

УДК 629.7.054

Р.Н. ПАНЧЕНКО, Л.И. РУЖИНСКАЯ

Национальный технический университет Украины “КПИ”, Киев, Украина

ПЛОСКО-ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ ПЛАСТИНА В АКУСТИЧЕСКОЙ СРЕДЕ

Поддаляющее большинство механических конструкций представляют собой пластины – изотропные, анизотропные, плоско - параллельные, пористые и т.п., которые входят как отдельные элементы, так и, в той или иной степени, в сочетании с искривленными пластинами или оболочками. Строится модель плоско - параллельной пластины с упругой прослойкой и устанавливается закономерность ее движения под действием акустической волны. Рассматривается наиболее интересный случай - воздействие антисимметричной составляющей, как приводящей к характерной раскачке конструкции в целом. Приводится анализ влияния физико-механических свойств на динамику пластины.

Ключевые слова: плоско - параллельная пластина, антисимметричная волна, упругие связи

Введение

Постановка проблемы и ее связь с научно-техническими задачами. Возникновение волновых процессов в элементах конструкции авиационных двигателей приводит, как известно, к нарушению режима их нормального функционирования. Побуждающей причиной, помимо прочего, являются звуковые поля высокой интенсивности. Жесткие условия эксплуатационного использования летательных аппаратов в совокупности с высокой маневренностью при выполнении полетного задания приводят к необходимости глубокого и обстоятельного изучения динамических свойств конструкции фюзеляжа и комплектующих еще в наземных условиях.

Прежде всего необходимо очертить принципы построения расчетных моделей плоских элементов, в частности, сформулировать граничные условия по контуру крепления, граничные условия на поверхности, механизм передачи возмущенного движения на другие конструкции и т.п. обоснованием выбранной механической модели служит реальный учет возмущающих факторов и степень разумного упрощения механизма расчета.

В приводимых авторами сведениях рассматриваются расчетные модели одной из наиболее сложных конструкций – плоско - параллельной пластины неограниченной протяженности с упругой прослойкой.

Обзор публикаций и выделение нерешенных задач. Установлено, что наибольшей величины акустические нагрузки от шума реактивной струи достигают на Земле и во время старта. С увеличением скорости полета их влияние уменьшается, но при этом возрастают нагрузки, обусловленные пульсацией давления в турбулентном пограничном слое [1, 2]. На самолетах с турбовинтовыми двигателями создается переменное

давление на панели фюзеляжа, главным образом в зоне вращения винта [3].

Особенностью излучения звука аэродинамическим потоком является наличие сферических звуковых волн Маха, которые и являются основным источником шума. Величина среднего квадрата акустического давления, например, высокоскоростных ракет, может быть определена известной формулой [4]:

$$\overline{P}^2 \sim \epsilon^5 l^2 |y|^{-2} (\rho U)^2 M^4 \left[(1 - M \cos \theta)^2 + \epsilon^2 M^2 \right]^{-\frac{5}{2}},$$

где M – число Маха; ϵ – безразмерный коэффициент уровня турбулентности; θ – угол между направлениями движения вихрей и направлением излучения.

Наибольший интерес представляет случай, когда $M \cos \theta = 1$, что соответствует максимуму шума, излучаемого струей ракетного двигателя.

Вопросы прохождения звука через две пластины не связанные между собой рассматривались А. Лондоном [5], а более общая теория влияния звука на составные конструкции изложена, например, в работах [6-10].

Если в отмеченных изданиях, изучались вопросы взаимодействия звука с преградой для задач звукоизоляции, то здесь анализируются динамические свойства пластин при акустическом нагружении.

Постановка задачи данного исследования. К расчетной модели в виде плоско - параллельной пластины с упругой прослойкой могут быть сведены многие элементы конструкций.

Изучение упруго-напряженного состояния таких фрагментов состоит как в анализе закономерностей вынужденного изгибного движения в акустической среде, так и учет влияния упругой прослойки.

Имеются в виду особенности трансляции акустического излучения.

Отмеченным направлениям исследований и посвящены приводимые результаты.

Изложение основного материала с обоснованием полученных научных результатов

Взаимодействие акустической волны давления с плоско - параллельной пластиной рассмотрим на механической модели в виде двух акустически однородных пластин, поверхности которых параллельны между собой, а промежуток между ними дискретно-непрерывно заполнен упругой средой. Для простоты будем пренебрегать продольными связями (связями сдвига) и ограничимся рассмотрением только поперечных связей. Считаем, что они соединяют пластины и препятствуют изменению рассматривания между ними, подчиняясь закону Гука. Впервые в такой постановке задача о расчете составного стержня была решена А.Р. Ржаницыным, а в дальнейшем В.И. Заборовым для арки.

Схема прохождения плоской волны звукового давления в этом случае представлена на рис. 1, здесь θ – угол падения волны; h_1 – толщина пластин; 2δ – толщина упругой прослойки; объем, занимаемый упругими связями, предполагается намного меньшим объема воздушного промежутка между пластинами.

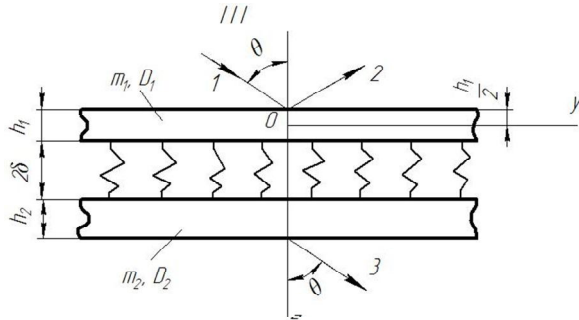


Рис. 1. Механическая модель прохождения звука через плоско - параллельную пластину неограниченной протяженности

Предполагая, что напряженное и деформированное состояние пластин постоянной жесткости описывается уравнением изгиба тонкой упругой изотропной пластины, колебательное движение плоско-параллельной преграды запишем в виде

$$\nabla^4 \frac{d^4 W_1}{dt^4} + \left[(D_1 m_1^{-1} + D_2 m_2^{-1}) \nabla^8 + k (m_1^{-1} + m_2^{-1}) \right] \times \\ \times \frac{d^2 W_1}{dt^2} + k (m_1 m_2)^{-1} \cdot (D_1 + D_2) \nabla^8 W_1 +$$

$$+ D_1 D_2 (m_1 m_2)^{-1} \nabla^{12} W_1 = (m_1 m_2)^{-1} \times \\ \times \left(D_2 \nabla^8 q_1 + m_2 \nabla^4 \frac{d^2 q_1}{dt^2} + k \nabla^4 q_1 + k \nabla^4 q_2 \right); \\ \nabla^4 \frac{d^4 W_2}{dt^4} + \\ + \left[(D_1 m_1^{-1} + D_2 m_2^{-1}) \nabla^8 + k (m_1^{-1} + m_2^{-1}) \right] \times \\ \times \frac{d^2 W_2}{dt^2} + k (m_1 m_2)^{-1} \cdot (D_1 + D_2) \nabla^8 W_2 + \\ + D_1 D_2 (m_1 m_2)^{-1} \nabla^{12} W_2 = (m_1 m_2)^{-1} \times \\ \times \left(D_1 \nabla^8 q_2 + m_1 \nabla^4 \frac{d^2 q_2}{dt^2} + k \nabla^4 q_2 + k \nabla^4 q_1 \right); \quad (1)$$

где m_i , D_i – соответственно массы и цилиндрические жесткости пластин; W_i – перемещения пластин вдоль оси z ; k – приведенный коэффициент упругого основания при сжатии-растяжении в кг см^{-3} ;

$$q_1 = (P_1 + P_2) \Big|_{z=-\frac{h_1}{2}}, \quad q_1 = -(-P_3) \Big|_{z=\frac{h_1}{2}+2\delta+h_2} -$$

внешние нагрузки на пластины.

Представим звуковое давление в виде двух составляющих – симметричной и антисимметричной (рис. 2), а давление в падающей, отраженной и прошедшей волнах в виде

$$P_1 = P_{10} \exp i \left[\omega t - k_0 y \sin \theta - k_0 \left(z + \frac{h_1}{2} \right) \cos \theta \right]; \\ P_2 = P_{20} \exp i \left[\omega t - k_0 y \sin \theta - k_0 \left(z + \frac{h_1}{2} \right) \cos \theta \right]; \\ P_3 = P_{30} \exp i \times \\ \times \left[\omega t - k_0 y \sin \theta - k_0 \left(z - \frac{h_1}{2} - 2\delta - h_2 \right) \cos \theta \right].$$

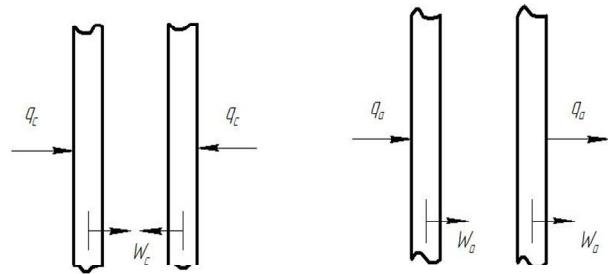


Рис. 2. Звуковая нагрузка, действующая на плоско-параллельную пластину

Чтобы учесть влияние внутреннего трения в материале пластин, приводящее к необратимому рассеянию энергии звуковой волны, представим цилиндрическую жесткость пластин в комплексной

форме, т.е. будем полагать $D_1 = D_1(I + i\eta_\Pi)$, $D_2 = D_2(I + i\eta_\Pi)$. Для упрощения вычислений коэффициент потерь η_Π для обеих пластин примем одинаковым.

С учетом принятых допущений решение уравнений (1) имеет вид

$$\begin{aligned} W_1 &= (S_1 S_2 - k^2)^{-1} \cdot [(P_1 + P_2) S_2 - k P_3]; \\ W_2 &= (S_1 S_2 - k^2)^{-1} \cdot [(P_1 + P_2) k - S_1 P_3], \end{aligned} \quad (2)$$

где $S_1 = \lambda_1^{-1} \omega^2 m_2 (\lambda_1 \beta \varphi_2 - 1) + i\eta_\Pi \lambda_1^{-1} \omega^2 m_2 \varphi_2 \lambda_1 + k$;

$$S_2 = \omega^2 m_2 (\varphi_2 - 1) + i\eta_\Pi \omega^2 m_2 \varphi_2 + k$$

$$\varphi_2 = (C_{\Pi 2} c^{-1} \sin \theta)^4; \quad \beta = D_1 D_2^{-1}; \quad \lambda_1 = m_1 m_1^{-1};$$

$C_{\Pi 2} = (m_1^{-1} \omega^2 D_2)^{\frac{1}{4}}$ – фазовая скорость изгибной волны во второй пластине.

Граничные условия для наружных поверхностей пластин:

$$\begin{aligned} \frac{dW_1}{dt} &= [(P_1 - P_2) t_0^{-1} \cos \theta]_{z=-\frac{h_1}{2}}; \\ \frac{dW_2}{dt} &= [P_3 z_0^{-1} \cos \theta]_{z=\frac{h_1}{2}+2\delta+h_2}. \end{aligned} \quad (3)$$

Тогда из соотношения (3) с учетом (2) определяем значения коэффициентов прохождения A и отражения B звука -

$$\begin{aligned} A &= P_{30} P_{10}^{-1} = 2k\gamma \times [1 + \gamma(S_1 + S_2) + \gamma^2 S_1 S_2 - \gamma^2 k^2]^{-1}; \\ A &= P_{30} P_{10}^{-1} = \\ &= 2k\gamma \times [1 + \gamma(S_1 + S_2) + \gamma^2 S_1 S_2 - \gamma^2 k^2]^{-1}; \\ B &= P_{20} P_{10}^{-1} = \\ &= [-1 + \gamma(S_1 + S_2) + \gamma^2 S_1 S_2 - \gamma^2 k^2] \times \\ &\times [1 + \gamma(S_1 + S_2) + \gamma^2 S_1 S_2 - \gamma^2 k^2]^{-1}, \end{aligned} \quad (4)$$

где $\gamma = (i\omega z_0)^{-1} \cos \theta$.

При $k(\omega^2 z m_1)^{-1} \ll 1$ и $k(\omega^2 m_2)^{-1} \ll 1$, что начиная со средних частот практически всегда имеет место,

$$A \approx 2k(\gamma S_1 S_2)^{-1};$$

$$B \approx 1 - 2(\gamma^2 S_1 S_2)^{-1}.$$

Из формулы (2) с учетом (4) изгибные колебания наружной поверхности второй пластины можно в окончательном виде записать следующим образом:

$$\begin{aligned} W_2 &= k P_{10} (S_1 S_2 - k^2)^{-1} \times \\ &\times \left\{ 1 + B \exp i \left[2k_0 \left(z + \frac{h_1}{2} \right) \cos \theta \right] + \right. \\ &\times \left. \left[+ \frac{S_1}{k} A \exp i \left[k_0 (h_1 + h_2 + 2\delta) \cos \theta \right] \right] \right\} \times \\ &\times \exp i \left[\omega t - k_0 y \sin \theta - k_0 \left(z + \frac{h_1}{2} \right) \cos \theta \right]. \end{aligned} \quad (5)$$

Обратимся теперь к более общему случаю – когда колебательное движение передается от первой пластины ко второй как через упругие связи, так и звуковой волной, распространяющейся в воздушной прослойке между упругим материалом. В результате приходим к механической модели прохождения звука, представленной на рис (3).

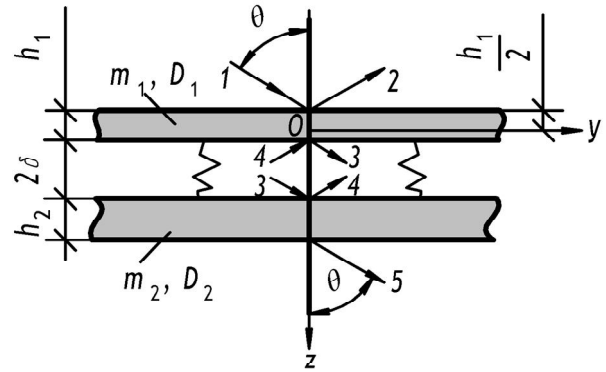


Рис. 3. Механическая модель прохождения звука через плоско - параллельную пластину с учетом звуковой волны, распространяющейся в упругой прослойке

В этом случае внешнее возмущение определяется выражениями

$$q_1 = (P_1 + P_2) \Big|_{z=-\frac{h_1}{2}} - (P_3 + P_4) \Big|_{z=\frac{h_1}{2}};$$

$$q_2 = (P_3 + P_4) \Big|_{z=\frac{h_1}{2}+2\delta} - P_5 \Big|_{z=\frac{h_1}{2}+h_2+2\delta},$$

а давления в падающей, отраженной и прошедшей волнах – формулами:

$$P_1 = P_{10} \exp i \left[\omega t - k_0 y \sin \theta - k_0 \left(z + \frac{h_1}{2} \right) \cos \theta \right];$$

$$P_2 = P_{20} \exp i \left[\omega t - k_0 y \sin \theta + k_0 \left(z + \frac{h_1}{2} \right) \cos \theta \right];$$

$$P_3 = P_{30} \exp i \left[\omega t - k_0 y \sin \theta - k_0 \left(z - \frac{h_1}{2} \right) \cos \theta \right];$$

$$P_4 = P_{40} \exp i \left[\omega t - k_0 y \sin \theta + k_0 \left(z - \frac{h_1}{2} \right) \cos \theta \right];$$

$$\begin{aligned} P_5 &= P_{50} \exp i \times \\ &\times \left[\omega t - k_0 y \sin \theta - k_0 \left(z - \frac{h_1}{2} - h_2 - 2\delta \right) \cos \theta \right]. \end{aligned}$$

Граничные условия имеют вид

$$\begin{aligned} \left[\frac{\partial W_1}{\partial t} \right]_{z=-\frac{h_1}{2}} &= (P_1 - P_2) z_0^{-1} \cos \theta; \\ \left[\frac{\partial W_1}{\partial t} \right]_{z=\frac{h_1}{2}} &= (P_3 - P_4) z_0^{-1} \cos \theta; \\ \left[\frac{\partial W_2}{\partial t} \right]_{z=\frac{h_1}{2}+2\delta} &= (P_3 - P_4) z_0^{-1} \cos \theta; \\ \left[\frac{\partial W_2}{\partial t} \right]_{z=\frac{h_1}{2}+h_2+2\delta} &= P_5 z_0^{-1} \cos \theta. \end{aligned} \quad (6)$$

С учетом сказанного, решение уравнений (1) при заданной нагрузке q_i определяется выражениями:

$$\begin{aligned} W_1 &= (S_1 S_2 - k^2)^{-1} \times \\ &\times \{ S_2 [(P_1 + P_2) - (P_3 + P_4)] - k [(P_3 + P_4) - P_5] \}; \\ W_2 &= (S_1 S_2 - k^2)^{-1} \times \\ &\times \{ k [(P_1 + P_2) - (P_3 + P_4)] - S_1 [(P_3 + P_4) - P_5] \}. \end{aligned} \quad (7)$$

Из соотношения (6), с учетом (7), определяем коэффициенты прохождения A_i и отражения B_i звука:

$$\begin{aligned} B_2 &= P_{20} P_{10}^{-1} = [2 + \gamma(S_1 - S_2)]^{-1} (S_1 - S_2) \gamma; \\ A_3 &= P_{30} P_{10}^{-1} = k(k + S_1)^{-1} [2 + \gamma(S_1 - S_2)]^{-1} \times \\ &\times [1 + \gamma(S_1 S_2 - k^2) + \gamma(S_1 - S_2)]; \\ B_4 &= P_{40} P_{10}^{-1} = (k + S_1)^{-1} [2 + \gamma(S_1 - S_2)]^{-1} \times \\ &\times \{ k [-1 + \gamma(S_1 S_2 - k^2) + \gamma(S_1 - S_2)] - 2S_1 \}; \\ A_5 &= P_{50} P_{10}^{-1} = 2 [2 + \gamma(S_1 - S_2)]^{-1}. \end{aligned} \quad (8)$$

Численный анализ на ПК позволяет решать некоторые задачи оптимизации.

В плане поставленной задачи наибольший интерес представляет изучение характера изгибного движения наружной поверхности второй пластины.

С учетом (8), закон изгибных колебаний можно представить так:

$$\begin{aligned} W_2 &= P_{10} (S_1 S_2 - k^2)^{-1} \exp i \times \\ &\times \left[\omega t - k_0 y \sin \theta - k_0 \left(z + \frac{h_1}{2} \right) \cos \theta \right] \times \\ &\times \left\{ k + [(k + S_1) B_4 + k B_2] \exp i (2k_0 z \cos \theta) + \right. \\ &+ [(k + S_1) A_3 + k B_2] \times \exp i (k_0 h_1 \cos \theta) - \\ &\left. - S_1 A_5 \exp i [k_0 (h_1 + h_2 + 2\delta) \cos \theta] \right\} = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= P_{10} (S_1 S_2 - k^2)^{-1} \times \\ &\times \exp i \left[\omega t - k_0 y \sin \theta - k_0 \left(z + \frac{h_1}{2} \right) \cos \theta \right] \times \\ &\times \{ k + (\rho_4 \exp i \varphi_4 + k \rho_2 \exp i \varphi_2) \times \\ &\times \exp i (2k_0 z \cos \theta) + (\rho_3 \exp i \varphi_3 + \\ &+ k \rho_2 \exp i \varphi_2) \exp i (k_0 h_1 \cos \theta) - S_1 \rho_5 \exp i \times \\ &\times [\varphi_5 + k_0 (h_1 + h_2 + 2\delta \cos \theta)] \}, \end{aligned} \quad (9)$$

где $B_2 = \rho_2 \exp i \varphi_2$; $A_3 = \rho_3 \exp i \varphi_3$;

$B_4 = \rho_4 \exp i \varphi_4$; $A_5 = \rho_5 \exp i \varphi_5$;

$\rho_2 = \rho_0 (S_1 - S_2) \cos \theta$;

$\rho_3 = \rho_0 (k + S_1)^{-1} \times$

$\times \left\{ k^2 \omega^2 z_0^2 + [k(S_1 S_2 - k^2) + (S_1 - S_2)]^2 \cos^2 \theta \right\}^{\frac{1}{2}}$;

$\rho_4 = \rho_0 (k + S_1)^{-1} \left\{ 4\omega^2 z_0^2 + (S_1 - S_2)^2 \cos^2 \theta \right\}^{\frac{1}{2}}$;

$\varphi_2 = -\arctg 2\omega z_0 [(S_1 - S_2) \cos \theta]^{-1}$;

$\varphi_3 = \arctg \times$

$\times \left\{ k\omega z_0 (S_1 - S_2) - 2\omega z_0 [k(S_1 S_2 - k^2) + (S_1 - S_2)] \right\} \times$

$\times \left\{ 2k\omega^2 z_0^2 + (S_1 - S_2) \times \right.$

$\left. \times [k(S_1 S_2 - k^2) + (S_1 - S_2)] \cos \theta \right\}^{-1}$;

$\varphi_4 = \arctg \{ \omega z_0 (S_1 - S_2) [k(k + 1) - 2S_1] \cos \theta -$

$2\omega k z_0 [(S_1 S_2 - k^2) + (S_1 - S_2)] \cos \theta \} \times$

$\times \{ k(S_1 - S_2) \times [(S_1 S_2 - k^2) + (S_1 - S_2)] \cos^2 \theta +$

$+ 2\omega^2 z_0^2 [k(k + 1) - 2S_1] \}^{-1}$;

$\varphi_5 = \frac{\pi}{2} - \varphi_2$.

Проведем численный анализ форм изгибных колебаний второй пластины при акустическом воздействии.

Для конкретности положим:

$\delta = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$,

$D_1 = D_2 = 1 \text{ Н} \cdot \text{м}$;

$h_1 = h_2 = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$,

$m_2 m_1^{-1} = 0,8$.

Координата y изменяется в пределах $0 \dots 16$ с шагом $0,1$, значение угла θ - в пределах $0 \dots 7,5$ $\pi/16$ рад с шагом $0,196$, угловая частота звуковой волны - в пределах $0 \dots 70000 \text{ с}^{-1}$.

Откладывая по оси ординат величину длины изгибной волны λ , а по оси частот - ω (круговую частоту падающей волны), построим график изменения длины изгибной волны $\theta = 0,98$ рад (56,25 град) (рис. 4). Он представляет собой симметричную относительно оси ординат кривую с характерными четырьмя «пиками», в промежутках между которыми длина волны убывает к середине участка, достигая 0,1 м (кривые 1). На частотах ω_c , равных $8,2 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$, $16,4 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$, $33,2 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$, $41,6 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$, $58,2 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$ и $66,6 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$ в спектре наблюдается суперпозиция двух форм колебаний различной протяженности и амплитуды (кривые 2). Пунктирной линией изображены длины модулирующих волн (биения) при прохождении резонансных областей ω_b , равных $12,4 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$, $37,6 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$ и $62,4 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$. С увеличением угла θ , характер кривой «1» не меняется, она лишь сжимается по оси частот. На частотах ω_ϕ фаза колебаний меняется на π рад.

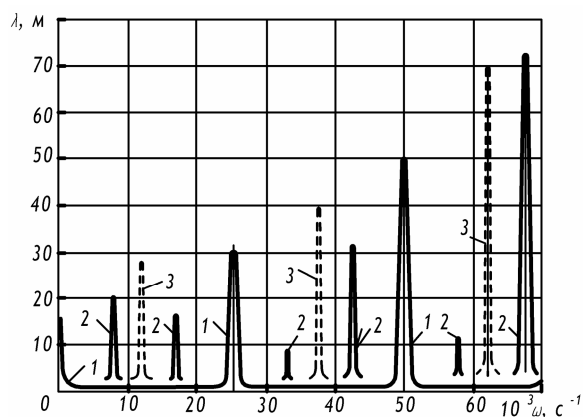


Рис. 4. Изменения длины изгибной волны плоско-параллельной пластины при акустическом воздействии

Выводы и перспективы дальнейших исследований в данном направлении

Проведенное изучение упругого взаимодействия неограниченной по протяженности плоско-параллельной пластины с акустическим излучением дает основания для следующих выводов.

Колебательный процесс плоско-параллельной пластины с упругой прослойкой в акустическом поле состоит из нелинейных колебаний достаточно сложной структуры. Численный анализ позволяет установить наличие зон частотного резонанса и условий появления биений. Построенная математическая модель возмущенного движения даст возможность оценить степень влияния угла падения плоской звуковой волны на амплитуду колебаний.

В дальнейшем, представляет интерес более глубокое изучение влияния упругой прослойки, в том числе на резонансные свойства.

Рассмотренная модель явления раскрывает широкие возможности изучения влияния рассеяния энергии звукового излучения как в прослойке, так и в пластинах.

Не лишним, для полноты исследований, является представление звукового поля как диффузного, более четче характеризующего реальные условия эксплуатации.

Механические модели упругого взаимодействия акустического излучения с плоской преградой, изучаемые с позиций обратной задачи динамики, позволяют одновременно рассматривать вопросы анализа и синтеза - полиагрегатных конструкций как с позиций звукоизоляции, так и с позиций рассеяния энергии - при колебаниях механических систем.

Области пространственно-частотных резонансов пластин при акустическом воздействии определяются резонансом по частоте

$$(\omega = \omega_{mn})$$

с одновременным точным совпадением пространственного распределения давления в падающей звуковой волне вдоль пластины с одной из форм ее собственных колебаний

$$\left(C_n = \frac{c}{\sin \theta} \right)$$

и соответствует области волнового совпадения с граничной частотой, приблизительно равной граничной частоте волнового совпадения

$$f_{гр mn} \approx f_{гр} = \frac{c^2}{\pi^2} \left(\frac{\mu}{D} \right)^{1/2}$$

и не зависящей от ее геометрических размеров.

Величина прогиба плоской преграды под действием звуковой волны давления в условиях пространственно-частотного резонанса в 10^7 раз больше, чем при частотном резонансе, причем максимальные значения наблюдаются на первой форме, а числе локальных экстремумов равно произведению полуволн изгиба по двум ортогональным направлениям. Неполный пространственно-частотный резонанс занимает промежуточное положение по своему влиянию на пластину.

Литература

1. Выносливость авиационных конструкций при акустических нагрузках: сб. научн. тр / ЦАГИ; гл. ред. Л. П. Лепоринская. — М., 1967. — № 218. — С. 312.
2. Гладкий В.Ф. Динамика конструкции летательного аппарата: монография / В.Ф. Гладкий. — М.: Наука, 1969. — 496 с.

3. Белый Н.Г. Об акустическом нагружении фюзеляжа самолета ИЛ-18 и выносливости элементов его обшивки / Н. Г. Белый, А.В. Пачандо // Прочность и долговечность авиационных конструкций // Сб. научн. тр. КИИГА. – К., 1965. – Вып. 11. – С. 4-57.

4. Случайные колебания / Под общ. ред. С. Крендела. – М.: Мир, 1967. – 356 с.

5. London A. Transmission of Reverberant Sound through Double Walls / A. London // Journal of Acoustic Society of America. – 1950. – Vol. 22. – P. 270-279.

6. Заборов В.И. Теория звукоизоляции слоистых ограждений от воздушного шума / В.И. Заборов // Изв. Академии строительства и архитектуры СССР. – № 2. – С. 37-41

7. Дидковский В.С. Проектирование ограждающих конструкций с оптимальными звуко- и виброизоляционными свойствами / В.С. Дидковский, В.В. Карачун, В.И. Заборов. – К.: Будивельник, 1991. – 120 с.

8. Ковалец О.Я. Влияние дифракционных явлений на погрешность системы коррекции гирогоризонта / О.Я. Ковалец // Вісник НТУУ «КПІ»: Серія Приладобудування. – 2009. – Вип. 38. – С. 10-16.

9. Мельник В.Н. Усилия и моменты на краях выпуклой оболочки / В.Н. Мельник, В.В. Карачун // Авиационно-космическая техника и технология. – 2009. – № 8 (65). – С. 7-11.

10. Особенности циклического нагружения оболочек / В.Н. Мельник // Авиационно-космическая техника и технология. – 2007. – № 8 (44). – С.56-59.

Поступила в редакцию 12.04.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.В. Карачун, Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев, Украина.

ПЛОСКО-ПАРАЛЕЛЬНА ПЛАСТИНА В АКУСТИЧНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Р.М. Панченко, Л.І. Ружинська

Переважає більшість механічних конструкцій являє собою пластини – ізотропні, анізотропні, плоско-паралельні, пористі і таке інше, які входять як окремі елементи, так і в сукупності з викривленими пластинами чи оболонками. Будується модель плоско-паралельної пластини з напруженим прошарком та з'ясовується закономірність її руху під дією акустичної хвилі. Розглядається найбільш інтересний випадок – дія антисиметричної складової, як такої, що призводить до характерного розгойдування конструкції в цілому. Здійснюється аналіз впливу фізико-механічних властивостей на динаміку пластини.

Ключові слова: плоско-паралельна пластина, антисиметрична хвиля, пружні в'язі.

THE FLAT-PARALLEL PLATE IN ACOUSTIC MEDIUM

R.N. Panchenko, L.I. Ruzhinska

The vast majority of mechanical constructions are plates - isotropic, anisotropic, plane-parallel, porous, etc., which can be included both separate items and in combination with curved plates or shells. We construct a model of plane-parallel plate with a strained layer and the regularity of its movement under the influence of acoustic waves is being found out. We consider the most interesting case - antisymmetric component action, as such, which leads to the characteristic construction bouncing in general. It is made the analysis of the impact of physical and mechanical properties of the dynamics of the plate.

Key words: plane-parallel plate, antisymmetric wave, spring linkage.

Панченко Роман Николаевич – аспирант Национального технического университета Украины «КПИ», Киев, Украина, e-mail: karachun1@gala.net.

Ружинская Людмила Ивановна – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры биотехники и инженерии Национального технического университета Украины «КПИ», Киев, Украина, e-mail: karachun1@gala.net.