

УДК 534.232

## МНОГОРЕЗОНАНСНЫЙ ИЗГИБНЫЙ ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Ю.В. Чесский

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры  
Украина, 69029 Одесса, ул. Дидрихсона, д. 4  
Тел.: (0482) 20-4743  
E-mail: tatyana@odessa.zzn.com*

Рассмотрена конструкция многорезонансного изгибного электроакустического преобразователя и методика подбора его элементов, для обеспечения перекрытия широкой полосы частот. Приведены результаты исследования частотных характеристик преобразователя в гидроакустической трубе и в гидроакустическом бассейне.

Розглянута конструкція багаторезонансного згинного електроакустичного перетворювача і методика підбору його елементів, для забезпечення перекриття широкої смуги частот. Приведені результати дослідження частотних характеристик перетворювача у гідроакустичній трубі та у гідроакустичному басейні.

The many-frequency flexural electroacoustic transducer construction and selection method of its elements for wide-range frequencies coverage were considered. The research results of transducer frequency characteristics in the hydroacoustic tube and hydroacoustic shown.

### ВВЕДЕНИЕ

Акустические свойства различных материалов в области частот звукового диапазона можно изучать в гидроакустических измерительных трубах и бассейнах. Электроакустические преобразователи, предназначенные для этих целей, должны быть компактными, иметь широкий рабочий диапазон частот и достаточно высокий коэффициент преобразования.

На основе пластинчатых колебательных систем, совершающих поперечные изгибные колебания, могут быть созданы малогабаритные низкочастотные преобразователи. Конструкция, пригодная для звуковых частот, представляет собой биморфный пьезокерамический диск, прикрепленный к корпусу. Компенсация высокого гидростатического давления осуществляется с помощью воды или более сжимаемых жидкостей, например, кремнийорганической, сжимаемость которой, примерно в два раза больше, чем у воды. Заключенная в корпусе жидкость увеличивает жесткость колебательной системы, что повышает резонансную частоту и снижает коэффициент электромеханической связи преобразователя. Используя, такие изгибные преобразователи в плоской антенне, можно достичь интенсивности излучения до  $6 \text{ W/cm}^2$  при полосе пропускания до одной октавы [1].

Проблемы конструирования рассматриваемых преобразователей связаны со значительными сдвиговыми напряжениями, возникающими в клеевой прослойке между керамикой и металлом при работе на больших мощностях, кроме того, могут создаваться высокие статические напряжения за счёт различных коэффициентов температурного расшире-

ния. Наиболее подходящим металлом с коэффициентом температурного расширения, является цирконий, который имеет отличную коррозионную стойкость в морской воде.

Для перекрытия звукового диапазона частот (5 октав) одним типоразмером преобразователя, при условии ненаправленного излучения, необходима система с рядом резонансов, смещающихся в низкочастотную область при минимальном диаметре  $D < \lambda/2$ , где  $D$  – диаметр биморфного диска, а  $\lambda$  – длина волны в воде на наивысшей частоте перекрываемого диапазона. Традиционными биморфными преобразователями можно перекрыть этот диапазон частот, если использовать три различных диаметра диска.

## ВЫБОР КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ

Для гидроакустических труб разработана конструкция преобразователя, которая представлена на рис. 1. Он состоит из: пьезокерамических биморфных дисков 1, 2, 3 и 4; металлических обойм 5 и 6; переходной втулки 6; резинового чехла 8; корпусной втулки 9; резиновых шайб 10 и 12; резинового уплотнительного кольца 11; специальной металлической шайбы 13; гайки 14; корпуса 15.

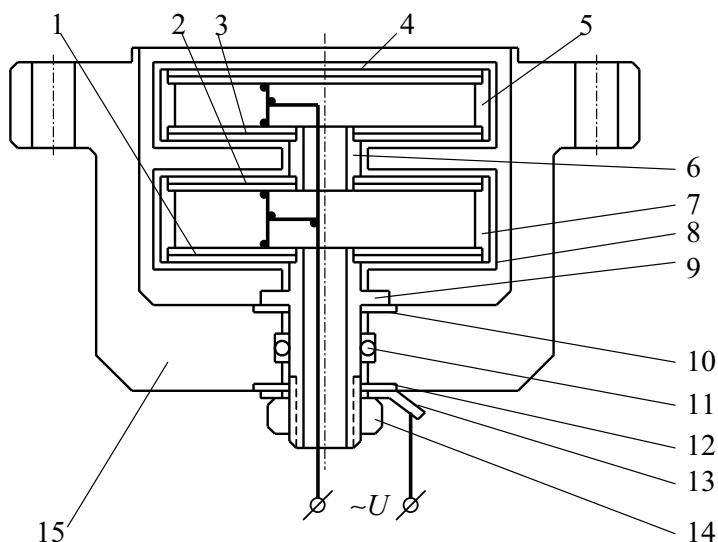


Рис. 1

Предварительно исследовались частоты изгибных резонансов биморфных элементов методом амплитудно-фазовых измерений [2]. Они составили  $f_4 = 4,5$  kHz для сплошного диска 4 и  $f_1 = f_2 = f_3 = 4$  kHz для дисков с отверстием 1, 2 и 3. Определённые после сборки преобразователя частоты изгибных и радиальных резонансов на воздухе были равны, kHz: 0,98; 3,3; 4,3 и 10,05; 11,4; 13,4; 15,1. При нагрузке преобразователя водой все резонансы сдвигаются в низкочастотную область.

Для идентичных биморфных пьезокерамических элементов смещение частот резонанса отдельных элементов в низкочастотную область с дискретизацией, обеспечивающей работу в широком диапазоне частот, получено благодаря применению различных нагружающих их масс. Для одного из преобразователей соотношения между массами, нагружающими биморфные элементы 1, 2, 3 и массой  $m_4$  биморфного элемента без отверстия 4 имели следующие значения:  $m_1/m_4 = 4,62$ ,  $m_2/m_4 = 2,32$ ,  $m_3/m_4 = 1,14$ , где  $m_1$ ,  $m_2$  и  $m_3$  – массы соответствующих вышележащих конструкций преобразователя нагружающие пьезокерамические диски 1, 2 и 3.

Исследование ряда конструкций преобразователей, состоящих из четырёх одинаковых биморфов, обеспечивающих расширение рабочего диапазона частот в низкочастотную область, позволило построить экспериментальный график взаимосвязи резонансных частот с массами, нагружающими пьезокерамические диски (рис. 2).

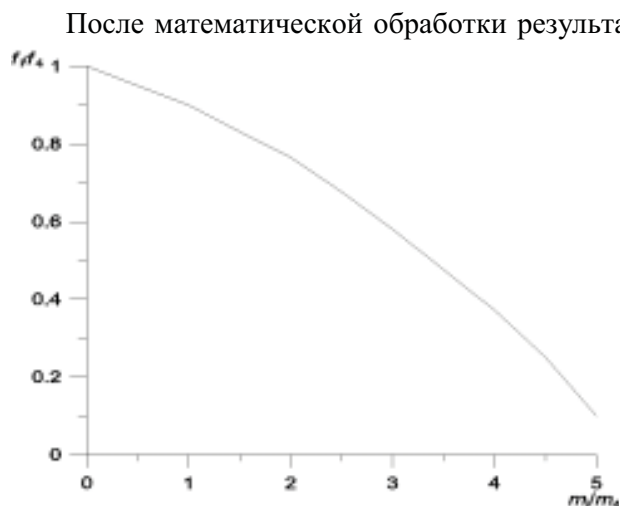


Рис. 2

$$\frac{f_i}{f_4} = 1,44 - 0,438 \exp\left(0,222 \frac{m_i}{m_4}\right),$$

где  $I = 1, 2, 3, 4$  – номер биморфа, начиная от опорного элемента.

Массы  $m_1 - m_3$ , нагружающие биморфы, рассчитываются по вышеприведенной формуле. Для расчёта выбирают резонансную частоту сплошного биморфного пьезокерамического диска  $f_4$ , измеряют его массу  $m_4$ , а также задаются частотами  $f_1 - f_3$ ,

которые должны образовать ряд резонансных частот в низкочастотной области. Вычитая из массы, нагружающей  $i$ -ый биморф, массу вышерасположенных пьезокерамических дисков, получим массу конструктивных элементов (обойма, втулка и т.д.), исходя из величины которой, разрабатывается конфигурация обоймы и втулки.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Частотные характеристики чувствительности преобразователя, параметры которого приведены в предыдущем разделе, показаны на рис. 3. Здесь приведены для режима излучения относительные чувствительности по току  $\gamma/\gamma_{\max}$  (кривая 1), по напряжению  $\gamma_U/\gamma_{U\max}$  (кривая 2), которые сняты в гидроакустической трубе по методу самовзаимности а также с помощью образцового гидрофона диаметром 6 мм. Кроме того, на этом рисунке представлено относительное давление  $P_f/P_{\max}$  развиваемое преобразователем на расстоянии в 1 м в неограниченном пространстве (кривая 3), полученное в заглушённом гидроакустическом бассейне. Абсолютные максимальные значения этих величин были следующие:

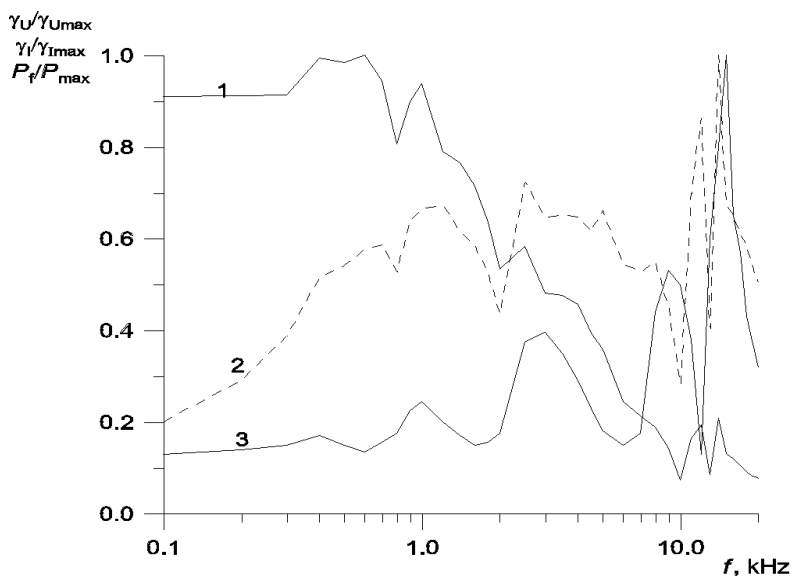


Рис. 3

$0,693 \text{ kPa/V}$  и  $P_{\max} = 2,0 \text{ Pa}\cdot\text{m/V}$ .

Относительная чувствительность в режиме приёма преобразователя  $\mu/\mu_{\max}$  приведена на рис. 4, где максимальное значение  $\mu_{\max} = 0,246 \text{ mV/Pa}$ .

(кривая 2), которые сняты в гидроакустической трубе по методу самовзаимности а также с помощью образцового гидрофона диаметром 6 мм. Кроме того, на этом рисунке представлено относительное давление  $P_f/P_{\max}$  развиваемое преобразователем на расстоянии в 1 м в неограниченном пространстве (кривая 3), полученное в заглушённом гидроакустическом бассейне. Абсолютные максимальные значения этих величин были следующие:  $\gamma_{\max} = 0,695 \text{ MPa/A}$ ,  $\gamma_{U\max} =$

Из анализа характеристики  $\mu/\mu_{\max}$  видно, что полоса пропускания в диапазоне частот, до 2 кГц, составляет 133 %, а в диапазоне от 2 до 10 кГц – 117 %. Зависимость

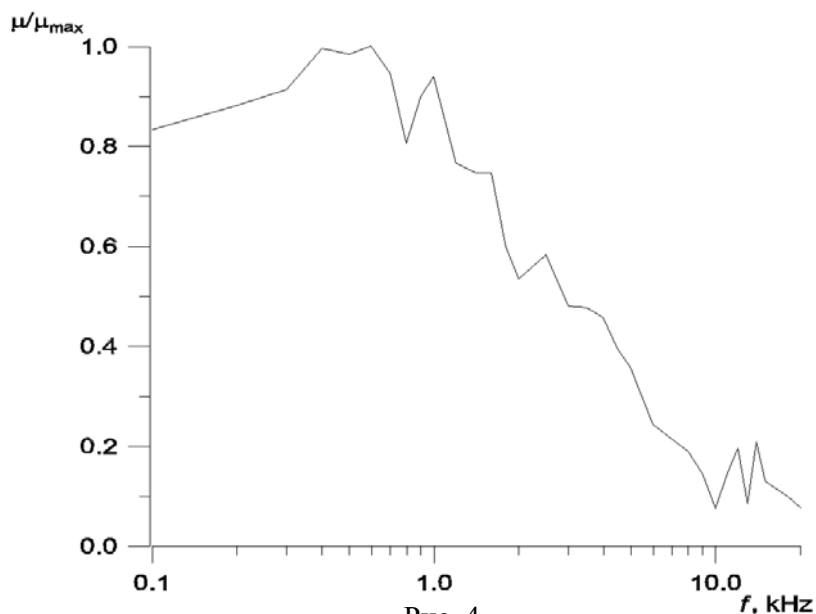


Рис. 4

зависимостью  $\mu/\mu_{\max}$  имеет широкую полосу пропускания на частотах ниже 2 кГц, равную 177,8 %. Выше указанной частоты величина  $\mu/\mu_{\max}$  убывает. Характеристика  $\mu/\mu_{\max}$  имеет неравномерность  $\pm 0,5$  дБ, до частоты 1,5 кГц, а выше этого значения частоты наблюдается спад чувствительности вплоть до 10 кГц. Изгибный преобразователь рассмотренного типа обладает широкой полосой частот, которая связана с образованием колебательной системы, имеющей спектр резонансов. Это хорошо видно по характеристике  $\mu/\mu_{\max}$ . Она имеет два резонансных горба в низкочастотной области: первый – в диапазоне частот от 0,4 до 0,6 кГц, а второй – от 0,8 до 1,5 кГц. В высокочастотной области резонансные горбы расположены соответственно от 2,3 до 3,0 кГц и от 4,0 до 5,5 кГц. Плавность перехода от одного изгибного резонанса к другому обеспечивается синфазностью колебаний отдельных биморфных элементов.

## ВЫВОДЫ

Экспериментальные результаты показали, что увеличение широкополосности достигается при соотношении массы каждой последующей обоймы к предыдущей обойме, равном 0,4 – 0,6. Рабочий диапазон частот преобразователя для режима излучения при постоянном напряжении составляет 5 октав – от 0,3 до 10,0 кГц – при неравномерности амплитудно-частотной характеристики для  $\mu/\mu_{\max}$ , равной  $\pm 3$  дБ. Причём, в пределах рабочего диапазона имеется две полосы пропускания более 100 % каждая, с неравномерностью  $\pm 1,5$  дБ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кэндиг П. Последние достижения в разработке преобразователей / В кн. Подводная акустика. М.: Мир, 1970. С. 29-63.
2. Пьезокерамические преобразователи. Справочник / В.В. Ганопольский, Б.А. Касаткин, Ф.Ф. Легуша, Н.И. Прудько, С.И. Пугачёв. Л.: Судостроение, 1984. 256 с.
3. Семендяев К.А. Эмпирические формулы. М.-Л.: ГТТИ, 1933. 88с.