

ВИЗНАЧЕННЯ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОЇ ПОХИБКИ СТРУННОГО ГРАВІМЕТРА

Визначення характеристик гравітаційного поля Землі (прискорення g та аномалій Δg) широко використовуються у багатьох галузях науки і техніки – в авіаційній і космічній техніці, у геології, геодезії і геофізиці.

Авіаційна гравіметрична система (АГС) використовується для визначення характеристик гравітаційного поля Землі. Ефективність роботи АГС значною мірою забезпечується вибором чутливого елемента системи – гравіметра. Використання струнного гравіметра (СГ) забезпечує підвищення точності, швидкої і точної цифрової реєстрації гравітаційного прискорення на літаку.

Струнні гравіметри мають високу точність вимірювання, високу вібраційну та ударну міцність, надійність, частотно-модульований вихідний сигнал, високу потужність вихідного сигналу, а також малі габарити та вагу. Вони дозволяють виконувати швидко і точно цифрову реєстрацію прискорень g . До переваг також слід віднести малість сталої часу, що важливо при вимірюваннях на літаку, і майже необмежений діапазон вимірювання вхідних величин без перебудови приладу.

На сумарну похибку вимірювання струнного гравіметра впливають інструментальна похибка гравіметра, вертикальні збурюючі прискорення, горизонтальні збурюючі прискорення, вплив висоти польоту, ефект Етвеша, помилка другого порядку.

Виконаємо аналіз інструментальної похибки СГ.

Інструментальна похибка виникає внаслідок відхилення основних конструктивних параметрів вимірювального кола від їх номінальних значень, неточності виготовлення та збірки внаслідок зовнішніх дій.

Початковою для розрахунку інструментальної похибки є основна робоча формула СГ:

$$f = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{Mg}{\rho S}},$$

де M – маса вантажу; l – довжина струни; ρ – густина матеріалу струни, S – площа поперечного перерізу струни.

Істинне значення прискорення сили тяжіння визначається за формулою:

$$g = \frac{4l^2 \rho S f^2}{M}.$$

Відносна похибка вхідного сигналу рівна сумі добутків відносних похибок параметрів, що входять до формули (1), на показники ступенів цих параметрів.

$$\frac{\Delta g}{g} = 2 \frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta S}{S} + 2 \frac{\Delta f}{f} - \frac{\Delta M}{M}.$$

Дана похибка повинна бути не більше, ніж $0,1 \cdot 10^{-5}$. Розглянемо кожен складову похибки окремо.

Відносне подовження струни $\Delta l/l$ визначається за законом Гука:

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{\Delta F}{ES},$$

де $\Delta F = M \Delta g$; Δg – границя виміру прискорень сили тяжіння.

Зміна густини матеріалу струни:

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = 0.$$

Під дією оточуючих умов похибка від нестабільності частоти $\frac{\Delta f}{f}$ викликана зміною власних параметрів струни.

Для розрахунку температурної похибки представимо робочу формулу струнного гравіметра у вигляді:

$$f = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{Mg}{m_c l}},$$

де $m_c = \rho S l$ – маса струни, яка зі зміною температури залишається постійною. Довжина струни зі зміною температури змінюється за законом:

$$\Delta l = l \alpha_{cmp} \cdot \Delta t,$$

де α_{cmp} – температурний коефіцієнт лінійного розширення матеріалу струни, Δt – величина зміни температури, $t = +50 \text{ }^\circ\text{C} \div -50 \text{ }^\circ\text{C}$.

Частота коливань струни змінюється згідно з виразом:

$$\Delta f = \frac{\partial f}{\partial l} \Delta l,$$

$$\text{де } \frac{\partial f}{\partial l} = -\frac{1}{4} \sqrt{\frac{Mgl}{m_c}} \cdot \frac{1}{l^2} \text{ і } \Delta f = -\frac{1}{4} \sqrt{\frac{Mgl}{m_c}} \cdot \frac{1}{l^2} \Delta l.$$

Відносна зміна частоти від зміни температури:

$$\left(\frac{\Delta f}{f} \right)_1 = -\frac{1}{4} \sqrt{\frac{Mg}{m_c}} \sqrt{l} \frac{1}{l^2} \cdot 2 \sqrt{\frac{m_c l}{Mg}} \Delta l = -\frac{1}{2} \alpha_{cmp} \Delta t.$$

Вплив тиску та вологості оточуючого середовища на коливання струни зводиться до зміни приєднаної маси, що коливається разом зі струною та зменшує її частоту.

Зміна густини середовища, в якій коливається струна, характеризує вплив тиску та вологості на частоту коливань струни:

$$\left(\frac{\Delta f}{f} \right)_2 = -2 \frac{\rho_{cp}}{\rho},$$

де $\rho = 8,8 \cdot 10^{-6} \text{ кг/мм}^3$ – для берилієвої бронзи, $\rho_{cp} = 1,7 \cdot 10^{-13} \text{ кг/мм}^3$ – для повітря при тиску $p = 10^{-2} \text{ мм рт. ст.}$

Похибка, що викликається пружним наслідком:

$$\left(\frac{\Delta f}{f} \right)_3 = -\beta_{np} \frac{\Delta l}{l},$$

де β_{np} – величина пружного наслідку, для берилієвої бронзи $\beta_{np} = 0,2 \%$.

Кінцева похибка від нестабільності частоти:

$$\frac{\Delta f}{f} = -\sqrt{\left(\frac{\Delta f}{f} \right)_1^2 + \left(\frac{\Delta f}{f} \right)_2^2 + \left(\frac{\Delta f}{f} \right)_3^2}.$$

Відносна похибка площі поперечного перерізу струни $\frac{\Delta S}{S}$:

$$\frac{\Delta S}{S} = \sqrt{\left(\frac{\delta l}{\delta} \right)^2 + \left(\frac{\delta h}{h} \right)^2},$$

де $S = l \cdot h$, δ_h , δ_l – допуски на сторони поперечного перерізу струни.

Для забезпечення необхідної інструментальної похибки потрібно при виготовленні та збірці забезпечити контроль маси з точністю до 1,8 г.