УДК 681.586

Заїка В. М.,
аспірант кафедри комп'ютеризованих та інформаційних технологій у приладобудуванні, Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, Україна
zavasio@mail.ru
Базіло К. В.,
канд. техн. наук, доцент кафедри комп'ютеризованих та інформаційних технологій у приладобудуванні, Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, Україна;
b_constantine@mail.ru
Туз В. В.,
канд. техн. наук, доцент кафедри комп'ютеризованих та інформаційних технологій у приладобудуванні, Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, Україна;
clava2005@rambler.ru
Маштапа О. І.,
аспірант кафедри комп'ютеризованих та інформаційних технологій у приладобудуванні, Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, Україна
hallseker@mail.ru

УЛУЧШЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ УСТРОЙСТВ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДАЛЬНОМЕТРИИ

Важнейшими задачами ультразвуковой дальнометрии есть концентрированная посылка звуковых волн к контролируемому телу и направленный прием отраженных волн. В работе описано влияние элементов конструкции на характеристики пьезоэлектрического электроакустического преобразователя. Приведены конструкции, а также диаграммы направленности преобразователя. Рассмотрены примеры улучшения чувствительности центрального лепестка электроакустического преобразователя путем добавления в конструкцию дополнительного объемного резонатора. Рассмотрены важные задачи проектирования и расчета основных узлов ультразвуковых измерительных устройств. Проанализированы основные преимущества и недостатки тракта приема ультразвуковых сигналов, использующего электроакустические преобразователи с дополнительными конструктивными элементами.

Ключевые слова: *электроакустический преобразователь; биморфный пьезоэлемент; диаграмма направленности; ультразвуковые сигналы; объемный резонатор Гельмгольца.*

Пьезоэлектрические преобразователи широко применяются в измерительной технике (измерители расстояний, давлений, параметров вибраций), а также электроакустике, гидроакустике, неразрушающем контроле и других областях науки и техники [1-3]. В измерителях расстояний, как правило, используется два преобразователя: один – для излучения звуковой волны, второй – для приема отраженного сигнала.

Снижение резонансной (рабочей) частоты и увеличение уровня создаваемого звукового давления актуально во многих случаях [3].

Обычно возбуждение пьезоэлектрических преобразователей производят на резонансной частоте. Это связано с тем, что на резонансной частоте индуктивное и емкостное сопротивления компенсируют друг друга и выходным сопротивлением пьезоэлемента является в основном активное сопротивление. Максимальный ток через пьезоэлемент и максимальная мощность, излучаемая пьезоэлементом, могут быть достигнуты именно на резонансной частоте [4].

Пьезоэлектрический элемент представляет собой электромеханическую колебательную систему с достаточно высокой добротностью. Присоединение к такой системе механических или электрических элементов изменяет ее параметры [5-7].

В частности, если к пьезоэлементу присоединить механически дополнительную колебательную систему, примером которой является резонатор Гельмгольца, то в этом случае можно получить изменение характеристик преобразователя.

Важнейшими задачами ультразвуковой дальнометрии является концентрированная посылка звуковых

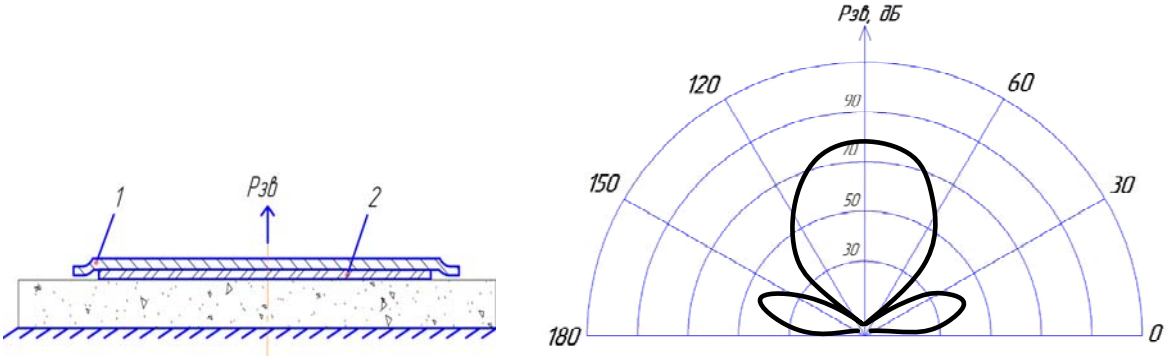
волн к контролируемому телу и направленный прием отраженных волн. Известные образцы таких устройств, имеют ряд недостатков связанных с широкой диаграммой направленности и низкой мощностью излучаемых сигналов.

Целью данной работы является получения достаточно узкой диаграммы направленности и высокой звуковой мощности излучателя путем использования модифицированного резонатора Гельмгольца.

Пьезоэлектрический электроакустический преобразователь (ПЕАП) содержит асимметричный биморфный элемент (БПЭ), который состоит из металлической пластины *1* из стали 40Х диаметром 32 и толщиной 0,15 мм. Пьезоэлемент *2* Ø23 и толщиной 0,2 мм приклеен к пластине эпоксидным компаундом (рис. 1, а). На вход пьезоэлектрического преобразователя подавалось напряжение от генератора Г3–109 амплитудой 1В. Диаграмма направленности электроакустического преобразователя по звуковому давлению (рис. 1, б) измерялась с помощью шумомера фирмы RFT. Микрофон располагался над образцом на таком расстоянии, чтобы выполнялось условие пребывания его в области сферического излучения (зона дифракции Фраунгофера) [8]:

$$r \geq 2d^2 \lambda^{-1}, \qquad (1)$$

где d – наибольший линейный размер преобразователя; λ – длина волны.



а) б)

Рис. 1. Электроакустический преобразователь (а) и его диаграмма направленности (б)

Для повышения уровня звукового давления авторами предложено к БПЭ добавить объемный резонатор, состоящий из электромеханической колебательной системы (БПЭ) *1* и акустической (механической) колебательной системы – объемного резонатора *2* (рис. 2, а) [8, 9], нагруженной на внутреннюю массу среды *M*.

Колебательная масса среды *M* (в граммах) определяется как:

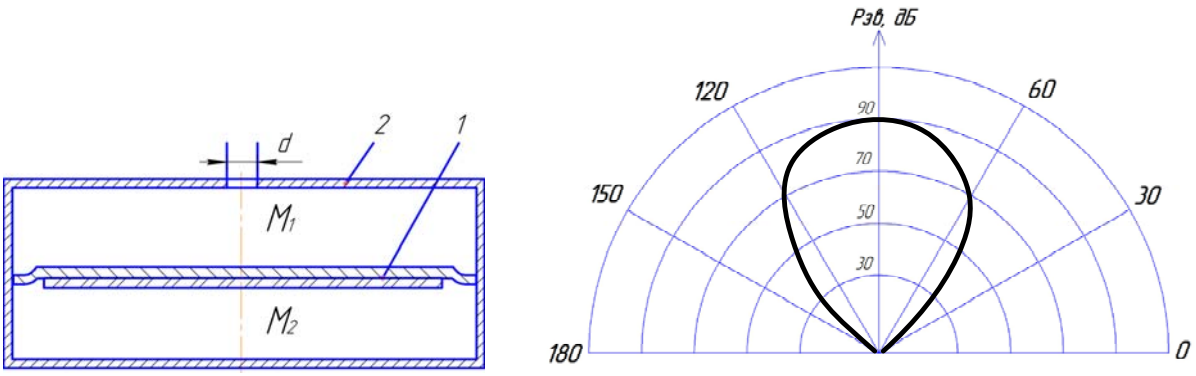
$$M_1 = M_2, \qquad (2)$$

$$M = 0{,}33\rho d^3, \qquad (3)$$

для воздуха

$$M = 8 \cdot 10^{-4} d^3. \qquad (4)$$

Диаграмма направленности преобразователя по звуковому давлению показана на рис. 2, *б*.



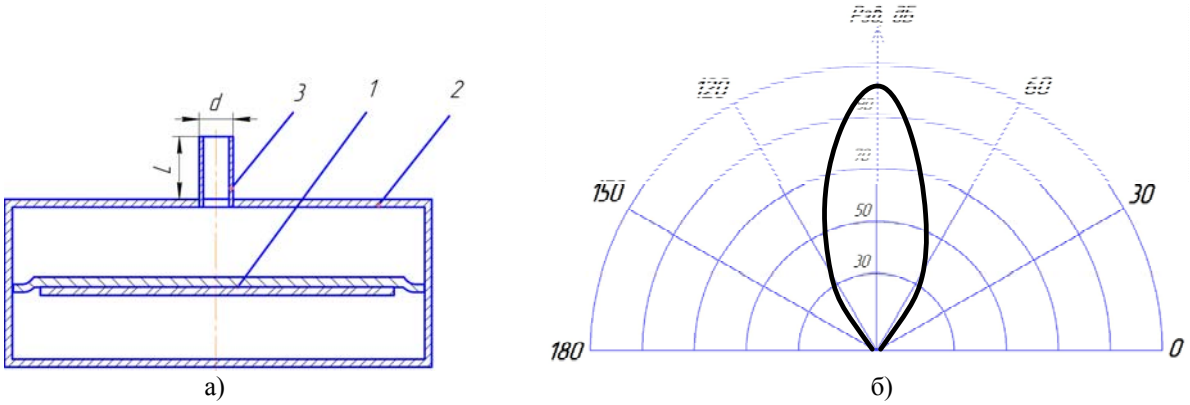
а) б)

Рис. 2. Электроакустический преобразователь с объемным резонатором (а) и его диаграмма направленности (б)

Из рис. 2 видно, что симметрирование нагрузки преобразователя позволяет увеличить уровень выходного звукового давления, подавить боковые лепестки – тем самым улучшить геометрию направленности ПЕАП [10].

Для исключения попадания сигналов, отраженных от соседних контролируемых элементов, а также для увеличения плотности потока отраженной энергии необходимо иметь малый диаметр излучателя и по возможности малый угол расхождения звукового

пучка. Эти два требования противоречат друг другу, поскольку для уменьшения угла расхождения необходимо пропорционально увеличивать диаметр излучателя, а это приводит к увеличению начального звукового пучка. Однако существуют методы, при которых размеры звукового пучка будут минимальными. Такой эффект можно получить применяя как излучатель модифицированный резонатор Гельмгольца, состоящий из биморфного пьезоэлемента *1* и воздушного резонатора *2*, на котором установлена резонаторная трубка *3* (рис. 3, а), которая пространственно ориентирует звуковой пучок относительно акустической оси. Диаграмма направленности преобразователя по звуковому давлению показана на рис. 3, б.



а) б)

Рис. 3. Электроакустический преобразователь с резонатором Гельмгольца (а) и его диаграмма направленности (б)

Диаметр и длину трубки рассчитывают исходя из выражений:

$$L = \frac{C_0}{4f}; \quad (5)$$

$$D = \sqrt{\frac{2kC_0L}{f}}, \quad (6)$$

где k – числовой коэффициент, учитывающий относительное изменение звукового давления на границе звукового пятна; L – длина резонаторной трубки; C_0 – скорость распространения звука в воздухе (340 м/с); f – резонансная частота.

Собственная частота резонатора Гельмгольца равна:

$$f_r = \frac{c_0}{2\pi}\sqrt{\frac{S}{VL}}, \quad (7)$$

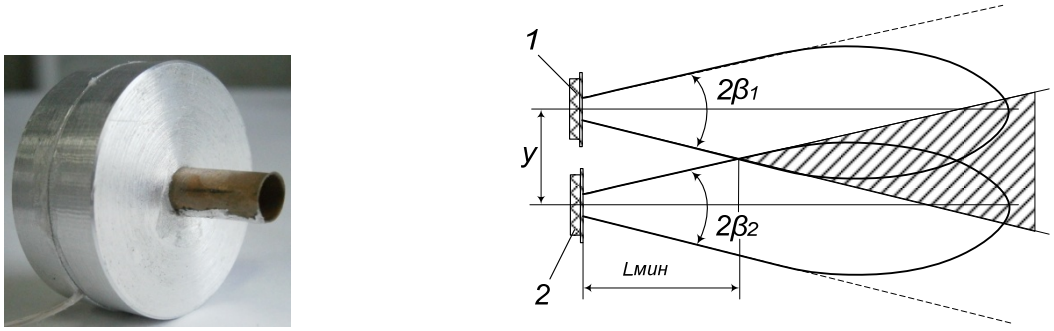
где f_r – частота, Гц; c_0 – скорость звука в воздухе (~ 340 м/с); S – сечение отверстия, м^2; L – длина резонаторной трубки, м; V – объем резонатора, м^3.

Ультразвуковые (УЗ) измерительные устройства для приема сигналов используют пьезоэлектрические преобразователи, которые выполняют функцию как передатчика так и приемника. Весьма важным звеном является тракт приема УЗ сигналов, так как необходимо считаться с определенными физическими ограничивающими факторами.

Общая характеристика направленности излучателя УЗ измерительних устройств, состоящей из пьезоэлектрических преобразователей, которые включают в себя излучатель *1* и приемник *2*, показана на рис. 4. В этом случае, при работе возникает параллакс ***y***, из-за которого конструкция имеет зону нечувствительности, что является недостатком, равную:

$$L_{мин} \approx \frac{y}{2tg\beta} \approx \frac{y}{2\beta}, \quad (8)$$

для β≤20°.



а) б)

Рис. 4. Конструкция (а) и характеристика направленности (б) УЗ излучателя

Преимуществом данной конструкции является ее простота, а также использование в ней однотипных электроакустических преобразователей, например выпускаемых промышленностью пьезокерамических дисков из керамики ЦТС-19. Так как данная конструкция имеет зону нечувствительности, то при установке

акустического преобразователя, нужно обеспечить такое положение, при котором наименьшее измеряемое расстояние будет несколько превышать $L_{мин}$. Также необходимо выполнить корпус из двух идентичных частей – излучателя и приемника, что дает возможность использовать эти независимые части порознь.

В заключении следует отметить, что использование модифицированных резонаторов Гельмгольца как элементов конструкции, позволяет расширить возможности проектирования электроакустических преобразователей для ультразвуковой дальнометрии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sharapov V. Piezoceramic sensors / V. Sharapov. – Heidelberg, Dordrecht, London, New York : Springer Verlag, 2011. – 498 p.
2. Шарапов В. М. Пьезоэлектрические датчики / В. М. Шарапов, М. П. Мусиенко, Е. В. Шарапова. – М. : Техносфера, 2006. – 632 с.
3. Sharapov V. Piezoelectric electroacoustic transducers / V. Sharapov, Zh. Sotula, L. Kunitskaya. – Heidelberg, Dordrecht, London, New York : Springer Verlag, 2013. – 240 p.
4. Пьезокерамические трансформаторы и датчики / В. М. Шарапов, И. Г. Минаев, Ж. В. Сотула, К. В. Базило, Л. Г. Куницкая / Под ред. В. М. Шарапова. – Черкассы : Вертикаль, 2010. – 278 с.
5. Шарапов В. М. Технологии синтеза пьезокерамических датчиков // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2010. – № 3. – С. 90–96.
6. Шарапов В. М. Пьезокерамические преобразователи. Новые технологии проектирования / В. М. Шарапов, Ж. В. Сотула // Электроника НТБ. – 2012. – № 5. – С. 96–102.
7. Шарапов В. М. Применение объемных резонаторов в пьезоэлектрических электроакустических преобразователях / В. М. Шарапов, А. М. Салагор, Ж. В. Сотула, В. М. Заика // Современная электроника. – 2013. – № 5. – С. 58–60.
8. Горбатов А. А. Акустические методы измерения расстояний и управления / А. А. Горбатов, Г. Е. Радашевский. – М. : Энергоиздат, 1981. – 207 с.
9. Акустика : [справочник] / А. П. Ефимов, А. В. Никонов, М. А. Сапожков, В. И. Шоров; Под ред. М. А. Сапожкова. – М. : Радио и связь, 1989. – 336 с.
10. Пат. 88566 Україна, МПК H04R 17/00. Електроакустичний перетворювач / В. М. Шарапов, А. М. Салогор Ж. В. Сотула, В. М. Заїка. – № 201310708 ; заяв. 05.09.13 ; опубл. 25.03.13, бюл. № 6.

Заїка В. М., *Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, Україна*
Базіло К. В., *Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, Україна*
Туз В. В., *Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, Україна*
Маштапа О. І., *Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, Україна*

ПОКРАЩЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОАКУСТИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ДЛЯ ПРИСТРОЇВ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ДАЛЬНОМЕТРІЇ

Найважливішими завданнями ультразвукової дальнометрії є концентрована посилка звукових хвиль до контрольованого тіла і спрямований прийом відбитих хвиль.

У роботі описано вплив елементів конструкції на характеристики п'єзоелектричного електроакустичного перетворювача. Приведені конструкції, а також діаграми спрямованості перетворювача. Розглянуті приклади покращення чутливості центрального пелюстка електроакустичного перетворювача шляхом додавання до конструкції додаткового об'ємного резонатора. Розглянуті важливі задачі проектування та розрахунку основних вузлів ультразвукових вимірювальних пристроїв. Проаналізовані основні переваги та недоліки тракту прийому ультразвукових сигналів, у якому використовують електроакустичні перетворювачі з додатковими конструктивними елементами.

Ключові слова: *електроакустичний перетворювач; біморфний п'єзоелемент; діаграма спрямованості; ультразвукові сигнали; об'ємний резонатор Гельмгольца.*

Zaika V. M., *Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine*
Bazilo K. V., *Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine*
Tuz V. V., *Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine*
Mashtapa O. I., *Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine*

IMPROVEMENT OF ELECTROACOUSTIC TRANSDUCERS CHARACTERISTICS FOR ULTRASOUND LEMETRY DEVICES

Piezoelectric transducers are widely used in measuring technique (distance, pressure, vibration parameters meters) and also in electroacoustic, hydroacoustic, nondestructive testing, and other areas of science and technology. In distance meters are generally used two transducers – one for radiation of the sound wave, the second – for reception a reflected signal.

This work drscribes the influence of structural elements on the characteristics of piezoelectric electroacoustic transducers. The major tasks of ultrasonic measuring systems are sound waves concentrated sending to the controlled object and reflected waves receiving. Electroacoustic transducer is an oscillating system with a sufficiently high quality

factor and contains an asymmetric bimorph element. Directed effect can be obtained using as radiator a modified Helmholtz resonator consisting of bimorph piezoelectric element and the air resonator with the resonator tube, which spatially orients the sound beam relative to acoustic axis. Typically, piezoelectric transducers are excited at the resonant frequency. Ultrasonic measuring systems in receiving channel use piezoelectric transducers as a radiator and a receiver. The advantage is the simplicity of construction, and the use of the same type of electroacoustic transducers. An example of the selectivity improvement of the central lobe of electroacoustic transducer is the cavity resonator addition to the construction of the piezoelectric transducer.

Key words: *electroacoustic transducer; bimorph piezoelement; radiation pattern; Helmholtz resonator.*

© Заїка В. М., Базіло К. В., Туз В. В.,
Маштапа О. І., 2014

Дата надходження статті до редколегії 18.12.2014 р.