АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Том XXVIII 1982 Вып. 1

УДК 534.32:628.517.2:699.84

О ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ ПЛИТОЙ, ОБЛИЦОВАННОЙ УПРУГИМИ СЛОЯМИ

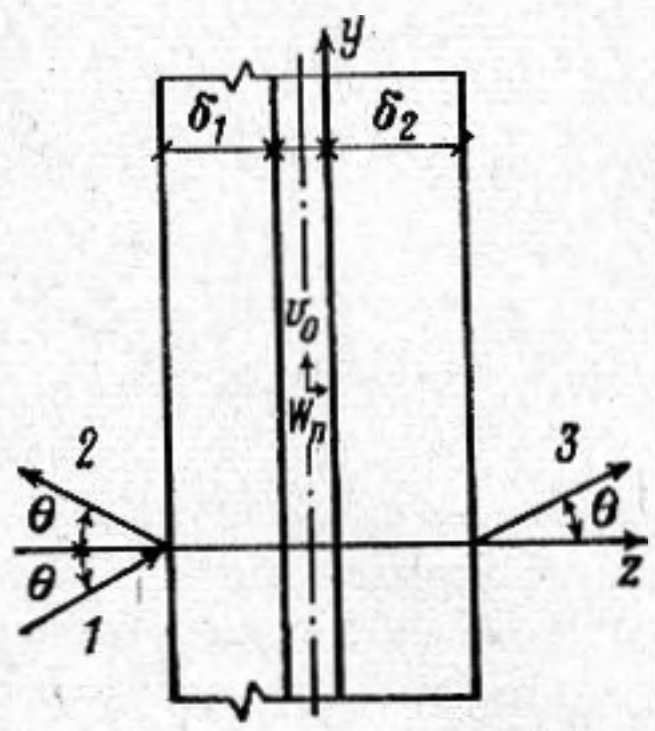
Заборов В. И.

Исследована звукоизоляция плитой, облицованной с одной или двух сторон упругими изотропными слоями. Показано влияние волновых резонансов в упругих слоях на звукоизоляцию рассматриваемых конструкций. Для различных частотных диапазонов получены простые формулы дополнительной звукоизоляции плитой при ее облицовке упругими слоями.

В работах [1, 2] исследовалась звукоизоляция плитой с одним дополнительным жестким или упругим пористым слоем в предположении о деформации упругого слоя только в поперечном к плоскости плиты направлении.

Ниже рассматривается задача о звукоизоляции неограниченной по протяженности плитой, облицованной с двух сторон упругими изотропными слоями произвольной толщины (фиг. 1). На конструкцию под произвольным углом θ падает плоская звуковая волна, фронт которой параллелен оси x. Давление в падающей, отраженной и прошедшей через конструкцию волнах в плоскостях раздела среды и конструкции (временный множитель здесь и в дальнейшем опущен) соответственно равны $p_{1,2,3}=p_{10,20,30}\exp(-ky)$, где p_{10}, p_{20} и p_{30} — амплитуды давлений в падающей, отраженной и прошедшей волнах; $k=ik_0\sin\theta$; $k_0=\omega/c$; ω — угловая частота колебаний, c — скорость звука в окружающей среде.

Поскольку вдоль оси x давление постоянно, то поперечные перемещения плиты будут описываться уравнением



Фиг. 1. Расчетная схема

$$D\frac{d^4w_п}{dy^4}-m_п\omega^2w_п=-\sigma_{z1}(y,-h)+\sigma_{z2}(y,0)+\frac{h}{2}\left[\frac{d\tau_{yz1}(y,-h)}{dy}+\frac{d\tau_{yz2}(y,0)}{dy}\right], \quad (1)$$

где D — цилиндрическая жесткость плиты; $m_п$ — поверхностная плотность плиты, $\sigma_{z1}(y,-h)$ и $\sigma_{z2}(y,0)$ — нормальные напряжения соответственно в первом и втором слое на границе с плитой, $\tau_{yz1}(y,-h)$ и $\tau_{yz2}(y,0)$ — касательные напряжения соответственно в первом и втором слое на границе с плитой, h — толщина плиты.

Уравнения движения слоев имеют вид

$$(\lambda_i+\mu_i)(\partial\xi_i/\partial y)+\mu_i\nabla^2v_i=-\rho_{ci}\omega^2v_i, \quad (2)$$

$$(\lambda_i+\mu_i)(\partial\xi_i/\partial z)+\mu_i\nabla^2w_i=-\rho_{ci}\omega^2w_i,$$

где $\xi_i=\partial v_i/\partial y+\partial w_i/\partial z$, $\nabla^2=\partial^2/\partial y^2+\partial^2/\partial z^2$, λ_i и μ_i — постоянные Ламе, v_i и w_i — смещения в направлении осей y и z, ρ_{ci} — плотность слоя, $i=1, 2$ — номер слоя.

В плоскостях разделов слоев и плиты должны удовлетворяться следующие граничные условия:

$$w_1(y, -h)=w_п, \quad v_1(y, -h)=v_{п1},$$
$$w_2(y, 0)=w_п, \quad v_2(y, 0)=v_{п2}, \tag{3}$$

где $v_{п1}$ и $v_{п2}$ — продольные (в направлении оси y) перемещения соответствующих поверхностей плиты. На внешних поверхностях слоев

$$\tau_{yz1}(y, -h-\delta_1)=0, \quad \tau_{yz2}(y, \delta_2)=0. \tag{4}$$

Из условий неразрывности на тех же поверхностях имеем

$$\begin{aligned} &i\omega w_1(y, -h-\delta_1)=(p_1-p_2)\cos\theta/\rho c, \\ &i\omega w_2(y, \delta_2)=p_3\cos\theta/\rho c, \end{aligned} \tag{5}$$

где δ_1 и δ_2 — толщины слоев, ρ и c — плотность и скорость звука в среде.

Совместные колебания слоев и плиты вызывают продольные деформации срединной плоскости последней под действием касательных напряжений в слоях, поэтому необходимо дополнительно привлечь уравнение продольных колебаний плиты

$$\frac{d^2v_0}{dy^2}+\left(\frac{\omega}{c_п}\right)^2 v_0=\frac{1}{m_п c_п^2}[\tau_{yz1}(y, -h)-\tau_{yz2}(y, 0)], \tag{6}$$

где v_0 — продольные перемещения срединной плоскости плиты, $c_п$ — скорость продольной волны в плите.

Тогда продольные перемещения поверхностей плиты с учетом их деформаций от изгиба будут равны

$$v_{п1}=v_0+\frac{h}{2}\frac{dw_п}{dy}, \quad v_{п2}=v_0-\frac{h}{2}\frac{dw_п}{dy}. \tag{7}$$

Приведенных уравнений достаточно для определения значения звукоизоляции

$$R=-10\lg\int_0^{78^\circ}|p_3/p_1|^2\sin 2\theta\, d\theta. \tag{8}$$

Предварительно из решения уравнений (2) с учетом граничных условий (3) — (5) находим значения поперечных перемещений внешних поверхностей слоев и напряжений в плоскостях контакта слоев с плитой:

$$w_1(y, -h-\delta_1)=-[(p_1+p_2)/m_1\omega^2]\chi_1+v_{п1}\varkappa_1+w_п\varphi_1, \tag{9}$$

$$\sigma_{z1}(y, -h)=-(p_1+p_2)\varphi_1+m_1\omega^2 v_{п1}\beta_1-m_1\omega^2 w_п\psi_1, \tag{10}$$

$$\tau_{yz1}(y, -h)=(p_1+p_2)\varkappa_1+m_1\omega^2 v_{п1}\xi_1-m_1\omega^2 w_п\beta_1, \tag{11}$$

$$w_2(y, \delta)=(p_3/m_2\omega^2)\chi_2-v_{п2}\chi_2+w_п\varphi_2, \tag{12}$$

$$\sigma_{z2}(y, 0)=-p_3\varphi_2+m_2\omega^2 v_{п2}\beta_2+m_2\omega^2 w_п\psi_2, \tag{13}$$

$$\tau_{yz2}(y, 0)=-p_3\varkappa_2-m_2\omega^2 v_{п2}\xi_2-m_2\omega^2 w_п\beta_2, \tag{14}$$

где

$$\chi_i=\frac{\alpha_{i1}}{T_i}\left[\operatorname{sh}\alpha_{i1}\operatorname{ch}\alpha_{i2}-\frac{\gamma_i}{\sqrt{(\gamma_i-1)(\gamma_i-d_i)}}\operatorname{ch}\alpha_{i1}\operatorname{sh}\alpha_{i2}\right],$$

$$\varkappa_i=\frac{\alpha_{i1}\gamma_i}{T_i k\delta_i}\left[2\operatorname{sh}\alpha_{i1}+\frac{1-2\gamma_i}{\sqrt{(\gamma_i-1)(\gamma_i-d_i)}}\operatorname{sh}\alpha_{i2}\right],$$

$$\varphi_i=\frac{1}{T_i}[2\gamma_i\operatorname{ch}\alpha_{i1}+(1-2\gamma_i)\operatorname{ch}\alpha_{i2}],$$

$$\beta_i=\frac{\gamma_i}{T_i k\delta_i}\Big\{2(1-2\gamma_i)(1-4\gamma_i)(1-\operatorname{ch}\alpha_{i1}\operatorname{ch}\alpha_{i2})+$$

$$+\left[8\gamma_i\sqrt{(\gamma_i-1)(\gamma_i-d_i)}-\frac{(1-2\gamma_i)}{\sqrt{(\gamma_i-1)(\gamma_i-d_i)}}\right]\operatorname{sh}\alpha_{i1}\operatorname{sh}\alpha_{i2}\Bigg\},$$

$$\psi_i=\frac{1}{T_i\alpha_{i1}}[(1-2\gamma_i)^2\operatorname{sh}\alpha_{i1}\operatorname{ch}\alpha_{i2}-4\gamma_i\sqrt{(\gamma_i-1)(\gamma_i-d_i)}\operatorname{sh}\alpha_{i2}\operatorname{ch}\alpha_{i1}],$$

$$\xi_i=\frac{1}{T_i\alpha_{i2}}[4\gamma_i\sqrt{(\gamma_i-1)(\gamma_i-d_i)}\operatorname{sh}\alpha_{i1}\operatorname{ch}\alpha_{i2}-(1-2\gamma_i)^2\operatorname{ch}\alpha_{i1}\operatorname{sh}\alpha_{i2}],$$

$$T_i=4\gamma_i(1-2\gamma_i)-\gamma_i\left[\frac{(1-2\gamma_i)^2}{\sqrt{(\gamma_i-1)(\gamma_i-d_i)}}+\right.$$

$$\left.+4\sqrt{(\gamma_i-1)(\gamma_i-d_i)}\right]\operatorname{sh}\alpha_{i1}\operatorname{sh}\alpha_{i2}+[4\gamma_i^2+(1-2\gamma_i)^2]\operatorname{ch}\alpha_{i1}\operatorname{ch}\alpha_{i2},$$

$$m_i=\rho_i\delta_i,\quad \alpha_{i1}=k_i\sqrt{\gamma_i-d_i},\quad \alpha_{i2}=k_i\sqrt{\gamma_i-1},$$

$$k_i=\frac{\omega\delta_i}{c_{i2}},\quad \gamma_i=\left(\frac{c_{i2}}{c}\sin\theta\right)^2;$$

$$d_i=\left(\frac{c_{i2}}{c_{i1}}\right)^2.$$

Здесь c_{i1} и c_{i2} — скорости продольной и поперечной волн в i-м слое.

Пусть на плите расположен сначала только второй слой. После подстановки в уравнение (1) значений напряжений из выражений (13) и (14) и исключения из него посредством уравнений (5) — (7) неизвестных $v_{п2}$, $w_п$ и p_2 получим

$$(p_3/p_1)=-2B[(-\nu+1-i/\Delta_п)A+C]^{-1}, \tag{15}$$

где

$$A=\frac{m_п}{m_2}\left[\varkappa_2^2-(\chi_2+i\Delta_2)\left(\frac{n}{m_2\omega^2}-\xi_2\right)\right],$$

$$B=\varphi_2\left(\frac{n}{m_2\omega^2}-\xi_2\right)-\varkappa_2\left(\frac{n}{m_2\omega^2}+\beta_2\right),$$

$$C=A\frac{m_2}{m_п}\left(\psi_2+\beta_2\frac{kh}{2}\right)-B\left(\varphi_2-\varkappa_2\frac{kh}{2}\right)+$$

$$+\left(\beta_2+\xi_2\frac{kh}{2}\right)\left[\varkappa_2\varphi_2-(\chi_2+i\Delta_2)\left(\frac{n}{m_2\omega^2}\frac{kh}{2}+\beta_2\right)\right],$$

$$\Delta_п=\frac{m_п\omega}{\rho c}\cos\theta,\quad \Delta_2=\frac{m_2\omega}{\rho c}\cos\theta,$$

$$\nu=\frac{Dk^4}{m_п\omega^2},\quad n=\frac{E_п h}{1-\sigma_п^2}\left(\frac{\omega^2}{c_п^2}+k^2\right).$$

Здесь $E_п$ и $\sigma_п$ — модуль Юнга и коэффициент Пуассона материала плиты.

Для перехода к звукоизоляции двухслойной плитой в уравнении (15) достаточно принять $c_{22}>(3-4)$ с $(\gamma_2\gg1)$ и $\omega<c/2\delta_2\sin\theta$ $(k_2\gamma_2^{1/2}<0{,}5)$, что позволяет заменить гиперболические функции первыми двумя членами их разложения в ряд. В частности, при одинаковых параметрах слоя и плиты мы приходим к звукоизоляции плитой удвоенной толщины.

Однако наибольший интерес представляет случай плиты с мягким слоем. Если $\gamma_2\ll1$ (достаточно, чтобы $c_{22}<c/3$), то

$$\varphi_2-(kh/2)\varkappa_2\approx\cos^{-1}k_{21},\quad \chi_2\approx-k_{21}\operatorname{tg}k_{21},$$

$$\psi_2+kh\beta_2+(kh/2)^2\xi_2\approx\operatorname{tg}k_{21}/k_{21},\quad k_{21}=\omega\delta_2/c_{21}$$

и, кроме того, в формуле (15) можно ограничиться только членами, содержащими $n/m_2\omega^2$. Это означает, что деформациями срединной плоскости

плиты можно пренебречь и принять $v_0=0$. В результате формула (15) принимает вид

$$(p_3|p_1)^{-1}=\cos k_{21}-(1-\nu)\frac{m_{\text{п}}k_{21}}{2m_2}\sin k_{21}+ \tag{16}$$
$$+i\frac{\Delta_{\text{п}}}{2}\left[(1-\nu)\cos k_{21}+\frac{m_2}{m_{\text{п}}k_{21}}\sin k_{21}\right].$$

Учтем внутреннее трение в материалах плит и упругого слоя путем введения комплексных модулей Юнга плиты $\bar{E}_{\text{п}}=E_{\text{п}}(1+i\eta_{\text{п}})$ и слоя $E_{\text{с}}=E_{\text{с}}(1+i\eta_{\text{с}})$, где $\eta_{\text{п}}$, $\eta_{\text{с}}$ — коэффициенты потерь в плите и слое. Тогда при $\Delta_2\eta_{\text{с}}$ и $\Delta_{\text{п}}\eta_{\text{п}}\gg 1$

$$(p_3/p_1)^{-1}=\frac{\Delta_{\text{п}}}{2}\operatorname{ch}\frac{1}{2}\eta_{\text{с}}k_{21}\left\{-\left[(1-\nu)\operatorname{th}\frac{1}{2}\eta_{\text{с}}k_{21}+\right.\right. \tag{17}$$
$$\left.+\frac{1}{2}\eta_{\text{с}}\frac{m_2}{m_{\text{п}}k_{21}}\right]\sin k_{21}+\left(\eta_{\text{п}}\nu+\frac{m_2}{m_{\text{п}}k_{21}}\operatorname{th}\frac{1}{2}\eta_{\text{с}}k_{21}\right)\cos k_{21}+$$
$$+i\left[\left(1-\nu+\frac{1}{2}\eta_{\text{с}}\frac{m_2}{m_{\text{п}}k_{21}}\operatorname{th}\frac{1}{2}\eta_{\text{с}}k_{21}\right)\cos k_{21}+\right.$$
$$\left.\left.+\left(\frac{m_2}{m_{\text{п}}k_{21}}+\nu\eta_{\text{п}}\operatorname{th}\frac{1}{2}\eta_{\text{с}}k_{21}\right)\sin k_{21}\right]\right\}.$$

На частотах, при которых $k_{21}<0{,}5$, формула (17) упрощается:

$$(p_3/p_1)^{-1}=1+\frac{\Delta_0}{2}\left[\nu_0\eta_{\text{п}}-\frac{1}{2}(1-\nu_0)\eta_{\text{с}}k_{21}^2+(m_2/3m_0)\eta_{\text{с}}k_{21}^2+\right. \tag{18}$$
$$\left.+i(1-\nu_0)\right],$$

где $m_0=m_{\text{п}}+m_2$, $\nu_0=Dk^4/m_0\omega^2$.

Отсюда следует, что звукоизоляция плитой с упругим слоем, в котором длина поперечной волны меньше одной трети звуковой волны в окружающей среде, а длина продольной волны в слое больше 12-кратной его толщины, не отличается от звукоизоляции однослойной плитой с той же цилиндрической жесткостью D, поверхностной плотностью m_0 и коэффициентом потерь $\eta_{\text{п}}+\frac{1}{3}\eta_{\text{с}}k_{21}^2m_2/m_0$.

Простые формулы звукоизоляции можно получить и при $k_{21}>\pi/2$, если произвести усреднение значения звукопроницаемости в постоянном относительном частотном интервале. Основную роль в быстром изменении звукопроницаемости играют функции синуса и косинуса, поэтому при интегрировании члены при синусах и косинусах можно считать постоянными. Средние же значения $\sin^2 k_{21}$ и $\cos^2 k_{21}$ близки к $^1/_2$, а $\sin k_{21}\cos k_{21}$ к нулю. В этом случае для частот ниже граничной частоты плиты $\omega_{\text{гр}}=c^2\sqrt{m_{\text{п}}/D}$ значение дополнительной звукоизоляции при облицовке плиты упругим слоем будет

$$\Delta R=10\lg\left[1+(\rho_{\text{с}}c_{21}/m_{\text{п}}\omega^2)\right]\operatorname{ch}\eta_{\text{с}}k_{21}-3. \tag{19}$$

Следовательно, на частотах $c_{21}/4\delta_2<f<c_{21}/4\pi\delta_2\eta_{\text{с}}$ значение дополнительной звукоизоляции не связано с толщиной слоя, уменьшается с частотой и зависит только от отношения волнового сопротивления упругого слоя $\rho_{\text{с}}c_{21}$ к инерционному сопротивлению плиты $m_{\text{п}}\omega$.

Для частот выше граничной, подставив в формулу (8) выражение (17) и используя приемы интегрирования, приведенные в работе [3], получим при $\rho_{\text{с}}c_{21}/m_{\text{п}}\omega<0{,}1$

$$\Delta R=10\lg\left[\operatorname{ch}\eta_{\text{с}}k_{21}+(\rho_{\text{с}}c_{21}/m_{\text{п}}\omega\eta_{\text{п}})\operatorname{sh}\eta_{\text{с}}k_{21}\right]-3. \tag{20}$$

При исследовании звукоизоляции плитой, облицованной упругими слоями с двух сторон, ограничимся случаем облицовки плиты мягкими

слоями, для которых γ_1 и $\gamma_2 \ll 1$. При этом, как уже указывалось, можно положить $v_0=0$. Тогда из уравнений (1), (3) – (5), (7), (9) – (14) получим

$$(p_3/p_1)=2i\Delta_1\Delta_2\left(\varphi_1-\frac{kh}{2}\varkappa_1\right)\left(\varphi_2-\frac{kh}{2}\varkappa_2\right)\left\{\Delta_2(\chi_1+\right.$$

$$+i\Delta_1)\left(\varphi_2-\frac{kh}{2}\varkappa_2\right)+\Delta_1(\chi_2+i\Delta_2)\left(\varphi_1-\frac{kh}{2}\varkappa_1\right)+$$

$$\left.+(\chi_1+i\Delta_1)(\chi_2+i\Delta_2)[(1-\nu)\Delta_п+\Delta_1N_1+\Delta_2N_2]\right\}^{-1},$$

где

$$N_i=\psi_i+\left(\frac{kh}{2}\right)^2\xi_2+kh\beta_i,\quad \Delta_i=\frac{m_i\omega}{\rho c}\cos\theta\quad (i=1,2).$$

Рассмотрим более подробно звукоизоляцию плитой, облицованной одинаковыми слоями. Обозначим $m_1=m_2=m$, $\delta_1=\delta_2=\delta$, $c_{11}=c_{21}=c_1$; $\Delta_1=\Delta_2=\Delta$, $k_1=\omega\delta/c_1$. С учетом приближенных значений φ_i, $\varkappa_i$, χ_i, ψ_i, ξ_i, β_i при γ_1 и $\gamma_2\ll 1$ и $(\rho_c c_1/\rho c)\cos\theta\gg 1$ имеем

$$(p_3/p_1)^{-1}=\cos 2k_1-\frac{m_п k_1}{2m_2}(1-\nu)\sin 2k_1+$$

$$+i\frac{\Delta_п}{2}\left[(1-\nu)\cos^2 k_1+\frac{m_2}{m_п k_1}\sin 2k_1\right].$$

Полагая далее значения модулей Юнга плиты и упругих слоев комплексными, получим

$$(21)\qquad (p_3/p_1)^{-1}=\left(\operatorname{ch}\eta_c k_1+\frac{1}{2}\Delta_п\alpha\operatorname{sh}\eta_c k_1+\frac{1}{2}\Delta_п\nu\eta_п\times\right.$$

$$\left.\times\operatorname{ch}^2\frac{1}{2}\eta_c k_1\right)\cos 2k_1-\frac{\Delta_п}{4}(1-\nu)\operatorname{sh}\eta_c k_1\sin 2k_1-$$

$$-\left[\frac{1}{2\alpha}(1-\nu)+\frac{\Delta_п\alpha}{4}\eta_c\right]\operatorname{ch}\eta_c k_1\sin 2k_1+$$

$$+\frac{\Delta_п}{2}\nu\eta_п\sin^2 k_1+i\frac{\Delta_п}{2}\left[(1-\nu)\operatorname{ch}^2\frac{1}{2}\eta_c k_1\cos 2k_1+\right.$$

$$\left.+\frac{\alpha}{2}\eta_c\operatorname{sh}\eta_c k_1\cos 2k_1+\alpha\operatorname{ch}\eta_c k_1\sin 2k_1+(1-\nu)\sin^2 k_1\right],$$

где $\alpha=\rho_c c_1/m_п\omega$. При $k_1<0{,}5$

$$(p_3/p_1)^{-1}=1+\frac{\Delta_0}{2}\left[\nu_0\eta_п-(1-\nu_0)\eta_c k_1^2+\frac{2}{3}\frac{m}{m_0}\eta_c k_1\right]+i\frac{\Delta_0}{2}(1-\nu_0),$$

где $\Delta_0=\Delta_п+2\Delta$, $m_0=m_п+2m$, $\nu_0=Dk^4/m_0\omega^2$.

Отсюда следует, что при отсутствии волновых явлений в упругих слоях звукоизоляция данной конструкцией описывается звукоизоляцией однослойной плитой с той же цилиндрической жесткостью D, поверхностной плотностью m_0 и приведенным коэффициентом потерь $\eta=\eta_п+{}^2/_3\eta_c k_1^2 m/m_0$.

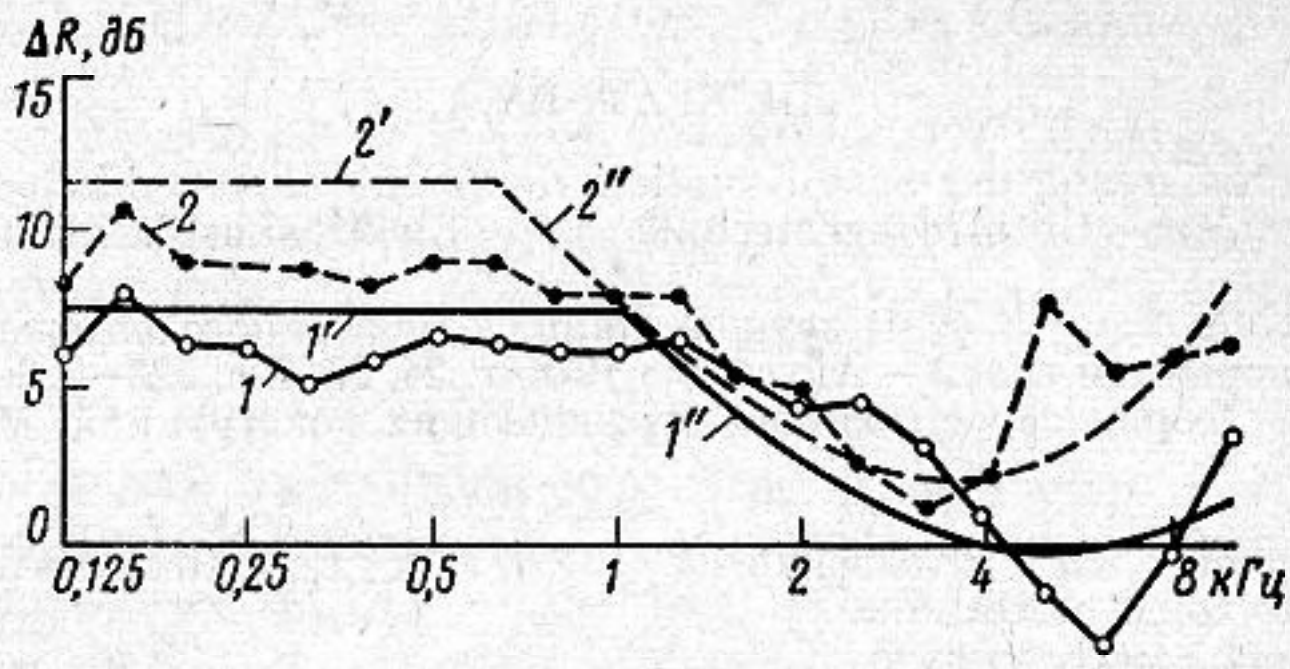
При усреднении по частоте квадрата абсолютного значения (21) значение дополнительной звукоизоляции в частотном диапазоне $\pi c_1/2\delta<\omega<0{,}5\omega_{гр}$ будет

$$(22)\qquad \Delta R=10\lg\{1+[{}^1/_2+2(\rho_c c_1/m_п\omega)^2]\operatorname{ch}^2\eta_c k_1\}-6,$$

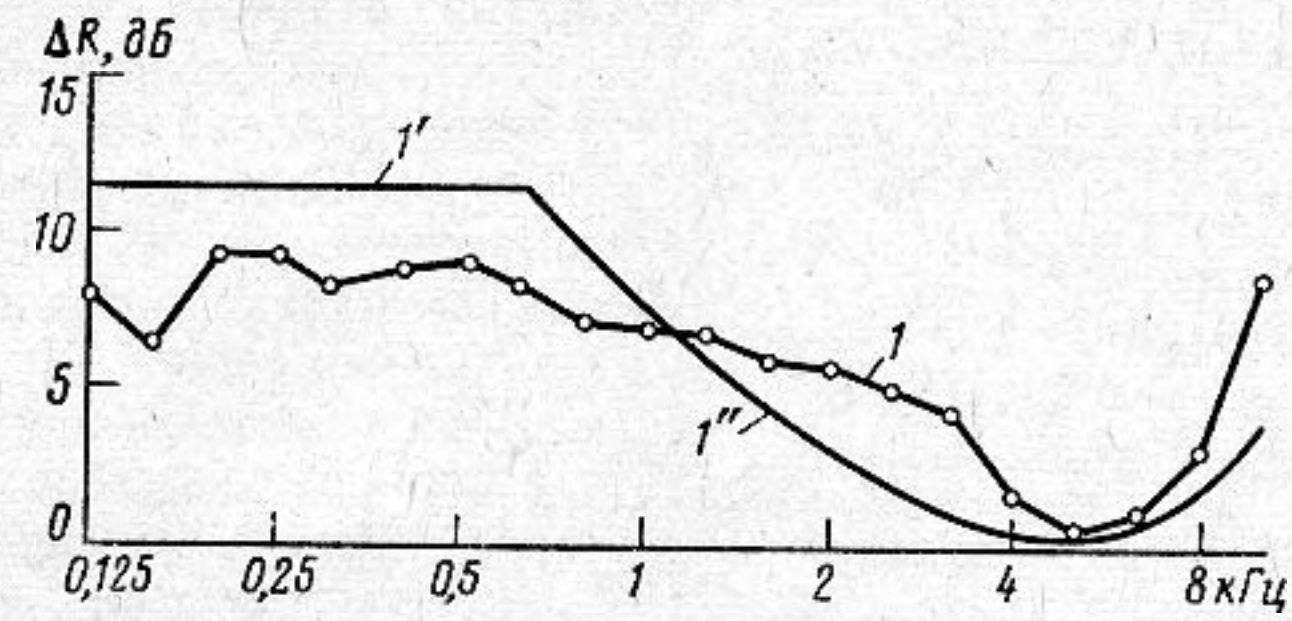
а на частотах выше граничной, поступая так же, как при выводе формулы (20), получим для $\rho_c c_1/m_п\omega<0{,}1$:

$$(23)\qquad \Delta R=5\lg[(\rho_c c_1/m_п\omega\eta_п)^2(1+0{,}5\operatorname{ch}2\eta_c k_1)\operatorname{ch}2\eta_c k_1]-3.$$

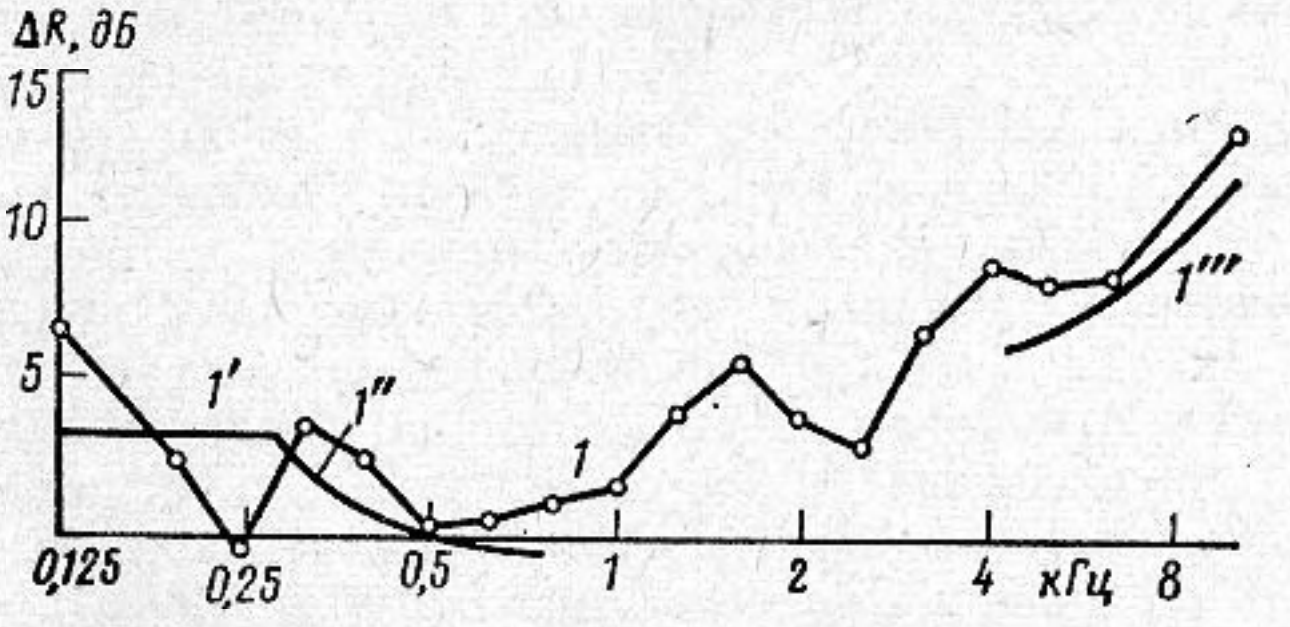
Из сравнения формул (19) и (20) соответственно с формулами (22) и (23) следует, что предпочтительнее облицовка плиты с одной стороны, поскольку в этом случае с ростом частоты звукоизоляция может превышать до 6 дБ звукоизоляцию плитой, облицованной упругими слоями с двух сторон, на частотах ниже граничной и до 1,5 дБ — на частотах выше граничной частоты при одинаковой общей толщине упругих слоев δ_0. На частотах ниже $\omega<0{,}7c_1/\delta_0\eta_c$ звукоизоляция практически не зависит от вида облицовки. Меньшая звукоизоляция на высоких частотах при



Фиг. 2. Дополнительная звукоизоляция стальным листом толщиной 0,25 мм при его облицовке слоем резины с одной стороны, *1* – измеренные значения при толщине слоя 9,3 мм, *1'* – вычисленные значения по закону массы, *1''* – вычисленные по формуле (19), *2* – измеренные значения при толщине слоя 18,6 мм, *2'* – вычисленные значения по закону массы, *2''* – вычисленные по формуле (19)



Фиг. 3. Дополнительная звукоизоляция стальным листом толщиной 0,25 мм при его облицовке слоями резины толщиной по 9,3 мм с двух сторон, *1* – измеренные значения, *1'* – вычисленные значения по закону массы, *1''* – вычисленные по формуле (22)



Фиг. 4. Дополнительная звукоизоляция ребристой плитой при ее облицовке слоем резины толщиной 18,6 мм с одной стороны, *1* – измеренные значения, *1'* – вычисленные по закону массы, *1''* – вычисленные по формуле (19); *1'''* – вычисленные по формуле (20)

двухсторонней облицовке связана с более сильными в этом случае резонансными колебаниями слоев.

Измерения звукоизоляции проводились в акустических камерах на образцах размерами в плане 1280×680 мм. Плитами служили стальной лист толщиной 0,25 мм и ребристая плита из алюминиевого сплава с $m_п$=

$=11{,}5$ кг/м^2, $\omega_{гр}=10^4$ Гц и $\eta_п=0{,}04$. В качестве упругого слоя использовалась пористая резина с волновым сопротивлением $\rho_c c_1=4{,}15\cdot10^4$ кг/м^{2}с и коэффициентом потерь на высоких частотах $\eta_c=0{,}4$. Результаты измерений приведены на фиг. 2–4 в виде разности между измерениями звукоизоляции плитами, облицованными и необлицованными резиной. Видно, что формулами (19) и (22) можно пользоваться вплоть до частоты $\omega_0=\rho_c c_1/m_0\sqrt{2}$, при которой кривые, соответствующие значениям дополнительной звукоизоляции по закону массы и по формулам (19) и (22), пересекаются.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Stöbe H. D.* Verbesserung der Schallisolation von Trennwänden durch Anbringen poroser Materialen.— Hochfrequenztechnik und Elektroakustik, 1970, v. 79, № 6, p. 209–216.
2. *Заборов В. И., Зудихин В. В.* О звукоизоляции однослойного ограждения с дополнительным пористым слоем.— Акуст. ж., 1978, т. 24, № 4, с. 523–528.
3. *Заборов В. И.* Теория звукоизоляции ограждающих конструкций. М.: Стройиздат, 1969.

Всесоюзный научно-исследовательский институт охраны труда и техники безопасности черной металлургии

Поступила в редакцию 19.XII.1980