

ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП 2.03.01-84 Бетонные и железобетонные конструкции — М., 1985.— 285 с.
2. Willam K.J., Warnke E.P. Constitutive Model for the Triaxial Behaviour of Concrete // Proceedings of International Association Bridge Structural. Engineerings, Report 19, Section III.— Zurich, 1975.— P. 1–30.
3. Куземкина Г.М., Шимановский А.О., Черноус Д.А. Конечноэлементное моделирование бетонной матрицы с упрочняющей арматурой // Международная научная конф. «Полимерные композиты, покрытия, пленки. Поликом 2003». — С. 53–55.

УДК 593.3

А.В. Курбачев

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛНОВЫХ ПОЛЕЙ В НЕОДНОРОДНОЙ УПРУГОЙ СРЕДЕ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

В [3] исследовано взаимодействие гармонической продольной волны с однослойным безграничным по протяженности экраном в воздушном пространстве. Показано, что колебания ограждения из жестких материалов, на которое падает волна под углом θ , могут быть описаны уравнениями движения тонких плит, если длина следа падающей волны не менее шестикратной толщины плиты. Если материал плиты является мягким (в нем скорости продольной и поперечной волн существенно меньше скорости звука в воздухе), то условием применимости уравнения изгибных колебаний тонкой плиты является требование о шестикратном превышении длины поперечной волны толщины ограждения.

Описано условие возникновения в плите пространственного резонанса. В отличие от обычного резонанса системы, характеризуемого совпадением частоты вынужденных колебаний под действием внешней гармонической силы с частотой собственных колебаний системы, здесь имеется совпадение геометрических размеров: след падающей волны равен длине волны изгиба в плите. Поскольку плита предполагается неограниченной, то все частоты ее колебаний являются собственными. При явлении совпадения распределение давления в падающей волне вдоль плиты точно соответствует распределению смещений при собственных колебаниях плиты той же частоты, что и

приводит к интенсивному росту колебаний. При явлении волнового совпадения наблюдается наибольшая передача звука через плиту.

Практический интерес представляет исследование колебаний тонкой плиты толщины h в твердом упругом изотропном пространстве, в зависимости от падения на нее продольной и поперечной гармонических волн. Начало ортогональной системы координат OYZ поместим на правой границе плиты, направив ось Y вверх, а ось Z — вправо. Предположим, что со стороны полупространства $z < -h$ под произвольным углом θ на плиту падает продольная волна, или под углом γ — поперечная волна. Углы θ и γ образованы нормальными к фронтам продольной и поперечной волн с осью z . Как в отраженном поле $z < -h$, так и в полупространстве $z > 0$ возникнут продольная и поперечная волны. Волновой фронт проходит параллельно оси X .

Потенциалы волн запишем в виде

$$\begin{aligned} A_1 \exp\{-j[\alpha(z+h) + \xi y - \omega t] - 0,5\eta_1[\alpha(z+h) + \xi y]\}, \\ A_2 \exp[-j(\alpha z + \xi y - \omega t) - 0,5\eta_1(\alpha z + \xi y)], \\ B_1 \exp\{-j[\beta(z+h) + \xi y - \omega t] - 0,5\eta_2[\beta(z+h) + \xi y]\}, \\ B_2 \exp[-j(\beta z + \xi y - \omega t) - 0,5\eta_2(\beta z + \xi y)], \end{aligned}$$

где A_1, A_2 и B_1, B_2 — амплитуды падающей, прошедшей продольных и соответственно поперечных волн; $j = \sqrt{-1}$, $\alpha = k_1 \cos \theta$, $\beta = k_2 \cos \gamma$, $k_1 = \omega/c_1$, $k_2 = \omega/c_2$, c_1, c_2 — скорости распространения продольной и поперечной волн в твердой среде, $\xi = k_1 \sin \theta = k_2 \sin \gamma$; ω — круговая частота колебаний; t — время; η_1 и η_2 — коэффициенты потерь продольной и поперечной волн в упругой среде.

На основе энергетических соотношений определим условия, при выполнении которых плита будет эффективно снижать энергию в падающих на нее волнах.

Нагрузку, действующую на плиту, разобьем на симметричную σ_s, τ_s и асимметричную σ_a, τ_a части:

$$\begin{aligned} \sigma_s &= -0,5 (\sigma_{z1} + \sigma_{z2}), & \sigma_a &= 0,5 (\sigma_{z2} - \sigma_{z1}), \\ \tau_s &= 0,5 (\tau_{yz1} - \tau_{yz2}), \end{aligned} \quad (1)$$

где σ_{z1}, τ_{yz1} и σ_{z2}, τ_{yz2} — нормальные, касательные напряжения в левом и соответственно правом полупространствах на границах с плитой.

Компоненты тензора напряжений σ_z и τ_{yz} определим законом Гука [1].

При действии на плиту симметричной нагрузки поперечные смещения W_n частиц плиты равны нулю в силу их малости, изгиб плиты отсутствует, а продольные смещения на левой V_{n1} и правой V_{n2} границах плиты равны между собой.

При действии асимметричной нагрузки полагаем, что продольные перемещения V_0 частиц срединной плоскости плиты равны нулю, поперечные перемещения на левой W_{n1} и правой W_{n2} границах плиты равны между собой, а продольные смещения с учетом деформаций от изгиба будут

$$V_{n1} = V_0 + 0,5hdW_n/dy, \quad V_{n2} = V_0 - 0,5hdW_n/dy \quad (2)$$

Дифференциальные уравнения, описывающие колебания плиты и их частные решения приведены в [4].

При жестком соединении плиты со средой необходимо, чтобы кроме равенства одноименных компонентов тензора напряжений на боковых поверхностях плиты выполнялись соотношения

$$W = W_n, \quad V = V_{n1} \\ \text{при } z = -h \text{ и } W = W_n, \quad V = V_{n2} \text{ при } z = 0, \quad (3)$$

где W и V — горизонтальная и вертикальная составляющие смещения точек полупространств.

Исследуем эффективность плиты в снижении колебаний по энергии волн.

Плотность упругой энергии в волне определим по формуле [2]

$$E(y, z, t) = \frac{\rho}{2} \left\{ \left[\left(\frac{\partial V}{\partial t} \right)^2 + \left(\frac{\partial W}{\partial t} \right)^2 \right] + 2(c_1^2 - 2c_2^2) \frac{\partial W}{\partial z} \frac{\partial V}{\partial y} + \right. \\ \left. c_1^2 \left[\left(\frac{\partial W}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial y} \right)^2 \right] + c_2^2 \left(\frac{\partial W}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial z} \right)^2 \right\} \quad (4)$$

где ρ — плотность среды.

Коэффициент передачи колебаний плиты определим как отношение средней по времени плотности энергии в уходящих вправо от границы волнах (прошедшей и трансформированной) к средней по времени плотности энергии в падающей волне:

а) падение продольной волны $\tau_\theta = \tau_{\theta 1} + \tau_{\theta 2}$;

б) падение поперечной волны $\tau_\gamma = \tau_{\gamma 1} + \tau_{\gamma 2}$,

где $\tau_{\theta 1}$ ($\tau_{\gamma 1}$) — часть энергии в падающей продольной (поперечной) волне, перенесенная трансформированной волной; $\tau_{\theta 2}$ ($\tau_{\gamma 2}$) — часть энергии, перенесенная прошедшей волной.

Анализ передачи колебаний через плиту показал, что основная доля энергии переносится волной того же типа, что и падающая, а энергией трансформированной волны можно пренебречь.

Плита эффективно снижает колебания в случае падения продольной волны, если $h\omega/c_1 > 1$ и $\theta \geq 1,5 \theta_1$, где $\theta_1 = \arcsin(\sqrt{12}/\sqrt{h\omega c_n/c_1^2})$ — угол, при котором в плите возникает явление волнового совпадения (рис. 1); c_n — скорость распространения продольных волн в плите.

Если на плиту падает поперечная волна, то наибольшее снижение колебаний наблюдается при $h\omega/c_2 \geq 2$, $\gamma \geq 1,5\gamma_1$, где $\gamma_1 = \arcsin(\sqrt{12}/\sqrt{h\omega c_n/c_2^2})$.

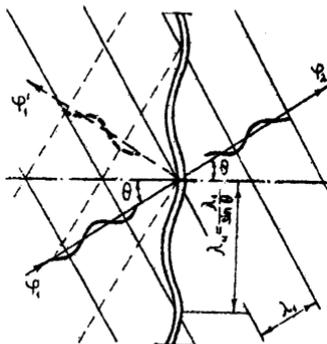


Рис. 1. Явление волнового совпадения для изгибных волн:
 $\lambda_n/\sin\theta$ — след падающей волны, λ_u — длина волны изгиба в плите

Экспериментальные исследования по изучению колебаний поверхности грунта в окрестности тонкой плиты проводились в технической зоне действующего метрополитена мелкого заложения.

Тонкая плита, высота которой составляет 12 м от поверхности грунта, а толщина — 0,7 м, расположена вертикально в грунте в технической зоне метрополитена. Основание плиты на 2,2 м находится ниже основания тоннеля. Принято: $\rho_n = 2400 \text{ кг/м}^3$, $\rho = 1700 \text{ кг/м}^3$, $c_1 = 600 \text{ м/с}$, $c_2 = 300 \text{ м/с}$, $c_n = 6400 \text{ м/с}$, $\theta = 30^\circ$ ($\gamma = 30^\circ$).

Замеры уровней виброускорения производили одновременно из двух измерительных площадок, расположенных на одинаковом расстоянии по обе стороны плиты. Измерения проводили с использованием датчиков виброускорения в двух взаимно перпендикулярных направлениях (вертикальном и горизонтальном, перпендикулярном к поверхности плиты). Исследования показали, что уровни составляющих виброускорения перед и за плитой практически не отличаются по своей величине. Например, среднеарифметичес-

кие значения уровней вертикальной Y компоненты виброускорения перед и за плитой в октавных полосах со среднегеометрической частотой 31,5 Гц составляют соответственно 26 и 24 дБ, а с частотой 63 Гц — 31 и 31 дБ. Аналогичные уровни горизонтальной Z компоненты составляют: 35 и 35 дБ с частотой 31,5 Гц, 41 и 38 дБ с частотой 63 Гц. Это свидетельствует о том, что плита, сооруженная в таком виде, не является эффективным виброзащитным сооружением. Основное ее предназначение — ликвидация сдвиговых деформаций грунта в окрестности фундамента здания при сооружении рядом с ним тоннеля метрополитена.

Разработанная математическая модель, описывающая колебания тонкой плиты в твердой среде, подтверждает полученные экспериментальные данные.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах.: — М.: Наука, 1973. — 344 с.
2. Викторов И.А. Звуковые поверхностные волны в твердых телах.: — М.: Наука, 1981.— 183 с.
3. Заборов В.И. Теория звукоизоляции ограждающих конструкций.: — М.: Стройиздат, 1969. — 185 с.
4. Курбачев А.В. Расчет передачи колебаний через тонкую плиту в твердой упругой среде // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-мат. навук. — 2001.— №4. — С. 58–61.

УДК 620.178.15+539.26

Е.Ю. Неумержицкая, С.В. Гусакова, В.Г. Шепелевич

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ ФОЛЫГ СПЛАВОВ СИСТЕМ АЛЮМИНИЙ-ХРОМ И АЛЮМИНИЙ-НИКЕЛЬ

*Белорусский государственный университет,
Минск, Беларусь*

Получение материалов в экспериментальных условиях, позволяющих создать комплекс механических, физических и химических свойств, рассматривается как существенный резерв создания материалов для современной техники. В последние три десятилетия активно и успешно развиваются методы получения материалов сверхбыстрой закалкой из расплава (СБЗР). При скоростях охлаждения, превышающих 10^5 К/с, удастся создать структуру и придать такие свойства материалу, которые нельзя получить традиционными методами