

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 ЦТС₇БС–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.

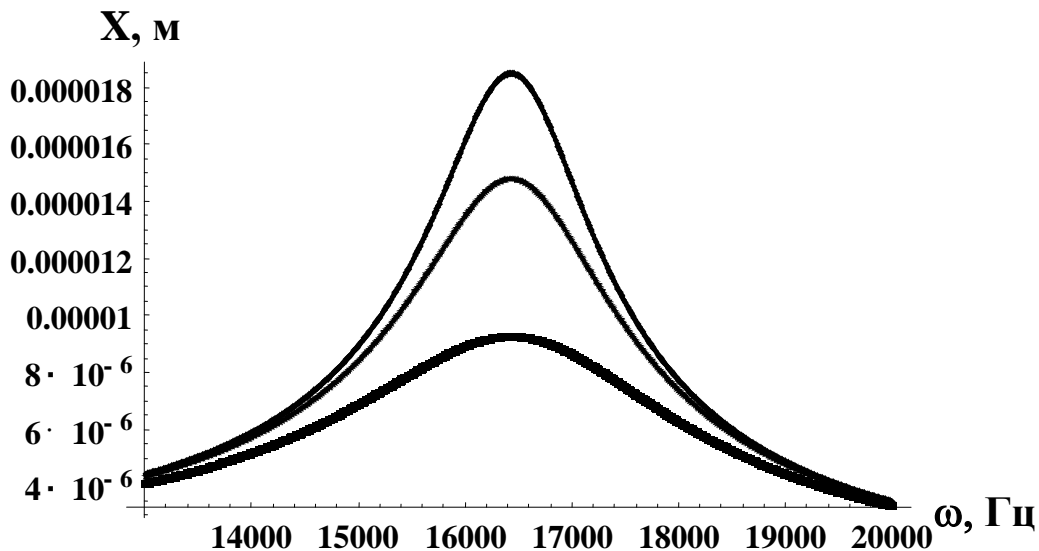


Рис. 1. Амплитудно-частотная характеристика для разных значений параметра G_2 (для верхней кривой $G_2=0$, для средней кривой $G_2 = 0.5B_2$, для нижней кривой $G_2 = 1.5B_2$)

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.