

**Гросуль Сергей Александрович** – Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге; e-mail: Tarkus.GSA@gmail.com; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский 44; тел.: +79043470167; кафедра радиотехнических и телекоммуникационных систем; аспирант.

**Grosul Sergej Alexandrovich** – Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: Tarkus.GSA@gmail.com; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +79043470167; the department of radio engineering and telecommunication systems; postgraduate student.

УДК 534.222

**Р.А. Козаченко, А.С. Пашня**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПУЧКА АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН, ПРОХОДЯЩИХ  
ЧЕРЕЗ ГРАНИЦУ РАЗДЕЛА ДВУХ СРЕД ПРИ ИЗЛУЧЕНИИ  
МНОГОЧАСТОТНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ**

*Рассматривается изменение коэффициентов отражения и прохождения по давлению, колебательной скорости, интенсивности от изменения угла падения пучка акустических волн на границу раздела двух сред. В данной работе освещены параметры и критерии, которые могут быть применены для интегральной оценки свойств и характеристик биологических материалов в среде распространения и нелинейного взаимодействия при излучении пучка акустических волн многочастотным преобразователем. Основными требованиями к конструкции являются приближение формы движения преобразователя на резонансе к поршневому движению и отсутствие противофазных движений точек на поверхности преобразователя. Расчеты проводились путем численного решения трехмерных краевых задач методом конечных элементов с использованием программы ANSYS.*

*Акустический показатель преломления; фактор фокусировки; акустическое сопротивление; пьезоэлемент; резонансная частота.*

**R.A. Kozachenko, A.S. Pashnja**

**RESEARCH OF THE BUNCH OF ACOUSTIC WAVES PASSING THROUGH  
BORDER OF SECTION OF TWO ENVIRONMENTS AT RADIATION BY THE  
MULTIFREQUENCY CONVERTER**

*Change of factors of reflection and passage on pressure, oscillatory speed, intensity from change of a hade of a bunch of acoustic waves on border of section of two environments is considered. In the given work parameters and criteria which can be applied for an integrated estimation of properties and characteristics of biological materials in the environment of distribution and nonlinear interaction at radiation of a beam of acoustic waves by the multifrequency converter are covered. The basic requirements to a design are approach of the form of movement of the converter a resonance to piston movement and absence of antiphase movements of points on a surface of the converter. Calculations were carried out by the numerical decision of three-dimensional regional problems by a method of final elements with and use of program ANSYS.*

*Acoustic indicator of refraction; the focusing factor; acoustic resistance; piezoelectric cell; frequency response.*

При проектировании современных пьезокерамических преобразователей для гидроакустических антенн необходимо обеспечение излучения на частотах высших форм колебаний. Поэтому необходимо определить возможность практического использования одного и того же преобразователя, как при работе на основном резонансе, так и на частотах в диапазоне выше 100 кГц.

**Особенности изменения коэффициентов отражения и прохождения на границе раздела сред.**

На рис. 1 приведена зависимость  $f(\chi)$  при значении акустического показателя преломления  $n = c_1/c_2 = 1,025$ , типичном для слоя скачка в океане.

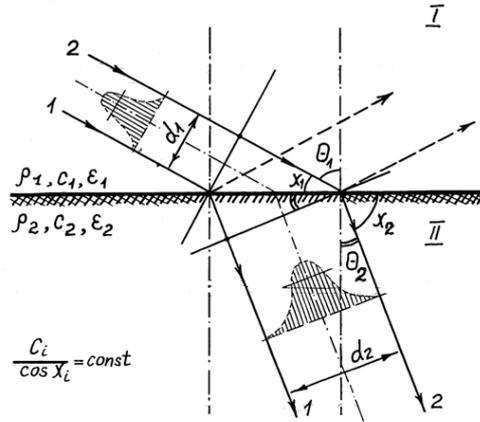


Рис. 1. Преломление пучка акустических волн на границе раздела двух сред при  $c_1 > c_2$  ( $n = c_1/c_2 > 1$ )

Дефокусировка акустической энергии будет тем больше, чем меньше угол падения акустических лучей к данному слою, при этом угол  $\chi$  отсчитывается от горизонтальной плоскости слоя скачка. Таким образом, фокусировка или дефокусировка акустической энергии в пучке будет зависеть как от изменения скоростей распространения акустических волн на слое скачка, так и от угла падения пучка на слой. Считая лучи 1 и 2 граничными по ширине акустического пучка, представляется возможным рассмотреть изменение ширины его сечения при переходе ГРС при различных соотношениях акустических импедансов контактирующих сред при различных углах падения  $\theta_1$  исходного пучка на ГРС. Из условия равенства ширины пучка на ГРС следует выражение для его поперечного размера во второй среде с учетом вышеуказанных параметров:

$$d_2 = d_1 \sqrt{1 + \left[ 1 - \left( \frac{c_2^2}{c_1^2} \right) \right] \tan^2 \theta_1}. \quad (1)$$

При этом приведенные акустические сопротивления могут быть выражены через фактор фокусировки как

$$\varepsilon_\theta = \frac{\frac{\rho_2 c_2}{\cos \theta_2}}{\frac{\rho_1 c_1}{\cos \theta_1}} = \frac{\rho_2 c_2 \cos \theta_1}{\rho_1 c_1 \cos \theta_2} = \frac{\rho_2 c_2}{\rho_1 c_1} F = \gamma F, \quad (2)$$

где  $F = \frac{d_1}{d_2} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left( 1 - \frac{c_2^2}{c_1^2} \right) \tan^2 \theta}}$  – фактор фокусировки.

Таким образом, оказывается возможным с учетом данных соотношений представить в линейном приближении коэффициенты отражения и прохождения для пучка акустических волн. Так коэффициент отражения  $r_p$  будет

$$r_p = \frac{\varepsilon_\theta - 1}{\varepsilon_\theta + 1} = - \left( \frac{1 - \gamma F}{1 + \gamma F} \right). \quad (3)$$

Коэффициент прохождения по давлению принимает следующую форму:

$$t_p = \frac{2\varepsilon_\theta}{\varepsilon_\theta + 1} = \frac{2\gamma F}{1 + \gamma F}. \quad (4)$$

Выражения для коэффициентов отражения и прохождения по колебательной скорости будут представляться в виде

$$r_\xi = \frac{1 - \varepsilon_\theta}{1 + \varepsilon_\theta} = \frac{1 - \gamma F}{1 + \gamma F}, \quad (5)$$

$$t_\xi = \frac{2}{\varepsilon_\theta + 1} = \frac{2}{1 + \gamma F}. \quad (6)$$

Коэффициенты отражения и прохождения по интенсивности в виде

$$R = \left( \frac{\varepsilon_\theta - 1}{\varepsilon_\theta + 1} \right)^2 = \left( \frac{\gamma F - 1}{\gamma F + 1} \right)^2, \quad (7)$$

$$T = \frac{4\varepsilon_\theta}{(\varepsilon_\theta + 1)^2} = \frac{4\gamma F}{(\gamma F + 1)^2}. \quad (8)$$

По полученным соотношениям приведем зависимости всех коэффициентов отражения и прохождения от величины угла падения  $\theta$  [1].

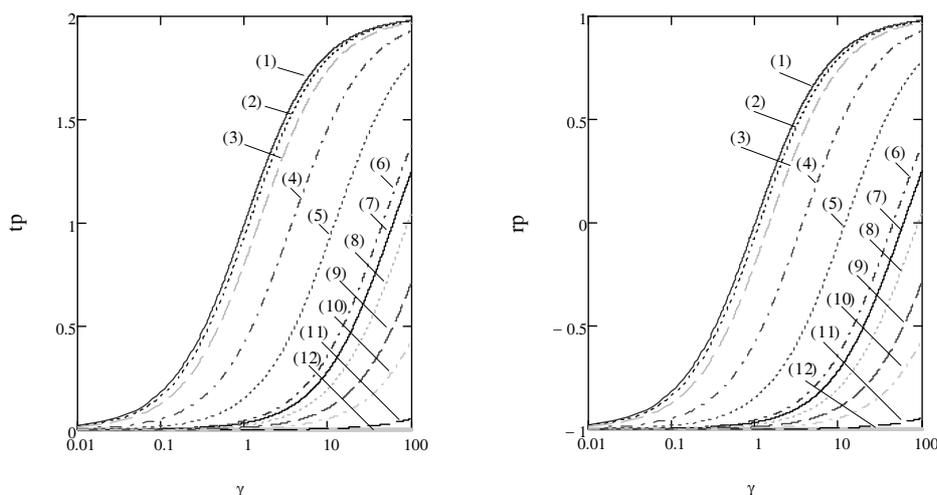


Рис. 2. Зависимости коэффициентов прохождения и отражения по давлению

На графиках зависимостей  $r_p(\gamma)$ ,  $t_p(\gamma)$ ,  $r_\xi(\gamma)$ ,  $t_\xi(\gamma)$ ,  $T(\gamma)$ ,  $R(\gamma)$  на рис. 3–5 цифрами (1)–(12) обозначены следующие значения угла падения  $\theta = 0^\circ; 40^\circ; 60^\circ; 80^\circ; 87^\circ; 89,2^\circ; 89,4^\circ; 89,6^\circ; 89,8^\circ; 89,9^\circ; 89,99^\circ; 90^\circ$  соответственно. Для всех зависимостей характерно следующее:

1. Плавное изменение кривых со значительным изменением угла падения  $\theta$  (от  $0^\circ$  до  $80^\circ$ ).
2. Резкое изменение кривых с изменением угла падения  $\theta$  в пределах от  $80^\circ$  до  $90^\circ$ .

#### Многочастотный пьезокерамический преобразователь как элемент гидроакустической антенны.

К конструкции преобразователя предъявляются следующие требования:

- ◆ преобразователь должен иметь необходимые резонансные частоты;

- ◆ движение преобразователя на всех рабочих частотах должно быть близко к поршневому движению;
- ◆ должны отсутствовать противофазные вертикальные смещения точек на излучающей поверхности преобразователя;
- ◆ преобразователь должен обладать достаточной нагружаемостью на водную среду.

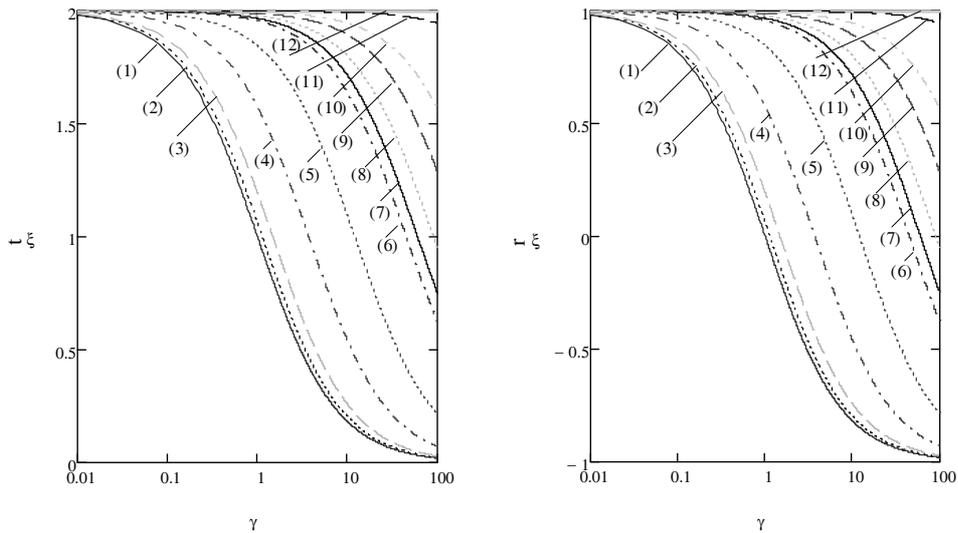


Рис. 3. Зависимости коэффициентов прохождения и отражения по колебательной скорости

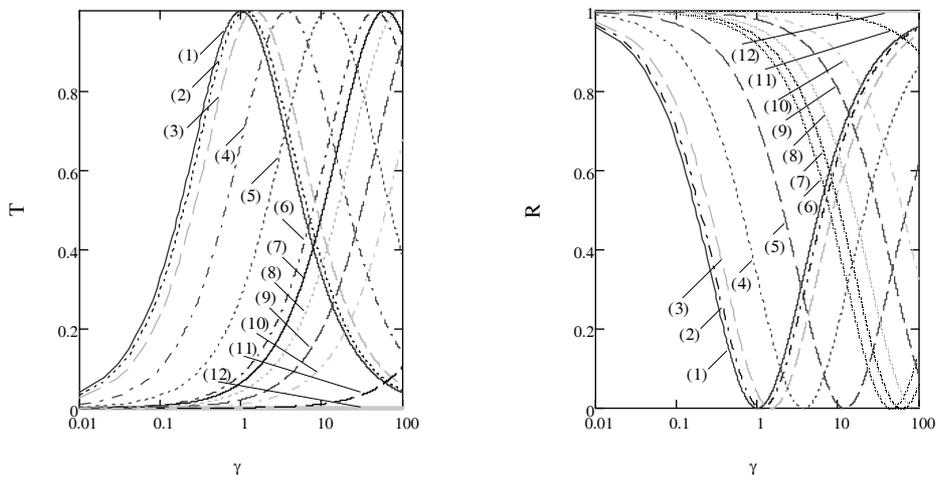


Рис. 4. Зависимости коэффициентов прохождения и отражения по интенсивности

Рассмотрим преобразователь, показанный на рис. 5.

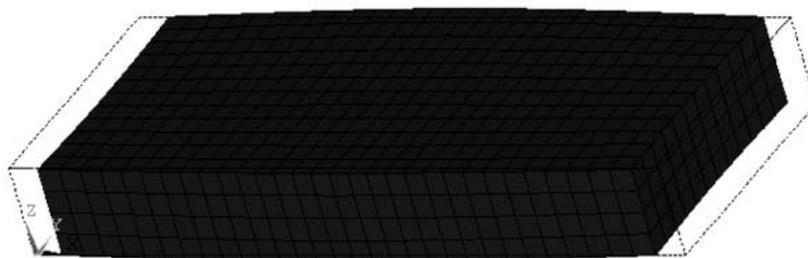


Рис. 5. Расчетная модель пьезоэлемента

- ◆ размер по оси  $Z$  является полуволновым размером продольных колебаний на первой резонансной частоте;
- ◆ размер по оси  $Y$  выбирается таким, чтобы обеспечить диаграмму направленности антенны в вертикальной плоскости в предположении поршневого движения преобразователя;
- ◆ размер по оси  $X$  является полуволновым для высшей частоты колебаний в жидкости для обеспечения возможности сканирования диаграммы направленности в горизонтальной плоскости.

Изменяя соотношение размеров преобразователя, можно влиять на резонансные частоты и форму колебаний преобразователя на резонансе [2]. Исходные размеры преобразователя, полученные на основании выше перечисленных критериев, таковы, что колебания преобразователя нельзя представить как колебания стержня, расположенного по оси  $Z$ , или как колебания тонкой пластины, расположенной перпендикулярно оси  $X$  и, таким образом, нельзя воспользоваться результатами одномерной или двумерной теории. Поэтому полученное соотношение размеров преобразователя является результатами машинного эксперимента: размер по оси  $Z$  – 25,04 мм, размер по оси  $Y$  – 33,05 мм, размер по оси  $X$  – 2,2 мм.

Рассчитаны характеристики преобразователя вблизи первых трех резонансов. На первом резонансе колебания преобразователя близки к поршневому движению. Для следующих гармоник подобное явление не наблюдается из-за связанности колебаний в различных направлениях. Однако, можно добиться поршневого движения «в среднем» при отсутствии противофазных движений точек торцевых поверхностей преобразователя, варьируя соотношение его размеров [3]. Таким образом, необходимые соотношения размеров получены в результате согласованных расчетов на всех трех гармониках.

На рис. 6 приведена амплитудно-частотная характеристика полной и активной проводимости преобразователя в районе первой резонансной частоты, на рис. 7 – распределение смещений точек горизонтальной поверхности преобразователя, на рис. 8 – форма деформации преобразователя на частоте первого резонанса.

Форма колебаний преобразователя близки к поршневому движению, противофазные движения точек торцевых поверхностей преобразователя отсутствуют. Таким образом, полученные результаты подтверждают эффективность использования конструкции преобразователя традиционных форм на высших модах колебаний.

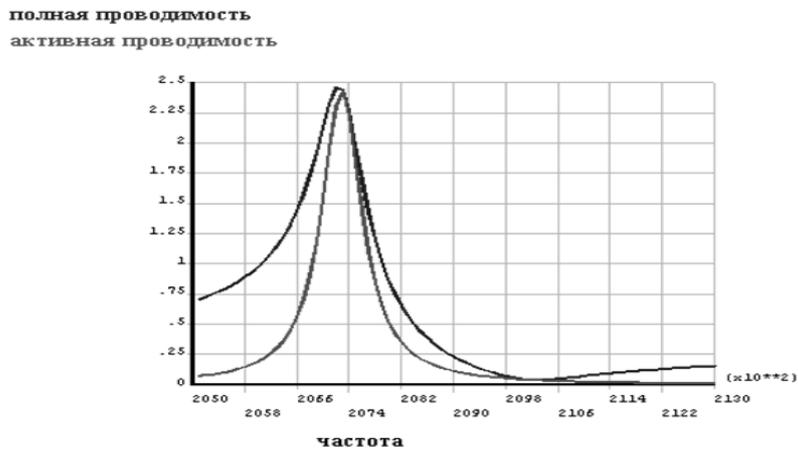


Рис. 6. Амплитудно-частотная характеристика полной и активной проводимости преобразователя в районе первой резонансной частоты

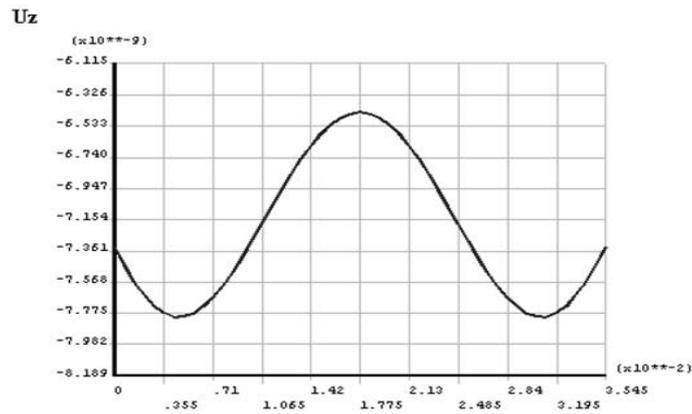


Рис. 7. Распределение смещений точек горизонтальной поверхности преобразователя

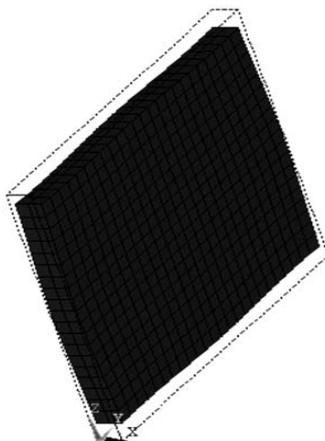


Рис. 8. Форма деформации преобразователя на частоте первого резонанса

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Заграй Н.П., Козаченко Р.А.* Использование ультразвука повышенной интенсивности в биоматериалах // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 9 (98). – С. 245-248.
2. *Иванов Н.М., Милославский Ю.К., Митько В.Н.* Результаты разработки многочастотных преобразователей гидроакустических станций методом конечных элементов // Сборник научных докладов юбилейной научно-технической конференции «Проблемы прикладной гидроакустики». – Ростов-на-Дону, 2004. – С. 65-70.
3. *Иванов Н.М., Милославский Ю.К., Митько В.Н., Пашня А.С.* Гидроакустическая многочастотная антенна для систем обнаружения и пеленгации малогабаритных подводных объектов и контроля экологической обстановки // Труды X Всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики». – СПб., 2010. – С. 191-192.

Статью рекомендовал к опубликованию к.т.н. П.П. Пивнев.

**Козаченко Роман Александрович** – Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге; e-mail: romkoz2009@mail.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634681890; кафедра электрогидроакустической и медицинской техники; аспирант.

**Пашня Анна Сергеевна** – e-mail: anna.paschnya@yandex.ru; кафедра электрогидроакустической и медицинской техники; аспирантка.

**Kozachenko Roman Aleksandrovich** – Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: romkoz2009@mail.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634681890; the department of hydroacoustics and medical engineering; postgraduate student.

**Pashnja Anna Sergeevna** – e-mail: anna.paschnya@yandex.ru; the department of hydroacoustics and medical engineering; postgraduate student.

УДК 681.5

**Л.К. Самойлов, М.М. Клопот**

**АВТОМАТИЧЕСКАЯ РЕГУЛИРОВКА ПОЛОСЫ ПРОПУСКАНИЯ  
(ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ, ПРОБЛЕМЫ, РЕАЛИЗАЦИЯ)**

*Показано, что для повышения помехоустойчивости информационно-измерительных систем в измерительных каналах целесообразно использовать аналоговые фильтры нижних частот с регулируемой полосой пропускания. Рассмотрены вопросы определения величины текущей граничной частоты и выбора частоты среза управляемого фильтра. Представлены результаты аналитического моделирования способа оценки текущей граничной частоты на основе адаптивной дискретизации. Предложена структурная схема устройства для автоматической регулировки полосы пропускания.*

*Автоматическая регулировка; полоса пропускания фильтра; мгновенный спектр; адаптивная дискретизация.*

**L.K. Samoilov, M.M. Klopot**

**AUTOMATIC BANDWIDTH ADJUSTMENT  
(STATEMENT OF PROBLEM, PROBLEMS, REALIZATION)**

*The paper is shown that for increase of a noise stability of information-measuring systems in measuring channels it is expedient to use analog filters of the bottom frequencies with an adjustable pass-band. The questions of value definition of current boundary frequency and choice of operated filter cutoff frequency are considered. The results of analytical modeling of the method for*