

ЛИТЕРАТУРА

1. И. И. Перепечко, В. Ф. Яковлев. К вопросу об измерении поглощения ультразвука в газах интерферометром. Акуст. ж., 1961, 7, 1, 101—102.

Московский областной педагогический институт
им. Н. К. Крупской

Поступило в редакцию
9 июня 1961 г.

РЕЗОНАНСНОЕ УСТРОЙСТВО ИЗ ТВЕРДОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ФОКУСИРОВКИ УЛЬТРАЗВУКА

М. А. Исакович

Использование жидких фокусирующих устройств для получения большой плотности звуковой энергии лимитируется кавитацией: если на пути сходящегося ультразвукового пучка кавитационный порог окажется превзойденным, то дальнейшей концентрации звуковой энергии по мере приближения к фокальному пятну уже не произойдет. Целесообразно поэтому использовать в качестве материала для фокусирующего устройства некавитирующую среду — твердое тело, — создавая в ней сходящийся пучок и передавая звуковую энергию в жидкость только тогда, когда амплитуда колебаний уже достигла желаемого значения. Используя, кроме того, резонансные колебания устройства, можно получить колебания большой амплитуды при сравнительно небольших размерах установки. Для того чтобы кавитация не возникала на границе, через которую будет осуществляться передача энергии из твердого тела в жидкость, волна, создаваемая в жидкости, должна носить характер стоячей (точнее, квазистоячей) волны с узлом давления вблизи границы.

Можно представить себе такое устройство выполненным из материала с малыми механическими потерями (например, из алюминия) в виде сферы, снабженной концентрической полостью — рабочей камерой, — заполняемой облучаемой жидкостью. Реальная конструкция должна предусматривать каналы для заполнения и опорожнения камеры, для введения датчиков и тому подобное. Оставляя эти и подобные вопросы в стороне, приведем только решение задачи о возбуждении стоячих волн в сферической полости, расположенной в центре твердой сферы и заполненной жидкостью.

Для того чтобы граница полости совпала с узлом давления, ее радиус следует выбрать равным целому числу полуволи звука в жидкости, заполняющей полость (радиальный резонанс рабочей камеры). Наружный радиус сферы следует выбрать из соответственного условия для радиального резонанса твердого тела с полостью. Возбуждение колебаний можно осуществить, например, при помощи пьезоэлектрической мозаики, наносимой на наружную поверхность сферы. Считая, что поглощением звука в твердом материале можно пренебречь, дадим результат примерного упрощенного расчета вынужденных колебаний такого устройства.

Обозначим внутренний и внешний радиусы твердого тела через a и b соответственно. Плотность жидкости и твердого тела обозначим через ρ_1 и ρ , а волновые числа на частоте ω для волн в жидкости и продольных и поперечных волн в твердом теле — через k_1 , k и κ . Считая, что давление в жидкости, заполняющей полость, может быть задано в виде $p = \sin k_1 r / k_1 r$, найдем следующие выражения для радиального нормального напряжения σ и радиальной скорости v частиц в твердом теле:

$$\sigma = - \frac{1}{k_1 r (\kappa r)^2 k a (\kappa a)^2} \left\{ k a \left[[(\kappa r)^2 - 4] \cos k (r - a) - 4 \kappa r \sin k (r - a) \right] \times \right. \\ \times \left[(\kappa a)^2 \sin k_1 a - \frac{4}{m} (k_1 a \cos k_1 a - \sin k_1 a) \right] + \\ \left. + [(\kappa r)^2 - 4] \sin k (r - a) + 4 \kappa r \cos k (r - a) \right\} \times \\ \times \left[(\kappa a)^2 \sin k_1 a + \frac{4}{m} [(\kappa a)^2 - 4] (k_1 a \cos k_1 a - \sin k_1 a) \right] ;$$

$$v = \frac{i}{\rho c (\kappa r)^2 k_1 a (\kappa a)^2} \left\{ k a \left[\kappa r \sin k (r - a) + \cos k (r - a) \right] \times \right. \\ \times \left[(\kappa a)^2 \sin k_1 a - \frac{4}{m} (k_1 a \cos k_1 a - \sin k_1 a) \right] -$$

$$\left. - \left[\kappa r \cos k (r - a) - \sin k (r - a) \right] \left[(\kappa a)^2 \sin k_1 a + \frac{4}{m} [(\kappa a)^2 - 4] (k_1 a \cos k_1 a - \sin k_1 a) \right] \right\} .$$

Здесь введено обозначение $m = \rho_1 / \rho$. Условие резонанса рабочей камеры имеет

вид: $k_1 a = s\pi(1 + i\varepsilon)$, где s — целое число, показывающее число полуволи, укладываемых на радиусе камеры; ε — тангенс угла потерь в жидкости, который будем считать малым по сравнению с единицей. Заметим, что при конкретном расчете устройства необходимо иметь в виду возможную нелинейность поглощения. При указанных условиях уравнение резонанса твердого тела будет иметь вид:

$$\operatorname{tg} k(b-a) = \frac{4ka[(\kappa b)^2 - 4] - 4kb[(\kappa a)^2 - 4]}{4ka4kb + [(\kappa b)^2 - 4][(\kappa a)^2 - 4]}.$$

Если условия резонанса выполнены и для рабочей камеры и для твердого тела, то значения напряжения σ_b и скорости частиц v_b на наружной поверхности твердого тела оказываются равными

$$\begin{aligned} \sigma_b &= -\frac{(-1)^s i\varepsilon}{kb(\kappa b)^2} \{[(\kappa b)^2 - 4][ka \cos k(b-a) + \sin k(b-a)] - \\ &\quad - 4kb[ka \sin k(b-a) - \cos k(b-a)]\}; \\ v_b &= \frac{(-1)^s}{\rho_1 c_1 (kb)^2} \left\{ \frac{\varepsilon}{ka} [(k\kappa kb + ka + 1) \sin k(b-a) - (k\kappa kb + kb - ka) \cos k(b-a)] - \right. \\ &\quad - \frac{4\varepsilon}{(\kappa a)^2} [(k\kappa kb + 1) \sin k(b-a) - k(b-a) \cos k(b-a)] - \\ &\quad - i[kb \cos k(b-a) - \sin k(b-a)] - \\ &\quad \left. - \frac{4i}{(\kappa a)^2} [(k\kappa kb + 1) \sin k(b-a) - k(b-a) \cos k(b-a)] \right\}. \end{aligned}$$

Для не слишком малого радиуса полости можно приближенно считать $k(b-a) = t\pi$, где t — целое число. Тогда последние формулы упрощаются и их можно представить в виде

$$\sigma_b = -(-1)^{s+t} i\varepsilon \frac{a}{b}; \quad v_b = -\frac{(-1)^{s+t} i}{\rho_1 c_1 k_1 b}.$$

Таким образом, входной импеданс на поверхности фокусирующего устройства оказывается равным $z = \frac{\sigma_b}{v_b} = \rho_1 c_1 \varepsilon \pi$. Отсюда находим амплитуды давления на границе и в центре полости, отнесенные к давлению на поверхности устройства: $\frac{p_a}{p_b} = \frac{b}{a}$; $\frac{p_0}{p_b} = \frac{b}{a\eta}$. Последнее отношение дает коэффициент усиления устройства по давлению.

На основе изложенных соображений было осуществлено фокусирующее устройство (см. [1]).

ЛИТЕРАТУРА

1. М. Г. С и р о т ю к. Фокусирующий концентратор ультразвука из твердого материала. Акуст. ж., 1962, 8, 1.

Акустический институт АН СССР
Москва

Поступило в редакцию
7 июля 1961 г.

О ВОЗБУЖДЕНИИ ИЗГИБНО-ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН

В. Н. Красильников

Целесообразно предложить следующую схему, которая оказывается полезной при рассмотрении задач, связанных с распространением акустических волн в жидком полупространстве, ограниченном тонким упругим слоем: при анализе пространственной волны игнорировать влияние слоя и заменить его свободной поверхностью (задача I), при рассмотрении же поверхностной изгибной волны считать жидкость несжимаемой, а упругую пластинку невесомой (задача II). Решение для сжимаемой жидкости будет складываться из решения задачи I и поверхностной волны, возникающей в задаче II.

Обоснованием служат результаты нашей работы [1], где, в частности, показано, что в первом приближении свойства изгибной волны не зависят от плотности матери-