

4. T. O. Woodruff, H. Ehrenreich. Absorption of sound in insulators. Phys. Rev., 1961, 123, 1553—1558.  
 5. B. Desilets, R. Meister. Ultrasonic attenuation in  $Al_2O_3$ . J. Appl. Phys., 1965, 36, 2, 621—624.

Казанский физико-технический институт  
АН СССР

Поступило в редакцию  
23 января 1967 г.

УДК 534.833.522.2

## О ПЕРЕДАЧЕ УДАРНОГО ШУМА ОДНОСЛОЙНЫМИ ПЕРЕКРЫТИЯМИ

В. И. Заборов

В работе Кремера [1] исследовалась передача звука плитой неограниченной протяженности, возбуждаемой сосредоточенной силой; были указаны параметры плиты (плотность, модуль Юнга, толщина) и частота колебаний и дана количественная оценка их влияния на величину излучаемой мощности. Ниже получено простое выражение приведенного уровня ударного шума под однослойным перекрытием при предположениях, более близких к действительным условиям излучения.

Если длина изгибной волны в плите меньше шестикратной ее толщины, то колебательная скорость прямоугольной шарнирно опертой плиты со сторонами  $a$ ,  $b$ , массой на единицу площади  $m_n$  под действием периодической последовательности ударов с импульсом  $I$ , приложенных в точке  $(x_0, y_0)$  при частоте собственных колебаний плиты  $\bar{p}_{mn} = p_{mn}(1 + 0,5i\eta)$ , будет [2]

$$v_{mn} = - \frac{I}{Sm_n} \frac{\sin(\bar{p}_{mn}t - T/2)}{\sin \bar{p}_{mn}T/2} \sin \frac{m\pi x_0}{a} \sin \frac{n\pi y_0}{b} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b},$$

причем  $p_{mn} < 2,3/\tau$  где  $\eta$  — коэффициент потерь плиты,  $S = a, b$ ,  $\tau$  — продолжительность удара.

Усредненное за промежуток времени  $T$  между ударами, а также по площади и по месту приложения импульсов значение квадрата абсолютной величины скорости плиты имеет вид

$$\langle v_{mn}^2 \rangle = \frac{I^2}{2(Sm_n)^2} \frac{1}{p_{mn}T\eta}.$$

Известно [3], что число частот собственных колебаний прямоугольной плиты в интервале  $d\omega$  составляет  $dN = \sqrt{m_n/D(S/4\pi)} d\omega$ , где  $D$  — цилиндрическая жесткость плиты. Отсюда для частотных полос, равных  $1/\nu$  октавы, больших по сравнению с интервалом между частотами собственных колебаний плиты, находим среднюю величину квадрата колебательной скорости

$$\langle v^2 \rangle = \int_{p_{mn}}^{p_{mn}^{(1+\nu)}} \langle v_{mn}^2 \rangle dN = \frac{I^2 \ln(1 + 1/\nu)}{8\pi S m_n^{1,5} D^{0,5} \eta}.$$

Звуковая мощность, излучаемая плитой площадью  $S$  при частотах выше граничной  $f_{гр}$  (для перекрытий  $f_{гр} = 120-150$  гц), равна  $P = z_0 \langle v^2 \rangle S = z_0 v_0^2 S 10^{0,1V}$ , где  $z_0$  — удельное акустическое сопротивление воздуха,  $v_0 = 5 \cdot 10^{-8}$  м/сек — пороговая колебательная скорость,  $V$  — уровень вибрации плиты. С другой стороны, мощность диффузного звука в помещении с общим звукопоглощением  $A$  связана с эффективным значением звукового давления  $p$  и уровнем шума  $L$  зависимостью  $\bar{P} = 0,25Ap^2/z_0 = 0,25Az_0v_0^2 10^{0,1L}$ .

Отсюда следует, что

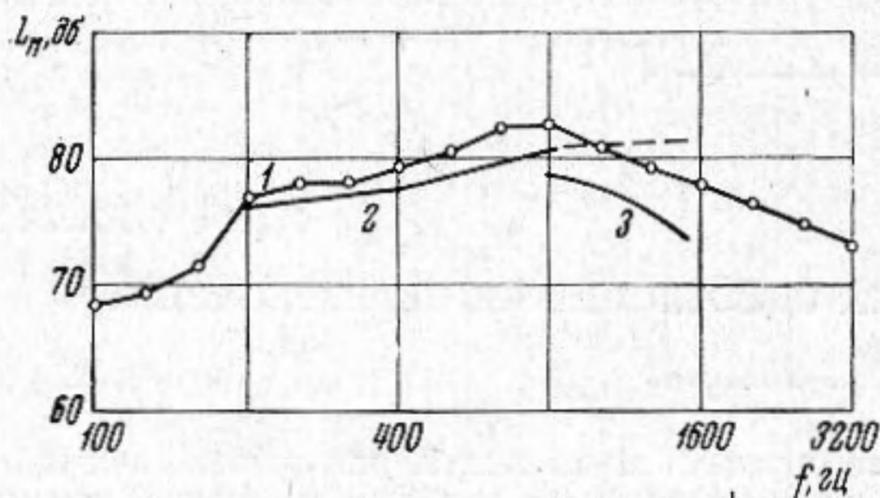
$$L = V + 10 \lg \frac{4S}{A} = 10 \lg \frac{\ln(1 + 1/\nu)}{2\pi v_0^2} \frac{I^2}{m_n^{1,5} D^{0,5} A T \eta}.$$

На практике в качестве источника ударного шума используется стандартная ударная машина, которая представляет собой систему молотков с массой 0,5 кг каждый, свободно падающих с высоты 4 см и создающих периодическую последовательность ударов через  $T = 0,1$  сек; при этом  $I = 0,44(1 + \gamma)$  кгм/сек, где  $\gamma$  — коэффициент восстановления при ударе, равный по данным измерений [4] около 0,8. Результаты измерений приводятся к октавным полосам частот ( $\nu = 1$ ) и стандартному зву-

поглощению  $A = 10 \text{ м}^2$ . Приведенный уровень ударного шума при этих условиях будет

$$L_n = 140 - 10 \lg k \rho^{1,5} E^{0,5} h^3 \eta, \quad (1)$$

где  $k = 1 \text{ м}^2 \text{ сек}/\text{кг}^2$ ,  $\rho$  — плотность материала плиты в  $\text{кг}/\text{м}^3$ ,  $E$  — модуль Юнга в  $\text{н}/\text{м}^2$ ,  $h$  — толщина в м. Приведенный уровень шума зависит, в частности, от величины коэффициента потерь  $\eta$ , не учитываемого Кремером, и в явном виде не зависит от частоты.

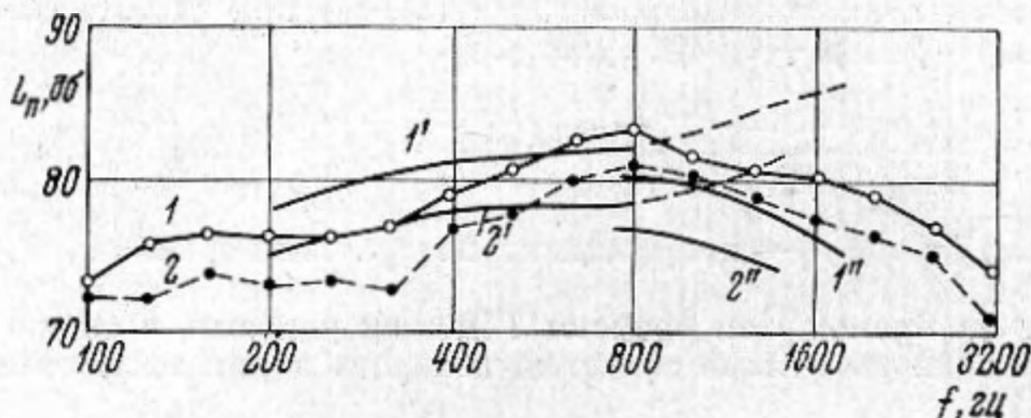


Фиг. 1

Сумма величин приведенного уровня  $L_n$  ударного шума по формуле (1) и изоляции  $R$  от воздушного шума плиты по данным работы [5] при  $f > 2f_{гр}$  равна  $L_n + R = 30 \lg f / f_0$ , где  $f_0 = 1/34 \text{ гц}$ , что с точностью до постоянной  $f_0$  совпадает с выражением, полученным в работе [6] другим путем.

На фиг. 1 представлены частотные характеристики приведенного уровня ударного шума под железобетонной плитой толщиной 12 см. Кривая 1 — измеренная\*; 2 — вычисленная по формуле (1) и 3 — вычис-

ленная по формуле работы [4], учитывающей влияние местного смятия в точке удара на величину уровня шума под перекрытием, при  $\tau = 0,55 \text{ мсек}$ . На фиг. 2 приведены величины  $L_n^*$  для шлакопемзобетонных плит толщиной 10 [1] и 14 см [2]. Вычислен-



Фиг. 2

ные по формуле (1) и формуле работы [4] частотные характеристики приведенного уровня шума обозначены теми же цифрами, что и соответственные измеренные величины, с одним и двумя штрихами ( $\tau = 0,6 \text{ мсек}$ ). Некоторое повышение уровня при частотах  $f < 0,45 / \tau$  вызвано уменьшением величины коэффициента потерь плит с частотой.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Н. и Л. Кремер. Theorie der Entstehung des Klopfeschalls. Frequenz, 1948, 2, 3, 61—81.
2. В. И. Заборов. Теория звукоизоляции ограждающих конструкций. М., Госстройиздат, 1962.
3. E. J. Skudrzyk. Vibrations of a system with a finite or an infinite number of resonances. J. Acoust. Soc. America, 1958, 9, 5, 371—380.
4. В. И. Заборов, Г. С. Росин, Л. П. Тюменцева. О снижении ударного шума рулонными полами. Акуст. ж., 1966, 12, 3, 301—305.
5. L. Cremer. Theorie der Schalldämmung dünner Wände bei schrägem Einfall. Akust. Zts., 1942, 7, 81—101.
6. M. Heckl, E. J. Ratche. Relationship between the transmission loss and the impact-noise isolation of floor structures. J. Acoust. Soc. America, 1963, 35, 11, 1825—1830.

Уральский н.-и. и проектный институт строительных материалов  
Челябинск

Поступило в редакцию  
27 ноября 1966 г.

\* Измерения звукоизоляции проводили Э. В. Ретлинг и Л. П. Тюменцева, измерения коэффициентов потерь плит — Л. Н. Клячко и О. И. Руденко, измерения продолжительности удара молотка стандартной ударной машины по плитам — Г. С. Росин.