УДК 629.7.054

В.М. Мельник, к.т.н., доц.
В.В. Карачун, д.т.н., проф.
Національний технічний університет України "КПІ"

ЗАКОНОМІРНОСТІ ПРУЖНОГО ПЕРЕМІЩЕННЯ ПОВЕРХНІ ПОПЛАВЦЯ ГІРОСКОПА ПІД ДІЄЮ ЗБУРЕНЬ ЗАГАЛЬНОГО ВИДУ

Визначаються закономірності пружної взаємодії зовнішіх збурень загального виду з поверхнею поплавця гіроскопа. Лінія меридіану поплавця приймається довільної форми, деформація – невісесиметричною.

Постановка проблеми. Маючи достатньо велику бічну поверхню поплавця, рухома частина гіроскопа підвладна дії зовнішніх збурень просторової структури – проникаюче акустичне випромінювання, тепловий факел тощо. Виникаючі пружні переміщення поверхні у трьох напрямках, в умовах кутової хитавиці корпуса носія, призводять до виникнення напружень, котрі сприймаються гіроскопом як "хибна" кутова швидкість. Реагуючи на неї, прилад має похибки вимірювань. Особливо небажаним це явище постає для інтегруючого гіроскопа, зокрема при виконанні ним ролі чутливого елемента тривісної гіростабілізованої платформи [1, 2].

Найбільшу небезпеку становить режим невісесиметричної деформації.

Визначення трьох координатних функцій оболонкової частини надасть можливість оцінити ступінь впливу зовнішніх чинників на похибки приладів і, потому, синтезувати ефективні засоби їх нівелювання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивчення пружної взаємодії поплавця гіроскопа з проникаючим хвильовим збуренням було б неповним, якщо розглядати його як коловий циліндр і обмежуватися обчисленням однієї, найбільш змінної, координати. Як правило такою слугує радіальна координата (в площині шпангоута).

Для більш глибокого вивчення явища і опанування механізму впливу зовнішніх чинників логічно перейти до більш узагальненої розрахункової моделі [3, 4]. Довільна лінія окреслення меридіану оболонкової частини та узагальнений вигляд збурення таку можливість надають [5].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Ставлячи перед собою завдання вивчення пружної взаємодії рухомої частини приладу із зовнішніми збуреннями, недоцільно обмежувати аналіз явища обчисленням partialis частот поплавця. Тому автори поставили за мету аналітично визначити ступінь впливу координатних функцій одна на одну, що дозволить з певною мірою точності конкретизувати природу виникнення хвильових процесів у підвісі гіроскопа.

Метою досліджень є розкриття закономірностей пружних переміщень бічної поверхні поплавця за довільної форми збурень і опуклої (чи ввігнутої) її поверхні відносно вихідної осі.

Основний матеріал досліджень. Найбільший інтерес, з точки зору застосувань, має режим невісесиметричної дії збурень. Тому в безрозмірних рівняннях руху оболонки поплавця слід прийняти $k=1$, після чого вони набувають вигляду [1]:

$$\begin{cases} a_{z1}^{(1)}\ddot{A}_1^{(1)} + a_{z2}^{(1)}A_1^{(1)} + a_{z3}^{(1)}B_1^{(1)} + a_{z4}^{(1)}C_1^{(1)} = Q_z^{(1)}(t); \\ a_{z1}^{(2)}\ddot{A}_1^{(2)} + a_{z2}^{(2)}A_1^{(2)} + a_{z3}^{(2)}B_1^{(2)} + a_{z4}^{(2)}C_1^{(2)} = Q_z^{(2)}(t); \end{cases} \tag{1}$$

$$\begin{cases} b_{\varphi1}^{(1)}\ddot{B}_1^{(1)} + b_{\varphi2}^{(1)}B_1^{(1)} + b_{\varphi3}^{(1)}A_1^{(1)} + b_{\varphi4}^{(1)}C_1^{(1)} = Q_\varphi^{(1)}(t); \\ b_{\varphi1}^{(2)}\ddot{B}_1^{(2)} + b_{\varphi2}^{(2)}B_1^{(2)} + b_{\varphi3}^{(2)}A_1^{(2)} + b_{\varphi4}^{(2)}C_1^{(2)} = Q_\varphi^{(2)}(t); \end{cases} \tag{2}$$

$$\begin{cases} c_{w1}^{(1)}\ddot{C}_1^{(1)} + c_{w2}^{(1)}C_1^{(1)} + c_{w3}^{(1)}B_1^{(1)} + c_{w4}^{(1)}A_1^{(1)} = Q_w^{(1)}(t); \\ c_{w1}^{(2)}\ddot{C}_1^{(2)} + c_{w2}^{(2)}C_1^{(2)} + c_{w3}^{(2)}B_1^{(2)} + c_{w4}^{(2)}A_1^{(2)} = Q_w^{(2)}(t); \end{cases} \tag{3}$$

де:

$$a_{z1}^{(1)} = -{}^*\alpha^2\int_0^1\left[1+\alpha_1(2z-1)^2\right]\omega_1^2(z)\varphi_1^{(1)2}(z)\partial z;$$

$$a_{z2}^{(1)} = \int_0^1\left\{\frac{\partial^2}{\partial z^2}\left[\omega_1(z)\varphi_1^{(1)}(z)\right] - a_1(2z-1)\frac{\partial}{\partial z}\left[\omega_1(z)\varphi_1^{(1)}(z)\right] - a_2\omega_1(z)\varphi_1^{(1)}(z)\right\}\omega_1(z)\varphi_1^{(1)}(z)\partial z;$$

$$a_{z3}^{(1)} = a_3\int_0^1\frac{\partial}{\partial z}\left[\omega_1(z)\psi_1^{(1)}(z)\right]\omega_1(z)\varphi_1^{(1)}(z)\partial z;$$

$$a_{z4}^{(1)} = -a_4 \int_0^1 \frac{\partial}{\partial z}\left[\omega_2(z)\gamma_1^{(1)}(z)\right]\omega_1(z)\varphi_1^{(1)}(z)\partial z\,;$$

$$a_{z1}^{2} = -{}^*\alpha^2 \int_0^1 \left[1+\alpha_1(2z-1)^2\right]\omega_1(z)\varphi_1^{(2)}(z)\partial z\,;$$

$$a_{z2}^{(2)} = \int_0^1 \left\{\frac{\partial^2}{\partial z^2}\left[\omega_1(z)\varphi_1^{(2)}(z)\right] - a_1(2z-1)\frac{\partial}{\partial z}\left[\omega_1(z)\varphi_1^{(2)}(z)\right] - a_2\omega_1(z)\varphi_1^{(2)}(z)\right\}\omega_1(z)\varphi_1^{(2)}(z)\partial z\,;$$

$$a_{z3}^{(2)} = -a_3 \int_0^1 \frac{\partial}{\partial z}\left[\omega_1(z)\varphi_1^{(2)}(z)\right]\omega_1(z)\varphi_1^{(2)}(z)\partial z\,;$$

$$a_{z4}^{(2)} = -a_4 \int_0^1 \frac{\partial}{\partial z}\left[\omega_2(z)\gamma_1^{(2)}(z)\right]\omega_1(z)\varphi_1^{(2)}(z)\partial z\,;$$

$${}^*\alpha^2 = \left(1-\nu^2\right)\frac{\rho\omega_0^2 l^2}{E}\,;\ \alpha_1 = \frac{2\mu\delta}{R(1+\zeta)}\,;\ \zeta = \frac{\delta}{R}\,;\ \mu = 8\zeta(1+\zeta)\eta^2\,;\ \eta = \frac{R}{l}\,;$$

$$a_1 = 4(1+2\nu)\frac{\delta}{R(1+\zeta)}\,;\ a_2 = 8\nu\frac{\delta}{R(1+\zeta)}\,;\ a_3 = \frac{1}{2}\cdot\frac{1+\nu}{1+\zeta}\cdot\frac{l}{R}\,;\ a_4 = \frac{\mu+\nu}{1+\zeta}\cdot\frac{h}{R}\,;$$

$\omega_1(z) = z^2(1-z)^2$, $\omega_2(z) = z^4(1-z)^4$ – коректуючі функції Кравчука; ν, E – сталі коефіцієнти; R, l – радіус та довжина поплавця; δ – опуклість (угнутість) бічної поверхні; ω_0 – власна частота у поздовжньому напрямку; z – поздовжня координата.

$$\varphi_1^{(1)}(z) = \cos(nz)\,;\ \varphi_1^{(2)}(z) = \sin(nz)\,;\psi_1^{(1)}(z) = \cos(mz)\,;\ \psi_1^{(2)}(z) = \sin(mz)\,;$$

$$\gamma_1^{(1)}(z) = \cos(pz)\,;\ \gamma_1^{(2)}(z) = \sin(pz)\,;$$

$$b_{\varphi1}^{(1)} = -{}^*\beta^2 \int_0^1 \left[1-\beta_3(2z-1)^2\right]\omega_1^2(z)\psi_1^{(1)2}(z)\partial z\,;$$

$$b_{\varphi2}^{(1)} = \int_0^1 \left\{\begin{array}{l} -b_2\left[1-2\beta_1(2z-1)^2\right]\dfrac{\partial^2}{\partial z^2}\left[\omega_1(z)\psi_1^{(1)}(z)\right] - \\ -b_3(2z-1)\dfrac{\partial}{\partial z}\left[\omega_1(z)\psi_1^{(1)}(z)\right] + b_5\omega_1(z)\psi_1^{(1)}(z)\end{array}\right\}\omega_1(z)\psi_1^{(1)}(z)\partial z\,;$$

$$b_{\varphi3}^{(1)} = a_3\int_0^1 \left\{-b_1\left[1-\beta_1(2z-1)^2\right]\frac{\partial}{\partial z}\left[\omega_1(z)\varphi_1^{(1)}(z)\right] + b_4(2z-1)\omega_1(z)\varphi_1^{(1)}(z)\right\}\omega_1(z)\psi_1^{(1)}(z)\partial z\,;$$

$$b_{\varphi4}^{(1)} = b_6\int_0^1 \omega_2(z)\gamma_1^{(1)}(z)\omega_1(z)\psi_1^{(1)}(z)\partial z\,;$$

$$b_{\varphi1}^{(2)} = -{}^*\beta^2 \int_0^1 \left[1-\beta_3(2z-1)^2\right]\omega_1^2(z)\psi_1^{(2)2}(z)\partial z\,;$$

$$b_{\varphi2}^{(2)} = \int_0^1 \left\{\begin{array}{l} -\omega_1(z)\psi_1^{(2)}(z) - b_2\left[1-2\beta_1(2z-1)^2\right]\dfrac{\partial^2}{\partial z^2}\left[\omega_1(z)\psi_1^{(2)}(z)\right] - \\ -b_3(2z-1)\dfrac{\partial}{\partial z}\left[\omega_1(z)\psi_1^{(2)}(z)\right] + b_5\omega_1(z)\psi_1^{(2)}(z)\end{array}\right\}\omega_1(z)\psi_1^{(2)}(z)\partial z\,;$$

$$b_{\varphi3}^{(2)} = \int_0^1 \left\{b_1\left[1-\beta_1(2z-1)^2\right]\frac{\partial}{\partial z}\left[\omega_1(z)\varphi_1^{(2)}(z)\right] - b_4(2z-1)\omega_1(z)\varphi_1^{(2)}(z)\right\}\omega_1(z)\psi_1^{(2)}(z)\partial z\,;$$

$$b_{\varphi4}^{(2)} = -\int_0^1 b_6\omega_2(z)\gamma_1^{(2)}(z)\omega_1(z)\psi_1^{(2)}(z)\partial z\,;$$

$${}^*\beta^2 = \left(1-\nu^2\right)\frac{\rho\omega_{0\Pi}^2}{E}R^2(1+\zeta)^2\,;\ \beta_1 = \frac{1+\mu}{1+\zeta}\cdot\frac{\delta}{R}\,;\ \beta_3 = \frac{1}{1+\zeta}\cdot\frac{\delta}{R}\,;$$

$$b_1 = \frac{1}{2}(1+\nu)(1+\zeta)\frac{R}{l}\,;\ b_2 = \frac{1}{2}(1-\nu)(1+\zeta)^2\frac{R^2}{l^2}\,;\ b_3 = 2\cdot(1-\nu)(1+\zeta)(1+\mu)\cdot\frac{\delta R}{l^2}\,;$$

$$b_4 = 2(3-\nu)\cdot\frac{\delta}{R}\,;\ b_5 = 4(1-\nu)(1+\zeta)\frac{R}{l}\cdot\frac{\delta}{l}\,;\ b_6 = 1+\nu\mu\,;$$

$\omega_{O\Pi}$ – власна частота в напрямку паралелі;

$$c_{w1}^{(1)} = -{}^{*}\gamma^2 \int_0^1 \left[1-\beta_5(2z-1)\right]\omega_2^2(z)\gamma_1^{(1)2}(z)\partial z;$$

$$c_{w2}^{(1)} = \int_0^1 \left\{ \begin{array}{l} \left[-1+\beta_4(2z-1)^2\right]\frac{\partial^4}{\partial z^4}\left[\omega_2(z)\gamma_1^{(1)}(z)\right] + c_1\frac{\partial^2}{\partial z^2}\left[\omega_2(z)\gamma_1^{(1)}(z)\right] - \\ - c_2\omega_2(z)\gamma_1^{(1)}(z) + c_3(2z-1)\frac{\partial^3}{\partial z^3}\left[\omega_2(z)\gamma_1^{(1)}(z)\right] + \\ + c_4\frac{\partial^2}{\partial z^2}\left[\omega_2(z)\gamma_1^{(1)}(z)\right] + c_5\frac{\partial^2}{\partial z^2}\left[\omega_2(z)\gamma_1^{(1)}(z)\right] + c_6\omega_2(z)\gamma_1^{(1)}(z) - \\ - c_7(2z-1)\frac{\partial}{\partial z}\left[\omega_2(z)\gamma_1^{(1)}(z)\right] \end{array} \right\} \omega_2(z)\gamma_1^{(1)}(z)\partial z;$$

$$c_{w3}^{(1)} = \int_0^1 \left\{ \begin{array}{l} c_8\left[\omega_1(z)\psi_1^{(1)}(z)\right] - c_9\frac{\partial^2}{\partial z^2}\left[\omega_1(z)\psi_1^{(1)}(z)\right] + c_{12}(2z-1)\frac{\partial}{\partial z}\left[\omega_1(z)\psi_1^{(1)}(z)\right] + \\ + c_{14}\left[\omega_1(z)\psi_1^{(1)}(z)\right] \end{array} \right\} \omega_2(z)\gamma_1^{(1)}(z)\partial z;$$

$$c_{w4}^{(1)} = \int_0^1 \left\{ \begin{array}{l} c_{10}\frac{\partial}{\partial z}\left[\omega_1(z)\varphi_1^{(1)}(z)\right] + c_{11}(2z-1)\frac{\partial^2}{\partial z^2}\left[\omega_1(z)\varphi_1^{(1)}(z)\right] + \\ + c_{13}\frac{\partial}{\partial z}\left[\omega_1(z)\varphi_1^{(1)}(z)\right] - c_{15}(2z-1)\omega_1(z)\varphi_1^{(1)}(z) \end{array} \right\} \omega_2(z)\gamma_1^{(1)}(z)\partial z;$$

$$c_{w1}^{(2)} = -{}^{*}\gamma^2 \int_0^1 \left[1-\beta_5(2z-1)\right]\omega_2^2(z)\gamma_1^{(2)2}(z)\partial z;$$

$$c_{w2}^{(2)} = \int_0^1 \left\{ \begin{array}{l} \left[-1+\beta_4(2z-1)^2\right]\frac{\partial^4}{\partial z^4}\left[\omega_2(z)\gamma_1^{(2)}(z)\right] + c_1\frac{\partial^2}{\partial z^2}\left[\omega_2(z)\gamma_1^{(2)}(z)\right] - \\ - c_2\omega_2(z)\gamma_1^{(2)}(z) + c_3(2z-1)\frac{\partial^3}{\partial z^3}\left[\omega_2(z)\gamma_1^{(2)}(z)\right] + \\ + c_4\frac{\partial}{\partial z}\left[\omega_2(z)\gamma_1^{(2)}(z)\right] + c_5\frac{\partial^2}{\partial z^2}\left[\omega_2(z)\gamma_1^{(2)}(z)\right] + c_6\omega_2(z)\gamma_1^{(2)}(z) - \\ - c_7(2z-1)\frac{\partial}{\partial z}\left[\omega_2(z)\gamma_1^{(2)}(z)\right] \end{array} \right\} \omega_2(z)\gamma_1^{(2)}(z)\partial z;$$

$$c_{w3}^{(1)} = \int_0^1 \left\{ \begin{array}{l} -c_8\left[\omega_1(z)\psi_1^{(2)}(z)\right] + c_9\frac{\partial^2}{\partial z^2}\left[\omega_1(z)\psi_1^{(2)}(z)\right] - c_{12}(2z-1)\frac{\partial}{\partial z}\left[\omega_1(z)\psi_1^{(2)}(z)\right] - \\ - c_{14}\left[\omega_1(z)\psi_1^{(2)}(z)\right] \end{array} \right\} \omega_2(z)\gamma_1^{(2)}(z)\partial z;$$

$$c_{w4}^{(1)} = \int_0^1 \left\{ \begin{array}{l} c_{10}\frac{\partial}{\partial z}\left[\omega_1(z)\varphi_1^{(2)}(z)\right] + c_{11}(2z-1)\frac{\partial^2}{\partial z^2}\left[\omega_1(z)\varphi_1^{(2)}(z)\right] + \\ + c_{13}\frac{\partial}{\partial z}\left[\omega_1(z)\varphi_1^{(2)}(z)\right] - c_{15}(2z-1)\omega_1(z)\gamma_1^{(2)}(z) \end{array} \right\} \omega_2(z)\gamma_1^{(2)}(z)\partial z;$$

$${}^{*}\gamma^2 = 12\left(1-\nu^2\right)\frac{\rho h\omega_{0P}^2}{E}\cdot\frac{l^4}{h^4};\ \beta_4 = \frac{1+2\mu}{1+\zeta}\cdot\frac{\delta}{R};\ \beta_5 = \frac{1-\mu}{1+\zeta}\cdot\frac{\delta}{R};$$

$$c_1 = \frac{2}{(1+\zeta)^2}\cdot\frac{l^2}{R^2};\ c_2 = \frac{1}{(1+\zeta)^4}\cdot\frac{l^4}{R^4};\ c_3 = \frac{1+3\mu}{1+\zeta}\cdot\frac{\delta}{R};\ c_4 = 4\frac{(1-\nu)(3-\mu)}{(1+\zeta)^3}\frac{l^2}{R^2}\cdot\frac{\delta}{R};$$

$$c_5 = 8\frac{(1+\nu+4\mu)}{1+\zeta}\cdot\frac{\delta}{R};\ c_6 = 16\frac{(1-\nu)}{(1+\zeta)^3}\cdot\frac{\delta}{R}\cdot\frac{l^2}{R^2};\ c_7 = \frac{32\mu(\mu+\nu)}{(1+\zeta)^2}\cdot\frac{\delta^2}{R^2};\ c_8 = \frac{1}{(1+\zeta)^4}\cdot\frac{l^4}{R^4};$$

$$c_9 = \frac{1-\nu}{(1+\zeta)^2}\cdot\frac{l^2}{R^2};\ c_{10} = \frac{\nu\mu}{(1+\zeta)^3}\cdot\frac{l^3}{R^3};\ c_{11} = \frac{4\mu^2}{(1+\zeta)^2}\cdot\frac{\delta}{R}\cdot\frac{l}{R};\ c_{12} = \frac{4\mu(1-\nu)(3-\mu)}{(1+\zeta)^3}\frac{l^2}{R^2}\cdot\frac{\delta}{R};$$

$$c_{13} = 12(\mu+\nu)\frac{l^3}{Rh^2};\ c_{14} = 12\frac{(1+\mu\nu)}{(1+\zeta)^2}\frac{l^4}{R^2h^2};\ c_{15} = \frac{4(1+\mu\nu)}{(1+\zeta)^2}\cdot\frac{12l^3}{Rh^2}\cdot\frac{\delta}{R};$$

ω_{0P}^2 – власна частота оболонки в радіальному напрямку; h – товщина оболонки поплавця.

В рівняннях руху останні два доданки визначають ступінь впливу на кожну координатну функцію інших двох.

Підставляючи в систему рівнянь (1…3) апроксимації вигляду:

$$A_1^{(1)} = a_1^{(1)} \exp i\omega t\,;\ B_1^{(1)} = b_1^{(1)} \exp i\omega t\,;\ C_1^{(1)} = c_1^{(1)} \exp i\omega t\,;$$
$$A_1^{(2)} = a_1^{2} \exp i\omega t\,;\ B_1^{(2)} = b_1^{(2)} \exp i\omega t\,;\ C_1^{(2)} = c_1^{(2)} \exp i\omega t\,; \tag{4}$$

де $a_1^{(i)}$, $b_1^{(i)}$, $c_1^{(i)}$ (i = 1, 2) – довільні сталі, та приймаючи праві частини систем рівнянь (1…3) рівними нулю, одержимо:

$$\begin{cases} \left(a_{z2}^{(1)} - \omega^2 a_{z1}^{(1)}\right)a_1^{(1)} + a_{z3}^{(1)}b_1^{(1)} + a_{z4}^{(1)}c_1^{(1)} = 0; \\ \left(a_{z2}^{(2)} - \omega^2 a_{z1}^{(2)}\right)a_1^{(2)} + a_{z3}^{(2)}b_1^{(2)} + a_{z4}^{(2)}c_1^{(2)} = 0; \\ \left(-b_{\varphi 2}^{(1)} - \omega^2 b_{\varphi 1}^{(1)}\right)b_1^{(1)} + b_{\varphi 3}^{(1)}a_1^{(1)} + b_{\varphi 4}^{(1)}c_1^{(1)} = 0; \\ \left(b_{\varphi 2}^{(2)} - \omega^2 b_{\varphi 1}^{(2)}\right)b_1^{(2)} + b_{\varphi 3}^{(2)}a_1^{(2)} + b_{\varphi 4}^{(2)}c_1^{(2)} = 0; \\ \left(c_{w2}^{(1)} - \omega^2 c_{w1}^{(1)}\right)c_1^{(1)} + c_{w3}^{(1)}b_1^{(1)} + c_{w4}^{(1)}a_1^{(1)} = 0; \\ \left(c_{w2}^{(2)} - \omega^2 c_{w1}^{(2)}\right)c_1^{(2)} + c_{w3}^{(2)}b_1^{(2)} + c_{w4}^{(2)}a_1^{(2)} = 0. \end{cases} \tag{5}$$

Система (5) розпадається на дві, звідки можна обчислити власні частоти:

$$\omega^6 + E_1^{(1)}\omega^4 + E_2^{(1)}\omega^2 + E_3^{(1)} = 0;$$
$$\omega^6 + E_1^{(2)}\omega^4 + E_2^{(2)}\omega^2 + E_3^{(2)} = 0, \tag{6}$$

де

$$E_1^{(1)} = \frac{a_{z2}^{(1)}}{a_{z1}^{(1)}} + \frac{b_{\varphi 2}^{(1)}}{b_{\varphi 1}^{(1)}} + \frac{c_{w2}^{(1)}}{c_{w1}^{(1)}}\,;\ E_1^{(2)} = \frac{a_{z2}^{(2)}}{a_{z1}^{(2)}} - \frac{b_{\varphi 2}^{(2)}}{b_{\varphi 1}^{(2)}} + \frac{c_{w2}^{(2)}}{c_{w1}^{(2)}}\,;$$

$$E_2^{(1)} = -\frac{b_{\varphi 2}^{(1)}}{b_{\varphi 1}^{(1)}}\left(\frac{a_{z2}^{(1)}}{a_{z1}^{(1)}} + \frac{c_{w2}^{(1)}}{c_{w1}^{(1)}}\right) - \frac{a_{z2}^{(1)}}{a_{z1}^{(1)}}\cdot\frac{c_{w2}^{(1)}}{c_{w1}^{(1)}} + \frac{b_{\varphi 4}^{(1)}}{b_{\varphi 1}^{(1)}}\cdot\frac{c_{w3}^{(1)}}{c_{w1}^{(1)}} + \frac{a_{z3}^{(1)}}{a_{z1}^{(1)}}\cdot\frac{b_{\varphi 3}^{(1)}}{b_{\varphi 1}^{(1)}} + \frac{a_{z4}^{(1)}}{a_{z1}^{(1)}}\cdot\frac{c_{w4}^{(1)}}{c_{w1}^{(1)}}\,;$$

$$E_2^{(2)} = \frac{b_{\varphi 2}^{(2)}}{b_{\varphi 1}^{(2)}}\left(\frac{a_{z2}^{(2)}}{a_{z1}^{(2)}} + \frac{c_{w2}^{(2)}}{c_{w1}^{(2)}}\right) - \frac{a_{z2}^{(2)}}{a_{z1}^{(21)}}\cdot\frac{c_{w2}^{(2)}}{c_{w1}^{(2)}} + \frac{b_{\varphi 4}^{(2)}}{b_{\varphi 1}^{(2)}}\cdot\frac{c_{w3}^{(2)}}{c_{w1}^{(2)}} + \frac{a_{z3}^{(2)}}{a_{z1}^{(2)}}\cdot\frac{b_{\varphi 3}^{(2)}}{b_{\varphi 1}^{(2)}} + \frac{a_{z4}^{(2)}}{a_{z1}^{(2)}}\cdot\frac{c_{w4}^{(2)}}{c_{w1}^{(2)}}\,;$$

$$E_3^{(1)} = \frac{a_{z2}^{(1)}}{a_{z1}^{(1)}}\cdot\frac{b_{\varphi 2}^{(1)}}{b_{\varphi 1}^{(1)}}\cdot\frac{c_{w2}^{(1)}}{c_{w1}^{(1)}} - \frac{a_{z2}^{(1)}}{a_{z1}^{(1)}}\cdot\frac{b_{\varphi 4}^{(1)}}{b_{\varphi 1}^{(1)}}\cdot\frac{c_{w3}^{(1)}}{c_{w1}^{(1)}} + \frac{a_{z3}^{(1)}}{a_{z1}^{(1)}}\cdot\frac{b_{\varphi 4}^{(1)}}{b_{\varphi 1}^{(1)}}\cdot\frac{c_{w4}^{(1)}}{c_{w1}^{(1)}} - \frac{c_{w2}^{(1)}}{c_{w1}^{(1)}}\cdot\frac{a_{z3}^{(1)}}{a_{z1}^{(1)}}\cdot\frac{b_{\varphi 3}^{(1)}}{b_{\varphi 1}^{(1)}} +$$
$$+ \frac{a_{z4}^{(1)}}{a_{z1}^{(1)}}\cdot\frac{b_{\varphi 3}^{(1)}}{b_{\varphi 1}^{(1)}}\cdot\frac{c_{w3}^{(1)}}{c_{w1}^{(1)}} - \frac{a_{z4}^{(1)}}{a_{z1}^{(1)}}\cdot\frac{b_{\varphi 2}^{(1)}}{b_{\varphi 1}^{(1)}}\cdot\frac{c_{w4}^{(1)}}{c_{w1}^{(1)}};$$

$$E_3^{(2)} = -\frac{a_{z2}^{(2)}}{a_{z1}^{(2)}}\cdot\frac{b_{\varphi 2}^{(2)}}{b_{\varphi 1}^{(2)}}\cdot\frac{c_{w2}^{(2)}}{c_{w1}^{(2)}} - \frac{a_{z2}^{(2)}}{a_{z1}^{(2)}}\cdot\frac{b_{\varphi 4}^{(2)}}{b_{\varphi 1}^{(2)}}\cdot\frac{c_{w3}^{(2)}}{c_{w1}^{(2)}} + \frac{a_{z3}^{(2)}}{a_{z1}^{(2)}}\cdot\frac{b_{\varphi 4}^{(2)}}{b_{\varphi 1}^{(2)}}\cdot\frac{c_{w4}^{(2)}}{c_{w1}^{(2)}} - \frac{c_{w2}^{(2)}}{c_{w1}^{(2)}}\cdot\frac{a_{z3}^{(2)}}{a_{z1}^{(2)}}\cdot\frac{b_{\varphi 3}^{(2)}}{b_{\varphi 1}^{(2)}} +$$
$$+ \frac{a_{z4}^{(2)}}{a_{z1}^{(2)}}\cdot\frac{b_{\varphi 3}^{(2)}}{b_{\varphi 1}^{(2)}}\cdot\frac{c_{w3}^{(2)}}{c_{w1}^{(2)}} + \frac{a_{z4}^{(2)}}{a_{z1}^{(2)}}\cdot\frac{b_{\varphi 2}^{(2)}}{b_{\varphi 1}^{(2)}}\cdot\frac{c_{w4}^{(2)}}{c_{w1}^{(2)}}.$$

Задавши певним чином значення збурень $Q(t)$, можна скористатися формулами Крамера для знаходження невідомих $a_1^{(i)}$, $b_1^{(i)}$, $c_1^{(i)}$:

$$a_1^{(i)} = \frac{D_a^{(i)}}{D^{(i)}}\,,\ b_1^{(i)} = \frac{D_b^{(i)}}{D^{(i)}}\,,\ c_1^{(i)} = \frac{D_c^{(i)}}{D^{(i)}}\,,$$

де $D^{(i)}$ – визначник системи.

Таким чином, координатні функції поплавця:

$$U_z = U_o + U_{об} + U_{z,1}^1(t,z)\cos n\varphi + U_{z,1}^2(t,z)\sin n\varphi$$
$$U_\varphi = V_o + V_{об} + U_{\varphi,1}^1(t,z)\sin m\varphi + U_{\varphi,1}^2(t,z)\cos m\varphi\,, \tag{7}$$
$$W_z = W_o + W_{об} + W_1^1(t,z)\cos p\varphi + W_1^2(t,z)\sin p\varphi\,;$$

де

$$U_{Z,1}^{(1)} = \omega(z)A_1^{(1)}(t)\varphi_1^{(1)}(z)\,;\ U_{\varphi,1}^{(1)} = \omega(z)B_1^{(1)}(t)\psi_1^{(1)}(z);\ W_1^{(1)} = \omega_2(z)C_1^{(1)}(t)\gamma_1^{(1)}(z);$$
$$U_{Z,1}^{(2)} = \omega(z)A_1^{(2)}(t)\varphi_1^{(2)}(z);\ U_{\varphi,1}^{(2)} = \omega(z)B_1^{(2)}(t)\psi_1^{(2)}(z)\,;\ W_1^{(2)} = \omega_2(z)C_1^{(2)}(t)\gamma_1^{(2)}(z)\,,$$

приймаючи до уваги співвідношення (4), можуть бути обчислені.

Висновки. Отримані аналітичні результати надають можливість для проведення глибокого аналізу динамічного стану поплавця гіроскопа в умовах, наближених до натурних.

Визначення координатних функцій дозволить кількісно і якісно оцінити виникаючі в конструкції підвісу хвильові процеси, встановити ступінь їх впливу на виникнення додаткових похибок систем інерціальної навігації, а також визначити шляхи боротьби з цим явищем. Узагальнена постановка задачі розкриває більші можливості вирішення проблеми підвищення точності бортової апаратури літальних апаратів широкого класу.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Reissner E.* On some aspects of the theory of thin elastic shells. J. Boston Soc. Civ. Engrs., 1955, 42. – P. 39–48.
2. *Koshljakov V.N., Karachun V.V., Mel'nik V.N., Saverchenko V.G., Balanin V.Kh.* The some aspects of flaigt safety in condition's penetrate acoustic radiation. The world Congress "Aviation in the XXI-st Century", September 14–16, 2003, Kyiv, Ukraine, National Aviation University, Kyiv, Ukraine. – Pp. 237–240.
3. *Мельник В.М., Карачун В.В.* Невісесиметричний випадок пружної деформації поплавця гіроскопа // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – 2006. – № 2 (37) – С. 84–91.
4. *Карачун В.В., Мельник В.Н., Ковалець О.Я.* Особенности работы навигационных приборов в натурных условиях / / Матеріали IX Міжнародної науково-практичної конференції «Наука та освіта – 2006». – Т. 17. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2006. – С. 120–123.
5. *Мельник В.Н., Карачун В.В., Саверченко В.Г., Ковалець О.Я.* Многомерные задачи упругого взаимодействия многофазных систем приборов с акустическими полями // П`ята науково-технічна конференція «Приладобудування 2006: Стан і перспективи», 25–26 квітня 2006 р. – Київ: ПБФ, НТУУ "КПІ", 2006. – С. 50–51.

МЕЛЬНИК Вікторія Миколаївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри біотехніки та інженерії Національного технічного університету України "КПІ".

Наукові інтереси:

– динаміка механічних систем приладів.

КАРАЧУН Володимир Володимирович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри біотехніки та інженерії Національного технічного університету України "КПІ".

Наукові інтереси:

– динаміка бортової апаратури.

Подано 10.01.2007