

В.М. Мельник, к.т.н., доц.

В.В. Карачун, д.т.н., проф.

Національний технічний університет України "КПІ"

УЗАГАЛЬНЕННЯ ПОХИБКИ ДВОСТЕПЕНЕВОГО ГІРОСКОПА

Проводиться якісний аналіз похибок двостепеневого гіроскопа за умови одночасної дії проникаючого акустичного випромінювання та кутової хитавиці основи. Узагальнюються наявні відомості на випадок нерегулярного характеру збурень.

Постановка проблеми. В пілотажно-навігаційних бортових системах широке застосування знайшли електромеханічні двостепеневі гіроскопи. Як відомо, технічні характеристики літальних апаратів, окрім іншого, залежать від точності цих приладів і визначають ступінь ефективності їх використання в блоках демпфіруючих гіроскопів, в тривісних гіростабілізованих платформах тощо.

Аналізу похибок двостепеневого гіроскопа за натурних умов – кінематичне збудження, кутове та лінійне прискорення, вібрація основи, проникаюче акустичне випромінювання, а також другорядні чинники – присвячено досить багато уваги. Настав час узагальнити ці результати на більш наближених до природи моделях, зокрема, одночасної дії хитавиці корпусу і звукового впливу, будуючи нові розрахункові моделі. Окрім того, зовнішні збудження слід розглядати як випадкові функції часу. Це дозволить більш об'єктивно підійти до вирішення питань оцінки тактико-технічних характеристик літальних апаратів в цілому.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вплив сумісної дії кінематичного збудження та акустичного навантаження на двостепеневий гіроскоп розглядався в роботах [1], [2]. Але аналіз здійснювався для окремого, поодинокого, випадку за умови регулярної хитавиці основи: у випадку її синхронної зміни у часі [1] та більш наближений випадок – асинхронна хитавиця [2].

За випадку, коли двохстепеневий гіроскоп виконує роль чутливого елемента (наприклад, у тривісній гіростабілізованій платформі), похибки його вимірювань призводять до ще гірших наслідків – дрейфу ГСП відносно всіх осей стабілізації [3], [4].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. За натурних умов зовнішні збуджуючі впливи мають довільний характер, тому, проводячи аналіз похибок гіроскопічних приладів в складі бортової апаратури рухомих об'єктів, слід визначати імовірності характеристики – математичне очікування похибки, спектральну щільність тощо.

Метою досліджень є з'ясування питання впливу одночасної дії кутового руху основи і проникаючого акустичного випромінювання на похибки двохстепеневого гіроскопа за умови їх довільної зміни в часі.

Необхідність розв'язання задачі в саме такій інтерпретації витікає, наприклад, з проблем керування рухом об'єктів.

Основний матеріал досліджень. Для детермінованого характеру зовнішніх збуджень вирішення питання оцінки похибки приладу зводилось до з'ясування сталої складової у правій частині диференціального рівняння руху (друге наближення) [1], [2]. За випадкового характеру зовнішніх впливів, мова буде йти про осереднення цієї величини у часі та за множиною, тобто:

$$\langle \beta_1^{(0)} \rangle = n^{-2} \langle f(t) \rangle, \quad (1)$$

де $\beta_1^{(0)}$ – кут повороту рухомої частини; n – частота власних коливань; $f(t)$ – зовнішній збуджуючий чинник, що в математичній моделі представлений правою частиною диференціального рівняння; символами $\langle \rangle$ та $\overline{\quad}$ зазначені осереднення у часі та за множиною відповідно.

Для спрощення будемо вважати, що математичні очікування величин кутового руху основи $\varphi(t)$, $\psi(t)$, $\theta(t)$ та пружні переміщення поверхні поплавка датчика кутових швидкостей під дією акустичного випромінювання $\rho_r(t)$, $\rho_r(t)$, $\rho_T(t)$ дорівнюють нулю, як і їх похідні у часі. Математичне очікування добутків цих величин можуть містити сталі складові.

Рівняння першого наближення мають вигляд [1]:

$$\ddot{\beta}_1 + (2h - 2h^a) \dot{\beta}_1 + n^2 \beta_1 = \left(\frac{R}{B} \omega_0 \cos 2\beta_0 - \frac{H}{B} \sin \beta_0 \right) (\dot{\theta} - \psi \omega_0) - \quad (2)$$

$$\begin{aligned}
& -\varphi \left\{ \left\{ \left(\frac{R}{B} \omega_0 \sin 2\beta_0 + \frac{H}{B} \cos \beta_0 - \frac{2P_0 i \omega_a \sin \beta_0}{HBR} \{ J_{II} [\rho_r(t) + \pi \rho_r(t)] + m_T R_T L \rho_T(t) \} \right) \right\} \right\} + \\
& + \frac{4P_0 i \omega_a J_{II}}{HBR} (R \omega_0 \sin 2\beta_0 + H \cos \beta_0) \rho_r(t) (\dot{\psi} + \theta \omega_0) + \\
& + \frac{2P_0 i \omega_a \cos \beta_0}{HB} \{ J_{II} [\rho_r(t) + \pi \rho_r(t)] + m_T R_T L \rho_T(t) \} \ddot{\varphi} - \dot{\psi} - \dot{\theta} \omega_0,
\end{aligned}$$

де H – кінетичний момент гіроскопа; J_{II} – момент інерції поплавка; B, R – моменти інерції гіроскопа; P_0 – звуковий тиск; ω_a – колова частота акустичної хвилі; ω_0 – вхідна кутова швидкість; m_T, R_T, ρ_T – маса, радіус, коливання торця поплавка; L – довжина поплавка.

Якщо праву частину виразу (2) позначити через $f_1(t)$, тоді після осереднення за множиною отримаємо:

$$\begin{aligned}
\overline{f_1(t)} &= \frac{4P_0 i \omega_a J_{II} (R \omega_0 \sin 2\beta_0 + H \cos \beta_0)}{HBR} [K_{\psi \rho_r}(t, t) + \omega_0 K_{\theta \rho_r}(t, t)] + \\
&+ \frac{2P_0 i \omega_a \cos \beta_0}{HBR} [J_{II} K_{\dot{\varphi} \rho_r}(t, t) + \pi J_{II} K_{\ddot{\varphi} \rho_r}(t, t) + m_T R_T L K_{\dot{\varphi} \rho_r}(t, t)],
\end{aligned} \tag{3}$$

де $K_{i,j}(t, t)$ – відповідні кореляційні функції зв'язку.

Для визначення зсуву нуля приладу досить покласти рівними нулю вхідну величину та кут повороту рухомої частини приладу, тобто $\omega_0 = 0, \beta_0 = 0$.

Тоді осереднене за часом математичне очікування зсуву нуля буде обчислюватися за формулою:

$$\begin{aligned}
\left\langle \overline{\beta_1^{(0)}} \right\rangle &= n^{-2} \left\langle \overline{f(t)} \right\rangle = \left\langle \frac{4P_0 i \omega_a J_{II}}{n^2 BR} K_{\psi \rho_r}(t, t) + \frac{2P_0 i \omega_a}{n^2 BH} \times \right. \\
&\times \left. [J_{II} K_{\dot{\varphi} \rho_r}(t, t) + \pi J_{II} K_{\ddot{\varphi} \rho_r}(t, t) + m_T R_T L K_{\dot{\varphi} \rho_r}(t, t)] \right\rangle.
\end{aligned} \tag{4}$$

Вираз (4) можна записати інакше:

$$\begin{aligned}
\left\langle \overline{\beta_1^{(0)}} \right\rangle &= \left\langle \frac{4P_0 i \omega_a J_{II}}{n^2 BR} \frac{\partial}{\partial t_1} K_{\psi \rho_r}(t_1, t_2) + \frac{2P_0 i \omega_a}{n^2 BH} \times \right. \\
&\times \left. \left[J_{II} \frac{\partial^2}{\partial t_1^2} K_{\dot{\varphi} \rho_r}(t_1, t_2) + \pi J_{II} \frac{\partial^2}{\partial t_1^2} K_{\ddot{\varphi} \rho_r}(t_1, t_2) + m_T R_T L \frac{\partial^2}{\partial t_1^2} K_{\dot{\varphi} \rho_r}(t_1, t_2) \right] \right\rangle.
\end{aligned} \tag{5}$$

Таким чином, для обчислення зсуву нуля приладу у першому наближенні досить знати кореляційні функції зв'язку між кутом деферента (тангажа) $\psi(t)$ і пружними радіальними переміщеннями бічної поверхні поплавка $\rho_r(t)$, а також між кутом рискання $\varphi(t)$ і радіальними $\rho_r(t)$ та тангенціальними $\rho_r(t)$ переміщеннями бічної поверхні поплавка. Окрім того, повинна бути окреслена кореляційна функція зв'язку між кутом рискання $\varphi(t)$ та згнбними коливаннями торця поплавка під дією акустичної хвилі.

Якщо прийняти кінематичне й акустичне збурення стаціонарними, нерегулярними і стаціонарно пов'язаними процесами, тобто такими, взаємні кореляційні функції котрих залежать тільки від різниці $\tau = t_2 - t_1$, вираз (5) перетворюється до вигляду:

$$\left\langle \overline{\beta_1^{(0)}} \right\rangle = \left\langle \frac{-4P_0 i \omega_a J_{II}}{n^2 BR} \dot{K}_{\psi \rho_r}(0) + \frac{2P_0 i \omega_a}{n^2 BH} [J_{II} \dot{K}_{\dot{\varphi} \rho_r}(0) + \pi J_{II} \dot{K}_{\ddot{\varphi} \rho_r}(0) + m_T R_T L \dot{K}_{\dot{\varphi} \rho_r}(0)] \right\rangle. \tag{6}$$

Проілюструємо сказане. Визначимо зсув нуля приладу за такого вигляду функцій зв'язку:

$$K_{ij} = \frac{1}{2} \rho_{ij}^2 \cos(\gamma \tau + \delta_{ij}).$$

Тоді

$$\dot{K}_{ij}(0) = -\rho_{ij}^2 \gamma \sin \delta_{ij}; \quad \dot{K}_{ij}(0) = -\rho_{ij}^2 \gamma^2 \cos \delta_{ij}.$$

Після підстановки у вираз (6) маємо:

$$\left\langle \overline{\beta_1^{(0)}} \right\rangle = \left\langle \frac{4P_0 i \omega_a J_{II}}{n^2 BR} \rho_{\psi \rho_r}^2 \gamma \sin(\delta_{\psi \rho_r}) - \frac{2P_0 i \omega_a}{n^2 BH} \times \right. \tag{7}$$

$$\times \left[J_{II} \rho_{\varphi_r}^2 \gamma^2 \cos(\delta_{\varphi_r}) + \pi J_{II} \rho_{\varphi_r}^2 \gamma^2 \cos(\delta_{\varphi_r}) + m_T R_T L \rho_{\varphi_r}^2 \gamma^2 \cos(\delta_{\varphi_r}) \right] \rangle.$$

Висновки. Таким чином, імовірностний підхід до з'ясування ступеня впливу акустичного випромінювання спільно із кутовим рухом літального апарата розширює можливості для розуміння природи явища, що вивчається. Математичний опис виникаючих похибок вимірювань дає можливість не тільки якісної, але й кількісної їх оцінки. Спільно з бортовою ЕОМ створюється можливість підвищення точності і надійності пілотажно-навігаційного обладнання, а також вирішення нетрадиційних задач керування рухом, зокрема, вирішення проблеми безпеки польотів.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Мельник В.М., Карачун В.В. Инжекция акустической энергии РН та її вплив на похибки гіроскопа // Вісник ЖДТУ. – 2004. – Т. 1. – № 4 (31) / Технічні науки. – С. 135–138.
2. Мельник В.М., Карачун В.В. Природа виникнення похибок поплавкового гіроскопа за натурних умов // Вісник ЖДТУ. – 2005. – Т. 2. – № 33 / Технічні науки. – С. 80–84.
3. Koshljakov V.N., Karachun V.V., Mel'nik V.N., Saverchenko V.G., Balanin V.Kh. 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.
4. Мельник В.М., Карачун В.В. Некоторые аспекты гироскопической стабилизации в акустических полях // Прикл. механика. – 2002. – 38, № 1. – С. 95–101.

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 16.06.2005

Мельник В.М., Карачун В.В. Узагальнення похибки двохступеневого гіроскопа
Мельник В.Н., Карачун В.В. Обобщение ошибки двухступенного гироскопа
Mel'nik V.N., Karachun V.V. Generalization of an error of the two-powermode gyro

УДК 629.7.054

Узагальнення похибки двохступеневого гіроскопа / В.М. Мельник, В.В. Карачун

Проводиться якісний аналіз похибок двохступеневого гіроскопа за умови одночасної дії проникаючого акустичного випромінювання та кутової хитавиці основи. Узагальнюються наявні відомості на випадок нерегулярного характеру збурень.

УДК 629.7.054

Обобщение ошибки двухступенного гироскопа / В.Н. Мельник, В.В. Карачун

Проводится качественный анализ погрешностей двухступенного гироскопа при условии одновременного воздействия проникающего акустического излучения и качки основания. Обобщаются имеющиеся сведения на случай нерегулярного характера возмущений.

УДК 629.7.054

Generalization of an error of the two-powermode gyro / V.N. Mel'nik, V.V. Karachun

The qualitative analysis of errors of the two-powermode gyro under condition of simultaneous effect of a penetrating acoustic radiation and swinging of the basis is carried conducted. Are extended the available items of information on a case of non-regular nature of disturbances.