

ТЕОРІЯ ТА ПРАКТИКА НАВІГАЦІЙНИХ ПРИЛАДІВ І СИСТЕМ

УДК 629.7.054

**ПОХИБКИ ІНТЕГРУЮЧОГО ГІРОСКОПА ЗА ДЕТЕРМІНОВАНИХ
ЗОВНІШНІХ ЗБУДЖЕНЬ**

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

Наводяться результати аналізу збудженого руху підвісу двохступеневого гіроскопа за умови спільної дії акустичного навантаження та хитавиці основи. Визначені сталі складові дрейфу інтегруючого гіроскопа за асинхронної і синхронної зміни кутів повороту у часі

Вступ

Двохступеневі електромеханічні інтегруючі гіроскопи (зокрема, у поплавковому виконанні) знайшли широке використання у пілотажно-навігаційних системах літальних апаратів. Тому об'єктивний, глибокий аналіз їх похибок надасть змогу підвищити тактико-технічні характеристики рухомих об'єктів в цілому.

Першим кроком у вирішенні цієї проблеми постає необхідність створення таких розрахункових моделей, котрі максимально точно відображали б існуючі реалії натурних умов. Природно, що у цьому випадку слід розглядати сукупну, одночасну дію декількох чинників, наприклад, кутового руху об'єкту та проникаючого акустичного випромінювання з боку рушійних установок. Таким чином, треба відокремитись від сталого уявлення щодо простої суперпозиції похибок вимірювань унаслідок дії окремого зовнішнього збудження.

Саме ці двоє впливів – кінематичне та акустичне – притаманні ракетам-носіям шахтного та мобільного базування. Хитавиця корпусу виникає внаслідок несиметричності ракети [1], акустичне випромінювання – породження роботи двигунів та ревербераційних явищ [2].

Науковці, які наразі займаються аналізом динаміки бортової апаратури, вивчають зазвичай примусовий рух елементів приладів (плоских, плоско-паралельних, оболонкових, струнних, торсіонних тощо) [3, 4, 5, 6], або їх модифікацій (колові пластини, колові з отвором тощо) [7] власне під дією акустичних хвиль. Започатковані дослідження стану рідиннофазної частини приладів [8, 9].

Постановка задачі

Маючи наявний досвід аналізу зовнішніх акустичних полів на окремі елементи (чи ділянки) приладів, або комплектуючих, необхідно узагальнити отримані результати на випадок спільної дії декількох зовнішніх чинників – наприклад, хитавиці та звукового випромінювання. Цей шлях потребує створення самостійних розрахункових моделей.

Метою запропонованих досліджень є визначення природи пружної взаємодії механічної системи підвісу двохступеневого інтегруючого гіроскопа за синхронної та асинхронної хитавиці основи в умовах дифракційних явищ звукових хвиль на поплавку та створення розрахункових моделей.

Моделі похибок інтегруючого гіроскопа

Рівняння першого й другого наближень можна отримати з відповідних рівнянь для диференціюючого гіроскопа [1], якщо покласти в них наступне:

$$n^2 = 0; r = 0; q = \frac{H}{B}; \omega_0 = 0; r' = -\frac{H}{B}; q' = 0; q'' = -\frac{H}{B}, \text{ тобто}$$

$$\begin{aligned} \ddot{\beta}_1 + 2h\dot{\beta}_1 &= \\ &= -\frac{H}{B}\dot{\varphi} - \ddot{\psi} + \frac{4P_0i\omega_a}{HBR}J_{\Pi}\rho_r(t)\psi; \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \ddot{\beta}_2 + 2h\dot{\beta}_2 &= \\ &= \left\{ \frac{H}{B} + \frac{2P_0i\omega_a}{HBR} [J_{\Pi}(\rho_{\tau} + \pi\varphi_r) + m_T R_T L \rho_T] \right\} \dot{\psi} \theta - \\ &- \frac{H}{B} \beta_1 \dot{\theta} + a \dot{\theta} \dot{\varphi} - \frac{d}{dt}(\dot{\varphi} \theta) - \frac{4P_0i\omega_a}{HBR} [J_{\Pi}(\rho_{\tau} + \pi\varphi_r) + m_T R_T L \rho_T] \dot{\beta}_1 \dot{\varphi} - \\ &- a \frac{16P_0i\omega_a}{HBR} J_{\Pi} \rho_r + a \frac{4P_0i\omega_a J_{\Pi}}{HBR} \dot{\theta} \dot{\psi} \rho_r + \\ &+ \frac{2P_0i\omega_a}{HBR} [J_{\Pi}(\rho_{\tau} + \pi\varphi_r) + m_T R_T L \rho_T] (\dot{\varphi} \theta + \dot{\varphi} \dot{\theta}), \end{aligned} \quad (2)$$

де H – кінетичний момент гіроскопа; β_i – кут повороту рухомої частини; B , R , J_{Π} – моменти інерції; ρ_{τ} , ρ_r , ρ_T – пружні переміщення поверхні поплавка (відповідно по дотичній до бокової поверхні, в радіальному напрямку, торця); P_0 – акустичний тиск; ω_a – частота звукової хвилі; θ , ψ , φ – кути повороту основи; h – коефіцієнт демпфірування; m_T , R_T – маса й радіус торця; L – довжина поплавка.

В рівняннях першого наближення (1) останній доданок характеризує вплив акустичного поля, перших два – дію кінематичного збурення. В рівняннях (2) другого наближення перші чотири доданки характеризують вплив на похибку приладу кінематичних чинників, інші – звукових хвиль.

За синхронної хитавиці основи, тобто $\theta = \rho_{\theta} \sin(\nu t + \delta_{\theta})$; $\psi = \rho_{\psi} \sin(\nu t + \delta_{\psi})$; $\omega_{1z} = \nu \rho_{\varphi} \cos(\nu t + \delta_{\varphi})$ та пружних коливань поверхні поплавка (розглянемо лише косинусну складову, а уявну, синусну, відкинемо) $V(t) = \rho_{\tau} \cos(\omega_a t + \delta_V)$; $W(t) = \rho_r \cos(\omega_a t + \delta_W)$; $W_T(t) = \rho_T \cos(\omega_a t + \delta_T)$ примусовий рух поплавка буде здійснюватися наступним чином:

$$\begin{aligned}
 2h\dot{\beta}_1^{(c)} = & \left[v^4 + 4h^2v^2 \right]^{\frac{1}{2}} \cdot \left\{ \left[v^2 \rho_\psi \sin(vt + \delta_\psi - \varepsilon) - \frac{H}{B} v \rho_\phi \cos(vt + \delta_\phi - \varepsilon) \right] - \right. \\
 & - \frac{P_0 \omega_a^2}{HBR} v \rho_\phi \left\{ J_{II} \rho_\tau \cos[(\omega_a - v)t + \delta_V - \delta_\phi - \varepsilon] + J_{II} \rho_\tau \cos[(\omega_a + v)t + \delta_V + \delta_\phi - \varepsilon] \right\} + \\
 & + \pi J_{II} \rho_r \cos[(\omega_a - v)t + \delta_W - \delta_\phi - \varepsilon] + \pi J_{II} \rho_r \cos[(\omega_a + v)t + \delta_W + \delta_\phi - \varepsilon] + \\
 & + m_T R_T L \rho_T \cos[(\omega_a - v)t + \delta_T - \delta_\phi - \varepsilon] + m_T R_T L \rho_T \cos[(\omega_a + v)t + \delta_T + \delta_\phi - \varepsilon] + \quad (3) \\
 & + \frac{2P_0 i \omega_a J_{II} H}{HBR} \left\{ v \rho_r \rho_\psi \cos[(\omega_a - v)t + \delta_W - \delta_\psi + \varepsilon] + v \rho_r \rho_\psi \cos[(\omega_a + v)t + \delta_W + \delta_\psi - \varepsilon] \right\} + \\
 & + \frac{P_0 i \omega_a}{HBR} v^2 \rho_\phi \left\{ J_{II} \rho_\tau \sin[(\omega_a - v)t + \delta_V - \delta_\phi - \varepsilon] + J_{II} \rho_\tau \sin[(\omega_a + v)t + \delta_V + \delta_\phi - \varepsilon] - \right. \\
 & \left. - m_T R_T L \rho_T \sin[(\omega_a - v)t + \delta_T - \delta_\phi - \varepsilon] + m_T R_T L \rho_T \sin[(\omega_a + v)t + \delta_T + \delta_\phi - \varepsilon] \right\} \Big\} \Big\} \Big\} .
 \end{aligned}$$

У випадку асинхронної хитавиці таким чином:

$$\begin{aligned}
 2h\dot{\beta}_1^{(ac)} = & -v_2^2 \rho_\psi \sin(v_2 t + \delta_\psi - \varepsilon_2) D(v_2) - \frac{H}{B} D(v_3) v_3 \rho_\phi \cos(v_3 t + \delta_\phi - \varepsilon_3) - \\
 & - \frac{P_0 \omega_a^2}{HBR} D(v_3) v_3 \rho_\phi \left\{ J_{II} \rho_\tau \cos[(\omega_a - v_3)t + \delta_V - \delta_\phi - \varepsilon_3] + \right. \\
 & \quad \left. + J_{II} \rho_\tau \cos[(\omega_a + v_3)t + \delta_V + \delta_\phi - \varepsilon_3] \right\} + \\
 & + \pi \rho_r \cos[(\omega_a - v_3)t + \delta_W - \delta_\phi - \varepsilon_3] + \pi \rho_r \cos[(\omega_a + v_3)t + \delta_W + \delta_\phi - \varepsilon_3] + \\
 & + m_T R_T L \rho_T \cos[(\omega_a - v_3)t + \delta_T - \delta_\phi - \varepsilon_3] + m_T R_T L \rho_T \cos[(\omega_a + v_3)t + \delta_T + \delta_\phi - \varepsilon_3] \Big\} + \quad (4) \\
 & + \frac{2P_0 i \omega_a J_{II} H}{HBR} \left\{ D(v_2) v_2 \rho_r \rho_\psi \cos[(\omega_a - v_2)t + \delta_W - \delta_\psi - \varepsilon_2] \right\} + \\
 & \quad \left. + D(v_2) v_2 \rho_r \rho_\psi \cos[(\omega_a + v_2)t + \delta_W + \delta_\psi - \varepsilon_2] \right\} + \\
 & + \frac{P_0 D(v_3) i \omega_a}{HBR} v_3^2 \rho_\phi \left\{ J_{II} \rho_\tau \sin[(\omega_a - v_3)t + \delta_V - \delta_\phi - \varepsilon_3] \right\} + \\
 & \quad \left. + J_{II} \rho_\tau \sin[(\omega_a + v_3)t + \delta_V + \delta_\phi - \varepsilon_3] \right\} + \\
 & + m_T R_T L \rho_T \sin[(\omega_a - v_3)t + \delta_T - \delta_\phi - \varepsilon_3] + m_T R_T L \rho_T \sin[(\omega_a + v_3)t + \delta_T + \delta_\phi - \varepsilon_3] \Big\} ,
 \end{aligned}$$

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

Аналогічно можна отримати закон руху у другому наближенні.

З наведених співвідношень походить, що за такого підходу вже в першому наближенні можна обчислити систематичний дрейф рухомої частини відносно вихідної осі. Це спостерігається за рівності частот акустичного випромінювання і хитавиці, тобто за умови $\omega_a = v$. До того ж систематична складова дрейфу має місце як за умови синхронної, так і асинхронної хитавиці,

що не спостерігається, наприклад, при врахування виключно кутового руху об'єкта.

Найбільший інтерес являє стала складова дрейфу. Виконавши операцію осереднення у часі отримуємо з виразу (3) для синхронної хитавиці:

$$\begin{aligned}
 2h\dot{\beta}_1 = & \\
 = & -\frac{P_0\omega_a^2 \cos^2 \beta_0}{HBR} v\rho_\varphi [J_{II}\rho_\tau \cos(\delta_V - \delta_\varphi) + \pi\varphi_r \cos(\delta_W - \delta_\varphi) + m_T R_T L\rho_T \cos(\delta_T - \delta_\varphi)] + \\
 & + \frac{2P_0i\omega_a \cos^2 \beta_0 J_{II} (R\omega_0 \sin 2\beta_0 + H \cos \beta_0)}{HBR} \rho_r \rho_\psi [v \cos(\delta_W - \delta_\psi) + \omega_0 \cos(\delta_W - \delta_\psi)] + \\
 & + \frac{P_0i\omega_a \cos \beta_0}{HBR} v^2 \rho_\varphi [J_{II}\rho_\tau \sin(\delta_V - \delta_\varphi) + m_T R_T L\rho_T \sin(\delta_T - \delta_\varphi)].
 \end{aligned} \tag{5}$$

Аналогічно для асинхронної хитавиці з формули (4):

$$\omega_a = v_3.$$

$$\begin{aligned}
 2h\dot{\beta}_1 = & \\
 = & -\frac{P_0\omega_a^2 \cos \beta_0}{HBR} v_3 \rho_\varphi [J_{II}\rho_\tau \cos(\delta_V - \delta_\varphi - \varepsilon_3) + \\
 & + \pi\varphi_r \cos(\delta_W - \delta_\varphi - \varepsilon_3) + m_T R_T L\rho_T \cos(\delta_T - \delta_\varphi - \varepsilon_3)] + \\
 & + \frac{P_0i\omega_a \cos \beta_0}{HBR} v_3^2 \rho_\varphi [J_{II}\rho_\tau \sin(\delta_V - \delta_\varphi - \varepsilon_3) + m_T R_T L\rho_T \sin(\delta_T - \delta_\varphi - \varepsilon_3)];
 \end{aligned} \tag{6}$$

$$\omega_a = v_2.$$

$$\begin{aligned}
 2h\dot{\beta}_1 = & \\
 = & \frac{2P_0i\omega_a \cos^2 \beta_0 J_{II} (R\omega_0 \sin 2\beta_0 + H \cos \beta_0)}{HBR} v_2 \rho_r \rho_\psi \cos(\delta_W - \delta_\psi - \varepsilon_2);
 \end{aligned} \tag{7}$$

$$\omega_a = v_1.$$

$$\begin{aligned}
 2h\dot{\beta}_1 = & \\
 = & \frac{2P_0i\omega_a \cos^2 \beta_0 J_{II} (R\omega_0 \sin 2\beta_0 + H \cos \beta_0)}{HBR} \omega_0 \rho_r \rho_\theta \sin(\delta_W - \delta_\theta - \varepsilon_1),
 \end{aligned} \tag{8}$$

де δ_V , δ_W , δ_T , ε – початкові фази коливань.

Висновки

Наведені результати надають можливість узагальнити вже відомі факти небажаного впливу кутового руху основи на появу дрейфу вихідного сигналу, зокрема, обчислення її сталої складової. Нові розрахункові моделі, що пояснюють природу спільної дії двох чинників – хитавиці та акустичного збудження – дали змогу з'ясувати особливості цього явища. Привабливою

постає можливість одержання окремих результатів з узагальненого, розглядаючи конкретне зовнішнє збудження.

Перспективними дослідженнями з цього напрямку слід вважати нейтралізацію проникаючого акустичного випромінювання. Здійснити це можна на шляху його трансляції або на самому приладі. Останнє передбачає пасивні, активні чи компенсаційні методи. Опис процесу ізоляції має самостійний інтерес як в науковому осмисленні, так і в прикладному. Найбільш доцільними тут постають резонансні явища з використанням нелінійних ефектів.

Література

1. Мельник В.Н., Карачун В.В. О влиянии акустического излучения на чувствительные элементы гиросtabilизированной платформы // Прикл. механика. – 2004. – Т. 40, № 10. – С. 122–130.
2. Мельник В.М., Карачун В.В. Інжекція акустичної енергії РН і її вплив на похибки гіроскопа // Вісник ЖДТУ. Технічні науки. – 2004. – Т. 1. – № 4(31). – С. 135–138.
3. Мельник В.Н., Карачун В.В. Волновые задачи стационарного взаимодействия плоских элементов с акустическим излучением // Авіаційно-космічна техніка і технологія: Зб. наук. праць. – Харків: Нац. аерокосмічн. ун-т "Харк. авіац. ін-т", 2001. – Вип. 26. Двигуни та енергоустановки. – С. 85–89.
4. Karachun V.V. Vibration of Porous Plates under the Action of Acoustic // SOVIET APPLIED MECHANICS. – 1987. – Vol. 22. № 3. – P. 236–238.
5. 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.
6. Карачун В.В., Кубрак Н.А. Дротяні елементи приладів в акустичному середовищі. – К.: "Корнейчук", 2001. – С. 160 с.
7. Karachun V.V., Yankovoy V.V., Potapova E.R. Resilient interaction of external acoustical emission with mechanical systems of managment device. Ankara International Aerospace conference. 19-21 September, 1996.
8. Карачун В.В., Потапова Е.Р., Мельник В.Н. О погрешности построения вертикали при старте носителей // Космічна наука і технологія. – 1999. – Т. 5. - № 4. – С. 70–74.
9. Мельник В.М. Нелінійні коливання рухомої частини поплавкового гіроскопа внаслідок неоднорідності рідиннофазної частини підвісу // Доповіді Нац. Акад. Наук України. – 2003. – № 8. – С. 54–58.

Мельник В.Н., Карачун В.В., Буртняя И.А.
Ошибки интегрирующего гироскопа при детерминированных внешних возмущениях.

Приводятся результаты анализа возбужденного движения подвеса двухстепенного гироскопа при совместном действии акустического нагружения и качки основания. Определены постоянные составляющие дрейфа интегрирующего гироскопа при асинхронном и синхронном изменении углов поворота во времени.

Mel'nik V.N., Karachun V.V., Burtneya I. A.
Errors of an integrating gyroscope at the determined external disturbances.

The outcomes of the analysis of excited motion подвеса of the two-powermode gyro are resulted at joint action of acoustic loading and swinging of the basis. The constant components of drift of an integrating gyroscope are determined at asynchronous and synchronic change of turn angles in time.

Надійшла до редакції
3 червня 2005 року