

Литература

1. Кочетов.Ф.Г. Нивеліри з компенсаторами. -М.: Недра, 1985. - 150 с.
2. Ямбаев.Х.К. Специальные приборы для инженерно-геодезических работ. -М.: Недра, 1990.
3. Сафарян.В.А, Гераимчук.М.Д. Теоретические аспекты стабилизации визирной линии жидкостным компенсатором подвешного типа // Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування. – 2004. – Вип. 28. - С.5-12.
4. Сафарян.В.А. Патент України №78089. МПК(2007) G01C9/18. Стабілізатор вертикального напрямку візирної лінії. Опубл. 15.02.2007. Бюл. №2.
5. П.Профос. Измерения в промышленности. Справочник. –М.: Металлургия, .1990. –С.301, 302.

Сафарян.В.А, Гераимчук.М.Д. Аналіз механізму ручної і автоматичної корекції параметрів підвіски в рідинному компенсаторі. Стаття присвячена розробці конструкції, механізмів ручної і автоматичної корекції параметрів підвіски компенсатора, що дозволяє виключити помилки стабілізації візирної (лазерної) лінії, в результаті впливу температури навколишньої середовища.	Safarian V, Geraimchuk M. Analysis of the mechanism manual And automatic correction of parameters of a suspension bracket In liquid the equaliser. Clause is devoted to development of a design, the mechanism of manual and automatic correction of parameters of a suspension bracket of the equaliser, allowing to exclude mistakes of stabilization laser line, as a result of influence of an ambient temperature.
--	---

*Надійшла до редакції
4 березня 2007 року*

ТЕОРІЯ ТА ПРАКТИКА НАВІГАЦІЙНИХ ПРИЛАДІВ І СИСТЕМ

УДК 629.7.054

ОКРЕСЛЕННЯ ФУНКЦІЙ $\varphi_k^S(z), \psi_k^S(z), \gamma_k^S(z)$ ЗА ВІДСУТНОСТІ ПРУЖНОГО ПЕРЕХРЕСНОГО ВПЛИВУ КООРДИНАТ ПОПЛАВЦЯ ГІРОСКОПА

Мельник В.М., Карачун В.В., Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”, м. Київ, Україна

*Проводиться чисельний аналіз безрозмірних частот пружних коливань поверхні поплавця гіроскопа під впливом зовнішнього збурення просторового характеру. Обґрунтовується вибір *partialis* частот для однієї з модифікацій промислового зразка поплавкового приладу*

Вступ

Досягнення наукової думки вітчизняних вчених та дослідників змусили суттєво переглянути сталі уявлення щодо природи виникнення похибок гіроскопічних приладів за натурних умов [1, 2, 3, 4]. Отже, - і щодо універсальності розрахункових моделей, коли гіроскоп уявлявся як система із зосередженими параметрами.

Як з'ясувалося, головним джерелом виникаючих похибок за просторового зовнішнього збурення може слугувати не тільки, і не стільки, елементна база приладу, скільки власне підвіс. Такі досконалі його модифікації як пружний перересний шарнір [5], дротяний підвіс [6], багатофазний [7], із штучним дисбалансом [8] та багато інших [9], під дією проникаючого акустичного випромінювання виявляють таку суттєву зміну своїх властивостей, що зводять, практично, нанівець переваги відповідних технічних ідей.

Постановка задачі

Взявши за основу технічний зразок серійно виготовляемого промислового поплавкового двостепеневого гіроскопа класу ДУСУ у вигляді двох коаксіальних циліндрів розділених важкою рідиною, з'ясуємо, яким чином змінюється динамічний стан поплавця під дією збуджуючого поля. Задача звужена до випадку невісесиметричної деформації, як найбільш цікавої для застосувань.

Метою досліджень постає численний аналіз координатних функцій пружно-деформованого стану поплавця гіроскопа за умови відсутності їх взаємного впливу.

Визначення закономірностей пружних деформацій поплавця

Прийнявши апроксимацію координатних функцій поплавця у вигляді [10]

$$\begin{aligned} U_z &= U_0 + U_{об} + V_{z,k}^{(1)}(t,z)\cos\varphi + U_{z,k}^{(2)}(t,z)\sin\varphi; \\ U_\varphi &= V_0 + V_{об} + U_{\varphi,k}^{(1)}(t,z)\sin\varphi + U_{\varphi,k}^{(2)}(t,z)\cos\varphi; \\ W &= W_0 + W_{об} + W_k^{(1)}(t,z)\cos\varphi + U_k^{(2)}(t,z)\sin\varphi, \end{aligned} \quad (1)$$

де, згідно методу Бубнова-Гальоркіна,

$$\begin{aligned} U_{z,k}^{(1)} &= \omega_1(z)A_k^{(1)}(t)\varphi_k^{(1)}(z); \\ U_{z,k}^{(2)} &= \omega_1(z)A_k^{(2)}(t)\varphi_k^{(2)}(z); \\ U_{\varphi,k}^{(1)} &= \omega_1(z)B_k^{(1)}(t)\psi_k^{(1)}(z); \\ U_{\varphi,k}^{(2)} &= \omega_1(z)B_k^{(2)}(t)\psi_k^{(2)}(z); \\ W_k^{(1)} &= \omega_2(z)C_k^{(1)}(t)\gamma_k^{(1)}(z); \\ W_k^{(2)} &= \omega_2(z)C_k^{(2)}(t)\gamma_k^{(2)}(z); \end{aligned} \quad (2)$$

$\omega_1(z), \omega_2(z)$ – коректуючі функції Кравчука; $A_k^{(1)}(t) = a_k^{(1)} \exp i\omega_k^{(1)}t$; $A_k^{(2)}(t) = a_k^{(2)} \exp i\omega_k^{(2)}t$, можна обчислити partialis частоти у вигляді:

$$\omega_1^{(1)} = \left[\frac{a_{z2}^{(1)}}{a_{z1}^{(1)}} \right]^{\frac{1}{2}} =$$

$$= \left\{ \frac{\int_0^1 \left[\frac{\partial^2}{\partial z^2} (\omega_1 \varphi_1^{(1)}) - a_1 (2z-1) \frac{\partial}{\partial z} (\omega_1 \varphi_1^{(1)}) - a_2 \omega_1 \varphi_1^{(1)} \right] \omega_1(z) \varphi_1^{(1)}(z) \partial z}{- * \alpha^2 \int_0^1 [1 + a_1 (2z-1)^2] \omega_1^2(z) \varphi_1^{(1)2}(z) \partial z} \right\}^{\frac{1}{2}} ; \quad (3)$$

$$\omega_1^{(2)} = \left[\frac{a_{z2}^{(2)}}{a_{z1}^{(2)}} \right]^{\frac{1}{2}} =$$

$$= \left\{ \frac{\int_0^1 \left[\frac{\partial^2}{\partial z^2} (\omega_1 \varphi_1^{(2)}) - a_1 (2z-1) \frac{\partial}{\partial z} (\omega_1 \varphi_1^{(2)}) - a_2 \omega_1 \varphi_1^{(2)} \right] \omega_1(z) \varphi_1^{(2)}(z) \partial z}{- * \alpha^2 \int_0^1 [1 + a_1 (2z-1)^2] \omega_1^2(z) \varphi_1^{(2)2}(z) \partial z} \right\}^{\frac{1}{2}} . \quad (4)$$

$$\omega_2^{(1)} = \left[\frac{-b_{\varphi 2}^{(1)}}{b_{\varphi 1}^{(1)}} \right]^{\frac{1}{2}} =$$

$$= \left\{ \frac{\int_0^1 \left\{ -b_2 [1 - 2\beta_1 (2z-1)^2] \frac{\partial^2}{\partial z^2} [\omega_1 \psi_1^{(1)}] - b_3 (2z-1) \frac{\partial}{\partial z} [\omega_1 \psi_1^{(1)}] + \omega_1 \psi_1^{(1)} + \right.}{- * \beta^2 \int_0^1 [1 - \beta_3 (2z-1)^2] \omega_1^2 \psi_1^{(1)2}(z) \partial z} \right. \\ \left. \left. + b_5 \omega_1 \psi_1^{(1)} \right\} \omega_1 \psi_1^{(1)} \partial z \right\}^{\frac{1}{2}} ; \quad (5)$$

$$\omega_2^{(2)} = \left[\frac{-b_{\varphi 2}^{(2)}}{b_{\varphi 1}^{(2)}} \right]^{\frac{1}{2}} =$$

$$= \left\{ \frac{\int_0^1 \left\{ -b_2 [1 - 2\beta_1 (2z-1)^2] \frac{\partial^2}{\partial z^2} [\omega_1 \psi_1^{(2)}] - b_3 (2z-1) \frac{\partial}{\partial z} [\omega_1 \psi_1^{(2)}] - \omega_1 \psi_1^{(2)} + \right.}{- * \beta^2 \int_0^1 [1 - \beta_3 (2z-1)^2] \omega_1^2 \psi_1^{22}(z) \partial z} \right. \\ \left. \left. + b_5 \omega_1 \psi_1^{(2)} \right\} \omega_1 \psi_1^{(2)} \partial z \right\}^{\frac{1}{2}} ; \quad (6)$$

$$\omega_3^{(1)} = \left[\frac{C_{w2}^{(1)}}{C_{w2}^{(1)}} \right]^{\frac{1}{2}} = \left\{ \frac{\int_0^1 \left\{ \left[-1 + \beta_4 (2z-1)^2 \right] \frac{\partial^4}{\partial z^4} [\omega_2 \gamma_1^{(1)}] + c_1 \frac{\partial^2}{\partial z^2} (\omega_2 \gamma_1^{(1)}) - c_2 \omega_2 \gamma_1^{(1)} + \right.}{- * \gamma^2 \int_0^1 \left[1 - \beta_5 (2z-1)^2 \right] \omega_1^2 \gamma_1^{(1)2}(z) dz} \right. \\ \left. + c_3 (2z-1) \frac{\partial^3}{\partial z^3} (\omega_2 \gamma_1^{(1)}) + c_4 \frac{\partial^2}{\partial z^2} (\omega_2 \gamma_1^{(1)}) + c_5 \frac{\partial^2}{\partial z^2} \omega_2 \gamma_1^{(1)} + c_6 \omega_2 \gamma_1^{(1)} - \right. \\ \left. - c_7 (2z-1) \frac{\partial^3}{\partial z^3} (\omega_2 \gamma_1^{(1)}) \right\} \omega_2 \gamma_1^{(1)} dz \Bigg\}^{\frac{1}{2}} ; \quad (7)$$

$$\omega_3^{(2)} = \left[\frac{C_{w2}^{(2)}}{C_{w2}^{(2)}} \right]^{\frac{1}{2}} = \left\{ \frac{\int_0^1 \left\{ \left[-1 + \beta_4 (2z-1)^2 \right] \frac{\partial^4}{\partial z^4} [\omega_2 \gamma_1^{(2)}] + c_1 \frac{\partial^2}{\partial z^2} (\omega_2 \gamma_1^{(2)}) - c_2 \omega_2 \gamma_1^{(2)} + \right.}{- * \gamma^2 \int_0^1 \left[1 - \beta_5 (2z-1)^2 \right] \omega_2^2 \gamma_1^{(2)2}(z) dz} \right. \\ \left. + c_3 (2z-1) \frac{\partial^3}{\partial z^3} (\omega_2 \gamma_1^{(2)}) + c_4 \frac{\partial^2}{\partial z^2} (\omega_2 \gamma_1^{(2)}) + c_5 \frac{\partial^2}{\partial z^2} \omega_2 \gamma_1^{(2)} + c_6 \omega_2 \gamma_1^{(2)} - \right. \\ \left. - c_7 (2z-1) \frac{\partial^3}{\partial z^3} (\omega_2 \gamma_1^{(2)}) \right\} \omega_2 \gamma_1^{(2)} dz \Bigg\}^{\frac{1}{2}} . \quad (8)$$

Проведемо вибір функцій $\varphi_1^S, \psi_1^S, \gamma_1^S$. Головною вимогою в цій процедурі поставимо наявність лінійної незалежності кожної пари. В іншому довільний вибір.

Для попередніх обчислень прийнемо наступні дані:

$$\begin{cases} \varphi_1^{(1)}(z) = \cos nz; & \psi_1^{(1)}(z) = \cos mz; & \gamma_1^{(1)}(z) = \cos pz; \\ \varphi_1^{(2)}(z) = \sin nz; & \psi_1^{(2)}(z) = \sin mz; & \gamma_1^{(2)}(z) = \sin pz; \end{cases} \quad (9)$$

де $n, m, p = 1, 2, \dots b$.

Конкретизуємо задачу і визначимо парціальні частоти для наступних числових характеристик:

$$\omega_1(z) = z^2(1-z)^2; \quad \varphi_1^{(1)}(z) = \cos(nz); \quad \varphi_1^{(2)}(z) = \sin(nz);$$

$$a_1 = 4(1+2\nu) \frac{\delta}{R(1+\zeta)}; \quad a_2 = 8\nu \frac{\delta}{R(1+\zeta)}; \quad \alpha_1 = \frac{2\mu\delta}{R(1+\zeta)};$$

$$^*\alpha^2 = (1-\nu^2) \frac{\rho\omega_0^2\ell^2}{E}; \quad \zeta = \frac{\delta}{R}; \quad \mu = 8\zeta(1+\zeta)\eta^2; \quad \eta = \frac{R}{\ell};$$

$$\rho = 2,7 \cdot 10^{-12} \frac{\kappa\Gamma c^2}{\text{см}^4}; \quad E = 0,7 \cdot 10^6 \frac{\kappa\Gamma}{\text{см}^2}; \quad \nu = 0,34; \quad R = 1 \text{ см}; \quad \ell = 4 \text{ см};$$

$$\delta = 0 \div 0,1 \text{ см (крок } 0,01); \quad n = 1 \div 10, \text{ крок } 1.$$

Зупинимось докладніше на виборі величині ω_0^2 .

Нехтуючи пружним зв'язком між рівняннями, частоти власних коливань вільної оболонки в поздовжньому напрямку можна обчислити за формулою [11, 12]:

$$\omega_{0\text{пр}}^2 = \left(\frac{m\pi}{\ell} \right)^2 \frac{E}{\rho(1-\nu^2)},$$

а для прийнятих чисельних значень її величина за умови $m=1$ дорівнюватиме:

$$\omega_{0\text{пр}}^2 = \left(\frac{m\pi}{\ell} \right)^2 \frac{E}{\rho(1-\nu^2)} = \left(\frac{1 \cdot 3,14}{1} \right)^2 \frac{0,7 \cdot 10^6}{2,7 \cdot 10^{-12} (1-0,1156)} \approx 15 \cdot 10^{16} (\text{с}^{-2})$$

Величина $m=1$ обрана за умови, що найближчими до частоти реальної оболонки будуть лише перші частоти.

Для тих же чисельних значень та геометричних параметрів частота поперечних коливань дорівнюватиме:

$$\omega_{0\text{пр}}^2 = \frac{E}{\rho(1-\nu^2)R} = \frac{0,7 \cdot 10^6}{2,7 \cdot 10^{-12} (1-0,1156)} \approx 3 \cdot 10^{17} (\text{с}^{-2})$$

Частоту власних коливань в коловому напрямку приймемо:

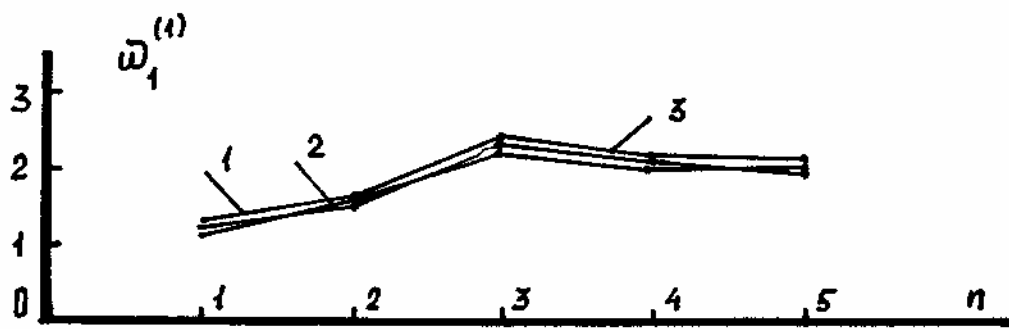
$$\omega_{0\text{окр}}^2 = 5 \cdot 10^{16} \text{с}^{-2}.$$

Тоді можна визначити також значення частот $\omega_1^{(1)}, \omega_1^{(2)}, \omega_2^{(1)}, \omega_2^{(2)}, \omega_3^{(1)}, \omega_3^{(2)}$.

Залежність нижчої безрозмірної частоти $\omega_1^{(1)}$ від числа напівхвиль „n” наведена на рис. 1, залежність нижчих безрозмірних частот $\omega_2^{(1)}$ від числа „m” напівхвиль в коловому напрямку, а також частот $\omega_3^{(1)}$ від числа напівхвиль „p” в радіальному напрямку наведені на рис. 2 та рис. 3 відповідно.

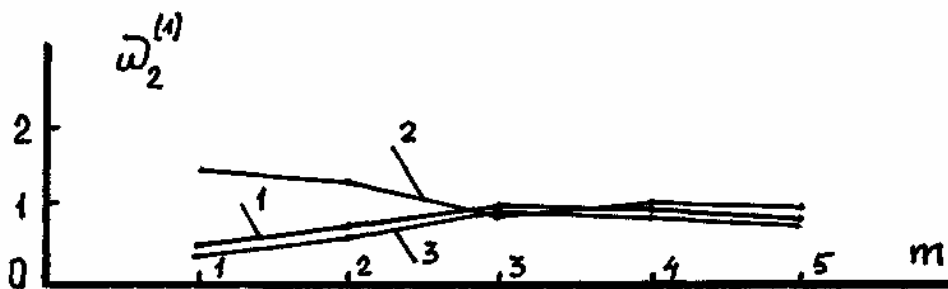
Як видно з рис. 1, рис. 2, рис.3, частоти за всіма трьома координатами практично не змінюються із ростом числа напівхвиль **n, m, p**.

Натомість слід зазначити, що маючи більшу жорсткість у напрямку довжини та коловому, парціальні частоти $\omega_1^{(1)}, \omega_1^{(2)}$ та $\omega_2^{(1)}, \omega_2^{(2)}$ значно перевищують частоти $\omega_3^{(1)}$ та $\omega_3^{(2)}$. По суті справи, на два порядки.



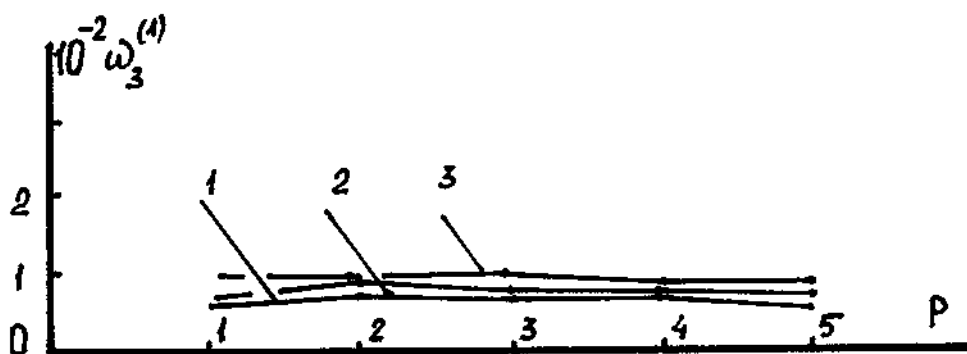
1 - $\delta = 0$; 2 - $\delta = 0,3$; 3 - $\delta = -0,3$

Рис. 1. Залежність низьких безрозмірних частот $\omega_1^{(1)}$ від числа напівхвиль n у поздовжньому напрямку:



1 - $\delta = 0$; 2 - $\delta = 0,3$; 3 - $\delta = -0,3$

Рис. 2. Залежність низьких безрозмірних частот $\omega_2^{(1)}$ від числа по-
лухвиль m в коловому напрямку



1 - $\delta = 0$; 2 - $\delta = 0,3$; 3 - $\delta = -0,3$

Рис. 3. Залежність низьких безрозмірних частот $\omega_2^{(1)}$ від числа напівхвиль p у радіальному напрямку

Опуклість (чи угнутість) бічної поверхні поплавця принципово не впливає на значення частот $\omega_1^{(1)}, \omega_1^{(2)}$ за $\delta \geq \pm 0,3$.

В коловому напрямку, складові $\omega_2^{(1)}$ для опуклої та угнутої поверхні ($\delta = \pm 0,3$) приблизно співпадають. Складові $\omega_2^{(2)}$ для опуклої поверхні має тенденцію до систематичного незначного збільшення, з 0,892 до 0,532 за $\delta = 0,3$. Якщо $\delta = 0,4$, тоді $\omega_2^{(2)} = 0,411$; якщо $\delta = 0,5$ – $\omega_2^{(2)} = 0,271$. Для угнутої поверхні, парціальна частота $\omega_2^{(2)}$ рівномірно збільшується з 0,906 до 1,437.

У випадку циліндричного поплавця, тобто за $\delta = 0$, $\omega_1^{(1)} = 1,236$; $\omega_1^{(2)} = 1,333$; $\omega_2^{(1)} = 0,550$; $\omega_2^{(2)} = 0,906$; $\omega_3^{(1)} = 0,64 \cdot 10^{-2}$; $\omega_3^{(2)} = 0,68 \cdot 10^{-2}$.

Змінюючи певним чином параметри підвісу, можна цілеспрямовано одержати ті, чи інші характеристики.

Отже, для вісенесиметричного деформування оболонкової частини поплавця можна прийняти $m = n = p = 1$, а функції $\varphi_k(z), \psi_k(z), \gamma_k(z)$, відповідно, записати у вигляді:

$$\begin{aligned}\varphi_1^{(1)}(z) &= \cos z; \quad \psi_1^{(1)}(z) = \cos z; \quad \gamma_1^{(1)}(z) = \cos z; \\ \varphi_1^{(2)}(z) &= \sin z; \quad \psi_1^{(2)}(z) = \sin z; \quad \gamma_1^{(2)}(z) = \sin z;\end{aligned}\quad (10)$$

Отже, координатні функції набудуть такого значення:

$$\begin{aligned}U_z &= U_0 + U_{об} + z^2(1-z)^2 A_k^{(1)}(t) \cos z \cos \varphi + z^2(1-z)^2 A_k^{(2)}(t) \sin z \sin \varphi; \\ U_\varphi &= V_0 + V_{об} + z^2(1-z)^2 B_k^{(1)}(t) \cos z \sin \varphi + z^2(1-z)^2 B_k^{(2)}(t) \sin z \cos \varphi; \\ W &= W_0 + W_{об} + z^4(1-z)^4 C_k^{(1)}(t) \cos z \cos \varphi + z^4(1-z)^4 C_k^{(2)}(t) \sin z \sin \varphi.\end{aligned}\quad (11)$$

Висновки

Результати досліджень надають можливість якісного і кількісного аналізу деформованого стану поплавця гіроскопа під дією зовнішніх чинників просторового характеру. Приймаючи значення параметра $k = 0$, можна оцінити ступінь дії вісенесиметричного впливу, за $k \geq 2$ – циклічної дії збурення.

На подальше, з'ясування закономірностей пружних деформацій підвісу гіроскопа дає змогу вибору шляхів боротьби з нею, з одного боку, більш глибокого і ґрунтового аналізу похибок гіроскопа за натурних умов – з іншого.

Література

1. Мельник В.М., Карачун В.В. Невісенесиметричний випадок пружної деформації поплавця гіроскопа // Вісник ЖДТУ. – 2006. - №2(37) / Технічні науки. – С.86-91.
2. Карачун В.В., Мельник В.М., Саверченко В.Г., Баранова І.Г. Похибки поплавкового гіроскопа внаслідок дифракції проникаючого акустичного випромінювання // П'ята науково-технічна конференція „Приладобудування 2006: Стан і перспективи”, 25-26 квітня 2006 р., м. Київ, ПБФ, НТУУ „КПІ”. – 2006. – С.49-50.

3. Мельник В.М., Карачун В.В., Узагальнення похибки двостепенного гіроскопа // Вісник ЖДТУ. – 2005. - №3(34) / Технічні науки. – С.76-78.
4. Мельник В.М., Карачун В.В. Додаткові похибки гіроскопа в акустичному середовищі. //Вісник НТУУ „КПІ”. Серія ПРИЛАДОБУДУВАННЯ.)2005. – Вип. 29. – С.33-36.
5. Карачун В.В., Лозовик В.Г., Мельник В.Н. Дифракція звукових волн на підвесі гіроскопа. – К.: ”Корнейчук”, 2000. – 176с.
6. Карачун В.В., Кубрак Н.А. Дротяні елементи приладів в акустичному середовищі. – К.:”Корнейчук”, 2001. – 160с.
7. Многомерные задачи нестационарной упругости подвеса поплавкового гироскопа. / В.В. Карачун, В.Г.Лозовик, Е.Р.Потапова, В.Н.Мельник/ Под ред. В.В.Карачуна. – К.: «Корнейчук», 2000. – 128с.
8. Погрешности гироскопического интегратора линейных ускорений в натуральных условиях / В.В. Карачун, В.Н.Мельник, В.Г.Лозовик, А.А.Одинцов / Под ред. В.В.Карачуна. – К.: ”Корнейчук”, 2001.- 144с.
9. Карачун В.В., Мельник В.Н., Саверченко В.Г. Некоторые аспекты влияния проникающего акустического излучения на приборы и системы инерциальной навигации / Космічна наука і технологія. 2004 Т. 10. № 4 – С. 50-59.
10. Мельник В.М., Карачун В.В. Невісесиметричний випадок пружної деформації поплавця гіроскопа // Вісник ЖДТУ. – 2006. - №2(37) / Технічні науки. – С.86-91.
11. Baron M.L., Bleich H.H. Tables of frequencies and free vibration of infinitely long thin cylindrical shells, J. of APM, 1954, v.21, №2. – P. 178-184.
12. Гонткевич В.С. Собственные колебания пластин и оболочек: Справочник / Под ред. А.П.Филиппова. – К.: Наук. думка, 1964. – 288 с.

Мельник В.Н., Карачун В.В. Определение функций $\varphi_k^S(z), \psi_k^S(z), \gamma_k^S(z)$ при отсутствии упругого перекрестного влияния координат поплавка гироскопа. Проводится численный анализ безразмерных частот упругих колебаний поверхности поплавка гироскопа под действием внешнего возмущения пространственного характера. Обосновывается выбор partialis частот для одной из модификаций промышленного образца поплавкового пробоора.	Mel'nick V.N., Karachun V.V. Definition of functions $\varphi_k^S(z), \psi_k^S(z), \gamma_k^S(z)$ at absence of elastic cross influence of coordinates of a float of a gyroscope. The numerical analysis of dimensionless frequencies of elastic fluctuations of a surface of a float of a gyroscope under action of external indignation of spatial character is spent. The choice partialis frequencies for one of updatings the industrial sample float-actuated a hair parting proves.
---	--

*Надійшла до редакції
6 квітня 2006 року*

УДК 629.7.054

АНАЛІЗ ЗБУРЕНОГО СТАНУ ПОПЛАВЦЯ ГІРОСКОПА ВНАСЛІДОК ДИФРАКЦІЇ ЗВУКОВИХ ХВИЛЬ НА ЩІЛИНІ

Кладун О.А. Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”, м. Київ, Україна

Визначаються координатні функції пружно-податливої зовнішньої оболонки двостепенного поплавкового гіроскопа. Наводиться аналіз збуреного стану поверхні під дією