4. *E. P. Ippen.* Diffraction of light by surface acoustic waves. Proc. IEEE, 1967, *55*, 2, 248—249.
5. *K. A. Ingebrigtsen, A. Tonning.* Numerical data for acoustic surface waves in α-quartz and cadmium sulfide. Appl. Phys. Let., 1966, *9*, 1, 16—18.
6. *F. W. Voltmer, E. P. Ippen, R. M. White, T. C. Lim, G. W. Farnell.* Measured and calculated surface-wave velocities. Proc. IEEE, 1968, *56*, 9, 1634—1635.

Акустический институт
Академии наук СССР

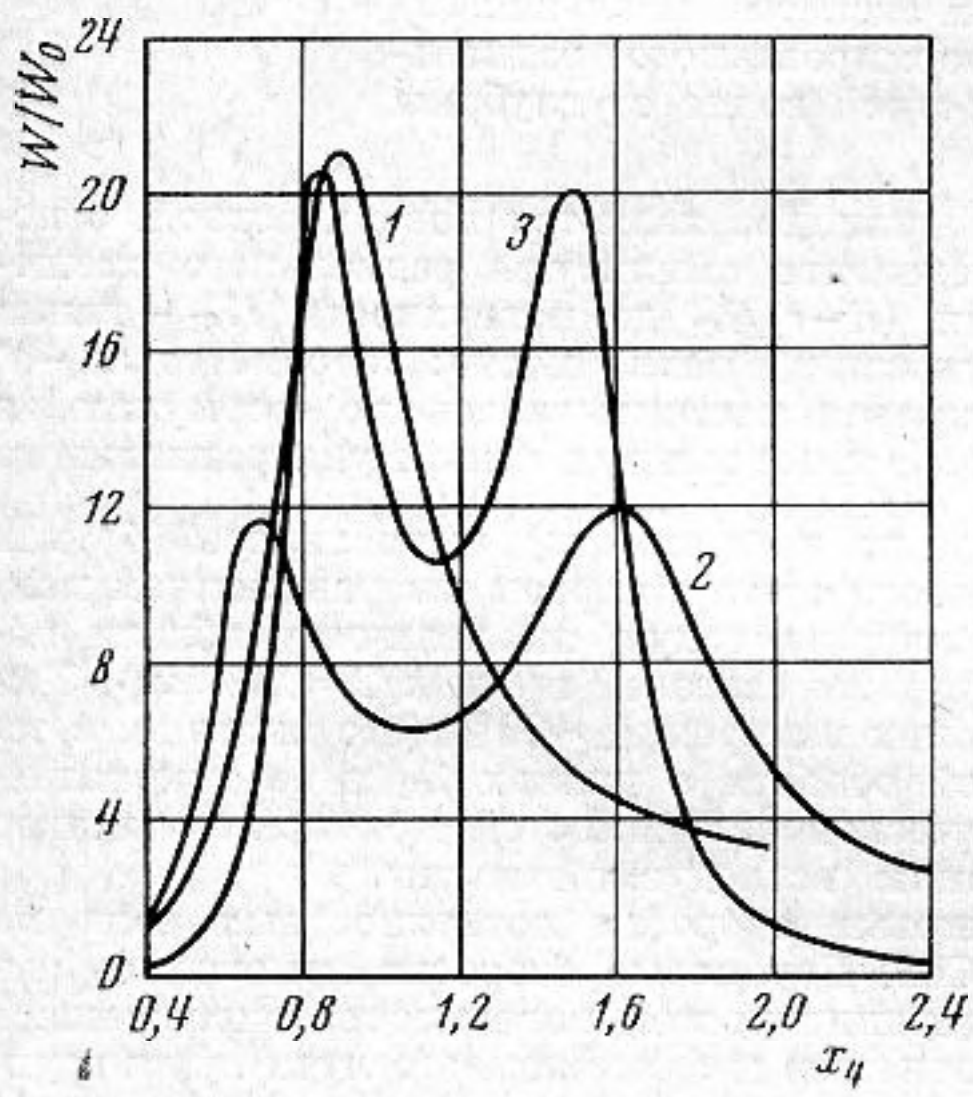
Поступила
14 октября 1974 г.

УДК 534.232

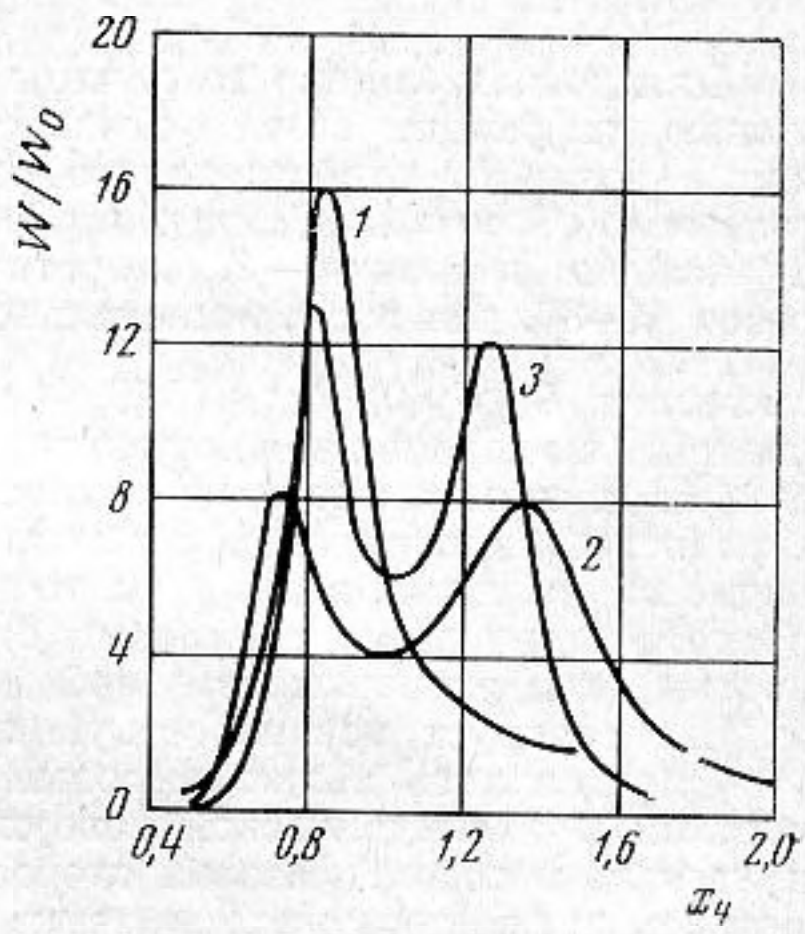
К ВОПРОСУ О РАСШИРЕНИИ ПОЛОСЫ ПРОПУСКАНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Д. Б. Дианов, И. М. Задириенко

Одним из известных способов расширения полосы пропускания цилиндрических преобразователей является применение наружных согласующих слоев. Случай одного слоя рассматривался в работе [1]. Представляет интерес оценить возможности расширения полосы пропускания с помощью двух слоев. Практически интересен случай, когда наружный слой выполнен из тяжелого материала, например стали, а промежуточный имеет небольшое волновое сопротивление. Подобная комбинация



Фиг. 1



Фиг. 2

Фиг. 1. Частотные характеристики нормированной мощности излучения для пьезокерамического цилиндрического преобразователя с относительной толщиной стенки 0,14 (кривая *1*) и для того же преобразователя с двумя переходными слоями оптимальной толщины (кривая *2* – промежуточный слой из эпоксидного клея, кривая *3* – промежуточный слой из воды)

Фиг. 2. То же, что на рис. 1, для случая относительной толщины стенки преобразователя 0,3

переходных слоев для преобразователей с плоской излучающей поверхностью позволяет расширить полосу пропускания при относительно небольших толщинах слоев [2].

Обозначим через r_4 и r_3 внутренний и наружный радиусы пьезокерамического цилиндра, через r_2 и r_1 – наружные радиусы соответственно промежуточного и внешнего цилиндрических слоев.

Обобщая результаты работы [1] на случай двух переходных слоев, можно получить выражение для мощности излучения на единицу длины цилиндра W (из-за

громоздкости оно здесь не приводится). По полученной для W формуле были выполнены численные расчеты для пьезокерамического цилиндрического преобразователя, нагруженного на водную среду через два переходных слоя. В качестве материала преобразователя рассматривалась керамика ТБК-3, материала наружного слоя – сталь, материала промежуточного слоя – эпоксидный клей с волновым сопротивлением $\rho c=2{,}78\cdot10^5$ *г/см²сек* и плотностью $\rho=1{,}26$ *г/см³* или вода.

При расчетах варьировались толщины переходных слоев, в результате чего были найдены их значения, обеспечивающие наиболее широкополосные частотные характеристики для каждой из комбинаций материалов слоев. На фиг. 1 представлены такие частотные характеристики мощности излучения при относительной толщине стенки пьезокерамического цилиндра $(r_3-r_4)/r_4=0{,}14$, а на фиг. 2 – при $(r_3-r_4)/r_4=0{,}3$. Нормировочная постоянная $W_0=e_{33}{}^2U_m/2z_4r_4$, где e_{33} – пьезоконстанта, U_m – амплитуда электрического напряжения, z_4 – волновое сопротивление пьезокерамики, $x_4=k_4r_4$; k_4 – волновое число для пьезокерамики.

Как видно из фиг. 1, преобразователь с $(r_3-r_4)/r_4=0{,}14$ без переходных слоев обладает относительной полосой пропускания 48%. Применение двух переходных слоев позволяет увеличить полосу пропускания до 112% в случае промежуточного слоя из клея и до 80% в случае промежуточного слоя из воды. Относительные толщины слоев в первом случае составляли $(r_2-r_3)/r_4=0{,}6$; $(r_1-r_2)/r_4=0{,}005$, а во втором – $(r_2-r_3)/r_4=0{,}2$; $(r_1-r_2)/r_4=0{,}06$.

Для преобразователя с $(r_3-r_4)/r_4=0{,}3$ соответствующие величины относительной полосы пропускания составляют: 26, 107 и 60%, а относительные толщины слоев соответственно равны $(r_2-r_3)/r_4=0{,}5$; $(r_1-r_2)/r_4=0{,}035$ и $(r_2-r_3)/r_4=0{,}18$; $(r_1-r_2)/r_4=0{,}1$.

На основании проведенных вычислений можно сделать следующие выводы.

Бóльшую полосу пропускания обеспечивает промежуточный слой из эпоксидного клея. Однако толщина его довольно велика. Волновая толщина клея на частоте радиального резонанса пьезокерамического цилиндра составляет 0,19 для случая фиг. 1 и 0,15 – для случая фиг. 2. Это говорит о том, что эпоксидный клей для указанных толщин стенок пьезокерамического цилиндра является материалом с акустическими параметрами, близкими к оптимальным при согласовании с помощью одного переходного слоя [1].

В случае промежуточного слоя из воды достигается меньшая полоса пропускания при меньших радиальных размерах и незначительном снижении мощности излучения. Выигрыш в радиальных размерах можно охарактеризовать следующими цифрами. При $(r_3-r_4)/r_4=0{,}14$ величина r_1/r_3 составляет 1,23 для слоя из воды и 1,53 – для слоя из эпоксидного клея, а при $(r_3-r_4)/r_4=0{,}3$ эта величина равна соответственно 1,21 и 1,41.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Д. Б. Дианов, А. Г. Кузьменко.* Исследование возможностей расширения полосы пропускания цилиндрических пьезокерамических преобразователей. Акуст. ж., 1970, *16*, 2, 236—240.
2. *В. Б. Аранович, И. А. Прудов.* О резонансном согласовании в тонких переходных слоях. Акуст. ж., 1971, *17*, 4, 513—520.

Ленинградский электротехнический институт им. В. И. Ульянова (Ленина)

Поступила 15 июля 1974 г.

УДК 534.88

ЭХО-ЛОКАЦИОННОЕ РАЗЛИЧЕНИЕ ДЕЛЬФИНОМ АФАЛИНОЙ ШАРОВЫХ МИШЕНЕЙ, ОТЛИЧАЮЩИХСЯ ОДНОВРЕМЕННО РАЗМЕРАМИ И МАТЕРИАЛОМ

Н. А. Дубровский, А. А. Титов

В наших работах [1–3] была предложена модель механизма эхо-локационного различения шаровых мишеней. В соответствии с этой моделью две шаровые мишени различались более чем в 75% случаев, если для разности средних периодов осцилляций в спектрах эхо-сигналов от сравниваемых мишеней выполнялось условие

$$|\delta f|=\left|\frac{c}{2\pi}\left(\frac{\Delta_1}{a_1}-\frac{\Delta_2}{a_2}\right)\right|>\delta f_0, \tag{1}$$