

5. *Хоровиц П, Хилл У.* Искусство схемотехники: В 2-х т. Т. 1.: Пер. с англ./ Под ред. М. В. Гальперина. – М.: Мир, 1983.
6. *Кириченко И.А., Раскина М.Н.* Методика построения адаптивной гидроакустической системы // Сборник трудов XV сессии Российского акустического общества. Т. II. – М. – 2004. – С. 206–210.
7. *Кириченко И.А.* Разработка и исследование усилителя мощности гидроакустического комплекса для экологического мониторинга водной среды // Известия ТРТУ. Тематический выпуск «Экология 2000 – море и человек». – Таганрог. – 2000. – С. 102–103.

УДК 622

**А.В. Гоннова, Н.Н. Чернов**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ КОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ЦЕЛЕЙ**

Возможности бесконтактного лечения мочекаменной болезни в последние годы уделяется особый интерес. И если до недавнего времени для целей экстракорпоральной литотрипсии активно использовались электрогидравлический и электромагнитный ударно-волновой генераторы, излучающие ударно-волновые импульсы, являющиеся фактором разрушения камней, то в последние годы на передний план выходит возможность использования пьезоэлектрического ударно-волнового генератора. Это обусловлено его широкими возможностями и отсутствием таких недостатков, как дороговизна расходного материала, а следовательно, и самого метода, низкий коэффициент полезного действия, ограниченные возможности качественного дробления крупных конкрементов в почке.

Одним из основных требований, предъявляемых к пьезоэлектрическому ударно-волновому генератору литотриптора, является возможность излучения короткого акустического импульса. В среднем лучшей эксплуатационной длительностью импульса (на полувысоте амплитуды) в фокусе является время около 0,4–0,6 мкс. Более длительные импульсы (около 1,0–1,5 мкс) неизбежно приведут к повреждению тканей из-за выраженной отрицательной фазы волны, которая тем больше, чем длиннее импульс [1].

Известно, что для качественной передачи пьезопреобразователем коротких акустических импульсов последний должен обладать достаточно широкой полосой пропускания. Этой теме посвящены работы многих исследователей. Так, в работах [2] и [3] авторы проводят теоретический анализ и сравнение эффективностей электрического и механического демпфирования, использование согласующих слоев. Теоретически показано, что добиться короткого акустического импульса можно путем использования различных степеней демпфирования активного элемента или включением на вход пьезопластины электрической RL-нагрузки, или путем использования согласующего четвертьволнового слоя.

В данной работе представлены результаты разработки датчика, излучающего короткий импульс длительностью не больше 0,6 мкс, отвечающего требованиям литотрипсии с целью его дальнейшего применения в конструкции ударно-волнового генератора.

В качестве активного материала для преобразователя используется пьезокерамика ЦТС-19 диаметром 6 мм с собственной частотой 5 МГц. Для расширения полосы пропускания используется механический демпфер и согласующий четвертьволновой слой.

Поглощаемая демпфером акустическая энергия определяется физическими свойствами демпфирующего материала и геометрическими размерами демпфера и пьезопластины, а эффективность поглощения значительно зависит от степени согласования акустических сопротивлений демпфера и пьезопластины. Поэтому демпфер изготовлен из смеси с

большим характеристическим импедансом и большим коэффициентом затухания УЗ-волн. [4] В качестве демпфера используем гетерогенную смесь, изготовленную в определенных оптимальных пропорциях, из эпоксидной смолы, отвердителя и мелкодисперсного порошка вольфрама. Удельное акустическое сопротивление демпфера  $z_0 = 7,8 \times 10^6$  Па с/м. Высота демпфера составляет 5 мм. Демпфер заливаем в корпус, который во избежание электрических наводок (т.к. в составе демпфера вольфрам) изготовлен из текстолита. При заливке пластилиноподобной массы демпфера преобразователь устанавливался на вибростол для наполнения заданного распределения концентрации частиц вольфрама от пьезопластины к концу тыльной стороны преобразователя. Для увеличения широкополосности было применено также электрическое демпфирование.

Такая жесткая связь пьезопластины с демпфером приводит к тому, что после окончания действия возбуждающего электрического или принимаемого УЗ-импульса свободные колебания пьезоэлемента быстро затухают из-за разницы между импедансами демпфера и пьезоэлемента. Это объясняется снижением добротности и, как следствие, расширением полосы пропускания пьезоэлемента из-за вносимых потерь запасенной в нем акустической энергии, вызванных распространением УЗ-колебаний в объем демпфера. [4].

Расширению полосы пропускания пьезопреобразователя способствует применение промежуточного слоя между пьезоэлементом и средой, в которую он излучает УЗ-колебания, при этом слой должен обладать оптимальным характеристическим импедансом. [5]. Полное «просветление» границы, т.е. состояние, когда коэффициент прозрачности (D) и волновое число (k) равны нулю, достигается при следующих условиях:

$$h = (2n + 1)\lambda_c / 4, \quad (1)$$

$$z_{cl} = \sqrt{z_{nl} \cdot z_c}, \quad (2)$$

где  $h$  – толщина слоя,  $\lambda_c$  – длина волны в слое,  $z_{nl}$ ,  $z_{cl}$ ,  $z_c$  – характеристические импедансы пластины, слоя и среды соответственно.

Таким образом, необходимо чтобы материал переходного слоя обладал характеристическим сопротивлением, равным

$$z_{cl} = 5,8 \cdot 10^6 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}) [z_c = 1,5 \cdot 10^6 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}), z_{nl} = 23 \times 10^6].$$

Экспериментально подобрав гетерогенную смесь из эпоксидной смолы, сурика свинцового, вольфрама и отвердителя, получили материал с требуемым характеристическим импедансом, из которого впоследствии изготовили тонкий промежуточный слой, толщина которого равна нечетному числу четвертей волн.



Рис. 1. Преобразователь с демпфером и с четвертьволновым слоем

Экспериментальные исследования изготовленных пьезопреобразователей проводились в измерительной ванне с водой и с установленной металлической пластиной (толщина 1 см, ширина 7 см, высота 6 см). Преобразователь возбуждается импульсом электрического напряжения прямоугольной формы, представляющим один отрицательный полупериод синусоиды на частоте антирезонанса пьезопластины. Амплитуда возбуждающего импульса 180 В. В качестве приемника используется этот же преобразователь. Полученная осциллограмма принятого электрического сигнала представлена на рис. 2.

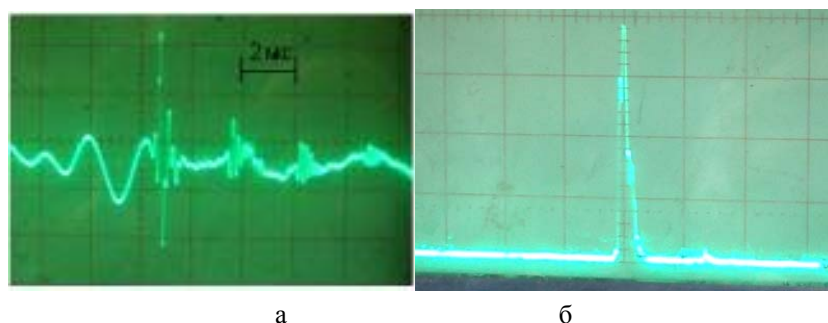


Рис. 2. Исследуемый импульс. а – импульс, принятый с системы пьезоизлучатель – вода – металл – вода – пьезоприемник, б – огибающая импульса

На осциллограмме рис. 2 видим, что в исследуемый импульс укладывается два периода, длительность равна 0,5 мкс, т.е. полоса пропускания равна 2 МГц.

Таким образом, на основании исследований показано, что применение механического демпфирования и согласующего четвертьволнового слоя с соответствующими оптимальными параметрами позволяет расширить полосу пропускания преобразователя до 40 % (от  $f_0$ ) и получить преобразователь, излучающий короткий импульс длительностью 0,5 мкс. Такие преобразователи могут успешно применяться в целях дистанционной литотрипсии, в составе фокусирующей системы, так как любой из литотрипторов, имеющих длительность импульса менее 1 мкс, способен реализовывать эрозионный, мелко- или среднекусковой механизмы разрушения камня.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Королев М.В., Карпельсос А.Е. Широкополосные ультразвуковые пьезопреобразователи. – М.: Машиностроение, 1982. – 157 с.
2. Коновалов С.И., Кузьменко А.Г. Выбор параметров системы излучения-приема, обеспечивающих наименьшую длительность импульса на выходе // Акуст. журн. – 2003. – Т. 49. – №6, – С. 852–854.
3. Коновалов С.И., Кузьменко А.Г. Демпфирование пьезопластины и использование электрической цепи на ее входе для получения короткого акустического импульса // Акуст. журн. – 2005. – Т. 51. – №6. – С. 829–832.
4. Касаткин Б.А., Лебедев В.Г. Спектр собственных частот нагруженной пьезопластины с переходным слоем // Акуст. журн. – 1979. – Т. 25. – №3. – С. 395–400.
5. Ермолов И.Н. Теория и практика ультразвукового контроля. – М.: Машиностроение, 1981. – 240 с.