

ВИСОКОТОЧНИЙ ДВОГІРОСКОПНИЙ ПРИЛАД ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ШИРОТИ В АВІАЦІЙНИХ ГРАВІМЕТРИЧНИХ СИСТЕМАХ

На сучасному етапі розвитку гравіметричних вимірювань розроблено прилад, який забезпечує підвищення:

- точності вимірювань широти за рахунок усунення похибок унаслідок перехресних кутових і лінійних прискорень;
- достовірності вимірювань за рахунок можливості вимірювати два незалежних значення кута географічної широти;
- точності виставки за рахунок усунення необхідності використання гіростабілізованої платформи.

Підвищення вимірювальних характеристик досягається з допомогою двох однакових і однаково орієнтованих триступневих гіроскопів, розміщених у внутрішніх і зовнішніх рамках. Центри ваги двох гіроскопів однаково зміщені вздовж осей обертання роторів гіроскопів, розташованих перпендикулярно площині географічного меридіана, відносно осей зовнішніх рамок. Осі зовнішніх рамок карданових підвісів гіромаятників спрямовані по осі OZ географічної системи координат. Гіроскопи забезпечені двома електричними датчиками кута (ДК), а також двома електричними датчиками моменту (ДМ), що утворюють дві системи корекції. Виходи двох електричних ДК, закріплені на осях внутрішніх рамок двох гіроскопів, з'єднані з двома електричними ДМ, розміщеними на осях зовнішніх рамок двох гіроскопів. Виходи двох додаткових електричних ДК, розташованих на осях зовнішніх рамок двох гіроскопів, з'єднані з обмотками керування двох допоміжних електричних ДМ, розміщених на осях внутрішніх рамок двох гіроскопів. Вектори кінетичних моментів двох триступневих гіроскопів протилежно напрямлені. Формуються сигнали, пропорційні різниці кутів повороту двох гіроскопів. Для того, щоб пояснити принципу роботи приладу, наведемо систему рівнянь, яка описує рух одного з гіроскопів розглядуваного двогіроскопного приладу:

$$\begin{aligned} H(\dot{\beta} + \omega_3 \cos \varphi) + k_1 \beta + n_1 \dot{\alpha} &= m w_x l; \\ H(\dot{\alpha} + \omega_3 \sin \varphi) + k_2 \alpha + n_2 \dot{\beta} &= m w_z l. \end{aligned} \quad (1)$$

Усталені значення кутів α_1, β_1 повороту рамок карданового підвісу одного з гіроскопів знайдемо з рівнянь (1):

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= k_2^{-1} m l w_z - k_2^{-1} H \omega_3 \sin \varphi, \\ \beta_1 &= k_1^{-1} m l w_x - k_1^{-1} H \omega_3 \cos \varphi. \end{aligned} \quad (2)$$

Аналогічно для другого гіроскопа з протилежним напрямком кінетичного моменту:

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= k_2^{-1} m l w_z + k_2^{-1} H \omega_3 \sin \varphi, \\ \beta_2 &= k_1^{-1} m l w_x + k_1^{-1} H \omega_3 \cos \varphi. \end{aligned} \quad (3)$$

Якщо сформулювати сигнали, пропорційні різниці статичних кутів повороту двох однакових гіроскопів, то з отриманих виразів:

$$\begin{aligned} u_1 &= \alpha_1 - \alpha_2 = -k_2^{-1} 2H \omega_3 \sin \varphi; \\ u_2 &= \beta_1 - \beta_2 = -k_1^{-1} 2H \omega_3 \cos \varphi. \end{aligned} \quad (4)$$

можна визначити широту місцеположення літака за формулами:

$$\begin{aligned} |\varphi| &= \arcsin \left[k_2 u_1 (2H \omega_3)^{-1} \right], \\ |\varphi| &= \arccos \left[k_1 u_2 (2H \omega_3)^{-1} \right] \end{aligned} \quad (5)$$

Сформулювати вихідні сигнали, пропорційні різниці статичних кутів повороту двох однакових гіроскопів, можна двома шляхами: або використанням двох однакових гіроскопів з протилежно напрямленими векторами кінетичних моментів, або використанням одного гіроскопа з реверсуванням кінетичного моменту і застосуванням запам'ятовуючих пристроїв. У обох випадках створюються два канали проходження сигналів, що дає змогу розділити їх з подальшою обробкою. Додаткова інформація забезпечує єдиний розв'язок задачі визначення кута географічної широти і суттєве зниження похибок вимірювання, зумовлених іншими похибками.

У наведених рівняннях руху (1) одного з гіроскопів приладу ряд моментів-перешкод не враховано. Незважаючи на це, в деяких випадках перехресні кутові й лінійні прискорення і швидкості спричиняють небажані похибки приладу. Покажемо, що двогіроскопний прилад дає змогу досягти майже цілковитого усунення впливу на роботу приладу моментів-перешкод у наслідок перехресних кутових і лінійних

прискорень. Для цього запишемо прецесійні рівняння руху одного з гіроскопів приладу з врахуванням усіх моментів-перешкод

$$\begin{aligned} H\dot{\beta} + k_1\beta + n_1\dot{\alpha} &= mw_x l - H(\omega_x + \omega_y\alpha) - A\dot{\omega}_z - H\dot{\omega}_3 \cos \varphi, \\ H\dot{\alpha} + k_2\alpha + n_2\dot{\beta} &= mw_z l - mlg - ml(\omega_x\alpha - \omega_y)\beta - B(\dot{\omega}_x + \dot{\omega}_y\alpha) - H\omega_y\beta - H\omega_3 \sin \varphi. \end{aligned} \quad (6)$$

Знайдемо розв'язок рівнянь (6) і запишемо вирази усталених кутів повороту $\alpha_{уст}$, $\beta_{уст}$ для обох гіроскопів двогіроскопного приладу

$$\begin{aligned} \alpha_{1уст} &= k_2^{-1} [-H\omega_3 \sin \varphi + mw_z l - mlg - ml(\omega_x\alpha - \omega_y)\beta - B(\dot{\omega}_x + \dot{\omega}_y\alpha) - H\omega_y\beta]; \\ \alpha_{2уст} &= k_2^{-1} [H\omega_3 \sin \varphi + mw_z l - mlg - ml(\omega_x\alpha - \omega_y)\beta - B(\dot{\omega}_x + \dot{\omega}_y\alpha) + H\omega_y\beta]; \\ \beta_{1уст} &= k_1^{-1} [-H\omega_3 \cos \varphi + mw_x l - H(\omega_x + \omega_y\alpha) - A\dot{\omega}_z]; \\ \beta_{2уст} &= k_1^{-1} [H\omega_3 \cos \varphi + mw_x l + H(\omega_x + \omega_y\alpha) - A\dot{\omega}_z]; \end{aligned} \quad (7)$$

Сформуємо сигнали, пропорційні різниці кутів повороту двох гіроскопів з протилежно напрямленими векторами кінетичних моментів

$$u_1 = \alpha_{1уст} - \alpha_{2уст} = k_2^{-1} (-2H\omega_3 \sin \varphi - 2H\omega_y\beta), \quad (8)$$

$$u_2 = \beta_{1уст} - \beta_{2уст} = k_1^{-1} [-2H\omega_3 \cos \varphi - 2H(\omega_x + \omega_y\alpha)] \quad (9)$$

Відомо, що другі складові виразів (8) і (9) на кілька порядків менші, ніж перші складові, тому впливом $2H\omega_y\beta$, $2H(\omega_x + \omega_y\alpha)$ можна знехтувати.

У виразах (8) і (9) не описано моменти від перехресних лінійних і кутових прискорень.

Наведемо рівняння вихідних сигналів одного з гіроскопів:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= k_2^{-1} mlw_z - k_2^{-1} H\omega_3 \sin \varphi, \\ \beta_1 &= k_1^{-1} mlw_x - k_1^{-1} H\omega_3 \cos \varphi. \end{aligned} \quad (10)$$

Для другого гіроскопа досліджуваного приладу рівняння (10) для вихідних сигналів α_2 , β_2 аналогічне першому.

Отже, видно, що кожний з гіроскопів може вимірювати дві складові інерціального абсолютного прискорення \vec{w}_z і \vec{w}_x , з яких складається підсумковий вектор абсолютного прискорення $\vec{w} = \vec{w}_z + \vec{w}_x$, що забезпечує вищу точність виставлення кожного з двох гіроскопів і звільняє від необхідності використовувати високоточну стабілізовану платформу. При цьому перпендикулярність осей чутливості кожного з гіроскопів до осі обертання весь час підтримується автоматично завдяки двом систем корекції. Позначимо φ широту, виміряну за першою формулою виразів (5); φ_2 – широту, виміряну за другою формулою виразів (5):

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= \varphi + \Delta_1; \\ \varphi_2 &= \varphi + \Delta_2, \end{aligned} \quad (11)$$

де φ – істинне значення широти; Δ_1 , Δ_2 – абсолютні похибки вимірювання широти відповідно в першому і другому випадках.

Тоді дістанемо середню абсолютну похибку вимірювання кута широти, що дорівнює середньому арифметичному

$$\Delta = \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2}. \quad (12)$$

А в разі n вимірювань, при $n \rightarrow \infty$, похибка вимірювань Δ прямує до нуля:

$$\Delta = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i}{n} \rightarrow 0, \quad (13)$$

звідки видно, що чим більше число вимірювань, тим менша похибка вимірювань кута широти.