

- ник НТУУ “КПІ”. ПРИЛАДОБУДУВАННЯ. – 2003. – Вип. 25. – С. 21-25.
3. Воронков Н.Н., В.В., Ашимов Н.М. Гироскопическое ориентирование. М., Недра, 1973. – 224с.
  4. Назаров В.И., Черников С.А., Хлебников Г.А., Верхов Г.В. Командно-измерительные приборы. М., МО, 1987. – С. 542 - 556. - 638с.

<p>Ліхоткін О.М., Юр'єв Ю.Ю. <b>Про шляхи підвищення точності гірогеодолітів, що реалізують компенсаційний метод визначення азимута.</b></p> <p>В статті розглядається метод «Північ-Південь», що дозволяє зменшити похибку визначення азимута через неточність калібрування системи вимірювання компенсаційного моменту прецизійного наземного гірогеодоліту, що реалізує компенсаційний метод визначення азимута.</p>	<p>A.M.Lihotkin, Y.Y.Yuryev. <b>About ways of increase of the accuracy of gyrotheodolites, that realize compensational method of azimuth definition.</b></p> <p>The method «North-South» is considered in this article. This method allows to decrease the error of azimuth definition caused by inaccuracy of calibration of the compensational moment measuring system of precision ground gyrotheodolite, that realizes compensational method of azimuth definition.</p>
---	---

*Надійшла до редакції  
4 листопада 2004 року*

УДК 629.7.054

## ДОДАТКОВІ ПОХИБКИ ГІРОСКОПА В АКУСТИЧНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

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

*Проаналізована природа взаємодії пружного підвісу поплавкового гіроскопу з проникаючим акустичним випромінюванням в умовах асинхронної качки корпусу ракети-носія та визначено закономірності примусового руху приладу за рівності частот збуджуючих факторів та в загальному випадку*

### **Вступ. Постановка задачі**

Окрім самостійного інтересу, кінематичний і акустичний впливи формують широке коло актуальних прикладних задач аналізу та синтезу інерціальних систем з метою вивчення природи їх спільного прояву. До речі, такий підхід оправданий і в тому розумінні, що в значній мірі відповідає натурним умовам функціонування. Так, наприклад, під час старту важких носіїв таких як “Протон”, “Зеніт”, “Циклон-4 або “Маяк” та при виконанні операцій розділення та розведення у момент старту з орбітальної ступені, на ракеті-носії (РН) одночасно виконуються як операції виходу на номінальний режим роботи розгінних блоків рушійних установок, так і побудови опорної системи координат (або сукупності орієнтирних напрямів). Аналогічна задача вирішується при розв’язанні маршевих задач ближнього космосу з метою доставки космічного апарата (КА) на задану орбіту (чи перехід з опорної на геостаціонарну).

Зазначена постановка задачі потребує також створення інших розрахункових моделей, які б враховували як кутовий рух РН, так і просторове наванта-

ження бортової апаратури проникаючим акустичним випромінюванням. Досліди довели, що виникаючі згібні коливання поплавка двохступеневого гіроскопа та елементної бази приладу під дією однієї тільки звукової хвилі, як правило, не чинять суттєвого впливу на похибку вимірювань [1]. Але за одночасного ще й кутового руху РН картина різко змінюється. Вихідний сигнал, окрім корисної складової, містить сталу та періодичну складові, що відповідають “хібній” кутовій швидкості [2]. Таким чином, наявність носія кінетичного моменту докорінно змінює картину вимірювань.

### **Аналіз стану проблеми**

Перші дослідження, присвячені комплексному вивченню явища, з’явилися досить недавно [3, 4]. На відміну від ранішніх робіт [5], тут вже будуються принципово нові розрахункові схеми [6]. Порівняльний аналіз з експериментом дає задовільну збіжність результатів [1].

На відміну від зазначеного, поставимо на меті визначення похибки поплавкового двохступеневого гіроскопа за умови одночасної дії лише двох збуджуючих факторів – асинхронного кутового руху корпусу РН та акустичної вібрації поверхні поплавка внаслідок впливу проникаючого акустичного випромінювання. Асинхронна качка обрана не випадково. Насамперед, вона більш наближена до натурних умов, а з другого боку – відомі дослідження стверджують про відсутність за цього руху сталої похибки вимірів [7].

### **Аналіз примусового руху приладу**

Рівняння збудженого руху гіроскопа мають вигляд [1]:

$$B\ddot{\beta} + R\{[(\omega_z + \omega_2^a \cos \beta)^2 - \omega_x^2] \sin \beta \cos \beta - \omega_x(\omega_z + \omega_2^a \cos \beta) \cos 2\beta\} + H[\omega_x \sin \beta + (\omega_z + \omega_2^a \cos \beta) \cos \beta] + B(\dot{\omega}_y + \dot{\omega}_1^a) + b\dot{\beta} + c\beta = 0, \quad (1)$$

де  $B$ ,  $R$  – моменти інерції;  $H$  – кінетичний момент;  $\beta$  – кут повороту рухомої частини;  $\omega_x$ ,  $\omega_y$ ,  $\omega_z$  – кутові швидкості основи;  $c$  – жорсткість пружини;  $\omega_1^a$ ,  $\omega_2^a$  – “хібні” кутові швидкості.

За нерухомої основи, тобто якщо  $\omega_x = \omega_y = 0$  і  $\omega_z = \omega_0 = const$  та відсутності акустичного впливу, отримуємо відому формулу, що встановлює зв’язок між сталим значенням кута повороту і сталою вхідною величиною  $\omega_0$  [7]:

$$\omega_0 \approx -\frac{c}{H} \beta_0. \quad (2)$$

Якщо акустичне випромінювання діє на підвіс поплавкового гіроскопа, тоді вираз (2) змінюється –

$$\omega_0 = -\frac{c}{H} \beta_0 + \frac{P_0^2 B^2 \omega_a^4}{H^3 R R_r \sin \beta_0} \{J_{II} [\rho_r + \pi \varphi_r] + m_T R_T L \rho_T\}, \quad (3)$$

де  $\rho_\tau, \rho_r, \rho_T$  – відповідно пружні переміщення поверхні поплавка в тангенціальному напрямку, в поперечній площині і торцевої поверхні;  $L, m_T, R_T$  – довжина, маса і радіус торця поплавка відповідно.

Для випадку асинхронних коливань корпусу РН  $\theta = \rho_\theta \sin(v_1 t + \delta_\theta)$ ;  $\psi = \rho_\psi \sin(v_2 t + \delta_\psi)$ ;  $\omega_{1z} = v_3 \rho_\phi \cos(v_3 t + \delta_\phi)$  та пружних переміщень поверхні поплавка (в акустиці часто використовується тільки косинусна складова) вигляду  $V(t) = \rho_V \cos(\omega_a t + \delta_V)$ ;  $W(t) = \rho_r \cos(\omega_a t + \delta_w)$ ;  $W_T(t) = \rho_T \cos(\omega_a t + \delta_T)$  рівняння руху у першому наближенні має вигляд:

$$\ddot{\beta}_1 + (2h - 2h^a)\dot{\beta}_1 + n^2 \beta_1 = \rho \sin(vt + \delta), \quad (4)$$

де  $n^2 = k^2 + \omega_0(r - r^a)$ ;  $k^2 = \frac{c}{B}$ ;  $r = \frac{R\omega_0 \cos 2\beta_0 - H \sin \beta_0}{B}$ ;

$$r^a = \frac{r_1^a}{B} = \frac{i\omega_a \sin \beta_0}{B} \cdot \frac{2P_0}{HR} i\omega_a [J_{II}[\rho_\tau + \pi\varphi_r] + m_T R_T L \rho_T];$$

$$2h^a = \frac{b^a}{B} = \omega_0 \sin \beta_0 \frac{2P_0}{HRB} i\omega_a [J_{II}[\rho_\tau + \pi\varphi_r] + m_T R_T L \rho_T]$$

Розв'язання його записується у такий спосіб:

$$\begin{aligned} \beta_1 = & (r - \omega_0) D(v_1) v_1 \rho_\theta \cos(v_1 t + \delta_\theta - \varepsilon_1) + (r\omega_0 - v_2^2) \rho_\psi \sin(v_2 t + \delta_\psi - \varepsilon_2) D(v_2) - \\ & - q D(v_3) v_3 \rho_\phi \cos(v_3 t + \delta_\phi - \varepsilon_3) - \omega_0 D(v_2) v_2^2 \rho_\psi \sin(v_2 t + \delta_\psi - \varepsilon_2) - \\ & - \omega_0 D(v_1) v_1 \rho_\theta \sin(v_1 t + \delta_\theta - \varepsilon_1) - \frac{P_0 \omega_a^2 \cos \beta_0}{HBR} D(v_3) v_3 \rho_\phi \times \\ & \times \{ J_{II} \rho_\tau \cos[(\omega_a - v_3)t + \delta_V - \delta_\phi - \varepsilon_3] + J_{II} \rho_\tau \cos[(\omega_a + v_3)t + \delta_V + \delta_\phi - \varepsilon_3] + \\ & + \pi\varphi_r \cos[(\omega_a - v_3)t + \delta_w - \delta_\phi - \varepsilon_3] + \pi\varphi_r \cos[(\omega_a + v_3)t + \delta_w + \delta_\phi - \varepsilon_3] + \\ & + m_T R_T L \rho_T \cos[(\omega_a - v_3)t + \delta_{w_T} - \delta_\phi - \varepsilon_3] + m_T R_T L \rho_T \cos[(\omega_a + v_3)t + \delta_{w_T} + \delta_\phi - \varepsilon_3] \} + \\ & + \frac{2P_0 i \omega_a \cos^2 \beta_0 J_{II} (R\omega_0 \sin 2\beta_0 + H \cos \beta_0)}{HBR} \times \\ & \times \{ D(v_2) v_2 \rho_r \rho_\psi \cos[(\omega_a - v_2)t + \delta_w - \delta_\psi - \varepsilon_2] + \\ & + D(v_1) \omega_0 \rho_r \rho_\theta \sin[(\omega_a - v_1)t + \delta_w - \delta_\theta - \varepsilon_1] + \\ & + D(v_2) v_2 \rho_r \rho_\psi \cos[(\omega_a + v_2)t + \delta_w + \delta_\psi - \varepsilon_2] + \\ & + D(v_1) \omega_0 \rho_r \rho_\theta \sin[(\omega_a + v_1)t + \delta_w + \delta_\theta - \varepsilon_1] \} + \frac{P_0 D(v_3) i \omega_a \cos \beta_0}{HBR} v_3^2 \rho_\phi \times \\ & \times \{ J_{II} \rho_\tau \sin[(\omega_a - v_3)t + \delta_V - \delta_\phi - \varepsilon_3] + J_{II} \rho_\tau \sin[(\omega_a + v_3)t + \delta_V + \delta_\phi - \varepsilon_3] + \\ & + m_T R_T L \rho_T \sin[(\omega_a - v_3)t + \delta_{w_T} - \delta_\phi - \varepsilon_3] + \\ & + m_T R_T L \rho_T \sin[(\omega_a + v_3)t + \delta_{w_T} + \delta_\phi - \varepsilon_3] \}, \quad (5) \end{aligned}$$

$$\text{де } D(v_i) = \left\{ \left[ (n^2 - v_i^2)^2 - 4(h - h^a)^2 v_i^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}; \quad \varepsilon_i = \arctg \frac{2(h - h^a)}{n^2 - v_i^2} v_i, \quad i = 1, 2, 3. \quad (5a)$$

### **Висновки**

Перші п'ять доданків виразу (5) характеризують вплив на похибку приладу тільки кутового руху корпусу РН і сталих складових, як доведено, не мають. Останні доданки показують, що у вихідному сигналі присутні складові різницевої ( $\omega_a - \nu_i$ ) та сумарної ( $\omega_a + \nu_i$ ) частот. Причому, за рівності частот акустичного впливу  $\omega_a$  і кінематичного  $\nu_i$  відразу з'являються сталі складові похибки. Таким чином, за асинхронної качки основи при спільній дії акустичного випромінювання і кінематичного можливе виникнення сталих складових, окрім суперпозиції періодичних, за асинхронної качки корпусу РН.

Подальше перспективне вирішення проблеми полягає у синтезі інваріантних систем щодо негативного впливу зазначених чинників, зокрема розробка пасивних, як найбільш економічних, методів боротьби з акустичним випромінюванням.

### **Література**

1. 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. – 128 с.
2. Мельник В.М., Кундеревиц Є.К., Саверченко В.Г., Карачун В.В., Баланін В.Х. Похибки блоку демпфіруючих гіроскопів за натурних умов. Сучасні авіаційні технології: Секція “Аеродинаміка та динаміка польотів: Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції ”АВІА-2002”, 23-25 квітня 2002 р. – Т.3. – К.: НАУ, 2002. – С. 33.31-33.33.
3. Mel'nik V.N., Karachun V.V. Some aspects of the gyroscopic stabilization in acoustic fields // Int. Appl. Mech. – 2002. – 38, №1. – p. 74-80.
4. Koshljakov V.N., Karachun V.V., Mel'nik V.N., Saverchenko V.G., Balanin V., Ch. The some aspects of flight safety in conditions penetrate acoustic radiation. The World Congress “Aviation in the XXI-st Century”, September, 14-16, 2003, Kyiv, Ukraine, National Aviation University, Kyiv, Ukraine. – p. 2.37-2.40.
5. Карачун В.Н., О колебаниях пластин при акустическом нагружении // Прикл. механика, 1988. – 24. -№ 11. – С. 84-91.
6. Мельник В.Н. Об особенностях динамики гироскопа с многофазным подвесом в акустических полях // Космічна наука і технологія. -2002. – Т. 8, № 4. – С. 49-53.
7. Лунц Я.Л. Ошибки гироскопических приборов. – Л.: Судостроение, 1968. – 232 с.

**Мельник В.Н., Карачун В.В. Дополнительные погрешности гироскопа в акустической среде.**

Проанализирована природа взаимодействия упругого подвеса поплавкового гироскопа с проникающим акустическим излучением в условиях асинхронной качки корпуса ракеты-носителя и установлены закономерности вынужденного движения прибора при равенстве частот возбуждающих факторов и в общем случае.

**Melnik V.N., Karachun V.V. Variation of the mean errors of the gyro in acoustic medium.**

The nature of interplay elastic bracket of a floated-type gyroscope with inpouring acoustic radiation in conditions of asynchronous swinging of a missile body of the carrier is parsed and are established of regularity of forced motion of the device at equalling of frequencies of the exciting factors and generally.

*Надійшла до редакції  
10 вересня 2004 року*