y_{A1} & z_{A1} \\ x_{A2} & y_{A2} & z_{A2} \\ x_{A3} & y_{A3} & z_{A3} \\ x_{A4} & y_{A4} & z_{A4} \\ x_{A5} & y_{A5} & z_{A5} \\ x_{A6} & y_{A6} & z_{A6} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -R_A \cos(0,5\gamma_1) & -R_A \sin(0,5\gamma_1) & 0 \\ R_A \cos(\gamma_2 + 0,5\gamma_1) & -R_A \sin(\gamma_2 + 0,5\gamma_1) & 0 \\ R_A \cos(0,5\alpha_2) & -R_A \sin(0,5\alpha_2) & 0 \\ R_A \cos(0,5\alpha_2) & R_A \sin(0,5\alpha_2) & 0 \\ R_A \cos(\alpha_1 + 0,5\alpha_2) & R_A \sin(\alpha_1 + 0,5\alpha_2) & 0 \\ -R_A \cos(0,5\alpha_1) & R_A \sin(0,5\alpha_1) & 0 \end{pmatrix};$$

$$\left. \begin{pmatrix} S_{B_{1,2}} \\ S_{B_{3,4}} \\ S_{B_{5,6}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -R_B \cos 60^\circ & -R_B \sin 60^\circ & -h_0 \\ R_B & 0 & -h_0 \\ -R_B \cos 60^\circ & R_B \sin 60^\circ & -h_0 \end{pmatrix} \right\}, \quad (2)$$

$$\operatorname{tg}\left(\frac{\gamma_2}{2}\right) = \frac{A_1 A_2 \cdot \cos\left(\frac{\pi}{6}\right)}{A_1 A_6 + 0,5 \cdot A_1 A_2}; \quad \gamma_1 = \frac{2\pi}{3} - \gamma_2, \quad A_1 A_2 = R_A \sin \gamma_2$$

де R_A та R_B – радіуси центрів шарнірів A_i та B_i відповідно; індекс зліва від символа вверху означає: “0” – нульову (нерухому) систему координат, “s” – рухома [5]. Строки матриць (2) визначають координати центрів шарнірів.



Рис. 1 – Тренажер-гексапод екіпажу мобільної техніки

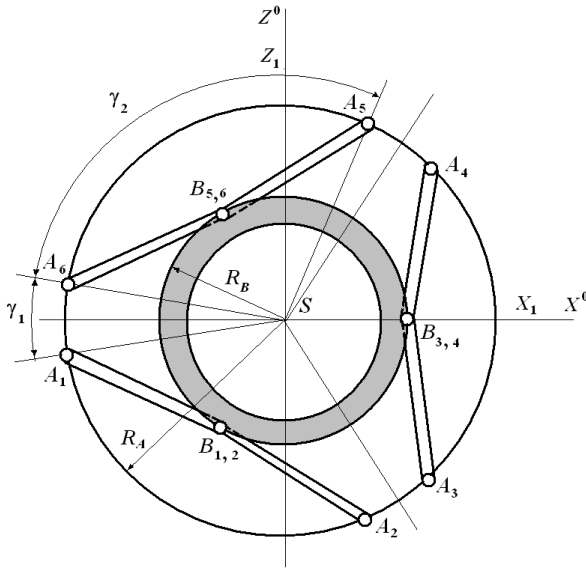


Рис. 2 – Розрахункова схема розташування шарнірів A_i та B_i ПП

За конструктивними розмірами $A_1A_2 = 4,254 м$, $A_1A_6 = 0,76 м$ знайдено: $R_A = A_1A_2 / \sin \gamma_2 = 2,7 м$; $h_0 = 0,8 м$ – відстань від центру S ПП до площини шарнірів B_i ; $R_B = 2,5 м$; $\gamma_1 = 16,17^\circ$; $\gamma_2 = 103,8^\circ$ [5]. Для просторової конфігурації ПП з урахуванням матриць перетворення координат (при повороті осей – кути ψ , θ , φ , та поступальному переміщенні з центром S ПП – x_S , y_S , z_S) отримано координати центрів шарнірів B_i у нерухомій системі $OX_0Y_0Z_0$ у вигляді

$$\begin{pmatrix} x_{Bi} \\ y_{Bi} \\ z_{Bi} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} B_{xi}(c_\psi c_\varphi - s_\psi s_\theta s_\varphi) + B_{yi}(-s_\psi c_\theta) + B_{zi}(c_\psi s_\varphi + s_\psi s_\theta c_\varphi) + x_S \\ B_{xi}(s_\psi c_\varphi + c_\psi s_\theta s_\varphi) + B_{yi}c_\psi c_\theta + B_{zi}(s_\psi s_\varphi - c_\psi s_\theta c_\varphi) + y_S \\ B_{xi}(-c_\theta s_\varphi) + B_{yi}s_\theta + B_{zi}c_\theta c_\varphi + z_S \end{pmatrix}, i = \bar{1,6}, (3)$$

де $c_\psi = \cos \psi$, $s_\psi = \sin \psi$, $c_\theta = \cos \theta$, $s_\theta = \sin \theta$, $c_\varphi = \cos \varphi$, $s_\varphi = \sin \varphi$.

Довжини штанг гексаподу для певної просторової конфігурації ПП

$$L_i = A_iB_i = \sqrt{(x_{Bi} - x_{Ai})^2 + (y_{Bi} - y_{Ai})^2 + (z_{Bi} - z_{Ai})^2}, i = 1..6. (4)$$

Деформації (подовження) штанг визначено з використанням матриці Якобі, сформованої на основі (4) у такому вигляді

$$\begin{pmatrix} \Delta L_1 \\ \Delta L_2 \\ \Delta L_3 \\ \Delta L_4 \\ \Delta L_5 \\ \Delta L_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial L_1}{\partial x_S} & \frac{\partial L_1}{\partial y_S} & \frac{\partial L_1}{\partial z_S} & \frac{\partial L_1}{\partial \psi} & \frac{\partial L_1}{\partial \theta} & \frac{\partial L_1}{\partial \varphi} \\ \frac{\partial L_2}{\partial x_S} & \frac{\partial L_2}{\partial y_S} & \frac{\partial L_2}{\partial z_S} & \frac{\partial L_2}{\partial \psi} & \frac{\partial L_2}{\partial \theta} & \frac{\partial L_2}{\partial \varphi} \\ \frac{\partial L_3}{\partial x_S} & \frac{\partial L_3}{\partial y_S} & \frac{\partial L_3}{\partial z_S} & \frac{\partial L_3}{\partial \psi} & \frac{\partial L_3}{\partial \theta} & \frac{\partial L_3}{\partial \varphi} \\ \frac{\partial L_4}{\partial x_S} & \frac{\partial L_4}{\partial y_S} & \frac{\partial L_4}{\partial z_S} & \frac{\partial L_4}{\partial \psi} & \frac{\partial L_4}{\partial \theta} & \frac{\partial L_4}{\partial \varphi} \\ \frac{\partial L_5}{\partial x_S} & \frac{\partial L_5}{\partial y_S} & \frac{\partial L_5}{\partial z_S} & \frac{\partial L_5}{\partial \psi} & \frac{\partial L_5}{\partial \theta} & \frac{\partial L_5}{\partial \varphi} \\ \frac{\partial L_6}{\partial x_S} & \frac{\partial L_6}{\partial y_S} & \frac{\partial L_6}{\partial z_S} & \frac{\partial L_6}{\partial \psi} & \frac{\partial L_6}{\partial \theta} & \frac{\partial L_6}{\partial \varphi} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \\ \Delta u_\psi \\ \Delta u_\theta \\ \Delta u_\varphi \end{pmatrix} = J \cdot \Delta ,$$

де J – матриця Якобі; Δ – матриця-стовпець пружних переміщень платформи; $\Delta u_\psi = R_B \cdot \Delta \psi$; $\Delta u_\theta = R_B \cdot \Delta \theta$; $\Delta u_\varphi = R_B \cdot \Delta \varphi$.

Матриця узагальнених коефіцієнтів жорсткості МПСК тренажера-гексапода формується на основі матриці Якобі і має вид $C = J^T \cdot C_D \cdot J$, де $C_D = \text{diag}(c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6,)$ – діагональна матриця коефіцієнтів жорсткості штанг гексаподу c_i .

Визначення головних та парціальних частот системи гексапода. У заданій просторовій конфігурації ПП знаходиться у рівновазі і узагальнені параметри конфігурації $(x_S, y_S, z_S, \psi, \theta, \varphi)$ є константами. Під час коливань системи ПП навколо заданої просторової кофігурації змінюються пружні відхилення $(\Delta x, \Delta y, \Delta z, \Delta u_\psi, \Delta u_\theta, \Delta u_\varphi)$ та відповідні їм деформації штанг гексаподу ΔL_i . Вважаючи осі ПП $SXYZ$ головними центральними осями інерції та пружні відхилення ПП від положення рівноваги величинами малими, визначено кінетичну енергію коливань за формулою

$$T = \frac{m}{2} (\Delta \dot{x}^2 + \Delta \dot{y}^2 + \Delta \dot{z}^2) + \frac{1}{2R_B^2} (I_z \dot{u}_\psi^2 + I_x \dot{u}_\theta^2 + I_y \dot{u}_\varphi^2), \quad (5)$$

де m – маса платформи; I_x, I_y, I_z – головні осеві моменти інерції рухомої платформи відносно своїх власних осей SX, SY, SZ .

Матриця узагальнених коефіцієнтів інерції ПП згідно (5) має вигляд $A = \text{diag}(m, m, m, I_z/R_B^2, I_x/R_B^2, I_y/R_B^2)$. Спектр головних частот МПСК залежить від просторової конфігурації ПП і визначається коренями частотного рівняння у вигляді визначника $\det \|C - \omega^2 A\| = 0$.

Для парціальних систем тренажера-гексапода матриця жорсткості є діагональною

$$C_p = \text{diag}(c_x, c_y, c_z, c_\psi, c_\theta, c_\phi);$$

$$\left. \begin{aligned} c_x &= \sum_{i=1}^6 c_i J_{ix}^2; & c_y &= \sum_{i=1}^6 c_i J_{iy}^2; & c_z &= \sum_{i=1}^6 c_i J_{iz}^2; \\ c_\psi &= \sum_{i=1}^6 c_i J_{i\psi}^2; & c_\theta &= \sum_{i=1}^6 c_i J_{i\theta}^2; & c_\phi &= \sum_{i=1}^6 c_i J_{i\phi}^2 \end{aligned} \right\},$$

де $J_{ix}, J_{iy}, J_{iz}, J_{i\psi}, J_{i\theta}, J_{i\phi}$, $i = 1..6$ – елементи стовпців матриці Якобі.

Парціальні частоти системи тренажера-гексапода визначені як корені частотного рівняння у вигляді визначника $\det \|C_p - p^2 A\| = 0$.

Для множини конфігурацій тренажера проведено дослідження критерію зв'язності коливань з наступними параметрами: $R_A = 2,7 \text{ м}$, $R_B = 2,5 \text{ м}$; $c_i = c_0 = 10^8 \text{ Н/м}$. Кути поворотів платформи θ і ϕ змінювались в інтервалі $(-20^\circ, 20^\circ)$. Аналіз результатів досліджень показує, що вертикальне переміщення платформи (збільшення z_p) приводить до зменшення першої головної частоти. При повороті платформи на $15^\circ \dots 20^\circ$ значення критерію зв'язності зростає (рис. 3).

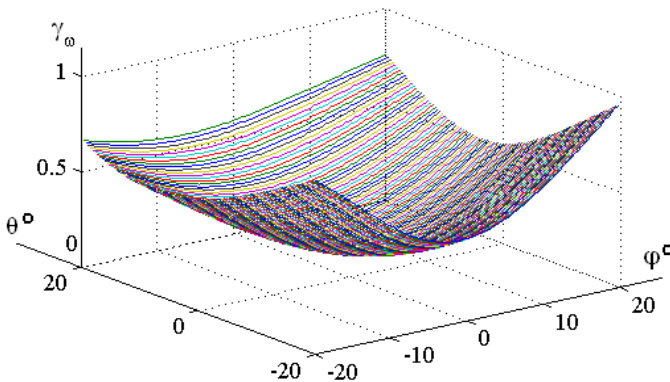


Рис. 3 – Діаграма критерію зв'язності коливань тренажера для множини конфігурацій при поворотах ПП навколо горизонтальних осей на кути θ і ϕ

Сприятливими для забезпечення надійності функціонування тренажера рекомендовані значення критерію зв'язності коливань не вище $\gamma_\omega = 0,5$, що відповідає наступним інтервалам кутів повороту: $\theta = -15^\circ \dots +10^\circ$ (рис. 4); $\phi = -10^\circ \dots +15^\circ$ (рис. 5).

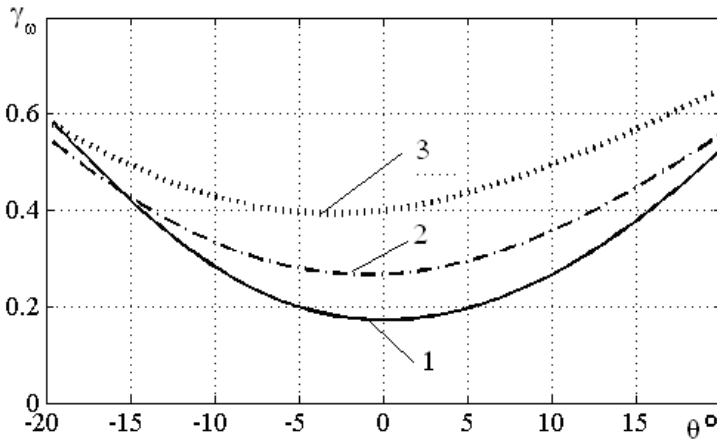


Рис. 4 – Залежність критерію зв'язності коливань від кута повороту ПП θ
(1 – $\varphi = 0^\circ$; 2 – $\varphi = 10^\circ$; 3 – $\varphi = 15^\circ$)

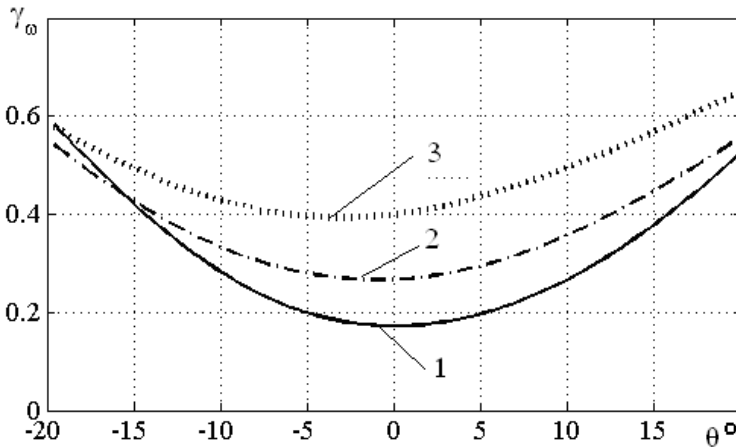


Рис. 5 – Залежність критерію зв'язності коливань від кута повороту ПП φ
(1 – $\theta = 0^\circ$; 2 – $\theta = 10^\circ$; 3 – $\theta = 15^\circ$)

Висновки. 1. Одержано аналітичні залежності визначення головних і парціальних частот тренажера-гексапода та за результатами чисельного моделювання встановлено розподіл критерія зв'язності коливань для множини просторових конфігурацій ПП. 2. Рекомендовані наступні межі значень кутів повороту $\theta = -15^\circ \dots +10^\circ$ і $\varphi = -10^\circ \dots +15^\circ$ для забезпечення надійності функціонування тренажера з критерієм зв'язності коливань не вище $\gamma_\omega = 0,5$.

БІБЛІОГРАФІЧНІ ПОСИЛАННЯ

1. **Гутиря С. С.** Підвищення технічного рівня механізмів паралельної структури і кінематики у складі технологічних кооплексів / С. С. Гутиря, В. П. Яглінський, А. С. Обайди // Технологічні комплекси. – 2012. – № 2,2 (5,6). – С. 50–56.
2. **Кузнецов Ю. М.** Компонувки верстатів з механізмами паралельної структури / Ю. М. Кузнецов, Д. О. Дмитрієв, Г. Ю. Діневич. – Херсон: ПП Вишемирський В. С., 2009. – 456 с.
3. Пат. 104273 Україна, МПК G09B9/10, G09B9/52, F41A33/00, F41G3/26, A63B24/00. Багатокоординатний двосторонній модульний електропривод аерокосмічних тренажерних систем / Фелько М. В., Яглінський В. П., Ковалішин С. С., Беліков В. Т., Васильєв В. В.; заявник і власник Фелько М. В., Яглінський В. П., Ковалішин С. С., Беліков В. Т., Васильєв В. В. – № а 201310021; заявл. 12.08.13; опубл. 10.01.14, Бюл. № 1.
4. **Яглінський В. П.** Кинематика оборудования на основе механизмов параллельной структуры: монография / В. П. Яглинский, В. В. Ержуков, А. Г. Ивахненко, А. В. Киричек [и др.] // Прогрессивное машиностроительное оборудование. Коллективная монография — Орел: Изд. дом “Спектр”, 2011. – 455 с.
5. **Яглінський В. П.** Повышение подвижности кабин динамических тренажеров мобильных машин / В. П. Яглинский, А. С. Обайди, Н. В. Фелько // Технологический аудит и резервы производства. – 2014. – № 3/4 (17). – С. 44–48.
6. **Yaglinsky V. P.** Multi-criterion optimization functional trajectories of industrial robots / V. P. Yaglinsky, S. S. Gutyrta, O. U. Bezuglenko // Annals of DAAAM International 2004. – Vienna, 2004. – P. 37–38.

В. П. Яглинский, д-р техн. наук, А. С. Обайди, Г. В. Козерацкий

ИССЛЕДОВАНИЕ КРИТЕРИЯ СВЯЗНОСТИ КОЛЕБАНИЙ ТРЕНАЖЕРА-ГЕКСАПОДА

Для оценки технического уровня тренажера-гексапода предложен критерий связности колебаний и установлено его распределение для множества пространственных конфигураций механизма. Разработана методика определения спектра главных частот и границ изменения критерия виброненадежности. Получены аналитические модели, обеспечивающие возможность выбора режимов функционирования тренажера в диапазоне допустимых значений критерия связности колебаний.

Ключевые слова: механизм параллельной структуры и кинематики, матрица Якоби, частоты, жесткость.

V. P. Yaglinsky, Dr. Sci. (Tech.), A. S. Obaydi, G. V. Kozeratsky

RESEARCH OF SIMULATOR-HEXAPOD BY CRITERION OF CONNECTIVITY OF FLUCTUATIONS

For an assessment of a technological level of system of the simulators-machine-hexapod by the criterion of connectivity of fluctuations is offered and its distribution for a set of spatial configurations of the mechanism is established. The technique of definition of ranges of the main frequencies of the exercise machine-hexapod and borders of change of the corresponding criterion of quality is worked. The received analytical models provide possibility of choice of modes of functioning of trainer in the range of possible values of criterion of connectivity of vibrations.

Keywords: mechanism of parallel structure and kinematics, Jacobian, frequencies, rigidity.

The criterion of dependences of fluctuations for the assessment of technological level of system of the simulator-machine-hexapod for a set of spatial

configurations of the mechanism is offered. It is recommended to estimate level of influence of fluctuations of one links of a simulator-hexapod on fluctuations of others links by criterion of vibrating connectivity of fluctuations. Vibration of one of links considerably influences on the fluctuations of other links.

The criterion accepts values in limits from 0 to 1,0. If its value closes to unit, the dynamic connectivity of fluctuations of links of a training apparatus is "strong". If the factor is close to zero values of criterion, so vibrations of links is "weak" and each link makes fluctuation without dependence on other links. It promotes restriction of interrelations of vibration and decreases a dynamics loading on crew. Modern configuration of the simulator-hexapod for crews of mobile machine has 6 degrees of freedom. This system consists of a mobile platform, the motionless basis and the spherical joints, connected with six mobile hinges of variable length.

The matrix of the generalized factors of rigidity of a simulator-hexapod is formed on the basis of Jacobian. For criterion definition the set of spatial configurations of a simulator-hexapod is established. As a result of the analysis of researches it is revealed that vertical displacement of the platform upwards leads to decrease of the first main frequency.

The angular positions of the platform for values of criterion less than 0,5 are defined. It is developed technique of definition of ranges of the main frequencies of the exercise machine-hexapod for borders of change of the corresponding criterion of quality. The received analytical models provide possibility of choice of the modes of functioning of trainer in the range of possible values of criterion of connectivity of vibrations.

REFERENCES

1. **Gutyrya S. S.** An increase of technical level of mechanisms of parallel structure and kinematics in composition of technological complexes / S. S. Gutyrya, V. P. Yaglinsky, A. S. Obaydi // Technological complexes. – 2012. – № 2,2 (5,6). – P. 50–56. (in Russian).
2. **Kuznezov U. M.** Arrangements of machine-tools with the mechanisms of parallel structure / U. M. Kuznezov, D. O. Dmitriev, G. U. Dinevish. – Kherson: PP Vyschemyrsky V. S., 2009. – 456 p. (in Russian).
3. Pat. 104273 Ukraine, MPK G09B9/10, G09B9/52, F41A33/00, F41G3/26, A63B24/00. Multicoordinate bilateral module electromechanical drive of the aerospace trainer systems / Felko M. V., Yaglinsky V. P., Kowalischyn S.S., Belikow W. T., Wasilew W. W. ; declarant and proprietor: Felko M. V., Yaglinsky V. P., Kowalischyn S. S., Belikow W. T., Wasilew W. W. – № a 201310021; publ. 10.01.14, Bul. № 1. (in Russian).
4. **Yaglinsky V. P.** Kinematics of equipment on the basis of mechanisms of parallel structure : Monograph / V. P. Yaglinsky, V. V. Ershukow, A. G. Ivachenko, A. V. Kyrtychek // Progressive machine-building equipment. Collective monograph — Orel, Publ. "Spektr", 2011. – 455 p. (in Russian).
5. **Yaglinsky V. P.** Increase of mobility of booths of dynamic trainers of mobile machines / V. P. Yaglinsky, A. S. Obaydi, M. V. Felko // Technological audit and backlogs of production. – 2014. – № 3/4 (17). – P. 44–48. (in Russian).
6. **Yaglinsky V. P.** Multi-criterion optimization functional trajectories of industrial robots / V. P. Yaglinsky, S. S. Gutyrya, O. U. Bezuglenko // Annals of DAAAM International 2004. – Vienna, 2004. – P. 37–38.