

Полученные результаты свидетельствуют о высокой эффективности и целесообразности использования метода биоакустической психокоррекции в практике работы, как военного госпиталя, так и в амбулаторно-поликлинических условиях преимущественно в рамках нозологической и плановой реабилитации.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Константинов К.В., Сизов В.В., Мирошников Д.Б. Методическое руководство по использованию психофизиологического компьютерного комплекса «Синхро-С», – Спб., 2002.
2. Александровский Ю.А. Состояния психической дезадаптации и их компенсация. – М. 1993.
3. Дыбов М.Д., Шевченко В.Ф., Ситников А.Г. Биоакустическая психокоррекция при невротических нарушениях // Военно-медицинский журнал, Москва 2000, – №1. – С. 46-49.

#### **Смекалкина Лариса Викторовна**

Московская медицинская академия им. И.М. Сеченова.

E-mail: smekalkinal@bk.ru.

117208, Россия, Москва, ул. Трубецкая, 8, тел.: (916)6823781.

Кафедра нелекарственных методов лечения и клинической физиологии, доцент, к.м.н.

#### **Smekalkina Larisa Victorovna**

Moscow medical academy.

E-mail: smekalkinal@bk.ru.

8, Trubetskaya Str., Moscow, 117208, Russia, Phone: (916)6823781.

Department of not medicinal methods of treatment and clinical physiology, assistant professor, Cand. Med. Sc.

УДК 53.05, 534.213.4

**А.И. Солдатов, А.И. Селезнев**

#### **ВИЗУАЛИЗАЦИЯ АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ В КРУГЛОМ ВОЛНОВОДЕ**

*На основе метода геометрической акустики и принципа суперпозиции проведен анализ акустического поля в волноводе и получено динамически изменяемое во времени его объемное изображение.*

*Геометрическая акустика; визуализация; волновод; излучатель.*

**A.I. Soldatov, A.I. Seleznev**

#### **ACOUSTIC FIELD VISUALIZATION IN CYLINDRICAL WAVEGUIDE**

*Research of acoustic field in cylindrical waveguide was performed with use of geometrical acoustics method. Time-varying 3D graphic visualization of the acoustics fielf was obtained.*

*Geometrical acoustics; visualization; waveguide; emitter.*

Общая тенденция развития акустических методов контроля и диагностики связана с глубоким изучением изменений пространственно-временной структуры поля, вызванных особенностями распространения ультразвуковых колебаний в контролируемой среде. Важнейшей задачей является разработка и создание новых методов визуализации акустических волн в объеме, что позволит детально изучить характер распределения акустического поля в контролируемой среде. Особенно сложная структура поля получается в ограниченных средах, примером которой

может служить волновод круглого сечения. Визуализация волновых процессов в таких ситуациях позволит в динамике наблюдать характер изменения акустического поля, выбрать оптимальные параметры излучения для конкретных приложений, выработать рекомендации по проектированию акустического тракта с использованием волноводов [1].

Для решения поставленной задачи были проведены экспериментальные и теоретические исследования на примере волновода круглого сечения с жесткими стенками, причем расчеты проводились с использованием метода геометрической акустики. Для простейшего случая, когда излучатель имеет размеры много меньше длины волны и его можно считать точечным. Сигнал в каждой точке поперечного сечения волновода будет представлять сумму сигналов, пришедших от излучателя различными путями со своей фазой, в зависимости от пройденного акустического пути. Зная координаты излучателя и произвольной точки поперечного сечения волновода, можно найти длину каждого луча:

$$L_{i,k} = \sqrt{(x_{2,i} - x_1)^2 + (y_{2,i} - y_1)^2 + Z^2 + kD^2}, \quad (1)$$

где  $x^1, y^1$  – координаты излучателя,  $x^{2i}, y^{2i}$  – координаты  $i$  точки поперечного сечения волновода,  $Z$  – расстояние между излучателем и поперечным сечением, измеренное по оси волновода,  $k$  – количество отражений,  $i$  – количество лучей  $k$ -го отражения,  $D$  – диаметр волновода.

Фаза сигнала на приемнике будет зависеть от пройденного пути:

$$\varphi_i = 2 \cdot \pi \cdot L_i / \lambda. \quad (2)$$

Просуммировав все возможные комбинации по отражениям, можно найти суммарный сигнал от точечного излучателя:

$$A = \sum_k \sum_i A_m \cdot \sin(\omega t + \varphi_{i,k}), \quad (3)$$

где  $A_m$  – амплитуда сигнала.

Для практических целей интерес представляет, как правило, передний фронт и вершина импульсного сигнала, поэтому можно ограничить количество отражений при анализе условием запаздывания сигнала, претерпевшего  $k$  отражений, на величину длительности импульса:

$$L_k - Z = N \cdot \lambda, \quad (4)$$

где  $L_k$  – длина пути луча, претерпевшего  $k$  отражений,  $N \cdot \lambda$  – длительность импульса в периодах.

Подставив в (4) выражение (1) и приняв  $x_2 = x_1, y_2 = y_1$ , (точки с одинаковыми координатами), решаем относительно  $k$ :

$$k = \sqrt{\frac{(N\lambda)^2 + 2 \cdot N \cdot \lambda \cdot Z}{D^2}}. \quad (5)$$

Если излучатель не является точечным, то, в соответствии с принципом суперпозиции, проинтегрировав по площади излучателя, найдем результирующий сигнал в произвольной точке поперечного сечения

$$A_{рез} = \oint_{S_{изл}} \sum_k \sum_i A_m \cdot \sin(\omega t + \varphi_{i,k}) dS_{изл}. \quad (6)$$

При отражении от боковой поверхности волновода амплитуда отраженной волны изменяется при углах падения меньше критического в соответствии с выражением:

$$A_{omp.} = (K_{omp.})^k A_m, \quad (7)$$

где  $A_{omp.}$  – амплитуда отраженной волны,  $k$  – количество отражений,  $A^m$  – амплитуда падающей волны,  $K^{omp}$  – коэффициент отражения.

Коэффициент отражения  $K^{omp}$  находится из выражения

$$K_{omp} = \frac{Z_1 - Z}{Z_1 + Z}, \quad (8)$$

где  $Z^1$  и  $Z$  – акустические импедансы стенок волновода и заполняющей его среды соответственно.

При наклонном падении акустический импеданс определяется из выражения [2]:

$$Z_1 = \frac{\rho_1 * c_1}{\cos \varphi_{пpox}}, \quad Z = \frac{\rho * c}{\cos \varphi_{пад}}. \quad (9)$$

Угол падения  $\varphi_{пад}$  можно найти, если известны углы падения в поперечном и продольном разрезах волновода:

$$\varphi_{пад} = \arccos(\cos \beta * \sin \alpha), \quad (10)$$

где:  $\beta$  и  $\alpha$  – углы падения в поперечном и продольном разрезах волновода соответственно.

Импульсный сигнал, излучаемый в контролируемую среду преобразователем с известной добротностью, имеет вид

$$A_{имп} = A_m \cdot e^{-(1/\beta * t)} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi), \quad (11)$$

где  $\beta$  – коэффициент учитывающий добротность излучателя,  $t$  – время действия импульса.

С учетом выражения 11 получаем импульсный сигнал в одной точке поперечного сечения волновода:

$$A_{рез\ имп} = \oint_{S_{изл}} \left[ \sum_k \sum_i A_m \cdot e^{-(1/\beta * t)} \cdot (K_{omp.k})^k \cdot \sin(\omega t + \varphi_{i,k}) \right] dS_{изл}. \quad (12)$$

По полученным выражениям были проведены расчеты акустического поля в нескольких сечениях волновода. Полученные данные в виде файла для каждой точки сечения волновода обрабатывались в пакете программ MATLAB и строилось динамически изменяемое во времени объемное изображение акустического поля.

Для экспериментального исследования акустического поля был изготовлен волновод круглого сечения и испытательный стенд, позволяющий перемещать точечный приемник по поперечному сечению волновода и записывать данные в персональный компьютер.

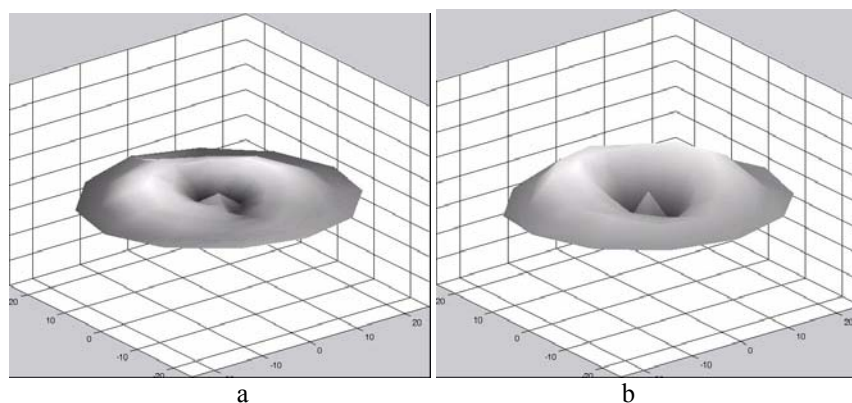


Рис. 1. Результаты расчета акустического поля в круглом волноводе диаметром 52 мм на расстоянии 360 мм от излучателя, а – начало импульса, б – середина импульса

Структурная схема стенда приведена на рис. 2. Основой стенда является управляющий контроллер, который обеспечивает формирование опросных импульсов, с заданной частотой заполнения, длительностью, амплитудой и начальной фазой. Частота заполнения импульсного сигнала формируется цифровым синтезатором частоты.

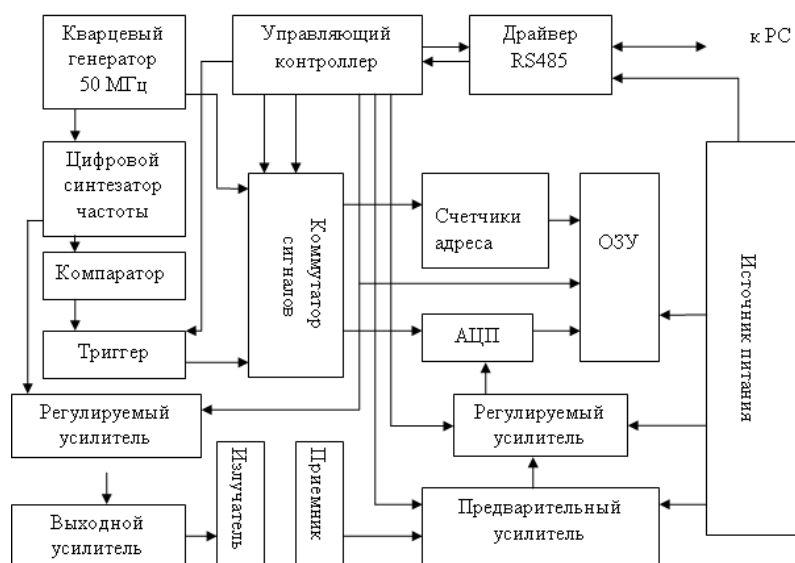


Рис. 2. Структурная схема испытательного стенда

Сигнал с выхода цифрового синтезатора частоты проходит через регулируемый усилитель с изменяемым коэффициентом передачи и поступает на вход выходного усилителя. Начальная фаза частоты опросного сигнала может устанавливаться в пределах  $+90 \dots -90$  градусов. Момент начала опросного сигнала определяется компаратором. С выхода компаратора сигнал поступает на триггер временных ворот, определяющий начало оцифровки сигнала с выхода регулируемого

усилителя. Ультразвуковой датчик подключен к дифференциальному предварительному усилителю. Сигнал с выхода предварительного усилителя поступает на вход регулируемого усилителя с коэффициентом передачи  $+9\text{dB} - +51\text{dB}$ . С выхода усилителя сигнал поступает на вход АЦП. С выхода триггера сигнал разрешения поступает на коммутатор сигналов. Сигнал с кварцевого генератора через коммутатор, поступает на счетчики и АЦП. Счетчики формируют адрес ячейки памяти, куда записываются данные. Контроллер устанавливает длительность импульсного сигнала. Все параметры задаются с персонального компьютера по интерфейсу RS-485. Для уменьшения помех интерфейс RS-485 электрически развязан и контроллер не имеет гальванической связи с ПК.

По команде с ПК управляющий контроллер пересылает данные в ПК, где происходит обработка сигналов и сохранение на жестком диске в виде файла.

Эксперимент начинается с перемещения приемного датчика в позицию  $X=0, Y=0$ . Управляющий контроллер формирует опросный сигнал, преобразует в цифровой вид ответный сигнал, пересылает полученные данные в ПК. Там из этих данных формируется файл, ему присваивается имя, однозначно определяющее место, с которого снят сигнал. Затем контроллер перемещает приемный датчик на следующую позицию по координате «X» на установленную величину шага. И цикл ввода данных повторяется, пока датчик не дойдет до края исследуемой области. Датчик перемещается в координату  $X=0, Y+1$  шаг и все повторяется до тех пор, пока не будут получены данные о всех точках поперечного сечения волновода. Каждой точке соответствует свой файл. Так как формирование возбуждающего сигнала производится с максимально возможной идентичностью, а аналого-цифровое преобразование осуществляется с одной и той же частотой, то можно говорить о том, что массив файлов содержит срезы амплитуды принятого сигнала в определенные моменты времени.

После перебора всех точек поперечного сечения волновода данные всех файлов загружались в программу визуализации для получения 3D-изображения. В автоматическом режиме осуществляется непрерывная прорисовка последовательных слоев, что позволяет увидеть развитие и формирование волн в поперечном сечении волновода. Результаты экспериментов представлены на рис.3.

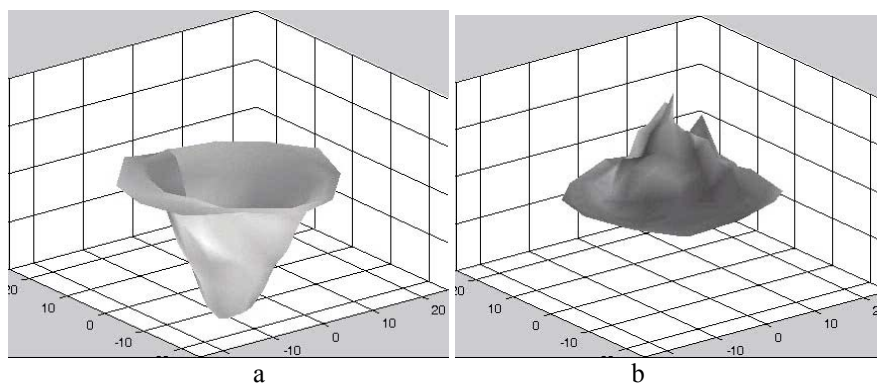


Рис. 3. Визуальная картина акустического поля в поперечном сечении волновода, полученная экспериментальным путем, *a* – сечение с максимальной амплитудой в центре волновода, *b* – с максимальной амплитудой у стенки волновода

Полученные результаты позволяют сделать вывод о хорошем соответствии расчетных и экспериментальных данных. Неравномерное пространственно-

временное распределение акустического поля наблюдается как по длине волновода, так и по поперечному сечению. На характер распределения поля влияет положение излучателя. Смещение излучателя от продольной оси волновода приводит к появлению смещенного максимума амплитуды давления (рис.3,б). Различные вариации с положением излучателя в волноводе не приводят к уменьшению неравномерности акустического поля в волноводе. Для уменьшения флуктуаций сигнала на приемнике целесообразно использовать многоканальную систему приема и усиления сигнала, с выбором канала с максимальной амплитудой, это позволит существенно улучшить метрологические характеристики акустических приборов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Грегуш П. Звуковидение: Пер. с англ. / П. Грегуш. – М.: Мир, 1982. – 232 с.
2. Бреховских Л.М. Акустика слоистых сред / Л.М. Бреховских, О.А. Годин. – М.: Наука, 1989. – 416 с. : ил. – Библиогр.: С. 387-408. – Предметный указатель: С. 409-412. – ISBN 5-02-014155-0.

**Солдатов Алексей Иванович**

Томский политехнический университет.  
E-mail: asoldatof@mail.ru.  
634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, тел.: (3822)419605.  
Кафедра ПМЭ, докторант, доцент, к.т.н.

**Soldatov Alexey Ivanovitch**

Tomsk Polytechnic University.  
E-mail: asoldatof@mail.ru.  
Lenin Avenue, 30, Tomsk, 634050, Russia, Phone: (3822)419605.  
Department IME, person working for doctor's degree, associate professor, cand.of science.

**Селезнев Антон Иванович**

Томский политехнический университет.  
E-mail: seleznev@vtomske.ru.  
634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, тел.: (3822)419605.  
Кафедра ПМЭ, аспирант.

**Seleznev Anton Ivanovitch**

Tomsk Polytechnic University.  
E-mail: seleznev@vtomske.ru.  
Lenin Avenue, 30, Tomsk, 634050, Russia, Phone: (3822)419605.  
Department IME, post-graduate student.

УДК 621.3.088

**А.И. Солдатов, П.В. Сорокин, В.С. Макаров****ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ АКУСТИЧЕСКОГО ИМПУЛЬСА МЕТОДОМ АППРОКСИМАЦИИ ОГИБАЮЩЕЙ СИГНАЛА**

*Предложен новый метод определения временного положения акустического импульса, позволяющий уменьшить погрешность измерения времени распространения сигнала в акустическом тракте измерительного прибора.*

*Радиоимпульс; волновод; скорость нарастания; огибающая сигнала.*