

ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНОГО ГРАВИМЕТРА

П'єзоелектричний гравіметр (ПГ) авіаційної гравіметричної системи (АГС) у своєму складі містить чутливий елемент (ЧЕ) у вигляді п'єзоелемента (ПЕ), на якому розміщено інерційну масу (ІМ).

Робота ПГ, в основному, залежить від характеристик та параметрів ПЕ, бо він є основною складовою ЧЕ.

Основними параметрами п'єзоелектричних матеріалів є:

- коефіцієнт електромеханічного зв'язку (K_p);
- відносна діелектрична проникливість (ε);
- густина (ρ);
- п'єзомодуль (d_{ij});
- модуль Юнга (Y);
- механічна добротність (Q_M);
- водопоглинання, %;
- температура точки Кюрі (T_K) та інші.

Коефіцієнт електромеханічного зв'язку характеризує ефективність перетворення електричної енергії в механічну, іншими словами - квадрат коефіцієнта електромеханічного зв'язку показує, яка частина підведеної до п'єзоелектрика енергії $W_{нід}$ перетвориться в енергію іншого виду $W_{перетв}$:

$$K_p^2 = \frac{W_{нід}}{W_{перетв}}.$$

За прямого п'єзоэффекту підведена до кристала механічна енергія $W_{нід}$ витрачається не тільки на пружну деформацію, приводячи не лише до накопичення пружної енергії $W_{пруж}$, але й до створення електричної поляризації, що обумовлює накопичення електричної енергії $W_{ел}$:

$$K_p^2 = \frac{W_{ел}}{W_{нід}} = \frac{W_{ел}}{W_{пруж} + W_{ел}}.$$

У разі оберненого п'єзоэффекту формула для коефіцієнта зв'язку змінюється:

$$K_p = \frac{W_{пруж}}{W_{нід}} = \frac{W_{пруж}}{W_{пруж} + W_{ел}}.$$

Тут підведена до кристала електрична енергія витрачається не лише на електричну поляризацію, але й на пружну деформацію п'єзоелектрика. K_p для одного і того самого п'єзоелектрика розрізняється для прямого і зворотного ефектів: під час розрахунку відповідних енергій по-різному враховуються граничні умови (кристал може бути вільним або затисненим, короткозамкненим або розімкненим).

Коефіцієнт електромеханічного зв'язку використовують для порівняння різних п'єзоелектриків, тому що він включає співвідношення різних пружних та діелектричних параметрів, що визначають застосування п'єзоелектриків у промислових пристроях.

Відносна діелектрична проникливість показує у скільки разів напруженість електричного поля у вакуумі менша за напруженість електричного поля у діелектрику. Розраховується за формулою:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{11.3C_0b}{S_E}},$$

де C_0 – статична електрична ємність; d – товщина ПЕ; S – площа ПЕ.

Статична електрична ємність C_0 визначається експериментально за допомогою спеціальної мостової схеми на частоті 1000 Гц.

П'єзомодуль d_{ij} у динамічному режимі визначається:

$$d_{ij} = \frac{0.19 \cdot 10^{-5} K_p}{\omega_p} \frac{2}{D} \sqrt{\frac{\varepsilon_{33}^T}{\varepsilon_0} \frac{1}{\rho}},$$

де K_p – коефіцієнт електромеханічного зв'язку; $d=D$ – діаметр ПЕ; $\frac{\varepsilon_{33}^T}{\varepsilon_0}$ – відносна діелектрична проникливість.

Модуль Юнга – характеристика пружних властивостей ізотропних речовин, один із модулів пружності. Вимірюється переважно у гігапаскалях. Модуль Юнга встановлює зв'язок між деформацією розтягу й механічним напруженням направленим на розтяг. У динамічному режимі визначається за формулою:

$$Y = \frac{0.4\pi^2}{\eta^2} \omega_p^2 \frac{D^2}{4} \rho(1 - \chi^2).$$

Температура точки Кюрі – це температура, при якій спостерігається максимум величини діелектричної проникливості даного матеріалу. Вона визначається у спеціальній термокамері.

За дійсне значення температури точки Кюрі приймається середнє значення температури, отримане при вимірюванні у 10 зразків одного матеріалу.

Водопоглинання визначається у процесі вимірювання густини шляхом зважування на повітрі сухих і насичених водою зразків.

У у таблиці 1. наведено основні параметри найпоширеніших п'єзоелектричних матеріалів.

Таблиця 1

Основні параметри п'єзоелектричних матеріалів

№ з/п	Матеріал	Коеф. ел-механ. зв'язку K_p	Відносна діелектр. проникл., ϵ ,	Густина, ρ , 10^3 кг/м^3	П'єзомодуль d_{ij} , 10^{-12} Кл/Н	Водопоглинання, W , %	Модуль Юнга, Y , $\text{Н/м}^2 \cdot 10^9$	Допустима температура, $T_{\text{доп}}$, $^{\circ}\text{C}$	Механічна добротність, Q_m	Тангенс кута діелектричних втрат, $\text{tg} \times 10^2$
1	Кварц	0.095	3.50 – 4.50	2.65	2.31	–	80	550	$> 10^4$	< 0.5
2	Турмалін	0.10	6.60	3.10	1.90	–	160	–	$> 10^2$	< 1.0
3	Ніобат літію	0.32	28.60	4.64	16.20	–	95	1142	$< 10^5$	–
4	Дигідрофосфат амонію	0.28	15.30	1.80	24	–	19.3	125	$> 10^2$	< 1.0
5	Сульфат літію	0.37	10.30	2.05	16	0.34	46	75	$> 10^2$	< 1.0
6	Сегнетова сіль	0.67	250	1.77	27	0.63	19.3	45	–	> 5
7	Титанат барія, ТБ-1	0.40	1500	5.30	45	0.20	100	120	400	2 – 3
8	Титанат барія-кальцю, ТБК-3	0.46	1180	5.40	45	0.20	120	105	450	3 – 4

Проведено аналіз основних параметрів п'єзоелектричних матеріалів та обрано найоптимальніший із них для конструкції ЧЕ нового ПГ, а саме – ніобат літію. Із точки зору повноти використання вхідної енергії, яка характеризується коефіцієнтом електромеханічного зв'язку, найкращим матеріалом є сегнетова сіль, а найгіршим – кварц. Однак, низькі температурні властивості такої солі не дозволяють на практиці реалізовувати її високі електромеханічні характеристики. Усі штучно створені п'єзокерамічні матеріали, виділяються високими діелектричною проникливістю та коефіцієнтом електромеханічного зв'язку. Але кераміка має малий модуль пружності, що унеможливає її використання в умовах експлуатації ПГ.