

*Безвесільна О. М., д-р. техн. наук., проф., професор,  
Чепюк Л. О., канд. техн. наук., доцент  
Державний університет «Житомирська політехніка»*

### ФІЛЬТРАЦІЯ ВИХІДНОГО СИГНАЛУ СТРУННОГО ГРАВИМЕТРА

Результати вимірювань прискорення сили тяжіння (ПСТ), отримані за допомогою будь-якого гравіметра, містять великі похибки вимірювань.

Ці похибки викликані тим, що гравіметр вимірює проекцію сукупності сигналів на вісь чутливості: корисного сигналу (прискорення сили тяжіння) та сигналу перешкоди, що визначається, здебільшого, вертикальним прискоренням (яке у  $10^3$  перевищує корисний сигнал) [1].

Тому є потреба у вирішенні проблеми фільтрації вихідного сигналу струнного гравіметра (СГ) автоматизованої авіаційної гравіметричної системи (АГС).

Рівняння руху АГС для визначення аномалії ПСТ  $\Delta g$  має вигляд [1,2]:

$$\begin{aligned} \Delta g = f_z + \frac{v^2}{r} \left\{ 1 - 2e \cdot \left[ 1 - 2 \cos^2 \varphi \cdot \left( 1 - \frac{\sin^2 k}{2} \right) \right] \right\} + \\ 2\omega_3 v \sin k \cos \varphi - 2\dot{h} \frac{e}{r} v \cos k \sin 2\varphi \\ + 2 \frac{\gamma_0 h}{r} + \omega_3^2 h \cos^2 \varphi - \ddot{h} - \gamma_0, \end{aligned} \quad (1)$$

де  $f_z$  – вихідний сигнал СГ;  $g_z$  – ПСТ вздовж осі чутливості СГ;  $v$  – швидкість ЛА;  $r$  – радіус місцезнаходження ЛА;  $e$  – стиск еліпсоїда;  $\varphi$  – географічна широта;  $k$  – курс ЛА;  $\omega_3$  – кутова швидкість обертання Землі;  $h$  – висота ЛА над еліпсоїдом;  $\dot{h}$  – вертикальна швидкість ЛА;  $\ddot{h}$  – вертикальне прискорення ЛА;  $\gamma_0$  – довідкове ПСТ.

Перепишемо рівняння руху АГС у вигляді

$$\Delta g = f_z + E + A - \ddot{h} - \gamma_0, \quad (2)$$

де  $f_z$  – вихідний сигнал гравіметра АГС;

$$E = \frac{v^2}{r} \left\{ 1 - 2e \cdot \left[ 1 - 2 \cos^2 \varphi \cdot \left( 1 - \frac{\sin^2 k}{2} \right) \right] \right\} + \text{— поправка Етвеша; } A = 2 \frac{\gamma_0 h}{r} + \omega_3^2 h \cos^2 \varphi \text{ — поправка}$$

$$2\omega_3 v \sin k \cos \varphi - 2\dot{h} \frac{e}{r} v \cos k \sin 2\varphi$$

за висоту;  $\gamma_0 = \gamma_{0e} (1 + 0.0052884 \sin^2 \varphi - 0.0000059 \sin^2 2\varphi)$  – довідкове значення ПСТ;  $\gamma_{0e} = 9.78049 \text{ м/с}^2$  – довідкове екваторіальне значення ПСТ.

Вихідний сигнал струнного гравіметра АГС після обчислення і введення поправок  $E$ ,  $A$ ,  $\gamma_0$  можна записати у вигляді:

$$T = f_z = g_z + \ddot{h}, \quad (3)$$

де  $\ddot{h}$  – похибка від впливу вертикального прискорення ЛА.

У роботі [1] отримано аналітичні вирази спектральних щільностей корисного сигналу  $G_{\Delta g}(\omega)$  та вертикального прискорення ЛА  $G_{\ddot{h}}(\omega)$ .

При частотах, менших за 0.1 рад/с, система літак-автопілот суттєво зменшує ефекти впливу вертикального прискорення; при частотах понад 0.1 рад/с спектральна густина вертикального прискорення прямує до нескінченності. Тому необхідно забезпечити процес фільтрації вихідного сигналу СГ із частотою 0.1 рад/с.

Пропонується спосіб фільтрації вихідного сигналу СГ шляхом обрання частоти власних коливань СГ, що дорівнює 0,1 рад/с. Тому, для вихідного сигналу СГ можна записати співвідношення [3]:

$$T(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} w(t-\tau) T_0(\tau) d\tau, \quad (4)$$

де  $w(t-\tau)$  – вагова функція фільтрації СГ;  $\tau = 2\pi k$  ( $k=1,2,\dots$ ) – інтервал часу обчислень пристроєм обчислення вихідного сигналу СГ. При цьому:

$$w(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} W(j\omega) e^{j\omega\tau} d\omega = 2\omega_0 \left[ \frac{\sin \omega_0 t}{\omega_0 t} \right], \quad (5)$$

де  $\omega_0$  – власна частота гравіметра;  $W(j\omega)$  – функція передачі фільтрації, що визначається на основі спектральних щільностей корисного сигналу ПСТ і завад.

Саме за допомогою низькочастотної фільтрації з частотою зрізу 0.1 рад/с, можна відокремлювати  $g$  від  $\ddot{h}$  із точністю 1 мГал. При цьому у вихідному сигналі СГ також усуваються інші компоненти збурень, переважна частота яких більша за 0,1 рад/с. До таких збурень належать поступальні віброприскорення, переважна частота яких 3140 рад/с; кутові віброприскорення, переважна частота яких понад 0,1 рад/с.

Отже, частота власних коливань СГ дорівнює 0,1 с<sup>-1</sup>.

Вихідний сигнал СГ подається у БЦОМ, яка обчислює вихідний сигнал струнного гравіметра за формулою:

$$T'(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} 2\omega_0 \left[ \frac{\sin \omega_0(t-\tau)}{\omega_0(t-\tau)} \right] T(\tau) d\tau, \quad (6)$$

У результаті отримуємо вихідний сигнал  $T'$  нового СГ, який містить лише корисний сигнал ПСТ. У ньому відсутні всі похибки, переважна частота яких більша за 0.1 рад/с.

Тому рівняння руху АГС із СГ для визначення аномалії ПСТ матиме вигляд:

$$\begin{aligned} \Delta g = f_z + \frac{v^2}{r} \left\{ 1 - 2e \cdot \left[ 1 - 2\cos^2 \varphi \cdot \left( 1 - \frac{\sin^2 k}{2} \right) \right] \right\} \\ + 2\omega_3 v \sin k \cos \varphi - 2\dot{h} \frac{e}{r} v \cos k \sin 2\varphi + \\ 2 \frac{\gamma_0 h}{r} + \omega_3^2 h \cos^2 \varphi - \gamma_0. \end{aligned} \quad (5)$$

У рівнянні (7) відсутнє вертикальне прискорення  $\ddot{h}$ .

Використання СГ у якості фільтра низьких частот є найоптимальнішим способом вирішення проблеми фільтрації впливу вертикального прискорення на вихідні покази СГ.

#### Список використаних джерел

1. Безвесільна О.М. Авіаційні гравіметричні системи та гравіметри [Текст]: монографія / О. М. Безвесільна. – Житомир: ЖДТУ, 2007. – 604с.
2. Патент на винахід 109746, Україна, МПК G01V 7/06 (2006.01). Авіаційна гравіметрична система для вимірювань аномалій прискорення сили тяжіння / Безвесільна О.М., Ткачук А. Г., Л.О. Чепюк.
3. Безвесільна О. М. Струнний гравіметр авіаційної гравіметричної системи [Текст]: монографія / О.М. Безвесільна, Л.О. Чепюк. – Житомир: ЖДТУ, 2015. – 208 с.