

ВЕКТОРНИЙ СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ІДЕАЛЬНОГО ІНЕРЦІЙНОГО МОДУЛЯ У СТОПОВОМУ РЕЖИМІ

¹Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Наявність узагальненої схеми імпульсного механізму, створеної А. І. Леоновим, не має універсального математичного опису параметрів неперервними аналітичними функціями, тому кожна конструктивна розробка описується, здебільшого, складними системами диференціальних рівнянь, але відсутність наочності у представленні результатів ускладнює інтуїтивне розуміння динамічних процесів. Вивчено кінематичні параметри дебалансу ідеального інерційного модуля у стоповому режимі для прогнозування динамічних показників як неперервних у часі функцій. В основу методу дослідження покладено векторне моделювання параметрів сферичного руху. Для цього введено нерухому систему декартових координат так, що з горизонтальною площиною суміщена площина кола основи початкового конуса реактивного конічного колеса, а вісь привода сателіта (геометрична вісь водила) суміщена з віссю апікат. Центральна вісь механізму, що проходить через діаметр реактивного колеса, суміщена з віссю абсцис, на додатній вітці якої в початковий момент знаходиться центр ваги дебалансу. У стоповому режимі абсолютний рух точки визначається результатом його обертань навколо осі сателіта зі швидкістю, яка лежить в площині основи початкового конуса сателіта і навколо осі привода зі швидкістю, яка паралельна до площини основи початкового конуса реактивного колеса. Проекції векторів абсолютної швидкості і абсолютного прискорення точки дебалансу на осі координат, в свою чергу, визначають проекції складових вектора швидкості та прискорення на площини координат нерухомої декартової системи. Визначення плечей цих складових у площинах проекцій відносно центру осі дає можливість в подальшому прогнозувати динамічні параметри в будь-яких точках траєкторії (в будь-який момент часу). Аналітичні розрахунки модульних значень лінійних і кутових швидкостей та прискорень, а також побудову відповідних діаграм виконано за допомогою операторів програми MathCAD.

Ключові слова: дебаланс, інерційний модуль, уніфікована компоновальна схема, інерційний трансформатор моменту, стоповий режим, траєкторія.

Вступ

Традиційні підходи в дослідженні узагальнених моделей інерційних імпульсних механізмів [1]—[5] характеризують інерційно-імпульсні системи в загальному вигляді [6]—[9], що призводить до необхідності оцінки їхньої ефективності в комплексі з силовими агрегатами. Тому абстрагування від конструктивно-технологічних обмежень і застосування засобів інформаційних технологій є необхідною умовою аналізу на різних рівнях моделювання.

Метою дослідження є визначення базових кінематичних співвідношень ідеального інерційного модуля у вигляді неперервних у часі функцій для аналізу уніфікованих компоновальних схем інерційних трансформаторів моменту.

Результати дослідження

У загальному випадку габарити інерційних трансформаторів моменту (ІТМ) визначаються конструктивними параметрами зубчастих передач. Тому, зважаючи на широкий спектр модифіка-

цій, для дослідження геометричні елементи ланок імпульсного блока, доцільно уніфікувати з врахуванням параметрів еталонної узагальненої компоновальної схеми [10]. Для теоретичних розрахунків у біпланетарному механізмі інерційного диференціального трансформатора моменту виділено інерційний модуль (ІМ) у вигляді триланкового конічного диференціального механізму. В ідеальному ІМ діаметр кола основи початкового конуса реактивного колеса z_{17} конструктивно суміщений з центральною віссю біпланетарного механізму, а центр ваги дебаланса знаходиться у точці D кола основи початкового конуса сателіта z_6 .

Осі нерухокої декартової системи координат проведено через початковий конус реактивного колеса z_{17} так, що площина кола основи суміщена з площиною xOy , а його вісь — з віссю Oz (рис. 1).

Вважатимемо, що $z_6 = z_{17}$, а точка D в початковий момент лежить на додатній вітці осі Ox .

Оскільки стоповий режим є граничним, в якому $\omega_{out} = 0$, а $M_{out} = M_{max}$, то необхідно визначити не тільки основні кінематичні параметри, а і характер змін їхніх проекцій у площинах нерухокої системи координат.

В загальному випадку рух точки D є сферичним, що передбачає складання відповідних аналітичних залежностей [11]—[13]. Проте, у стоповому режимі траєкторія точки D (крива t) легко визначається завдяки однозначній орієнтації осі QA і радіусу AD в кожний момент часу (рис. 1). Координати точки D визначаються за формулами

$$\begin{aligned} x_D(t) &= QB \left[\left(\cos \varphi \cos \left(\varphi + \psi - \frac{\pi}{2} \right) + \sin \varphi \cos \chi \cos(\omega_6 t) \right) \cos(\omega_{16} t) + \sin \varphi \sin(\omega_6 t) \sin(\omega_{16} t) \right]; \\ y_D(t) &= QB \left[\left(\cos \varphi \cos \left(\varphi + \psi - \frac{\pi}{2} \right) + \sin \varphi \cos \chi \cos(\omega_6 t) \right) \sin(\omega_{16} t) - \sin \varphi \sin(\omega_6 t) \cos(\omega_{16} t) \right]; \\ z_D(t) &= QB \sin \varphi \sin \chi (1 - \cos(\omega_6 t)), \end{aligned} \quad (1)$$

де QB — спільна твірна початкових конусів сателіта z_6 і реактивного колеса z_{17} ; $x_D(t)$, $y_D(t)$, $z_D(t)$ — проекції радіус-вектора $\vec{r}_D(t)$ на відповідні осі координат; φ , ψ — кути при вершині Q ділительних конусів сателіта і реактивного колеса; χ — кут між основами ділительних конусів сателіта і реактивного колеса.

Слід зауважити, що у стоповому режимі за умови $z_6 = z_{17}$, кутові швидкості сателіта ω_6 навколо осі QA і привода ω_{16} навколо осі OQ однакові, проте індекси акцентують увагу на тому чи іншому рухові.

Модуль радіус-вектора $\vec{r}_D(t)$ становить

$$r_D(t) = \sqrt{x_D(t)^2 + y_D(t)^2 + z_D(t)^2}. \quad (2)$$

Проекції точки D на площини xOy , yOz , xOz позначимо відповідно H , P і F . Модулі проекцій радіус-вектора $\vec{r}_D(t)$ у площини становитимуть

$$\begin{aligned} OH(t) &= \sqrt{x_D(t)^2 + y_D(t)^2}; \\ OP(t) &= \sqrt{y_D(t)^2 + z_D(t)^2}; \\ OF(t) &= \sqrt{x_D(t)^2 + z_D(t)^2}. \end{aligned} \quad (3)$$

Обертання точки D навколо осей Oz , Ox і Oy визначаються кутами $\beta_H(t) = \angle xOH(t)$, $\beta(t) = \angle zOP(t)$ і $\beta_F(t) = \angle xOF(t)$, відповідно. Їхні значення обчислюються за такими формулами:

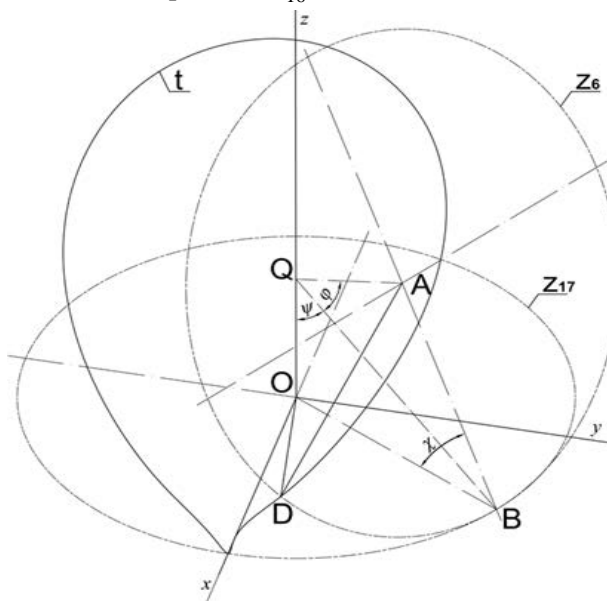


Рис. 1. Ідеальна схема інерційного модуля

$$\beta_H(t) = \arctan \frac{y_D(t)}{x_D(t)}; \quad \beta_P(t) = \frac{\pi}{2} - \arccos \left(\frac{y_D(t)}{OP(t)} \right); \quad \beta_F(t) = \arccos \left(\frac{x_D(t)}{OF(t)} \right). \quad (4)$$

Оскільки часовоподібні змінні, а також функції від них вважаються неперервними, то шляхом диференціювання по часу кутів $\beta_H(t)$, $\beta_P(t)$ і $\beta_F(t)$ отримуємо кутові швидкості обертання точки D відносно осей декартової системи координат Ox , Oy і Oz , відповідно.

$$\omega_H(t) = \frac{d}{dt} \beta_H(t); \quad \omega_P(t) = \frac{d}{dt} \beta_P(t); \quad \omega_F(t) = \frac{d}{dt} \beta_F(t). \quad (5)$$

У стоповому режимі обертання ланок навколо центральної осі Ox відсутнє, тобто рух дебаланса однозначно визначається кінематикою конічного диференціала ІМ, що перетворюється у конічну планетарну передачу, оскільки реактивне конічне колесо z_{17} за цієї умови нерухоме [14]. Таким чином швидкість точки D визначається її обертанням навколо осі QA сателіта z_6 та обертанням цієї осі навколо осі Oz , що відповідає векторній сумі

$$\bar{V}_{D\Sigma}(t) = \bar{V}_{DA}(t) + \bar{V}_{DOz}(t), \quad (6)$$

де $\bar{V}_{DA}(t)$ — обертальна швидкість точки D навколо осі QA сателіта z_6 ; $\bar{V}_{DOz}(t)$ — обертальна швидкість точки D навколо осі Oz ;

Зручність такого визначення абсолютної швидкості точки D пояснюється тим, що вектор $\bar{V}_{DA}(t)$ лежить в площині основи початкового конуса сателіта і перпендикулярний до радіуса AD , а вектор $\bar{V}_{DOz}(t)$ у всіх положеннях паралельний до площини xOy .

Модулі цих векторів становлять, відповідно,

$$V_{DA}(t) = AD\omega_6; \quad (7)$$

$$V_{DOz}(t) = OH(t)\omega_{16}. \quad (8)$$

З іншого боку

$$\bar{V}_{D\Sigma}(t) = \frac{d}{dt} \bar{r}_D(t). \quad (9)$$

Модуль цього вектора (рис. 2а) обчислюється за формулою

$$V_{D\Sigma}(t) = \sqrt{V_{Dx}(t)^2 + V_{Dy}(t)^2 + V_{Dz}(t)^2}. \quad (10)$$

де $\bar{V}_{Dx}(t)$, $\bar{V}_{Dy}(t)$, $\bar{V}_{Dz}(t)$ проекції абсолютної швидкості на осі Ox , Oy і Oz , відповідно.

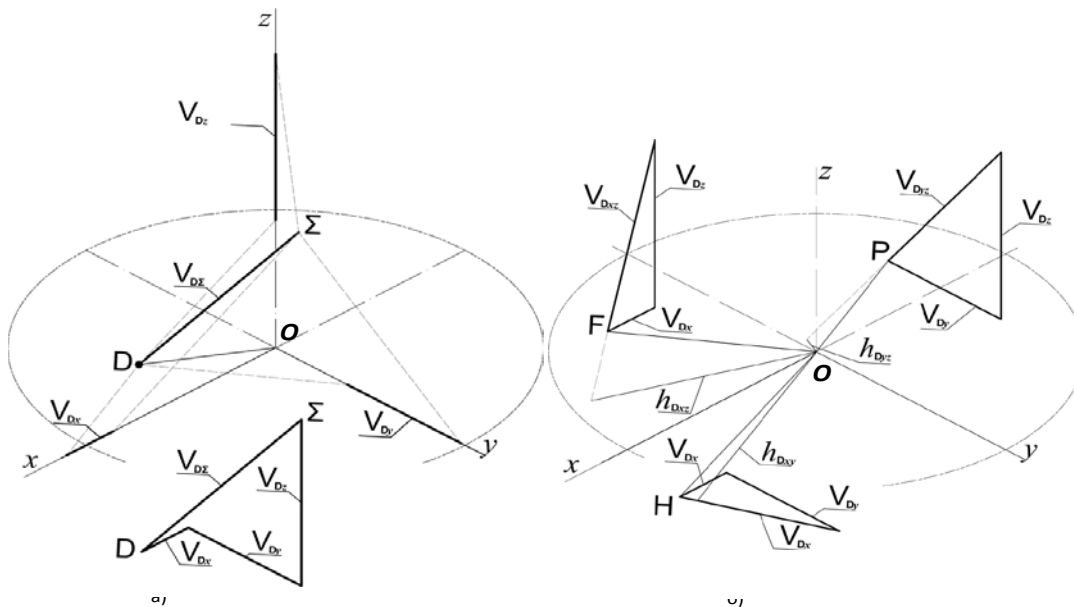


Рис. 2. Проекції абсолютної швидкості $\bar{V}_{D\Sigma}(t)$ в декартових координатах

Модулі цих проекцій становлять (див. рис. 2а)

$$V_{Dx}(t) = \frac{d}{dt}x(t); \quad V_{Dy}(t) = \frac{d}{dt}y(t); \quad V_{Dz}(t) = \frac{d}{dt}z(t). \quad (11)$$

Косинус кута між радіус-вектором $\bar{r}_D(t)$ і вектором абсолютної швидкості $\bar{V}_{D\Sigma}(t)$ визначається зі співвідношення [15]

$$\cos(rV(t)) = \frac{x(t) \cdot V_{Dx}(t) + y(t) \cdot V_{Dy}(t) + z(t) \cdot V_{Dz}(t)}{r_D(t) \cdot V_{D\Sigma}}. \quad (12)$$

Плече вектора абсолютної швидкості $\bar{V}_{D\Sigma}(t)$ обчислюється за формулою

$$h_{D\Sigma} = r_D(t) \cdot \sqrt{1 - \cos(rV(t))^2}. \quad (13)$$

Модулі проекцій абсолютної швидкості у площинах xOy , yOz і xOz , відповідно, становлять (рис. 2б)

$$V_{Dxy}(t) = \sqrt{V_{Dx}(t)^2 + V_{Dy}(t)^2}; \quad V_{Dyz}(t) = \sqrt{V_{Dy}(t)^2 + V_{Dz}(t)^2}; \quad V_{Dxz}(t) = \sqrt{V_{Dx}(t)^2 + V_{Dz}(t)^2}. \quad (14)$$

Діаграми кутових швидкостей (рис. 3а) і абсолютної швидкості та її проекцій (рис. 3б) представлено за умови, що $AD = OB = 0,1 \text{ м}$, $\omega = 100 \text{ с}^{-1}$.

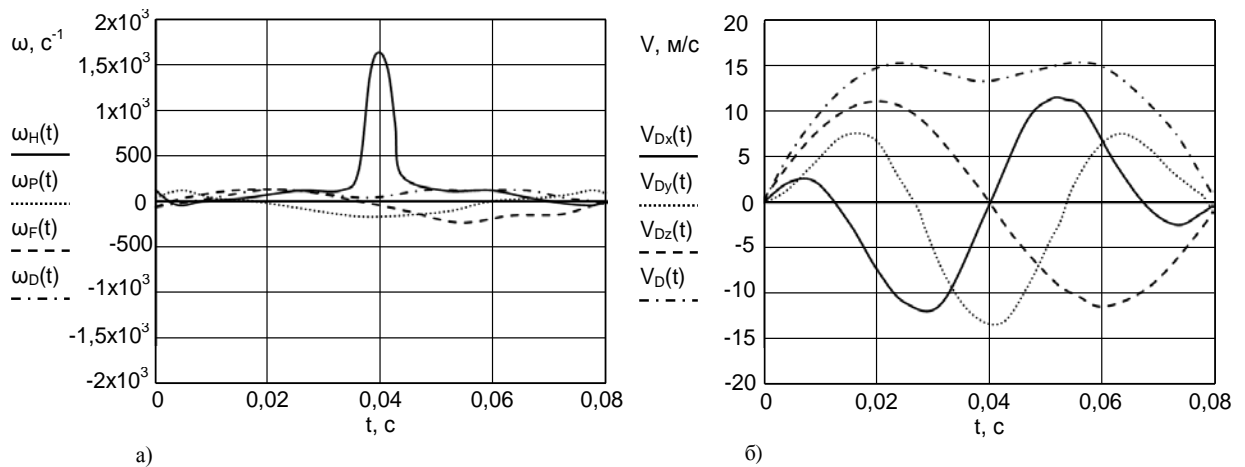


Рис. 3. Діаграми швидкостей дебалансу

Косинуси кутів між проекціями швидкості $V_{Dxy}(t)$, $V_{Dyz}(t)$ та $V_{Dxz}(t)$ і радіус вектора $OH(t)$, $OP(t)$ та $OF(t)$ у площинах xOy , yOz та xOz становлять, відповідно

$$\cos(HV(t)) = \frac{x(t) \cdot V_{Dx}(t) + y(t) \cdot V_{Dy}(t)}{OH(t) \cdot V_{Dxy}}; \quad \cos(PV(t)) = \frac{y(t) \cdot V_{Dy}(t) + z(t) \cdot V_{Dz}(t)}{OP(t) \cdot V_{Dyz}}; \quad (15)$$

$$\cos(FV(t)) = \frac{x(t) \cdot V_{Dx}(t) + z(t) \cdot V_{Dz}(t)}{OF(t) \cdot V_{Dxz}}.$$

Плечі проекцій $V_{Dxy}(t)$, $V_{Dyz}(t)$ та $V_{Dxz}(t)$ у площинах xOy , yOz та xOz обчислюються за формулами

$$\begin{aligned} h_h &= OH(t) \cdot \sqrt{1 - \cos(HV(t))^2}; \\ h_p &= OP(t) \cdot \sqrt{1 - \cos(PV(t))^2}; \\ h_f &= OF(t) \cdot \sqrt{1 - \cos(FV(t))^2}. \end{aligned} \quad (16)$$

Для можливого виявлення синергетичних ефектів «взаємодії» складових кінематичних параметрів і прогнозування їхнього впливу на динаміку дебаланса доцільно визначити швидкості приростів проекк-

цій радіус-вектора $\bar{r}_D(t)$, що досягається проєкціюванням вектора $\bar{V}_{D\Sigma}(t)$ на лінії проєкцій $\overline{OH}(t)$, $\overline{OP}(t)$ та $\overline{OF}(t)$ і перпендикуляри до них, що проходять через точки H, P та F , відповідно, [16], [17].

Модулі цих складових визначаються за такими формулами:

– у площині xOy

$$V_{\Delta OH}(t) = \frac{x_D(t) \cdot V_{Dx}(t) + y_D(t) \cdot V_{Dy}(t)}{\sqrt{x_D(t)^2 + y_D(t)^2}}; \quad (17)$$

$$V_{\perp OH}(t) = \frac{x_D(t) \cdot V_{Dx}(t) - y_D(t) \cdot V_{Dy}(t)}{\sqrt{x_D(t)^2 + y_D(t)^2}};$$

– у площині yOz

$$V_{\Delta OP}(t) = \frac{y_D(t) \cdot V_{Dy}(t) + z_D(t) \cdot V_{Dz}(t)}{\sqrt{y_D(t)^2 + z_D(t)^2}}; \quad (18)$$

$$V_{\perp OP}(t) = \frac{y_D(t) \cdot V_{Dz}(t) - z_D(t) \cdot V_{Dy}(t)}{\sqrt{y_D(t)^2 + z_D(t)^2}};$$

– у площині xOz

$$V_{\Delta OF}(t) = \frac{x_D(t) \cdot V_{Dx}(t) + z_D(t) \cdot V_{Dz}(t)}{\sqrt{x_D(t)^2 + z_D(t)^2}}; \quad (19)$$

$$V_{\perp OF}(t) = \frac{x_D(t) \cdot V_{Dz}(t) - z_D(t) \cdot V_{Dx}(t)}{\sqrt{x_D(t)^2 + z_D(t)^2}}.$$

Векторне моделювання абсолютного пришвидшення $\bar{a}_{D\Sigma}(t)$ точки D та його проєкцій виконуються аналогічно до швидкостей, тобто модулі проєкцій $a_{Dx}(t)$, $a_{Dy}(t)$ і $a_{Dz}(t)$ на осі xOy , yOz і xOz , відповідно, визначаються як

$$a_{Dx}(t) = \frac{d}{dt} V_{Dx}(t) = \frac{d^2}{dt^2} x(t); \quad a_{Dy}(t) = \frac{d}{dt} V_{Dy}(t) = \frac{d^2}{dt^2} y(t); \quad a_{Dz}(t) = \frac{d}{dt} V_{Dz}(t) = \frac{d^2}{dt^2} z(t). \quad (20)$$

Модуль вектора абсолютного пришвидшення точки D обчислюється за формулою

$$a_{D\Sigma}(t) = \sqrt{a_{Dx}(t)^2 + a_{Dy}(t)^2 + a_{Dz}(t)^2}. \quad (21)$$

Косинус кута між радіус-вектором $\bar{r}_D(t)$ і вектором абсолютного пришвидшення $\bar{a}_{D\Sigma}(t)$ визначається зі співвідношення

$$\cos(ra(t)) = \frac{x(t) \cdot a_{Dx}(t) + y(t) \cdot a_{Dy}(t) + z(t) \cdot a_{Dz}(t)}{r_D(t) \cdot a_{D\Sigma}(t)}. \quad (22)$$

Плече вектора абсолютного пришвидшення $\bar{a}_{D\Sigma}(t)$ обчислюється за формулою

$$h_{aD\Sigma} = r_D(t) \cdot \sqrt{1 - \cos^2(ra(t))}. \quad (23)$$

Модулі проєкцій абсолютного пришвидшення у площинах xOy , yOz та xOz , відповідно, становлять

$$\begin{aligned} a_{Dxy}(t) &= \sqrt{a_{Dx}(t)^2 + a_{Dy}(t)^2}; \\ a_{Dyz}(t) &= \sqrt{a_{Dy}(t)^2 + a_{Dz}(t)^2}; \\ a_{Dxz}(t) &= \sqrt{a_{Dx}(t)^2 + a_{Dz}(t)^2}. \end{aligned} \quad (24)$$

Діаграми модулів абсолютного пришвидшення і його проєкцій показані на рис. 4.

Косинуси кутів між проєкціями пришвидшення $a_{Dxy}(t)$, $a_{Dyz}(t)$ та $a_{Dxz}(t)$ і радіус вектора $OH(t)$,

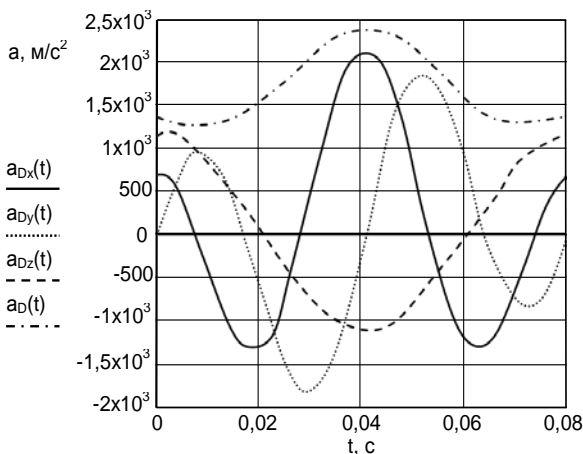


Рис. 4. Діаграми складових пришвидшень дебалансу

$OP(t)$ та $OF(t)$ у площинах xOy , yOz та xOz становлять, відповідно,

$$\begin{aligned}\cos(Ha(t)) &= \frac{x(t) \cdot a_{D_x}(t) + y(t) \cdot a_{D_y}(t)}{OH(t) \cdot a_{D_{xy}}}; \\ \cos(Pa(t)) &= \frac{y(t) \cdot a_{D_y} + z(t) \cdot a_{D_z}(t)}{OP(t) \cdot a_{D_{yz}}}; \\ \cos(Fa(t)) &= \frac{x(t) \cdot a_{D_x} + z(t) \cdot a_{D_z}(t)}{OF(t) \cdot a_{D_{xz}}}.\end{aligned}\quad (25)$$

Плечі проекцій $a_{D_{xy}}(t)$, $a_{D_{yz}}(t)$ та $a_{D_{xz}}(t)$ у площинах xOy , yOz та xOz обчислюються за формулами

$$\begin{aligned}ha_h &= OH(t) \cdot \sqrt{1 - \cos(Ha(t))^2}; \\ ha_p &= OP(t) \cdot \sqrt{1 - \cos(Pa(t))^2}; \\ ha_f &= OF(t) \cdot \sqrt{1 - \cos(Fa(t))^2}.\end{aligned}\quad (26)$$

Результати обчислень аналітичних залежностей і відповідні діаграми отримано за допомогою відповідних операторів програми MathCAD.

Висновки

1. Кінематичні параметри дебаланса ідеального інерційного модуля описано неперервними у часі функціями, що є базовими для аналізу модифікацій компоновальних схем інерційних трансформаторів моменту.
2. Векторне моделювання дозволяє виразніше і повніше представляти кінематичні параметри дебаланса ідеального інерційного модуля для подальшого прогнозування їхнього впливу на динаміку.
3. Оскільки обертання дебаланса навколо осей Ox і Oy носить коливальний характер, а обертання інерційного модуля навколо осі Oz блокується шарнірами центральної осі інерційного трансформатора моменту, то визначальними параметрами у стоповому режимі є проекції абсолютної швидкості та абсолютного пришвидження на площини xOy і yOz .

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] А. И. Леонов, *Инерционные автоматические трансформаторы вращающего момента*, Москва: Машиностроение, 1978, 224 с.
- [2] А. Т. Полецкий, и Г. Г. Васин, «К интегрированию уравнений инерционного трансформатора момента,» *Сб. «Динамика машин»*, Москва: Машиностроение, с. 297-308, 1969
- [3] G. Berselli et al., "Kinematic design and bond graph modeling of an inertia-type infinitely variable transmission," *Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conference*, 5, 2008. <https://doi.org/10.1115/DETC2008-49875>.
- [4] F. G. Benitez et al., "Infinitely Variable Transmission of Ratcheting Drive Type Based on One-Way Clutches," *ASME. Journal of Mechanical Design*, no. 126 (4), pp. 673-682, July 2004. <https://doi.org/10.1115/1.1758258>.
- [5] S. Aliukov et al., "Analysis of Methods for Solution of Differential Equations of Motion of Inertial Continuously Variable Transmissions," *SAE Technical Paper*, 2017. <https://doi.org/10.4271/2017-01-1105>.
- [6] K. Liu et al., "Dynamic Analysis of an Overrunning Clutch for the Pulse-Continuously-Variable-Speed Transmission," *SAE Technical Paper*, 1998. <https://doi.org/10.4271/980827>.
- [7] E. Ince et al., "On the advantages of the new power-split infinitely variable transmission over conventional mechanical transmissions based on fuel consumption analysis," *Journal of Cleaner Production*, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118795>.
- [8] E. Tsuchiya et al., "Formulation of intervibrator motion and development of a controller for a pulse-drive transmission," *Mechanism and Machine Theory*, vol. 150. <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2020.103880>.
- [9] J. Liang et al., "Simulation Study on Planetary Bevel Gear CVT System Based on Virtual Prototyping Technology," *Applied Mechanics and Materials*, 215-216, 1003-1008. [10.4028/www.scientific.net/AMM.215-216.1003](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.215-216.1003).
- [10] А. М. Курко, і В. М. Каретін, «Інерційний диференціальний трансформатор моменту,» *Патент на корисну модель України F16H 33/00, F16H 29/00. № 86532МПК (2014)*, 10.01.2014.
- [11] П. Стухляк, А. Курко, В. Каретін, і І. Добротвор, «Аналітичне дослідження кінематики дебалансу реактивно-інерційного блока інерційного трансформатора крутного моменту», *Машинознавство*, № 7, с. 41-44, 2011.
- [12] І. В. Кузьо та ін., *Теоретична механіка*, навч. посіб. Харків, Україна: Фоліо, 2017, 780 с.
- [13] А. М. Токар, *Теоретична механіка. Кінематика: Методи і задачі*, навч. посіб. Київ, Україна: Либідь, 2001, 416 с.

- [14] Я. Т. Кіницький, *Теорія механізмів і машин*, підруч. Київ, Україна: Наукова думка, 2002, 660 с.
- [15] Ю. К. Рудавський та ін., *Лнійна алгебра та аналітична геометрія*, навч. посіб. Львів, Україна: Львівська політехніка, 1999, 262 с.
- [16] В. М. Каретін, А. М. Курко, і М. С. Михайлишин, «Кінетичні передумови трансформації в потужності інерційного диференціального трансформатора мометну.» *зб. тез. доп. 14-й Міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові*. Львів, Україна: ТзОВ "КІНПАТРИ ЛТД", с. 108-109, 2019.
- [17] В. М. Каретін, «Графічний аналіз реактивно-інерційного блоку зубчастих коліс планетарного механізму. Актуальні задачі сучасних технологій.» *зб. тез. доп. Міжн. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів*. Тернопіль, Україна: ТНТУ, с. 47, 2010.

Рекомендована кафедрою галузевого машинобудування ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 26.05.2020

Каретін Василь Миколайович — науковий співробітник кафедри теоретичної механіки і сільськогосподарських машин, e-mail: KVM.tntu@gmail.com ;

Курко Андрій Михайлович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль

V. M. Karetin¹
A. M. Kurko¹

Vector Method for Determination of Kinematic Parameters of Ideal Inertial Module in Stop Mode

¹Ternopil Ivan Puluj National Technical University

The presence of a generalized scheme of the pulse mechanism created by A. I. Leonov does not have a universal mathematical description of parameters by continuous analytical functions, therefore each design is described, for the most part, by complex systems of differential equations, but the lack of clarity in presenting the results makes it difficult to intuitively understand dynamic processes. The objective of the research is the clarity in the study of the kinematic parameters of imbalance of the ideal inertia module during stop mode operation for predicting the dynamic indexes as continuous in time functions. The research method is based on a vector simulation of spherical motion parameters. To do this, a fixed Cartesian coordinate system is introduced so that the plane of the base circle of the initial cone of the jet conical wheel is aligned with the horizontal plane, and the axis of the satellite drive (geometric axis of the carrier) is aligned with the applicate axis. The central axis of the mechanism crossing the diameter of the jet wheel is aligned with the abscissa axis on the complementary branch of which at the initial moment there is the mass center of imbalance. In the stop mode the absolute motion of a point is determined by the result of its rotation around the satellite axis at the speed lying in the plane of the base of the initial cone of the satellite and around the drive axis at a speed which parallel to the plane of the initial cone of the jet wheel. Projections of the absolute velocity and the absolute acceleration of imbalance point on the coordinate axis, in turn, determine the projections of the components of the velocity vector and acceleration vector on the planes of the fixed Cartesian coordinate system, respectively. Determining the arms of these components in the planes of projections relative about the center of the axis makes it possible to further predict the dynamic parameters at certain points of the trajectory (at particular time or another). Analytical calculations of modular values of linear and angular velocities and accelerations, as well as drawing of the appropriate diagrams were performed using the operators of MathCAD software.

Keywords: imbalance, inertial module, unified layout diagram, inertia transformer of moment, stop mode, trajectory.

Karetin Vasyl M. — Research Scientist of the Department of Technical Mechanics and Agricultural Machines, e-mail: KVM.tntu@gmail.com ;

Kurko Andrii M. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Chair of Computer-Integrated Technologies

Векторный способ определения кинематических параметров идеального инерционного модуля в стоповом режиме

¹Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя

Наличие обобщенной схемы импульсного механизма, созданного А. И. Леоновым, не имеет универсального математического описания параметров непрерывными аналитическими функциями, поэтому каждая конструктивная разработка описывается в основном сложными системами дифференциальных уравнений, но отсутствие наглядности в представлении результатов затрудняет интуитивное понимание динамических процессов. Изучены кинематические параметры дебаланса идеального инерционного модуля в стоповом режиме для прогнозирования динамических показателей как непрерывных во времени функций. В основу метода исследования положены векторное моделирование параметров сферического движения. Для этого введена неподвижная система декартовых координат так, что с плоскостью совмещена плоскость окружности основания начального конуса реактивного конического колеса, а ось привода сателлита (геометрическая ось водила) совмещена с осью аппликата. Центральная ось механизма, проходящая через диаметр реактивного колеса, совмещена с осью абсцисс, на положительный ветке которой в начальный момент находится центр тяжести дебаланса. В стоповом режиме абсолютное движение точки определяется результатом его вращений вокруг оси сателлита со скоростью, которая лежит в плоскости основания начального конуса сателлита и вокруг оси привода со скоростью, которая параллельна плоскости основания начального конуса реактивного колеса. Проекции абсолютной скорости и абсолютного ускорения точки дебаланса на оси координат, в свою очередь, определяют проекции составляющих вектора скорости и вектора ускорения на плоскости неподвижной декартовой системы координат, соответственно. Определение плеч этих составляющих в плоскостях проекций относительно центра оси дает возможность в дальнейшем прогнозировать динамические параметры в тех или иных точках траектории (в любой момент времени). Аналитические расчеты модульных значений линейных и угловых скоростей и ускорений, а также построение соответствующих диаграмм выполнено с помощью операторов программы MathCAD.

Ключевые слова: дебаланс, инерционный модуль, унифицированная компоновочная схема, инерционный трансформатор момента, стоповый режим, траектория.

Каретин Василий Николаевич — научный сотрудник кафедры теоретической механики и сельскохозяйственных машин, e-mail: KVM.tntu@gmail.com ;

Курко Андрей Михайлович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры компьютерно-интегрированных технологий