

УДК 692.522.3:621.974.06:534.222.2

Э. В. Ретлинг**О ПАРАМЕТРАХ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ УДАР МОЛОТКА
СТАНДАРТНОЙ ТОПАЛЬНОЙ МАШИНЫ ПО ПЛИТЕ ПЕРЕКРЫТИЯ**

Приводятся параметры, характеризующие удар молотка стандартной топальной машины по плите перекрытия для импульсов, наиболее часто используемых при расчете колебаний пластин под действием ударов. Оценивается влияние гибкости плиты на параметры удара стандартного молотка. Приводится сопоставление с расчетами по теории Герца.

К л ю ч е в ы е с л о в а: импульс, удар, пластина, молоток, гибкость, перекрытие.

The article provides the parameters characterizing a hammer blow of a standard tapping machine on floor slabs for impulses most often used for the calculation of plate vibrations under the impact of hammer blows. The impact of a slab flexibility on the parameters of a standard hammer blow is estimated. The comparison with the calculations by Hertz theory is given.

К e y w o r d s: impulse, blow, plate, hammer, flexibility, slab.

При исследовании изоляции ударного шума перекрытиями зданий необходимо знать параметры удара молотка стандартной топальной машины, используемой при измерениях. Такими параметрами являются: сила и продолжительность удара; закон изменения силы взаимодействия между молотком ударной машины и перекрытием; величина смещения молотка в процессе удара.

Скорость молотка в процессе удара составит

$$v(t) = v_0 - \frac{1}{m_0} \int_0^t F(t) dt,$$

где v_0 — скорость молотка в момент соприкосновения с перекрытием; m — масса молотка; $F(t)$ — закон изменения силы взаимодействия между молотком и перекрытием.

Смещение молотка в процессе удара находится по формуле

$$f(t) = \int_0^t v(t) dt.$$

Для молотка стандартной топальной машины $m = 0,5$ кг, $v_0 = 0,882$ м/с.

При теоретических исследованиях изоляции ударного шума перекрытиями авторы используют импульсы различных форм $F(t)$. В работе [1] приведены результаты измерений формы импульсов и дается их сравнение с некоторыми зависимостями $F(t)$. В результате делается вывод о том, что измеренной форме импульса лучше всего соответствует импульс «колокольной» формы, и предлагается следующий ее вид:

$$F(t) = h \exp \left[-6 \left(\frac{t - \frac{\tau}{2}}{\frac{\tau}{2}} \right)^2 \right] = h \exp \left[-\frac{24}{\tau^2} \left(t - \frac{\tau}{2} \right)^2 \right],$$

где τ — длительность импульса; h — максимальная высота импульса.

На основе анализа параметров различных импульсов можно предложить импульс «колокольной» формы следующего вида:

$$F(t) = h \exp \left[-\frac{4\pi}{\tau^2} \left(t - \frac{\tau}{2} \right)^2 \right].$$

Параметры, характеризующие удар молотка стандартной топальной машины по плите перекрытия, при различной форме импульсов приведены в табл. Импульсы № 2 и 4 заимствованы из работы [1], а импульсы № 3 и 6 — из работы [2].

Из анализа параметров импульсов можно сделать выводы:

1. Величина $h\tau$ является постоянной.
2. Прямоугольный импульс (позиция 3) имеет в значительной мере заниженные параметры, и использовать его нецелесообразно.
3. Зависимость $f(t)$ симметрична относительно $t = \frac{\tau}{2}$.

В работе [3] величина $h\tau$ постоянна и колеблется от 4,7 до 5,0 mv_0 , что сопоставимо с $h\tau$ молотка стандартной топальной машины, и составляет от 2,073 до 2,205. Необходимо учесть, что удар считается упругим и пластические деформации отсутствуют.

В работе [4] приведены результаты экспериментов по определению продолжительности контакта при ударе сферы по балкам и пластинам и дается сравнение с расчетом по теории Герца. Автор делает вывод о том, что расчет продолжительности удара, выполненный в предположении его упругости, дает хорошее совпадение с измеренными величинами. Учет пластической деформации при ударе не приводит к улучшению совпадения с экспериментальными данными. В работе [4] имеются формулы, по которым можно вычислить интересующие нас параметры удара по теории Герца.

Результаты теоретических исследований по определению параметров удара в соответствии с теорией Герца обобщены в работе [5].

Величина силы, с которой ударник вдавливаются в пластину, определяется по формуле [5]

$$h = n^{2/5} \left(\frac{5v_0^2}{4M} \right)^{3/5},$$

где $M = \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2}$; m_1 — масса ударника; m_2 — поверхностная плотность

пластины; $n = \frac{4\sqrt{R_1}}{3\pi(k_1 + k_2)}$; R_1 — радиус ударной части; $k_1 = \frac{1 - \mu_1^2}{\pi E_1}$,

$k_2 = \frac{1 - \mu_2^2}{\pi E_2}$; E и μ — модуль Юнга и коэффициент Пуассона соответственно,

индекс 1 относится к ударнику, а индекс 2 к пластине.

Параметры удара молотка стандартной топальной машины по перекрытию

№	$F(t)$	$f(t)$	$h\tau$	f_{\max}
1	$h \exp\left[-\frac{4\pi}{\tau^2}\left(t-\frac{\tau}{2}\right)^2\right]$	$\frac{v_0\tau}{2\operatorname{erf}(\sqrt{\pi})} \left\{ \begin{array}{l} \operatorname{erf}(\sqrt{\pi}) - \left(\frac{2t}{\tau}-1\right) \times \\ \times \operatorname{erf}\left[\sqrt{\pi}\left(\frac{2t}{\tau}-1\right)\right] - \\ - \frac{1}{\pi} \left(e^{-\frac{4\pi}{\tau^2}\left(t-\frac{\tau}{2}\right)^2} - e^{-\pi} \right) \end{array} \right\}$	1,786	0,305 τ
2	$h \exp\left[-\frac{24}{\tau^2}\left(t-\frac{\tau}{2}\right)^2\right]$	$\frac{v_0\tau}{2\operatorname{erf}(\sqrt{6})} \left\{ \begin{array}{l} \operatorname{erf}(\sqrt{6}) - \left(\frac{2t}{\tau}-1\right) \times \\ \times \operatorname{erf}\left[\sqrt{6}\left(\frac{2t}{\tau}-1\right)\right] - \\ - \frac{1}{\sqrt{6}\pi} \left(e^{-\frac{24}{\tau^2}\left(t-\frac{\tau}{2}\right)^2} - e^{-6} \right) \end{array} \right\}$	2,438	0,340 τ
3	h	$v_0 t \left(1 - \frac{t}{\tau}\right)$	0,882	0,220 τ
4	$h \sin\left(\frac{\pi t}{\tau}\right)$	$\frac{v_0\tau}{\pi} \sin\left(\frac{\pi t}{\tau}\right)$	1,385	0,281 τ
5	$h \sin^2\left(\frac{\pi t}{\tau}\right)$	$v_0 \left[t - \frac{t^2}{\tau} + \frac{\tau}{2\pi^2} \left(1 - \cos\left(\frac{2\pi t}{\tau}\right)\right) \right]$	1,764	0,310 τ
6	$h\tau(\tau-t)$	$v_0 t \left[1 - \frac{2t^2}{\tau^3} \left(\tau - \frac{t}{2}\right) \right]$	1,326	0,276 τ

Для определения продолжительности удара предлагается формула

$$\tau = 2,94 \left(\frac{5}{4Mnv_0^{0,5}} \right)^{2/5}.$$

Для нас представляет интерес величина $h\tau$. Перемножив правые части равенств формул для h и τ , получим

$$h\tau = 3,675 \frac{v_0}{M}.$$

Поскольку $m_1 < m_2$, то применительно к стандартной топальной машине имеем

$$h\tau \cong 3,675v_0m_1 \cong 1,621.$$

Максимальная величина вдавливания ударника в пластину составляет

$$f_{\max} = \left(\frac{5v_0^2}{4Mn} \right)^{2/5},$$

а изменение этой величины во времени равно

$$f(t) \cong f_{\max} \sin\left(\frac{\pi t}{\tau}\right).$$

Используя результаты, приведенные в работе [5], можно получить соотношения

$$f_{\max} = \frac{v_0 \tau}{2,94}, \quad a = \sqrt{R_1 a_1},$$

где a — максимальный радиус площадки контакта между ударником и пластиной.

Максимальное давление в центре площадки контакта составит

$$q_0 = \frac{3h}{2\pi a^2}.$$

Для стандартного молотка получаем $f_{\max} = 0,300\tau$, а

$$F(t) = h \left[\sin\left(\frac{\pi t}{\tau}\right) \right]^{3/2}.$$

Таким образом, основные параметры, характеризующие удар молотка стандартной топальной машины, полученные по теории Герца, близки к соответствующим параметрам предлагаемых импульсов (см. поз. 1 и 5, табл.).

В работе [5] анализируется влияние гибкости пластины на параметры удара. С ростом гибкости пластины сила удара будет убывать, а продолжительность контакта ударника с пластиной расти.

Вначале определяем силу удара по формуле

$$\frac{1}{2} m_1 v_0^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{h^2}{k_p} \right) + \frac{2}{5} \left(\frac{h^{5/3}}{n^{2/3}} \right),$$

где k_p — «пружинная» константа пластины, $k_p = \frac{h_p}{\delta_p}$; δ_p — прогиб пластины под действием силы hp ; h_p — толщина пластины.

Затем можно найти остальные параметры удара.

Для расчетов взята железобетонная плита перекрытия с размерами $3,3 \times 3,1 \times 0,12$ м, $E = 4,87 \cdot 10^9$ Н/м², $\mu_2 = 0,1$. Продолжительность удара без учета гибкости плиты составила $\tau = 3,46 \cdot 10^{-4}$ с. Пружинная константа по расчетным данным равна 372005832,1. Величина силы составила $h = 4300$ Н,

$\tau = 3,77 \cdot 10^{-4}$ с, $\alpha_1 = 1,1307 \cdot 10^{-4}$ м, $a = 7,519$ мм. Таким образом, за счет гибкости плиты продолжительность удара возросла на 9 %. Значение τ зависит не только от размеров плиты, но и от координаты точки падения молотка на плиту. Для одной и той же плиты величина τ в разных ее местах будет разная. По данным измерений, проведенных на этой плите, $\tau = (3,5 - 5,0) \cdot 10^{-4}$ с, что согласуется с результатами расчетов по теории Герца. Значение τ зависит и от коэффициента потерь материала плиты, поскольку он влияет на величину смещения.

Таким образом, параметры, характеризующие удар молотка стандартной топальной машины, зависят от большого числа факторов, которые необходимо принимать во внимание при расчетах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ковригин С. Д., Захаров А. В., Герасимов А. И. Борьба с шумами в гражданских зданиях. М.: Стройиздат, 1969.
2. Заборов В. И. Теория звукоизоляции ограждающих конструкций. М.: Стройиздат, 1969.
3. Тимошенко С. П. Колебания в инженерном деле. М.: Наука, 1967.
4. Гольдсмит В. Удар: теория и физические свойства соударяемых тел. М.: Стройиздат, 1965.
5. Динамика удара / Дж. Зукас, Т. Николас, Х. Ф. Свифт, Л. Б. Грещук, Д. Р. Курран. М.: Мир, 1985.

1. Kovrigin S. D., Zakharov A. V., Gerasimov A. I. Bor'ba s shumami v grazhdanskikh zdaniyakh. M.: Stroiizdat, 1969.
2. Zaborov V. I. Teoriya zvukoizolyatsii ograzhdayushchikh konstruksii. M.: Stroiizdat, 1969.
3. Timoshenko S. P. Kolebaniya v inzhenernom dele. M.: Nauka, 1967.
4. Gol'dsmi V. Udar: teoriya i fizicheskie svoistva soudaryaemykh tel. M.: Stroiizdat, 1965.
5. Dinamika udara / Dzh. Zukas, T. Nikolas, Kh. F. Svift, L. B. Greshchuk, D. R. Kurran. M.: Mir, 1985.

© Ретлинг Э. В., 2016

Поступила в редакцию
в мае 2016 г.

Ссылка для цитирования:

Ретлинг Э. В. О параметрах, характеризующих удар молотка стандартной топальной машины по плите перекрытия // Интернет-вестник ВолгГАСУ. 2016. Вып. 1—2(41). Ст. 10. URL: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>

For citation:

Retling E. V. [About the parameters characterizing a hammer blow of a standard machine on floor slab]. *Internet-Vestnik VolgGASU*, 2016, no. 1—2(41), paper 10. URL: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>