

В. М. ШАРАПОВ, О. Н. ПЕТРИЩЕВ, А. М. ПРОХОРЕНКОВ,
К. В. БАЗИЛО, Ж. В. СОТУЛА

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЗВУКОВОГО ДАВЛЕНИЯ МОНОМОРФНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ПЬЕЗОЭЛЕМЕНТОВ

Рассматривается эффект возникновения низкочастотных колебаний в мономорфных пьезоэлементах. Предложены два способа повышения уровня звукового давления, создаваемого в этом случае: разделение электродов пьезоэлемента и использование дополнительного колебательного контура на его входе.

Ключевые слова: мономорфный пьезоэлемент, низкочастотные колебания, звуковое давление, амплитудно-частотная характеристика.

Пьезоэлектрические преобразователи широко применяются в электро- и гидроакустике, в частности для излучения и приема акустических колебаний в воздушной или водной среде, а также в измерительной технике, при неразрушающем контроле, в пьезодвигателях, в сканерах наномикроскопов и в других областях [1—6].

Для изготовления таких преобразователей используются мономорфные пьезоэлементы, а также биморфные, состоящие из двух пьезоэлементов или пьезоэлемента и металлической пластины, соединенных с помощью клея или припоя [2, 4].

Традиционно считается, что в свободно расположенных мономорфных пьезоэлементах в виде пластин, брусков, дисков изгибные (низкочастотные) колебания не возникают [3, 4]. Между тем авторами настоящей статьи обнаружено возникновение таких колебаний в мономорфных пьезоэлементах, однако уровень создаваемого ими звукового давления относительно невелик [7].

Низкочастотный звук распространяется в водной среде практически без затухания на расстояние до нескольких тысяч километров благодаря формированию в верхнем слое подводного звукового канала — акустического волновода рефракционного типа, что обеспечивает очевидные преимущества низкочастотной акустики при решении широкого круга задач [8, 9]. Однако рабочие частоты мономорфных пьезоэлементов составляют в зависимости от их размера от единиц до десятков килогерц.

В настоящей статье рассматриваются методы повышения уровня звукового давления, создаваемого мономорфными пьезоэлементами на низких частотах.

На рис. 1 приведены схема подключения мономорфного пьезоэлемента $\varnothing 66 \times 3$ мм, изготовленного из пьезокерамики ЦТС-19 (рис. 1, а), и графики амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) по звуковому давлению $p_{зв}(f)$ в низкочастотной и высокочастотной областях (рис. 1, б, в соответственно). Резонансу соответствует резонансное давление $p_r = 76,5$ дБ при сопротивлении $r_0 = 8,44$ кОм.

Пьезоэлемент возбуждался от генератора (G) электрических колебаний типа ГЗ-109 напряжением 1 В, которое подводилось к электродам $I-I'$. Звуковое давление измерялось шумомером фирмы RFT (Германия).

Как видно из графиков (см. рис. 1, б, в), уровень звукового давления, создаваемого в низкочастотной области, почти на 20 дБ ниже уровня звукового давления на частоте 34 кГц.

Для увеличения уровня изгибных колебаний предложено создать в пьезоэлементе электрическое поле, стимулирующее эти колебания, для чего электроды на пьезоэлементе были разделены на кольца (1, 1') и диски (2, 2'): см. рис. 2. Генератор подключался к электродам 1 и 2' (рис. 2, а) или 1 и 2 (рис. 2, б). В этом случае вектор электрического поля \mathbf{E} возбуждающего напряжения составлял угол α , $0 < \alpha \leq 90^\circ$, с вектором поляризации \mathbf{P} .

При использовании этих схем в пьезоэлементах возможны два конкурирующих процесса — усиление изгибных колебаний за счет расположения вектора возбуждающего поля и одновременно уменьшение этих колебаний за счет увеличения собственного сопротивления пьезоэлемента. Это потребовало экспериментальной проверки предложенной идеи.

Для преобразователей II и III (см. рис. 2, а, б) были измерены амплитудно-частотные характеристики по звуковому давлению. Одновременно на резонансной частоте измерялось внутреннее трение в пьезоэлементе [2]. Результаты измерений приведены на рис. 3, а, б соответственно.

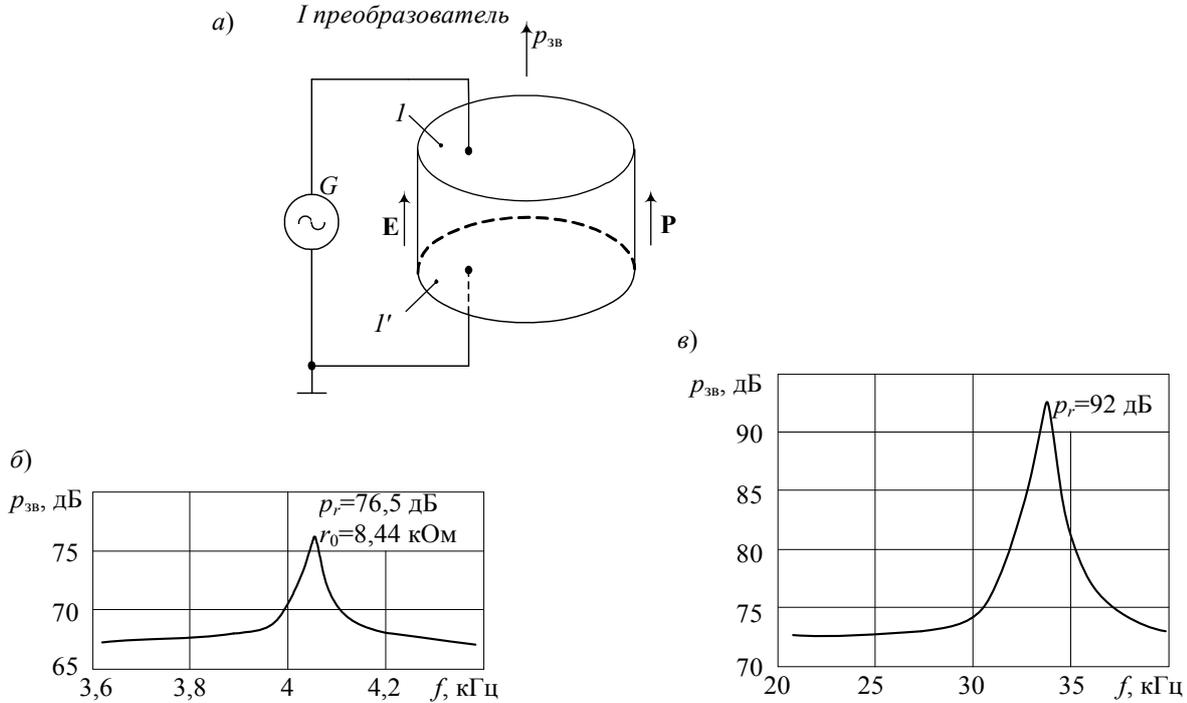


Рис. 1

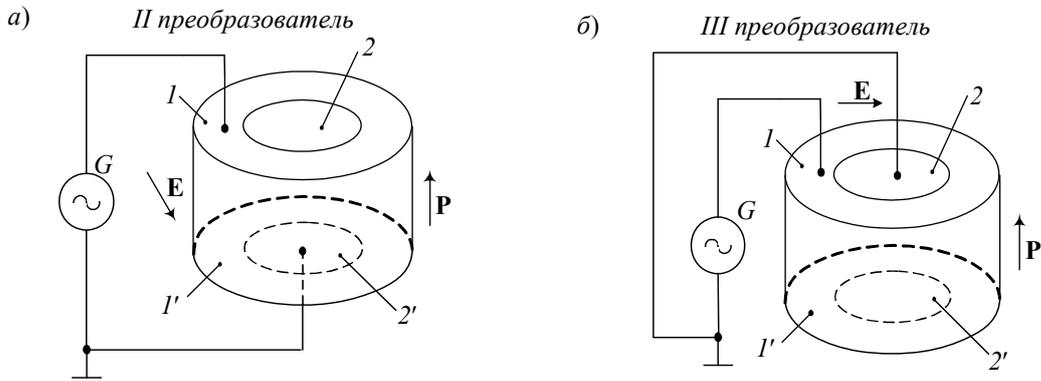


Рис. 2

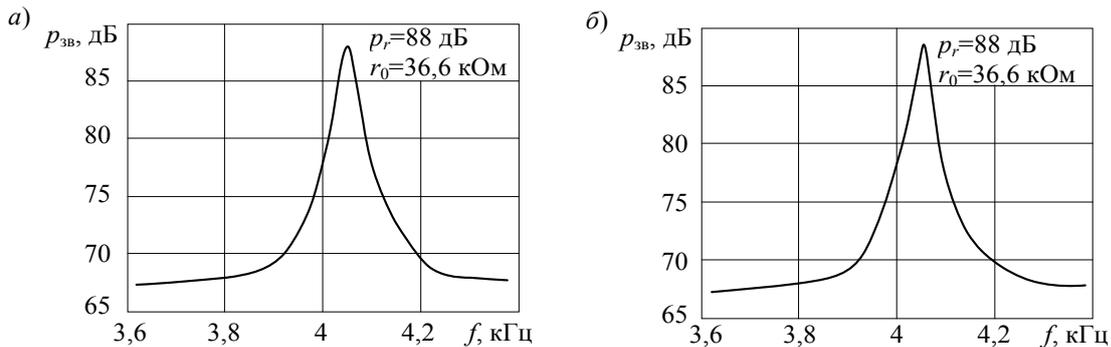


Рис. 3

Анализ рис. 3 показывает, что для преобразователей II и III ($\alpha \approx 90^\circ$) уровень звукового давления возрос примерно на 12 дБ, резонансная частота не изменилась, а значение r_0 увеличилось примерно в 4 раза по сравнению с преобразователем I ($\alpha=0$, см. рис. 1, а).

Для дальнейшего увеличения звукового давления предложено создать на входе пьезоэлемента колебательный контур из добавочной индуктивности L_d и межэлектродной емкости $C_{эл}$ пьезоэлемента. Индуктивность L_d определяется выражением [3]

$$L_d = \frac{1}{4\pi^2 f_r^2 C_{эл}},$$

где f_r — резонансная частота пьезоэлемента.

Схемы подключения пьезоэлемента при использовании колебательного контура с добавочной индуктивностью и емкостью между электродами 1—2', 1—2 и 1—1' показаны на рис. 4, а—в соответственно.

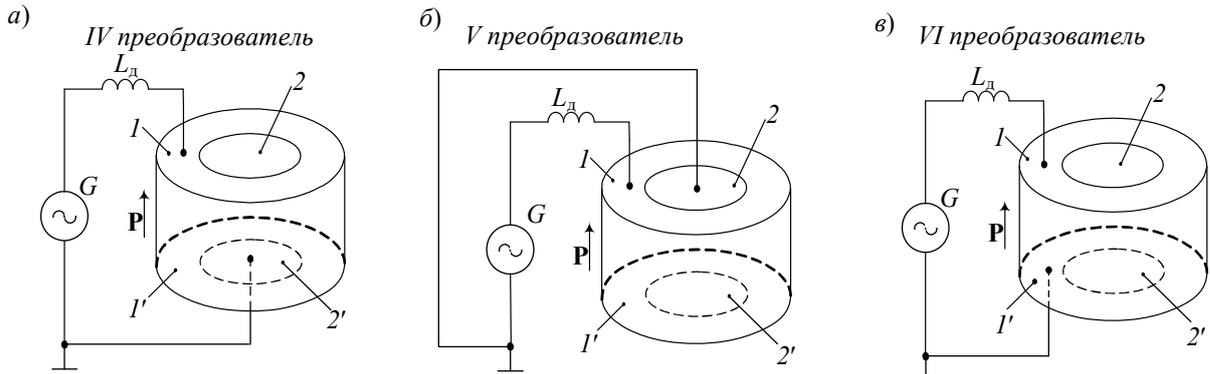


Рис. 4.

Результаты измерений АЧХ преобразователей IV, V, VI (см. рис. 4) показаны на рис. 5, а—в соответственно.

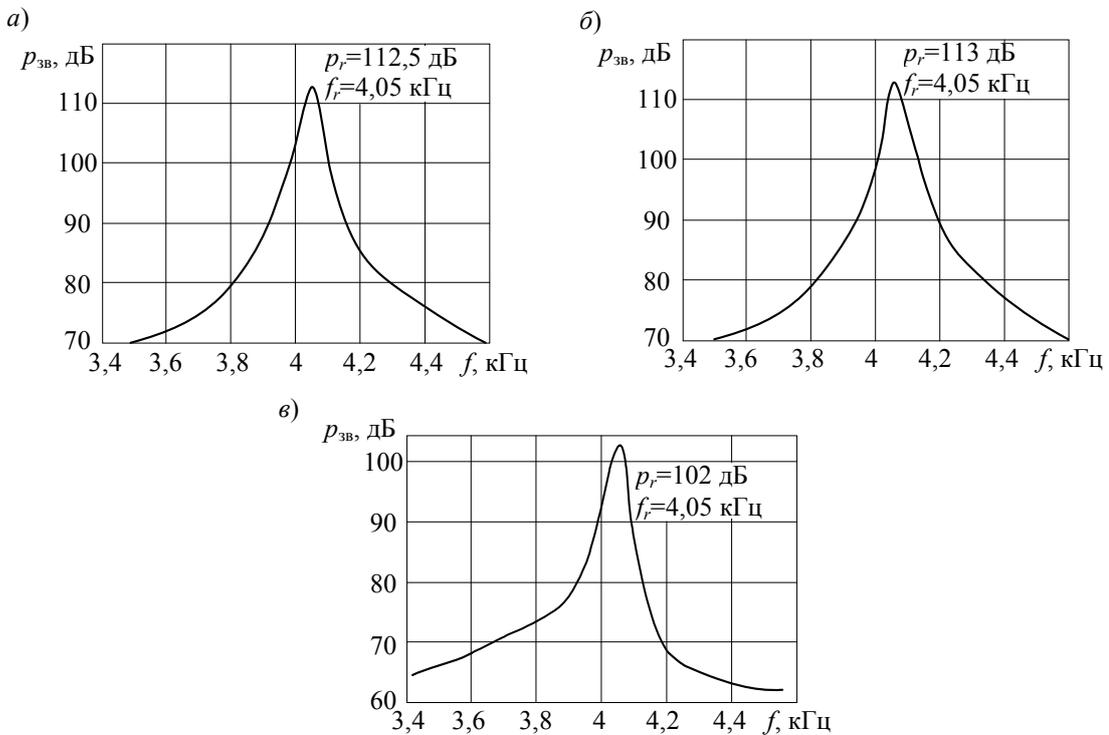


Рис. 5.

Как показывает анализ рис. 5, уровень звукового давления при $f_r=4,05$ кГц для преобразователей IV—VI увеличился примерно на 24 дБ по сравнению с преобразователями II, III и примерно на 36 дБ по сравнению с преобразователем I.

Итак, рассмотрен эффект возникновения низкочастотных акустических колебаний в мономорфных пьезоэлементах и предложены два способа повышения уровня создаваемого ими звукового давления.

Результаты представленного исследования могут быть использованы при проектировании электроакустических преобразователей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Sharapov V.* Piezoceramic Sensors. Heidelberg — Dordrecht — London — New York: Springer Verlag, 2011.
2. *Шарпов В. М., Мусиенко М. П., Шарпова Е. В.* Пьезоэлектрические датчики. М.: Техносфера, 2006.
3. *Sharapov V., Sotula Zh., Kunitskaya L.* Piezoelectric Electroacoustic Transducers. Heidelberg — Dordrecht — London — New York: Springer Verlag, 2013.
4. *Шарпов В. М., Минаев И. Г., Сотула Ж. В., Куницкая Л. Г.* Электроакустические преобразователи. М.: Техносфера, 2013.
5. *Минаев И. Г., Трофимов А. И., Шарпов В. М.* К вопросу о линеаризации выходных характеристик пьезоэлектрических силоизмерительных преобразователей // Изв. вузов СССР. Приборостроение. 1975. Т. 18, № 3.
6. *Минаев И. Г., Шарпов В. М.* Применение частотно-модулированных колебаний в измерительных преобразователях // Изв. вузов СССР. Приборостроение. 1976. Т. 19, № 8.
7. *Шарпов В. М., Минаев И. Г., Сотула Ж. В., Базило К. В., Самойленко В. В.* Об эффекте возникновения изгибных колебаний в мономорфных пьезоэлементах // Вестн. ЧГТУ. 2011. № 3. С. 60—62.
8. Электронный ресурс: <www.ipfran.ru>.
9. Подводные электроакустические преобразователи: Справочник / Под ред. В. В. Богородского. Л.: Судостроение, 1983.

Сведения об авторах

- Валерий Михайлович Шарпов** — д-р техн. наук, профессор; Черкасский государственный технологический университет, кафедра компьютеризированных и информационных технологий в приборостроении; заведующий кафедрой; E-mail: v_sharapov@gambler.ru
- Олег Николаевич Петрищев** — д-р техн. наук, профессор; Национальный технический университет Украины „Киевский политехнический институт“, кафедра акустики и акустоэлектроники; E-mail: om.petrishev@aae.kpi.ua
- Александр Михайлович Прохоренков** — канд. техн. наук, профессор; Мурманский государственный технический университет, кафедра автоматизации и вычислительной техники; заведующий кафедрой; E-mail: prohorenkovam@mstu.edu.ru
- Константин Викторович Базило** — канд. техн. наук, доцент; Черкасский государственный технологический университет, кафедра компьютеризированных и информационных технологий в приборостроении; E-mail: b_constantine@mail.ru
- Жанна Васильевна Сотула** — канд. техн. наук, доцент; Черкасский государственный технологический университет, кафедра компьютеризированных и информационных технологий в приборостроении; E-mail: janna-sotula@yandex.ua

Рекомендована кафедрой компьютеризированных и информационных технологий в приборостроении ЧГТУ

Поступила в редакцию
20.11.13 г.