АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Том XII 1966 Вып. 3

УДК 534.833.6:69.025

О СНИЖЕНИИ УДАРНОГО ШУМА РУЛОННЫМИ ПОЛАМИ

В. И. Заборов, Г. С. Росин, Л. П. Тюменцева

На основе второго приближения для выражения силы взаимодействия между плитой и молотком ударной машины оценивается точность полученной ранее формулы, определяющей снижение уровня ударного шума, вследствие деформации смятия в месте удара. Описана установка для измерения времени удара, приводятся результаты измерений времени удара и снижения уровня ударного шума при различных типах рулонных полов. Вычисленные значения удовлетворительно совпадают с измеренными.

В работе [1] изложен метод расчета изоляции перекрытий от ударного шума с учетом деформации смятия в месте удара. Расчет основан на задании закона изменения во времени силы взаимодействия $P(t)$ между молотком ударной машины и плитой в виде

$$P_1(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } t < 0, \\ a_1 t(\tau - t) & \text{при } 0 < t < \tau, \\ 0 & \text{при } \tau < t < T, \end{cases}$$

где τ — время удара, T — время между ударами, a_1 — коэффициент пропорциональности. Получена простая формула, определяющая снижение уровня ударного шума, вследствие наличия местного смятия

$$\Delta L = 40 \lg f / f_0, \tag{1}$$

где f — частота колебаний, $f_0 = 0{,}465 / \tau$.

Для оценки точности полученного решения возьмем второе приближение для выражения силы удара при $0 < t < \tau$ в виде

$$P_2(t) = a_1 t(\tau - t) + a_2 t^2 (\tau - t)^2,$$

где a_2 — коэффициент пропорциональности.

Следуя методу, изложенному в работах [1, 2], получим выражения чисто периодических колебательных смещений прямоугольной шарнирно опертой плиты со сторонами a, b под действием периодически следующих ударов в центре плиты при $0 < t < \tau$:

$$w_1 = \frac{4}{M_2} \sum_{m,n} (-1)^{(m+n)/2-1} \left\{ \frac{P_2}{\lambda^2_{mn}} + \frac{2S \cos \lambda_{mn}\left(t + \frac{T-\tau}{2}\right)}{\lambda^4_{mn} \sin \lambda_{mn} T/2} + \right.$$

$$+ a_1 \left[2/\lambda^4_{mn} (1 - \cos \lambda_{mn} t) - \frac{\tau}{\lambda^3_{mn}} \sin \lambda_{mn} t \right] +$$

$$\left. + a_2 \left[\frac{12\tau t}{\lambda^4_{mn}} - \frac{12\tau}{\lambda^5_{mn}} \sin \lambda_{mn} t + \frac{8(3-\beta^2)}{\lambda^6_{mn}} (1 - \cos \lambda_{mn} t) \right] \right\} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b}$$

и при $\tau < t < T$

$$w_2 = \frac{8}{M_2} \sum_{m,\,n} (-1)^{(m+n)/2-1} \frac{S}{\lambda_{mn}^4 \sin \lambda_{mn} T/2} \times$$

$$\times \cos \lambda_{mn} \left(t - \frac{T+\tau}{2} \right) \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b},$$

причем

$$S = a_1 (\sin \beta - \beta \cos \beta) + \frac{4a_2}{\lambda_{mn}^2} [3 (\sin \beta - \beta \cos \beta) - \beta^2 \sin \beta], \qquad \beta = \frac{\lambda_{mn} \tau}{2}$$

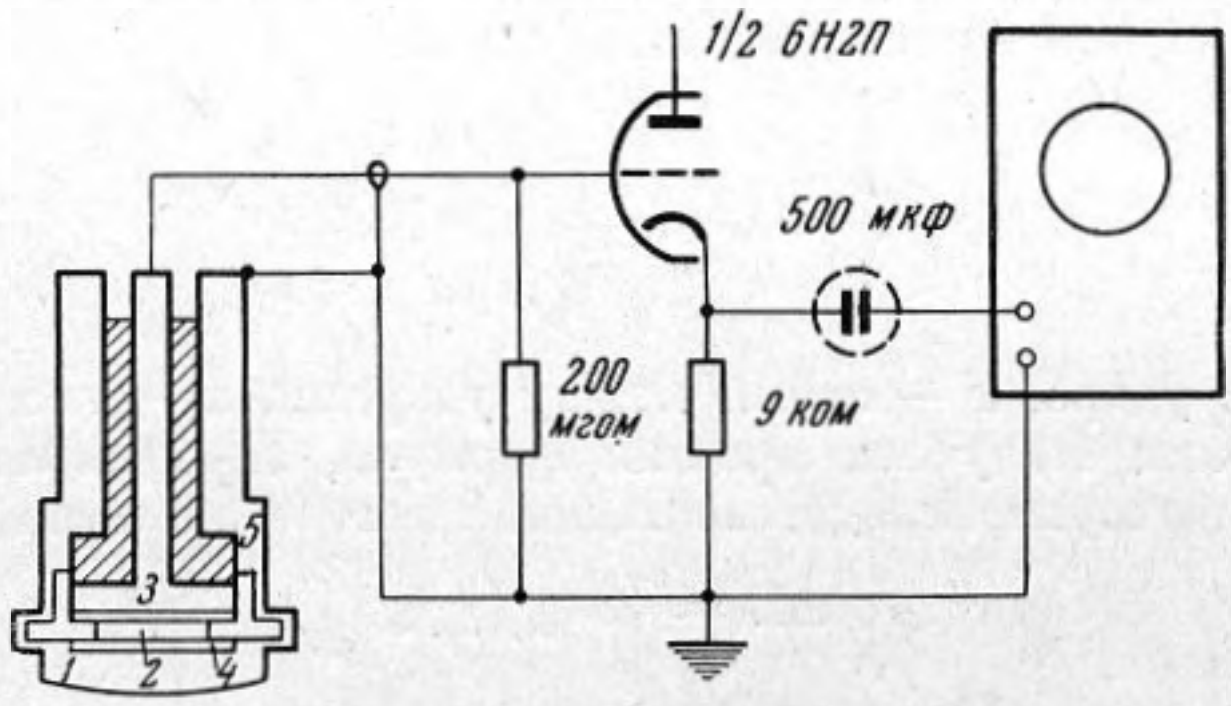
λ_{mn} — частота собственных колебаний плиты, M_2 — ее масса. Значения a_1 и a_2 определим по методу Б. Г. Галеркина [3] из системы уравнений:

$$\int_0^\tau \left(M_1 \frac{d^2 s}{dt^2} + P_2 \right) t (\tau - t)\, dt = 0,$$

$$\int_0^\tau \left(M_1 \frac{d^2 s}{dt^2} + P_2 \right) t^2 (\tau - t)^2\, dt = 0,$$

$$M_1 v = \int_0^{\tau/2} P_2(t)\, dt.$$

Здесь M_1 — масса молотка ударной машины, $s = kP_2^{2/3} + w_1$ — полное смещение молотка в процессе удара, k — коэффициент пропорциональности,



Фиг. 1

v — скорость молотка в момент соприкосновения с плитой. После интегрирования и исключения из уравнений k и a_2 получим $\varkappa^{13} - 4{,}37 \cdot 10^2 \varkappa^{12} + 8{,}05 \cdot 10^4 \varkappa^{11} - 8{,}50 \cdot 10^6 \varkappa^{10} + 5{,}44 \cdot 10^8 \varkappa^9 - 2{,}20 \cdot 10^{10} \varkappa^8 + 5.70 \cdot 10^{11} \varkappa^7 - 1{,}18 \cdot 10^{13} \varkappa^6 + 2{,}83 \cdot 10^{14} \varkappa^5 - 6{,}94 \cdot 10^{15} \varkappa^4 + 1{,}19 \cdot 10^{17} \varkappa^3 - 1{,}25 \cdot 10^{18} \varkappa^2 + 8{,}56 \cdot 10^{18} \varkappa - 3{,}24 \cdot 10^{19} = 0$, где $\varkappa = a_1 \tau^3 / M_1 v$. Это уравнение имеет три действительных корня: $\varkappa_1 = 11{,}5$, $\varkappa_2 = 21{,}9$ и $\varkappa_3 = 168{,}4$. Так как первый корень по своему значению наиболее близок к $a_1 \tau^3 / M_1 v$, полученному в первом приближении, то этот корень и является вторым приближением. На это указывают и результаты измерений. Таким образом,

$$a_1 = \frac{11{,}5 M_1 v}{\tau^3}, \qquad a_2 = \frac{2{,}5 M_1 v}{\tau^5}.$$

Среднее значение квадрата колебательной скорости смещения плиты теперь будет

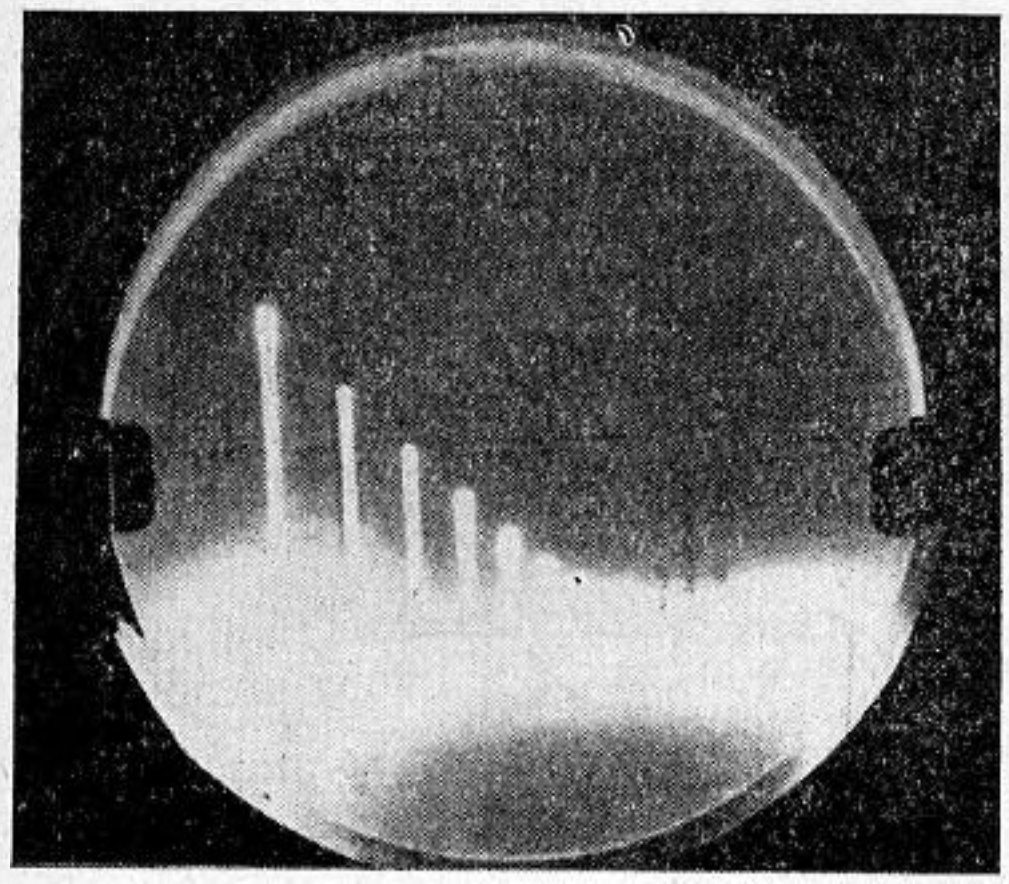
$$\dot{w}_{\text{ср}}^2 = \frac{32 S^2}{M_2^2 T \eta \lambda_{mn}^7}, \tag{2}$$

где η — коэффициент потерь. Величина снижения уровня ударного шума вследствие местного смятия равна

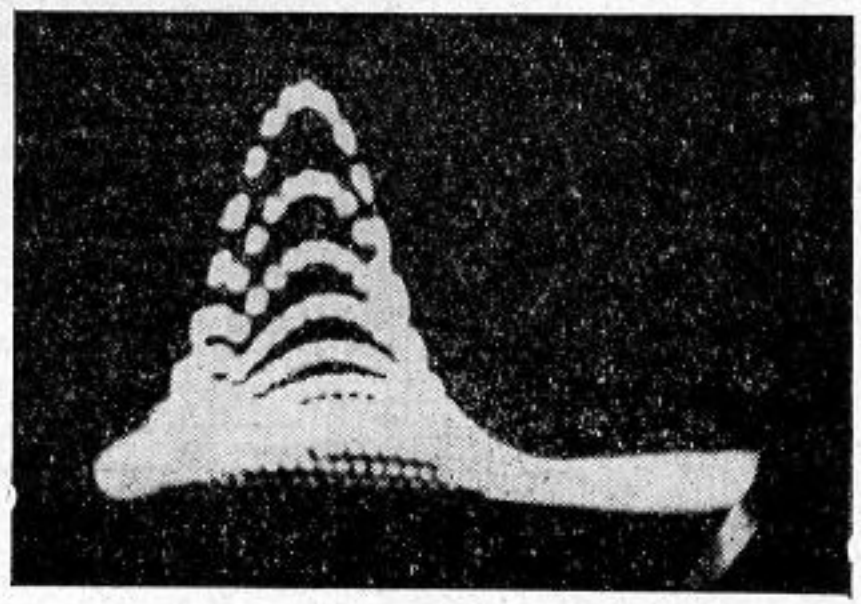
$$\Delta L = 10 \lg \frac{16\beta^{10}}{\{11{,}5\beta^2(\sin\beta - \beta\cos\beta) + 2{,}5[3(\sin\beta - \beta\cos\beta) - \beta^2\sin\beta]\}^2}. \quad (3)$$

При $\beta > 3$, полагая $\lambda_{mn} = 2\pi f$, приходим к формуле (1), причем $f_0 = 0{,}454/\tau$. Найденное значение f_0 во втором приближении отличается от f_0 первого приближения лишь на 2,4%.

Для измерения времени удара был сконструирован специальный

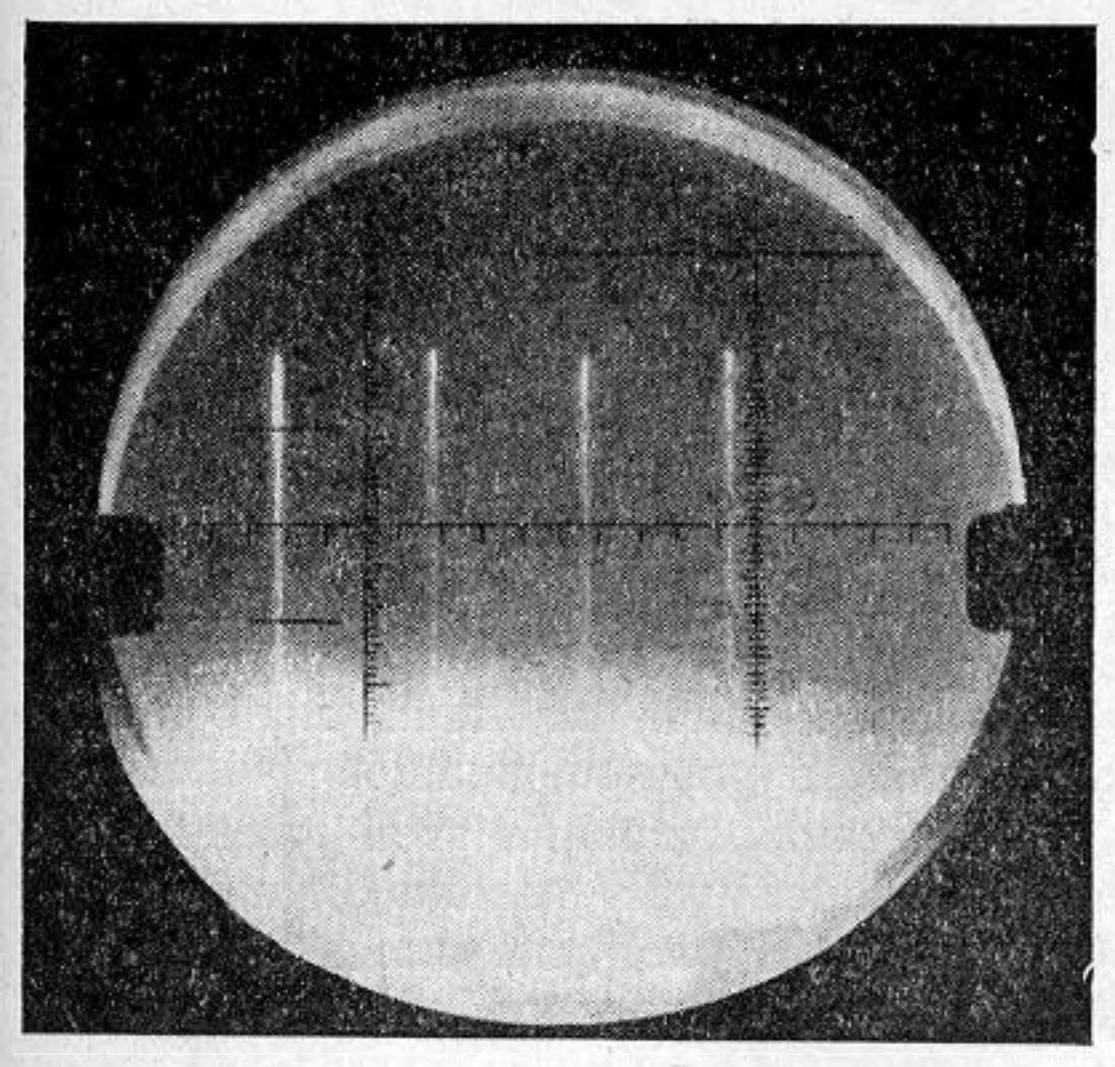


Фиг. 2

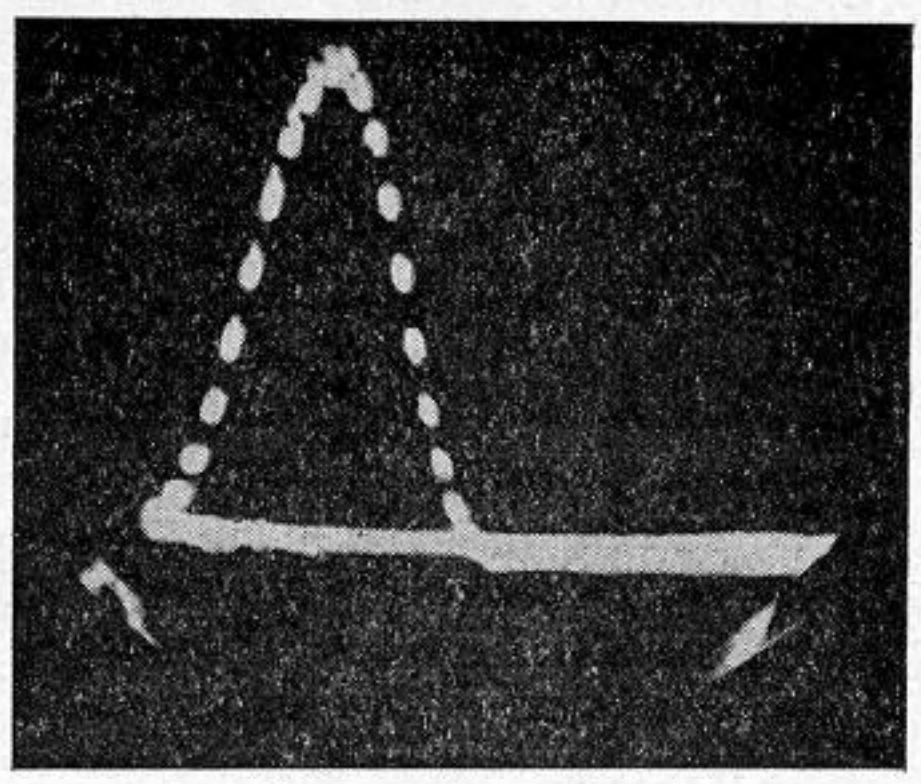


Фиг. 3

датчик (фиг. 1), представляющий собой молоток ударной машины, между головкой *1* и корпусом *5* которого вмонтирован пьезоэлемент *2* — пластинка из керамики титаната бария. Пьезоэлемент зажимался между заземленной головкой молотка *1* и изолированным электродом *3* через две свинцовые шайбы *4* толщиной 1 *мм*. Молоток с пьезоэлементом ввертывался в рычаг ударной машины. Электрод *3* соединялся коротким отрезком коаксиального кабеля с



Фиг. 4

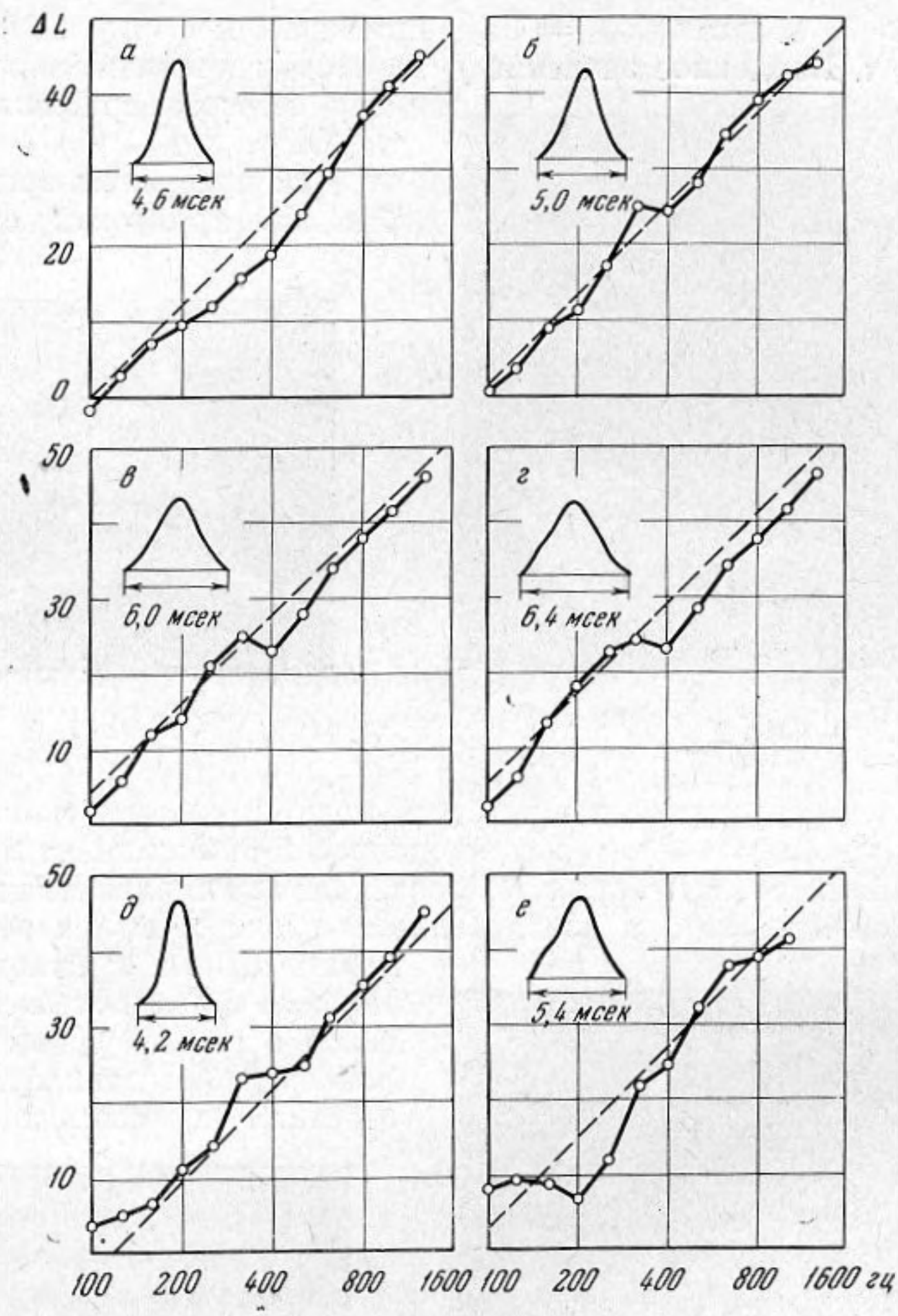


Фиг. 5

входом катодного повторителя, имевшего входное сопротивление 200 *мгом* и коэффициент усиления 0,95. Общая емкость пьезоэлемента и кабеля составляла около 900 *пф*. С выхода катодного повторителя сигнал подавался на низкочастотный электронно-лучевой осциллограф ЭНО-1, работавший в режиме ждущей развертки. Фотографирование производилось в темной

комнате с экспозицией около 4 *сек* зеркальной фотокамерой с длиннофокусным объективом.

Осциллограмма одиночного удара (фиг. 2) показывает, что молоток ударной машины делает несколько подскоков. Наименьшее время соударения — при первом ударе (фиг. 3, импульсы совмещены путем измене-



Фиг. 6

ния длительности развертки). При измерении звукоизоляции молотки ударной машины приводятся в движение эксцентриками, вращающимися со скоростью 120 оборотов в минуту. Оказывается, что при этом каждый молоток ударяет по плите за один оборот эксцентрика только один раз, без повторных ударов (фиг. 4 и 5). Время удара рассчитывалось по количеству калибровочных меток (на фиг. 5 $\tau = 3{,}8$ *мсек*, длительность меток 0,2 *мсек*).

На фиг. 6 сплошной линией показаны некоторые результаты измерения снижения уровня ΔL ударного шума при различных типах рулонных полов, уложенных на железобетонную плиту толщиной 12 *см*. Графики на фиг. 6, *а—г* относятся к губчатой резине (релину) толщиной соответственно 3; 4,5; 6 и 8 *мм*; фиг. 6, *д* — к мягкой морозостойкой резине толщиной 9 *мм*; фиг. 6, *е* — к пенолину толщиной 8 *мм*. Там же приведены графики изменения силы удара во времени и указаны измеренные зна-

чения времени удара. Пунктирными линиями показаны вычисленные значения ΔL по формуле (1); они удовлетворительно совпадают с измеренными величинами.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. Заборов, Л. П. Тюменцева. Об учете местного смятия при расчете изоляции ударного шума. Акуст. ж., 1965, **11**, 1, 57—61.
2. В. И. Заборов. Теория звукоизоляции ограждающих конструкций. М., Госстройиздат, 1962.
3. Л. В. Канторович, В. И. Крылов. Приближенные методы высшего анализа. М.— Л., ГТТИ, 1952.

Уральский институт сборных
железобетонных изделий и конструкций
Челябинск

Поступила в редакцию
11 января 1965 г.