

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, прикреплённый 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. Заключённая в корпусе жидкость увеличивает жёсткость 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 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 λ – 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.

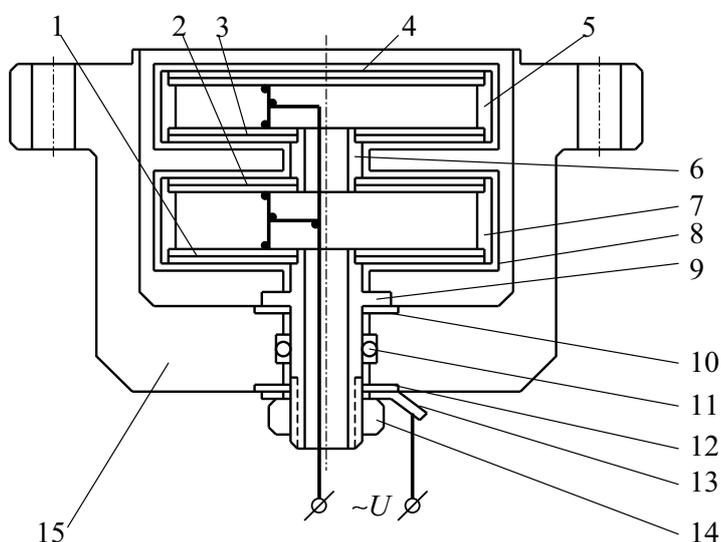


Рис. 1

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).

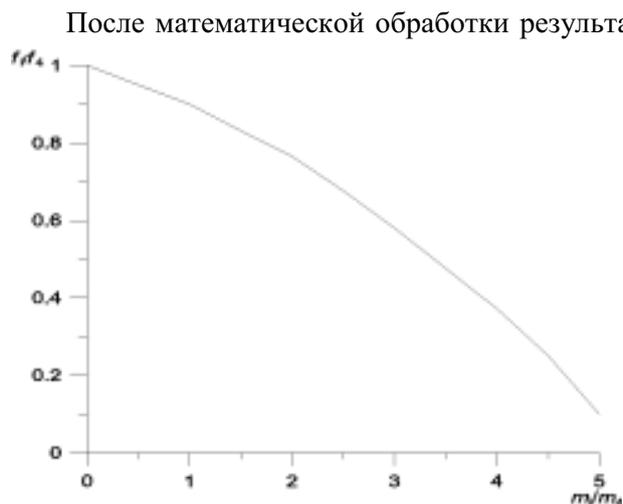


Рис. 2

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

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 γ/γ_{\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:

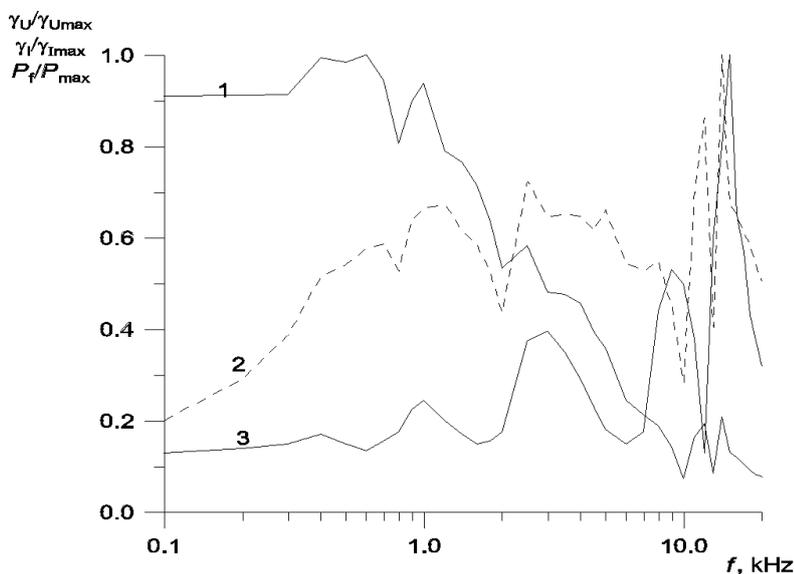


Рис. 3

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

Относительная чувствительность в режиме приёма преобразователя μ/μ_{\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 μ/μ_{\max} видно, что полоса пропускания в диапазоне частот, до 2 кГц, составляет 133 %, а в диапазоне от 2 до 10 кГц – 117 %. Зависимость

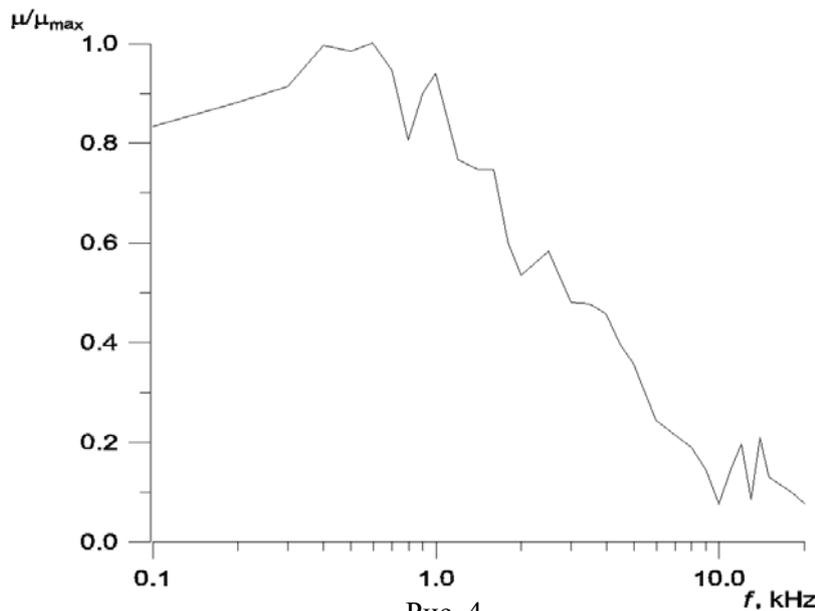


Рис. 4

зависимостью μ/μ_{\max} имеет широкую полосу пропускания на частотах ниже 2 кГц, равную 177,8 %. Выше указанной частоты величина μ/μ_{\max} убывает. Характеристика μ/μ_{\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 μ/μ_{\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 μ/μ_{\max} , равной ± 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.