

## ПРИЛАДИ. РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

УДК 621.317

О.М. Безвесільна, д.т.н, проф.

Національний технічний університет України "КПІ"

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КУТОВОЇ ШВИДКОСТІ ОБЕРТАННЯ ЗЕМЛІ НА РОБОТУ ГІРОСКОПІЧНОГО ГРАВІМЕТРА

Отримано аналітичний вираз похибки гірогравіметра, що враховує вплив кутової швидкості обертання Землі. Проведено чисельну оцінку похибки. Показано, що вплив кутової швидкості обертання Землі потрібно враховувати для різних типів гравіметрів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** З аналізу літератури по гравіметрії випливає, що в основних роботах гравіметристів СНД [1] відсутній аналіз похибок гравіметрів, викликаних кутовою швидкістю обертання Землі  $\omega_z$ . Ці похибки можуть бути значними.

**Ціль статті** – отримати аналітичний вираз похибки гравіметра на основі гіроскопічного інтегратора лінійних прискорень, викликаних кутовою швидкістю обертання Землі  $\omega_z$ .

**Викладення основного матеріалу дослідження з обґрунтуванням отриманих наукових результатів.** Абсолютна та відносна похибки від переносної (відносно приладу) кутової швидкості  $\omega_z$  визначаються формулами [1]:

$$\Delta_s = \frac{H}{k_2} \omega_3; \quad (1)$$

$$\delta_s = \frac{\Delta_s}{\alpha} \cdot 100\%, \quad (2)$$

де  $H$  – кінетичний момент гірогравіметра,  $k_2$  – передатний коефіцієнт каналу вимірювання гірогравіметра.

Знайдемо аналітичний вираз похибки  $\Delta_s$ . Для цього врахуємо, що вертикальна складова переносної кутової швидкості осей  $Oxyz$ , зумовлена обертанням Землі та власним рухом об'єкта [1]:

$$\omega_z = \omega_3 \sin \varphi + \frac{V_{yuz}}{r} \operatorname{tg} \varphi. \quad (3)$$

Відомо, що

$$V_{yuz} = r \dot{\lambda} \cos \varphi, \quad (4)$$

де  $\dot{\lambda}$  – швидкість зміни довготи.

Тоді, з урахуванням

$$\frac{V_{yuz}}{r} \operatorname{tg} \varphi = \dot{\lambda} \sin \varphi, \quad (5)$$

вираз (3) можна представити у вигляді:

$$\omega_z = (\omega_3 + \dot{\lambda}) \sin \varphi. \quad (6)$$

У загальному випадку руху об'єкт ще повертається навколо осі  $Oz$  з кутовою швидкістю  $\dot{k}$ , тоді

$$\omega_z = (\omega_3 + \dot{\lambda}) \sin \varphi + \dot{k}, \quad (7)$$

де  $k$  – курсовий кут у площині горизонту, відлічуваний за рухом годинникової стрілки від напрямку на північ до поздовжньої осі об'єкта.

З урахуванням (7) запишемо вираз (1) у вигляді:

$$\Delta_s = \frac{H}{k_2} \left[ (\omega_3 + \dot{\lambda}) \sin \varphi + \dot{k} \right]. \quad (8)$$

Відповідне середнє значення абсолютної похибки  $\bar{\Delta}_s$  становить:

$$(t_2 - t_1) \bar{\Delta}_s = \frac{H}{k_2} [k(t_2) - k(t_1)] + \frac{H}{k_2} \int_{t_1}^{t_2} \omega_3 \sin \varphi(t) dt + \frac{H}{k_2} \int_{t_1}^{t_2} \dot{\lambda}(t) \sin \varphi(t) dt, \quad (9)$$

де  $t_2 - t_1 = \tau$  – інтервал усереднення.

Знайдемо числові значення членів виразу (8) при таких параметрах [1]:  $H = 2 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с}$ ,  $k_2 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}$ ,  $\omega_3 = 7,29 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ . Максимальне значення члена  $\frac{H\omega_3 \sin \varphi}{k_2}$ , яке відповідає  $\varphi = 90^\circ$ , становить  $2,92 \cdot 10^{-5}$  рад.

Очевидно, що при сталому значенні  $\omega_3$  і заданому  $\frac{H}{k_2}$  похибка обчислення вказаного члена залежить від похибки визначення  $\varphi$ . Вважаючи, що похибка обчислення  $\frac{H\omega_3 \sin \varphi}{k_2}$  має бути не більшою за  $0,01\% = 2,92 \cdot 10^{-7}$  рад., легко підрахувати, що похибка визначення широти має не перевищувати  $0,5^\circ$ .

Зауважимо: похибка визначення широти менше за  $0,5^\circ$ , якщо замінити  $\int_{t_1}^{t_2} \sin \varphi(t) dt$  середнім значенням  $\overline{\sin \varphi}$  для інтервалу усереднення  $(t_2 - t_1)$ . Крім того, оскільки польоти відбуваються зі сталою швидкістю, то середнє значення  $\overline{\varphi}$  відповідає середині інтервалу  $(t_2, t_1)$  і  $\overline{\sin \varphi}$  несуттєво відрізняється від  $\sin \overline{\varphi}$ .

Чутливість АГС до похибок вимірювання широти максимальна під час руху літака у середніх широтах [1]. Тому визначимо доданок  $\dot{\lambda} \sin \varphi$  при  $\varphi = 65^\circ$  і  $V_{\text{вн}} = 234 \text{ м/с}$ ,  $r = 6,4 \cdot 10^6 \text{ м}$ :

$$\dot{\lambda} \sin \varphi = 7,3 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}. \tag{10}$$

Отже  $\dot{\lambda} \sin \varphi$  при заданих параметрах руху дорівнює кутовій швидкості обертання Землі.

Максимальне значення доданка  $\frac{H \dot{\lambda} \sin \varphi}{k_2}$  становить  $2,92 \cdot 10^{-5}$  рад.

Якщо брати інтеграл від  $\dot{\lambda}(t)$  для коротких інтервалів часу, які можна вважати сталими, то скористаємося рівнянням:

$$\frac{H}{k_2} \int_{t_1}^{t_2} \dot{\lambda}(t) \sin \varphi(t) dt = \frac{H}{k_2} [\lambda(t_2) - \lambda(t_1)] \sin \overline{\varphi}, \tag{11}$$

де  $\overline{\varphi}$  добирається на середині інтервалу усереднення.

Під час випробувальної програми слід обирати маршрут польоту або вздовж паралелі (у цьому випадку широта майже стала, тому при розрахунках можна використовувати задане  $\varphi$ ), або вздовж меридіану (в цьому разі можна застосовувати розвинення у ряд для відносно грубої апроксимації  $\sin \overline{\varphi}$  [1]. При зведенні польотних даних для обчислення  $\overline{\varphi}$  слід використовувати середню точку інтервалу  $(t_2, t_1)$ .

Запишемо вираз (9) в остаточному вигляді:

$$\overline{\Delta_5} = \frac{H}{k_2} \left[ \frac{k(t_2) - k(t_1)}{t_2 - t_1} + \omega_3 \sin \overline{\varphi} + \frac{\lambda(t_2) - \lambda(t_1)}{t_2 - t_1} \sin \overline{\varphi} \right]. \tag{12}$$

Обчислимо  $\overline{\Delta_5}, \overline{\delta_5}$ , коли  $\dot{k} = 0$ , для наведених вище параметрів. У цьому разі  $\overline{\Delta_5} = 5,8 \cdot 10^{-5}$  рад. = 584 мГл і  $\overline{\delta_5} = 2,92 \cdot 10^{-2} \%$ .

Отже похибка ГГ, спричинена  $\omega_2$ , велика, порівняно з іншими статичними похибками гірографіметра [1], її потрібно враховувати введнням поправки в рівняння руху АГС.

З виразу (12) видно: для того, щоб зменшити похибку від переносної кутової швидкості навколо осі зовнішньої рамки, треба зменшити кінетичний момент  $H$  гіроскопа або збільшити передатний коефіцієнт каналу вимірювань  $k_2$ . Останнє є більш бажаним, оскільки в цьому разі не треба змінювати конструкцію приладу та модифікувати ланцюг живлення гіромотора.

**Висновки.** Визначено, що похибка гравіметра, викликана кутовою швидкістю обертання Землі  $\omega_2$ , є суттєвою і складає 584 мГл. Її потрібно обов'язково враховувати, використовуючи аналітичний вираз (12).

**Перспективи розвідок у даному напрямку:** аналітичний вираз (12) для обчислення впливу кутової швидкості обертання Землі, доцільно використовувати при роботі з гравіметрами інших типів (струнним, кварцовим та ін.).

**ЛІТЕРАТУРА:**

1. *Безвесільна О.М.* Вимірювання прискорень: Підручник. – К.: Либідь, 2001. – 254 с.

БЕЗВЕСІЛЬНА Олена Миколаївна – Заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор кафедри приладобудування Національного технічного університету України “КПІ”.

Наукові інтереси:

- гравіметричні системи;
- інерціальні навігаційні системи та прилади.

Подано 25.10.2008

**Безвесільна О.М.** Дослідження впливу кутової швидкості обертання Землі на роботу гіроскопічного гравіметра

**Безвесильная Е.Н.** Исследование влияния угловой скорости вращения Земли на работу гироскопического гравиметра

**Bezvesilnaya E.N.** Research of influence of angular speed of rotation of the Earth on work of gyro gravimeter

УДК 621.317

**Исследование влияния угловой скорости вращения Земли на работу гироскопического гравиметра / Е.Н. Безвесильная**

Получено аналитическое выражение погрешности гирографиметра, обусловленной влиянием угловой скорости вращения Земли. Выполнена численная оценка погрешности. Показано, что влияние угловой скорости вращения Земли необходимо учитывать для разных типов гравиметров.

УДК 621.317

**Research of influence of angular speed of rotation of the Earth on work of gyro gravimeter / E.N. Bezvesilnaya**

The analytical expression of an error of gyrogravimeter, angular speed, caused by influence, of rotation of the Earth is received. The numerical estimation of an error is executed. It is shown, that the influence of angular speed of rotation of the Earth is necessary for taking into account for different types of gravimeters.