

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬ БОЛЬШОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ  
НА ТИТАНАТЕ БАРИЯ

И. Н. Коган, Л. И. Менес

Описывается устройство ультразвукового излучателя на титанате бария с отражателем в виде тонкого воздушного слоя. Приводятся результаты его испытаний.

В последнее время в мощных ультразвуковых излучателях кварц заменяют более дешевым и менее дефицитным материалом, обладающим значительно большим пьезоэффектом, — керамикой титаната бария. Конструкция излучателя высокой интенсивности на титанате бария должна предусматривать значительно более эффективную, чем в кварцевом излучателе, систему охлаждения, что диктуется следующими обстоятельствами: относительно низкой точкой Кюри пьезокерамики, порядка  $120^\circ$ ; более низким, чем у кварца, к. п. д. пьезокерамического преобразователя, порядка  $0,4\div 0,6$ ; более низкой теплопроводностью пьезокерамики (коэффициент теплопроводности  $\sim 3,5$  ккал/м·час·град). Поэтому переносить без всяких изменений конструкцию одностороннего кварцевого излучателя с воздушной подушкой на заднем торце пьезопластины на излучатель с титанатом бария нецелесообразно, так как из-за низкой теплопроводности воздуха система охлаждения излучателя будет мало эффективной и сильное нагревание пьезопластины в процессе работы будет препятствовать получению интенсивного излучения.

В сконструированном нами излучателе используется тот факт, что тонкий слой воздуха (порядка  $0,01$  мм), хорошо отражая падающие на него из пьезокерамики ультразвуковые волны, в то же время, вследствие малой толщины его, не представляет собой значительного термического сопротивления. К мысли об использовании тонкого воздушного слоя на заднем торце пьезопластины авторы пришли совместно с И. Е. Эльшиным.

Устройство излучателя показано на фигуре. Пластина титаната бария 1 вклеена в металлическое основание 2 держателя и прижата к нему отражателем 3, внутри которого циркулирует водопроводная вода. Между отражателем и задней поверхностью пьезокерамического диска остается воздушный зазор толщиной около  $0,01$  мм, герметизированный резиновой прокладкой 4. Поверхности пьезопластины для большей устойчивости имеют поверх нанесенного на них двукратным вжиганием серебра гальваническое покрытие медь — никель. Водопроводная вода, протекающая внутри отражателя, охлаждает через стенку отражателя и тонкий воздушный слой заднюю поверхность пьезопластины; передняя поверхность ее контактирует с охлаждаемой змеевиком жидкостью ультразвуковой камеры.

Для более стабильной работы излучателя, на пьезопластину, помимо переменного напряжения высокой частоты, подавалось постоянное поляризующее напряжение, в связи с чем шланги, подводящие воду к рубашке охлаждения отражателя, имели длину, достаточную для уменьшения утечки по постоянному току.

Отражающее действие воздушного зазора\* можно ориентировочно оценить, вычислив коэффициент прохождения  $D$  ультразвуковых волн из пьезокерамики через воздушный слой в воду, омывающую отражатель [1].

$$D = \frac{8}{4 + (m_{12} + m_{21})(m_{23} + m_{32}) + (m_{12} - m_{21})(m_{23} - m_{32}) \cos 4\pi \frac{d}{\Lambda}}, \quad (1)$$

где  $m_{ik} = \rho_i c_i / \rho_k c_k$  ( $i, k = 1, 2, 3$ ),  $\rho_1 c_1$  — волновое сопротивление титаната бария,  $\rho_2 c_2$  — волновое сопротивление воздуха,  $\rho_3 c_3$  — волновое сопротивление воды,  $d$  — толщина воздушного слоя,  $\Lambda$  — длина звуковой волны в воздухе.

На частоте  $f = 400$  кгц  $\Lambda \approx 0,86$  мм; поэтому, при  $d = 0,01$  мм  $d/\Lambda \approx 0,012$ , т. е. вплоть до частот порядка нескольких мегагерц воздушный слой данной толщины остается нерезонансным (например, при  $f = 5$  мгц  $d/\Lambda \approx 0,145$ ). Подставляя в (1)  $d/\Lambda \approx 0,012$  и считая  $\rho_1 c_1 = 27,4 \cdot 10^5$  г·сек<sup>-1</sup>·см<sup>-2</sup>;  $\rho_2 c_2 = 41$  г·сек<sup>-1</sup>·см<sup>-2</sup>;  $\rho_3 c_3 = 1,5 \cdot 10^5$  г·сек<sup>-1</sup>·см<sup>-2</sup> найдем, что коэффициент прохождения  $D$  составляет тысячные доли процента. Поскольку фазовый сдвиг при отражении будет очень мало отличаться от  $180^\circ$ , практически вся энергия будет излучаться вперед. Тем более, это будет выполняться на более высоких частотах в пределах указанного выше диапазона.

Что касается термического сопротивления воздушного слоя, то при условии  $(Cr \cdot Pr) < 10^3$  влиянием свободной конвекции на процесс теплопередачи можно пренебречь [2], и считать, что он определяется лишь теплопроводностью воздуха. Здесь  $Cr$  — критерий подобия Грасгофа,  $Pr$  — критерий подобия Прандтля.

При толщине воздушного зазора  $d = 0,01$  мм это условие выполняется с большим запасом. Поэтому, считая при  $t = 30^\circ$  коэффициент теплопроводности воздуха  $\lambda_{\text{в}} = 2,22 \cdot 10^{-2}$  ккал/м·час·град и стали  $\lambda_{\text{ст}} = 39$  ккал/м·час·град, найдем, что термическое сопротивление воздушного слоя, равное

$$\left(\frac{d}{\lambda}\right)_{\text{в}} = \frac{10^{-5} \text{ м}}{2,22 \cdot 10^{-2} \text{ ккал/м·час·град}} \approx 45 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{град/ккал},$$

всего лишь в 6 раз больше термического сопротивления 3 мм стальной стенки, равного при той же температуре

$$\left(\frac{\delta}{\lambda}\right)_{\text{ст}} = \frac{3 \cdot 10^{-3} \text{ м}}{39 \text{ ккал/м·час·град}} \approx 7,7 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{град/ккал}.$$

Излучатели описанной выше конструкции с пластинами титаната бария\*\* диаметром 38 мм на частоты 400 и 800 кгц испытывались в тече-

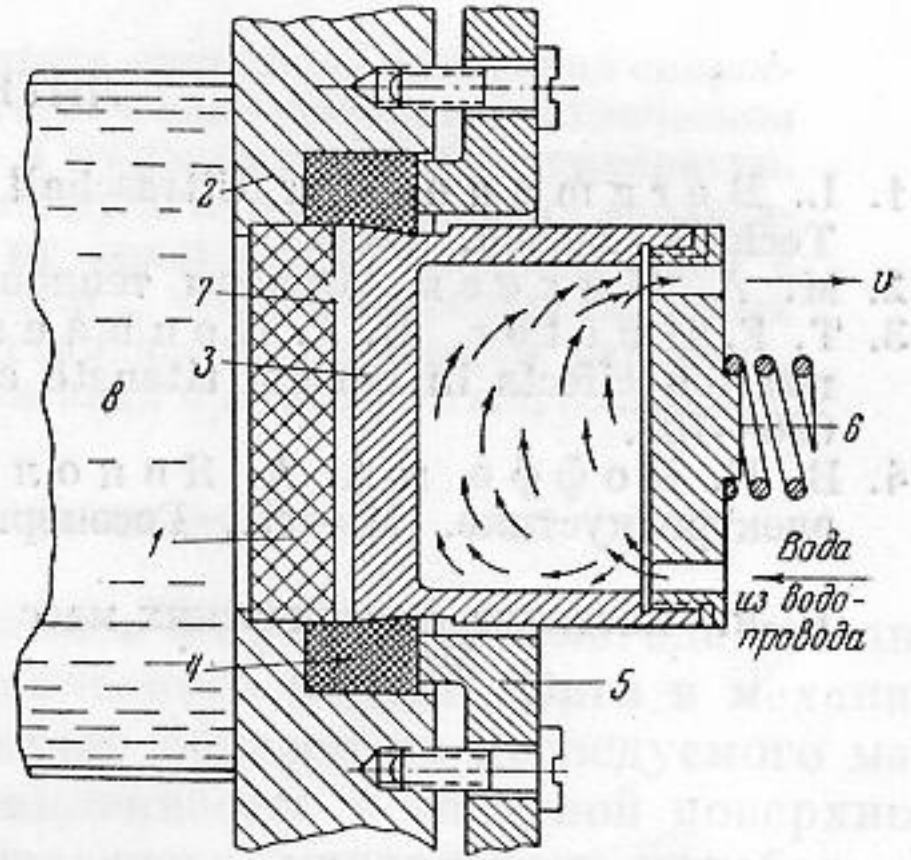


Схема устройства излучателя:

1 — пьезопластина, 2 — основание держателя, 3 — отражатель, 4 — резиновая прокладка, 5 — нажимное кольцо, 6 — пружина, 7 — воздушный слой, 8 — ультразвуковая камера.

\* Отражающим действием металлической стенки отражателя пренебрегаем, так как целесообразным выбором толщины ее отражающее действие воздушного слоя можно даже усилить.

\*\* Использовались пьезопластины производства Государственного исследовательского электро-керамического института Министерства электропромышленности СССР.

ние нескольких месяцев. Как уже отмечалось, на пьезопластину подавалось постоянное напряжение, обеспечивавшее напряженность электрического поля  $8 \text{ кв/см}$  [3].

Интенсивность излучения определялась измерением давления звуковой радиации. Излучатель длительно излучал в воду ультразвук интенсивностью до  $15 \text{ вт/см}^2$ .

Данный излучатель был сконструирован применительно к ультразвуковому аппарату для химических исследований, однако он может быть использован и для других целей, где требуется ультразвуковое поле большой интенсивности.

Авторы выражают благодарность И. Е. Эльпинеру за внимание к работе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. L. Bergmann. Der Ultraschall und seine Anwendung in Wissenschaft und Technik. Zurich, 1954.
2. М. А. Михеев. Основы теплопередачи, М.—Л., Госэнергоиздат, 1949.
3. T. F. Hueber, D. P. Neuhaus, J. Kolb. An experimental study of polarization effects in barium titanate ceramics. J. Acoust. Soc. Amer., 1954, 26, 5, 696—703.
4. В. К. Иоффе и А. А. Янпольский. Расчетные графики и таблицы по электроакустике. М.—Л., Госэнергоиздат, 1954.

Н.-и. институт пластических масс  
Москва

Поступила в редакцию  
28 июля 1956 г.