

## ПИСЬМО В РЕДАКЦИЮ

В. А. КРАСИЛЬНИКОВ, А. А. ГЕДРОИЦ

### ИСКАЖЕНИЕ ФОРМЫ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ВОЛНЫ КОНЕЧНОЙ АМПЛИТУДЫ В ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ

Если вопрос образования слабых периодических ударных волн, возникающих при распространении интенсивного ультразвука в газах и жидкостях, можно считать в определенной степени изученным [1], то до настоящего времени не было сделано ни одной серьезной попытки обнаружить подобного рода нелинейные эффекты в твердых телах. Нам неизвестно ни одной работы, где экспериментально эти эффекты были бы обнаружены. Между тем эксперимент показывает, что нелинейные эффекты в твердых телах с малым затуханием в них ультразвуковых волн благодаря своеобразному эффекту накапливания — механизму такому же как и для случая жидкостей и газов — выражены довольно сильно даже при распространении в них продольных ультразвуковых волн небольшой интенсивности.

Экспериментальная установка для наблюдения искажения первоначальной синусоидальной волны у излучателя (измерение амплитуд гармоник) в принципе весьма проста\*. На кварцевую пластинку X-среза (диаметр 16 мм) с генератора синусоидальных колебаний подается напряжение частоты 5 мГц. Через тонкий слой трансформаторного масла осуществляется акустический контакт с отшлифованным торцом исследуемого (например, металлического) стержня диаметром 16 мм. На другом конце стержня находится приемная кварцевая пластинка с собственной частотой 10 мГц. Напряжение с этой пластинки подается на фильтр-«пробку», настроенную на основную частоту 5 мГц; этот фильтр подавляет частоту 5 мГц примерно в 150 раз, тогда как для частоты 10 мГц амплитуда уменьшается фильтром в 2—3 раза. С фильтра-«пробки» напряжение поступает на резонансный усилитель с усилением порядка  $10^3$ , с выхода которого сигнал подается на катодный осциллограф типа ЭО-58. Чтобы исключить влияние стоячих волн, используется импульсный метод, для чего радиогенератор модулируется при помощи генератора прямоугольных импульсов (продолжительность импульса 30—40 мксек, частота повторения импульсов 200 Гц).

Эксперимент показывает, что кроме основной частоты 5 мГц можно наблюдать сигнал 10 мГц (2-я гармоника), который происходит из-за нелинейности уравнения движения и уравнения состояния среды\*\*. При настройке усилителя на частоту 10 мГц на экране осциллографа этот сигнал виден как серия импульсов. Первый импульс соответствует времени распространения  $\tau$  от излучателя к приемнику (прямой сигнал), последующие — с временами пробега  $3\tau$ ,  $5\tau$  и т. д. соответствуют импульсам, испытывавшим отражения от торцов стержня. Измерения амплитуды первого импульса на стержнях различной длины (дюралюминий, сплав МА-8) при одинаковых условиях работы установки показывают, что возрастая с увеличением расстояния от излучателя, амплитуда на некотором расстоянии достигает максимума (расстояние стабилизации  $L$ ), а затем убывает\*. Для дюралюминия и сплава МА-8  $L$  составляет 20—30 см при амплитуде напряжения на излучающем кварце 1000 вольт. Если пользоваться расчетной формулой для интенсивности ультразвука, то она составляет  $1,8 \text{ вт/см}^2$  в слу-

\* См. например, [2].

\*\* При этом недопустима перегрузка усилителя напряжением основной частоты и наличие заметного клирфактора генератора.

чае МА-8 и 1  $\text{вт/см}^2$  в случае дюралюминия (звуковые давления в  $\pm 6,5$  и  $\pm 6$  атмосфер соответственно). Измеренное экспериментально для расстояния  $L$  отношение  $\alpha_{\text{эксп}}$  амплитуды давления 2-й гармоники  $p_2$  к амплитуде давления основной частоты  $p_1$  составляет 2—3%.

Сравнивая с теоретической формулой Римана \*\*

$$\alpha_{\text{теор}} = \frac{p_2}{p_1} = \frac{n+1}{4} \frac{\omega x}{\rho c^3} p_1,$$

( $n$  — нелинейный параметр, характеризующий нелинейность уравнения состояния среды,  $\omega$  — круговая частота,  $x$  — расстояние от излучателя,  $\rho$  — плотность и  $c$  — скорость звука) при  $n = 1$  (учитывается только нелинейность уравнения движения) получим для наших условий при  $x = 7,7$  см (монокристалл алюминия,  $x < L$ ):

$$\alpha_{\text{эксп}} \cong 0,6\%,$$

$$\alpha_{\text{теор}} \cong 0,1\%.$$

Отсюда ясно, что кроме нелинейности уравнения движения существенную роль играет нелинейность уравнения состояния. Однако для некоторых твердых тел (например, плексиглас, некоторые стекла) отношение  $\alpha_{\text{эксп}}/\alpha_{\text{теор}}$ , наоборот, меньше единицы (что может означать наличие обратного знака эффекта влияния уравнения состояния). 2-ю гармонику можно четко наблюдать (например, для монокристалла алюминия) уже при 10—20 вольтах на излучающем кварце. Можно наблюдать 3-ю и более высокие гармоники (например в полистироле). На поперечных волнах искажения ультразвуковых волн не наблюдается.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Зарембо Л. К., Красильников В. А. УНФ, 68, 687—715, 1959.
2. Зарембо Л. К., Красильников В. А., Шкловская-Корди В. В. ДАН СССР, 109, 485, 1956.

Поступило в редакцию  
9. I 1962 г.

Кафедра акустики

\* При длине стержня, в несколько раз меньшей  $L$ , второй или последующие импульсы, соответствующие длине пробега расстоянию  $L$ , могут быть по амплитуде больше, чем первый, что и наблюдается.

\*\* Теория Римана при  $n = 1$  применима не только для газов и жидкостей, но и для твердых тел.