

## СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕНСОРОВ И АКТУАТОРОВ ДЛЯ ДЕМПФИРОВАНИЯ КОЛЕБАНИЙ ПЛАСТИН

Е. В. ПЯТЕЦКАЯ

*Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко*

Проведен анализ влияния коэффициента обратной связи на демпфирование изгибных колебаний тонких прямоугольных пластин при помощи совместного использования сенсоров и актуаторов.

При демпфировании вынужденных колебаний тонких пластин при помощи совместного использования пьезоэлектрических сенсоров и актуаторов пассивные слои считаем ортотропными металлическими, полимерными либо композитными, а пьезоактивные – трансверсально-изотропными и поляризованными по толщине пластины. Диссипативные свойства материалов пассивных и пьезоактивных слоев учитываем на основе концепции комплексных характеристик [1].

При совместном использовании сенсоров и актуаторов для введения дополнительного демпфирования вынужденных колебаний используется технология, когда подводимая к актуатору разность потенциалов  $V_a$  пропорциональна скорости изменения разности потенциалов сенсора  $\dot{V}_S$  или току:

$$V_a = -G_S \dot{V}_S, \quad V_a = -G_S I, \quad G_S = G_1 G_e. \quad (1)$$

В (1)  $G_e$  – сопротивление усилителя, а  $G_1$  выбирается из условия наиболее быстрого затухания свободных колебаний или существенного уменьшения амплитуды вынужденных, в частности резонансных колебаний. Формулы для заряда, который показывает сенсор при коротко – замкнутых электродах:

$$Q = -\gamma_{31}(h_0 + h_1) \iint_{(S_1)} (\kappa_1 + \kappa_2) dx dy, \quad (2)$$

где  $S_1$  – площадь сенсора и актуатора .

Для разомкнутых электродов имеем:

$$\dot{V}_S = -\frac{h_1(h_0 + h_1)\gamma_{31}}{S_1\gamma_{33}} \iint_{(S_1)} (\dot{\kappa}_1 + \dot{\kappa}_2) dx dy. \quad (3)$$

При использовании формулы

$$V_a = -G_S \frac{dQ}{dt} \quad (4)$$

имеем

$$V_a = G_S \gamma_{31}(h_0 + h_1) \iint_{(S_1)} (\dot{\kappa}_1 + \dot{\kappa}_2) dx dy. \quad (5)$$

В дальнейшем будем использовать именно это соотношение, так как в нем меньше электромеханических параметров.

В уравнениях движения появляется величина

$$M_0 = B V_a, \quad B = (h_0 + h_1)\gamma_{31}. \quad (6)$$

С использованием (5), (6) имеем

$$M_0 = G_S \gamma^2_{31} (h_0 + h_1)^2 \iint_{(S_1)} (\kappa_1 + \kappa_2) dx dy. \quad (7)$$

Для нестационарных колебаний  $w = A(t)\tilde{w}(x, y)$ . Для стационарных колебаний  $A(t) = Ae^{i\omega t}$ . При этом для нестационарных и стационарных колебаний соответственно имеем формулы

$$M_0 = m_0 F \dot{A}(t), \quad M_0 = m_0 F A e^{i\omega t}. \quad (8)$$

Здесь

$$m_0 = G_S \gamma^2_{31} (h_0 + h_1)^2, \quad (9)$$

$$F = \iint_{(S_1)} \left( \frac{\partial^2 \tilde{w}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \tilde{w}}{\partial y^2} \right) dx dy. \quad (10)$$

Таким образом, кроме затухания, которое вызывается гистерезисными потерями в материале, при использовании активного демпфирования колебаний при помощи совместного использования сенсоров и актуаторов появляется дополнительное затухание, которым можно управлять за счет выбора коэффициента обратной связи.

Для учета дополнительного затухания, возникающего в результате совместного использования сенсоров и актуаторов необходимо по формулам (8) - (10) вычислить величину  $M_0$ , подставить ее в уравнение движения, при помощи вариационного метода или метода Бубнова-Галеркина решить модифицированную таким образом нелинейную задачу и оценить влияние дополнительного затухания на амплитудно-частотные характеристики с учетом диссипативного разогрева. В результате получим приведенные выше формулы, в которых необходимо заменить величину  $B_2$  на величину:

$$\tilde{B}_2 = B_2 + G_2. \quad (11)$$

Дополнительное затухание характеризуется величиной  $G_2$ .

Для прямоугольной пластины с жестким защемлением торцов с использованием указанных методов после введения амплитуды  $A_1 = \frac{A}{a^4 b^4}$  находим:

$$G_2 = 64 G_S \gamma^2_{31} (h_0 + h_1)^2 \left( \frac{b}{a} \right)^2 \left( \frac{c}{a} \right)^2 \left( \frac{d}{b} \right)^2 \left\{ \left[ 1 - \left( \frac{c}{a} \right)^2 \right] \left[ 1 - \frac{2}{3} \left( \frac{d}{b} \right)^2 + \frac{1}{5} \left( \frac{d}{b} \right)^4 \right] + \left( \frac{a}{b} \right)^2 \left[ 1 - \left( \frac{d}{b} \right)^2 \right] \left[ 1 - \frac{2}{3} \left( \frac{c}{a} \right)^2 + \frac{1}{5} \left( \frac{c}{a} \right)^4 \right] \right\}^2. \quad (12)$$

Таким образом, кроме затухания, которое вызывается гистерезисными потерями в материале, за счет активного демпфирования появляется дополнительное затухание, которое учитывается параметром  $G_2$  и которым можно управлять в достаточно широких пределах. При расчете температуры диссипативного разогрева в выражении для диссипативной функции необходимо использовать выражение для амплитуды колебаний с учетом этого дополнительного затухания. Путем сравнения амплитудно - частотных

характеристик можно оценить влияние коэффициента обратной связи и температуры диссипативного разогрева на эти характеристики.

Для исследования влияния параметра  $G_2$  рассмотрена трехслойной квадратная пластина из полиэтиленовым средним слоем и двух внешних слоев противоположной поляризации из пьезокерамики ЦТС<sub>7</sub>БС-2. Для прямоугольной пластины, когда на контуре пластины задана постоянная температура, выбраны такие характеристики:  $\alpha = 0.5 \frac{\text{Ват}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}}$  - коэффициент теплообмена с внешней средой с температурой  $T_c = 20^\circ \text{C}$ , амплитуда нормального поверхностного давления  $p_0 = 2500 \text{ Па}$ . Для длины стороны квадратной пластины  $a = 0.1 \text{ м}$  частота линейного резонанса  $\omega_p = 16432 \text{ с}^{-1}$ . Для случая независимых от температуры механических свойств пассивного материала амплитудно-частотная характеристика для разных значений параметра  $G_2$  представлена на Рис.1.

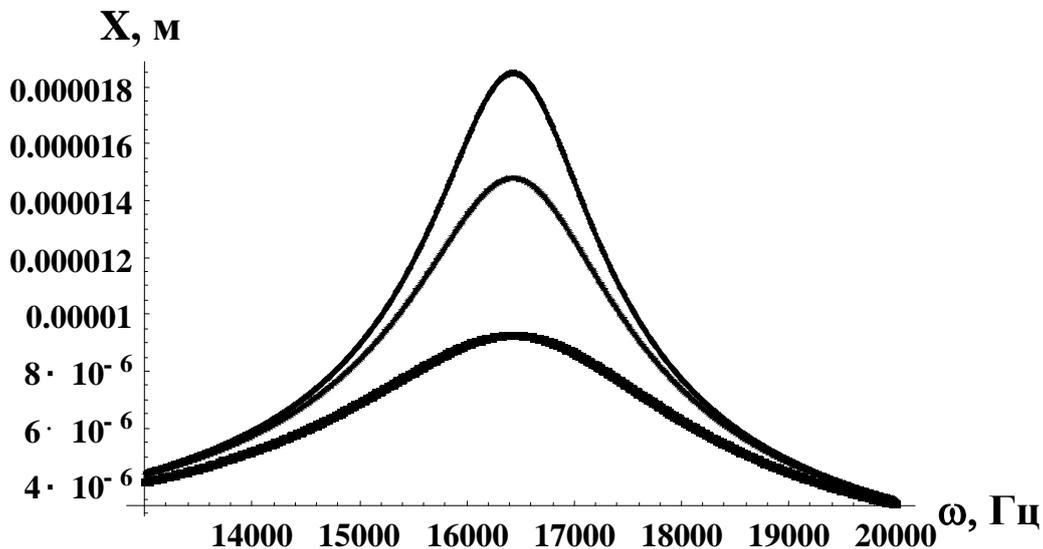


Рис. 1. Амплитудно-частотная характеристика для разных значений параметра  $G_2$  (для верхней кривой  $G_2=0$ , для средней кривой  $G_2 = 0.5B_2$ , для нижней кривой  $G_2 = 1.5B_2$ )

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, анализируя представленный график, следует отметить, что с увеличением коэффициента обратной связи, амплитуда колебаний пластины существенно уменьшается. При этом уменьшается и температура диссипативного разогрева.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Карнаухов В.Г., Киричок И.Ф. Механика связанных полей в элементах конструкций. Том 4. Электротермовязкоупругость. – К.: Наук. думка, 1988. – 320 с.
2. Karnaukhov V. G. Thermomechanics of coupled fields in passive and piezoactive inelastic bodies under harmonic deformations// Journal of thermal stresses. – 28, № 6-7 – P. 783–815.