

Моделювання впливу параметрів збурень на роботу п'єзоелектричного гравіметра

Безвесільна О.М., д.т.н, професор¹, Ткачук А.Г., аспірант²
Національний технічний університет України "КПІ", e-mail: bezvesilna@mail.ru¹;
Житомирський державний технологічний університет, e-mail: andrew_tkachuk@i.ua²

The equation of motion by piezoelectric gravimeter of aviation gravimetric system is analyzed. The influence of perturbations parameter and their own parameters on its work in the case of the most dangerous resonant modes are researched.

ВСТУП

Розвиток гравіметрії складається із таких основних етапів вимірювання – на нерухомій основі, на підводному човні, на надводному судні та на літаку. Для визначення характеристик гравітаційного поля Землі найзручніше використовувати авіаційні гравіметричні системи (АГС), чутливим елементом яких є гравіметр. За допомогою саме АГС можна здобути гравіметричну інформацію у важкодоступних районах земної кулі набагато швидше та з меншими витратами, ніж за допомогою інших гравіметричних засобів чи систем.

Ефективність роботи АГС значною мірою забезпечується вибором чутливого елемента системи – гравіметра. На сьогоднішній день у якості такого чутливого елемента доцільно використовувати п'єзогравіметр (ПГ) [1], який дає змогу забезпечити точність вимірювання аномалій прискорення сили тяжіння у межах сумарної похибки 0,1 мГл.

МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ЗБУРЕНЬ НА РОБОТУ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНОГО ГРАВИМЕТРА

Рівняння руху ПГ має вигляд:

$$m\ddot{\alpha} + n\dot{\alpha} + k\alpha = mg_z, \quad (1)$$

де α – кут, на який згинається чутливий елемент ПГ; m – маса чутливого елемента; n – коефіцієнт затухання; k – коефіцієнт

пружності, який залежить від властивостей чутливого елемента ПГ.

Якщо розділити рівняння (1) на m , то отримаємо:

$$\ddot{\alpha} + 2 \cdot \xi \omega_0 \dot{\alpha} + \omega_0^2 \alpha = g_z, \quad (2)$$

де ξ – коефіцієнт демпфування; ω_0 – власна частота ПГ.

Як показано у [2], коефіцієнт демпфування ПГ (п'єзоакселерометра) є нелінійною функцією, яка залежить від пружних та п'єзоелектричних властивостей п'єзоелемента.

Запишемо розв'язок рівняння (2) по координаті у вигляді:

$$m\ddot{\alpha} + \dot{\alpha}[2n - L \sin(\omega t + \varepsilon)] + \omega_0^2 \alpha = N \sin \omega t \quad (3)$$

де $L = mlw_b$, $N = mlw_a$ – параметри вібрації; w_a , w_b – амплітуди збурень; $n = \xi$ – коефіцієнт демпфування.

Підставивши у рівняння (3) значення таких конструктивних параметрів ПГ як маси та довжини чутливого елемента та, врахувавши, що $\alpha = e^{-\frac{1}{2}\omega \cos(\omega t + \varepsilon)} x$, отримали:

$$\ddot{x} + 2\xi\omega_0\dot{x} + (\omega_0^2 + \nu_1 w_b \sin \omega t)x = 0,005 \cdot w_a \sin \omega t, \quad (4)$$

де $\nu_1 = \frac{\nu_0}{w_b} = \frac{L\sqrt{\omega^2 + 4n^2}}{2w_b}$.

Отже, маємо рівняння руху ПГ (3), зручне для моделювання на ЕОМ.

Розроблено програмне забезпечення для моделювання роботи ПГ під дією зовнішніх збурень у програмному середовищі Delphi (рисунки 1).

Проаналізовано найнесприятливіший щодо можливості виникнення резонансу випадок $\omega = \omega_0 = 0,1 \text{ с}^{-1}$. Шляхом проведення цифрового моделювання параметричного рівняння (4) ПГ для випадку, коли основа, на

якій встановлено досліджуваний ПГ, підпадає під дію збуджуючих впливів, для яких $w_b=w_a=1\text{ м/с}^2$ відповідно по осях Oz і Oy . Послідовно було задано значення відносного коефіцієнта затухання ξ : 0,15; 0,705; 1.

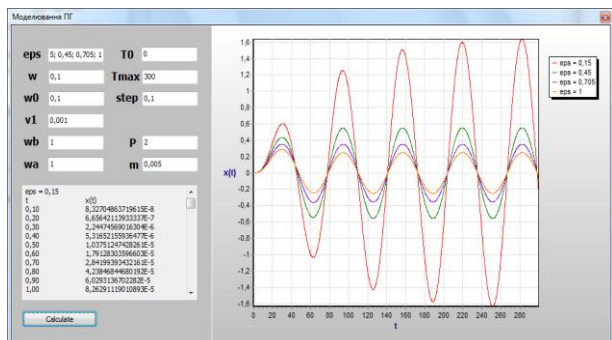


Рисунок 1 – Інтерфейс програми на ЕОМ для моделювання роботи ПГ під дією зовнішніх збуджень

Визначено, що при малому демпфуванні $\xi = 0,15$ можливий резонанс. У разі збільшення демпфування зменшується амплітуда усталених вимушених коливань (табл. 1).

Проведено аналогічні дослідження для співвідношення частот $\omega = \omega_0/2 = 0,05\text{ с}^{-1}$; $\omega = \omega_0/3 = 0,03\text{ с}^{-1}$; $\omega = 2\omega_0 = 0,2\text{ с}^{-1}$; $\omega = 3\omega_0 = 0,3\text{ с}^{-1}$ та встановлено:

– при частотах $\omega = \omega_0/2 = 0,05\text{ с}^{-1}$, $\omega = \omega_0/3 = 0,033\text{ с}^{-1}$ вихідний сигнал не спотворюється (встановлюються субгармонійні коливання);

– при частотах $\omega = 2\omega_0 = 0,2\text{ с}^{-1}$, $\omega = 3\omega_0 = 0,3\text{ с}^{-1}$ вихідний сигнал спотворюється (встановлюється биття);

– встановлено, що коефіцієнт демпфування ξ доцільно збільшувати у випадку головного резонансу $\omega = \omega_0$ ($\xi = 0,705$) та у випадку $\omega = 2\omega_0$, $\omega = 3\omega_0$, коли встановлюється биття ($\xi \leq 0,705$);

– збільшення амплітуд горизонтальних прискорень не впливає на амплітуду вимушених коливань ПГ;

– амплітуди вимушених коливань по осі чутливості ПГ прямо пропорційні амплітудам збуджуючих віброприскорень по осі чутливості ПГ.

Таблиця 1
Амплітуди вимушених коливань ПГ (результати моделювання)

№ з/п	ω , Гц	w_a , м/с ³	w_b , м/с ³	ξ		
				0,15	0,705	1
1	2	3	4	5	6	7
1	0,1	1	1	Резонанс	0,3299	0,2474
2		3	3		0,9703	0,7287
3		3	10		0,9912	0,7441
4		10	3		3,3244	2,4927
5		3	15		0,9869	0,7396
6		15	3		4,9607	3,7213
7	0,05	1	1	0,64665	0,4684	0,3977
8		3	3	1,9150	1,3892	1,1795
9		3	10	1,8958	1,3545	1,1621
10		10	3	6,3844	4,6284	3,9392
11		3	15	1,9358	1,2980	1,1150
12		15	3	9,5769	6,9441	5,9098
13	0,03	1	1	0,5547	0,4861	0,4479
14		3	3	1,6226	1,4366	1,3243
15		3	10	1,5532	1,3590	1,2617
16		10	3	5,4123	4,7869	4,4147
17		3	15	1,4128	1,3251	1,2596
18		15	3	8,1178	7,1813	6,6197
19	0,2	1	1	Резонансу немає, биття	0,1167	0,1005
20		3	3		0,3519	0,3035
21		3	10		0,36267	0,3088
22		10	3		1,1832	1,0125
23		3	15		0,3686	0,3129
24		15	3		1,7757	1,5188
25	0,3	1	1	Резонансу немає	0,0539	0,0508
26		3	3		0,1632	0,1528
27		3	10		0,1682	0,1568
28		10	3		0,5445	0,5109
29		3	15		0,1714	0,1599
30		15	3		0,8172	0,7666

ВИСНОВКИ

Шляхом проведення цифрового моделювання рівняння руху ПГ проаналізовано найнесприятливіші випадки щодо можливості виникнення резонансу.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] 1. П'єзографіметр: Патент України на винахід 99084, МПК G 01 V 7/00 / О.М. Безвесільна, Ю.О. Подчашинський, А.Г. Ткачук – № а201113894; Заявл. 25.11.2011; Опубл. – 10.07.2012. – Бюл. № 13.
- [2] 2. Безвесільна О.М. Вимірювання прискорень / Безвесільна О. М. – К. : Либідь, 2001.– 261с.