

## Сравнение результатов натурального эксперимента и результатов моделирования по отражению СШП сигнала от целей правильной формы

А.В. Скняря, С.А. Тоцов

ОАО «Научно-исследовательский институт приборостроения им. В. В. Тихомирова»  
140180, Московская обл., г. Жуковский, ул. Гагарина, д. 3, e-mail: niip@niip.ru

*В статье рассмотрены результаты моделирования характеристик эхо-сигналов от объектов цилиндрической формы. Приводится их сравнение с результатами исследований, проведенных с использованием гидролокатора со сверхширокополосным зондирующим сигналом в измерительном бассейне. Макет гидролокатора разработан в АО «НИИП имени В.В. Тихомирова» (г. Жуковский).*

*The article presents some results of the field investigations of backscattered signals from different objects in anechoic pool using the model of sonar with ultra-wideband probing signals. The model of sonar was developed in JSC “NIIP” together with State Company «IRE by V.A. Kotelnikov RAS».*

Постоянно растущие требования к техническим характеристикам гидроакустических систем, решающим задачи классификации различных подводных объектов, вынуждают разработчиков проводить поиск новых методов и сигналов для решения данной задачи. Известно, что сверхширокополосные (СШП) сигналы обладают рядом уникальных свойств, в том числе и при их использовании в целях распознавания объектов [1].

Проведенные ранее исследования показали, что формирование временного и спектрального портретов цели происходит как за счет пространственной протяженности цели, так и за счет возбуждения в цели различных типов волн, что приводит к образованию вторичных эхо-сигналов с отличающимися временными задержками [2].

За рубежом проводились исследования по возможности портретировать цель как во временной (пространственной), так и в спектральных областях [3].

Данная работа является продолжением ранее начатых исследований по использованию СШП сигналов в активной гидролокации, в том числе и для решения задачи классификации целей [4]. В ней производится сравнение результатов математического моделирования с экспериментальными данными, полученными в ходе работ по исследованию характеристик сигналов, отраженных от объектов с различной формой и из различного материала в условиях измерительного бассейна.

В качестве объекта моделирования была выбрана ПВХ труба диаметром 110 мм, высотой 500 мм, толщина стенки 5 мм. (Рисунок 1).

В ходе работы использовался вывод зависимостей характеристик отраженного сигнала от многослойного упругого цилиндра, представленный работами [2,5].

Зависимость звукового давления рассеянной цилиндром волны в дальнем поле ( $kr \gg 1$ , где  $k$  – волновое число,  $r$  – расстояние от центра цилиндра) описывается формулой [3]:

$$p_s = P_0 \sqrt{\frac{2}{\pi kr}} \cdot e^{ikr} \cdot e^{-i\pi/4} \cdot e^{i\omega t} \cdot f_\infty, \quad (1)$$

где  $P_0$  – давление падающей волны,

$t$  – переменная времени,

$\omega$  – циклическая частота,

$f_\infty$  - функция, определяющая распределение спектральной плотности эхосигнала в дальнем поле.



Рис. 1. ПВХ труба

Функция  $f_\infty$  соответствует формуле [3]:

$$f_\infty = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \varepsilon_n b_n, \quad (2)$$

где  $\varepsilon_n$  – параметры Неймана, принимающие значение 1 при  $n = 0$  и 0 при всех остальных  $n$ , формулы для нахождения коэффициентов  $b_n$  приведены в [5].

На рисунке 2 представлена полученная зависимость модуля функции  $f_\infty$  от частоты для выбранной ПВХ трубы, где шкала  $X$  в Гц, шкала  $Y$  в дБ. При расчетах использовались следующие параметры материала: модуль Юнга  $2758 \times 10^6$  Па, коэффициент Пуассона 0,385, плотность ПВХ  $1380$  кг/м<sup>3</sup>. [6]

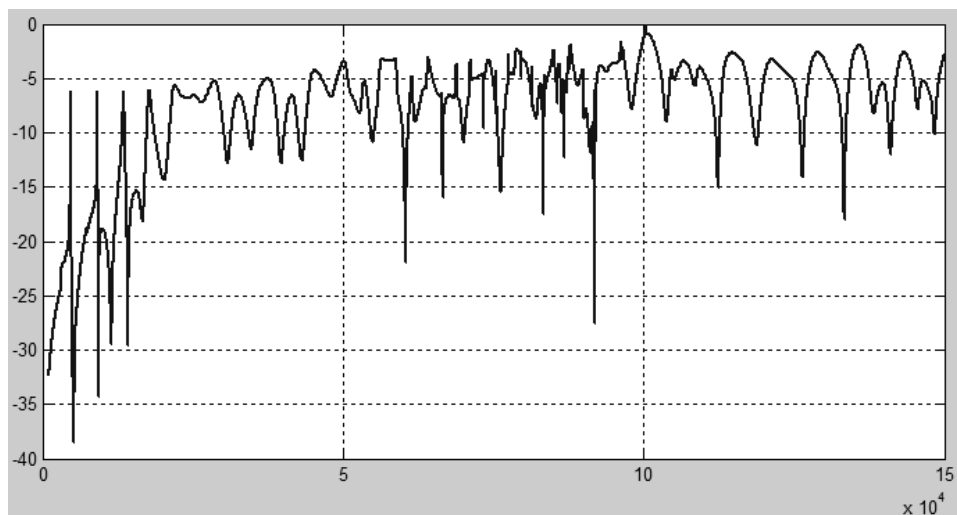
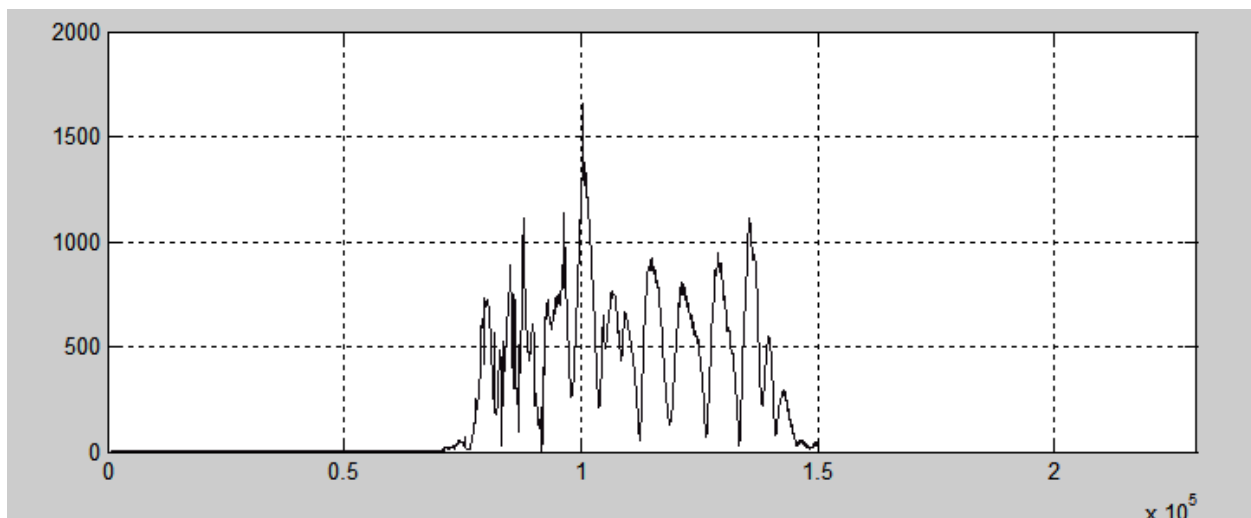


Рис. 2. Функция распределения спектральной плотности эхосигнала от ПВХ трубы ( $f_\infty$ )

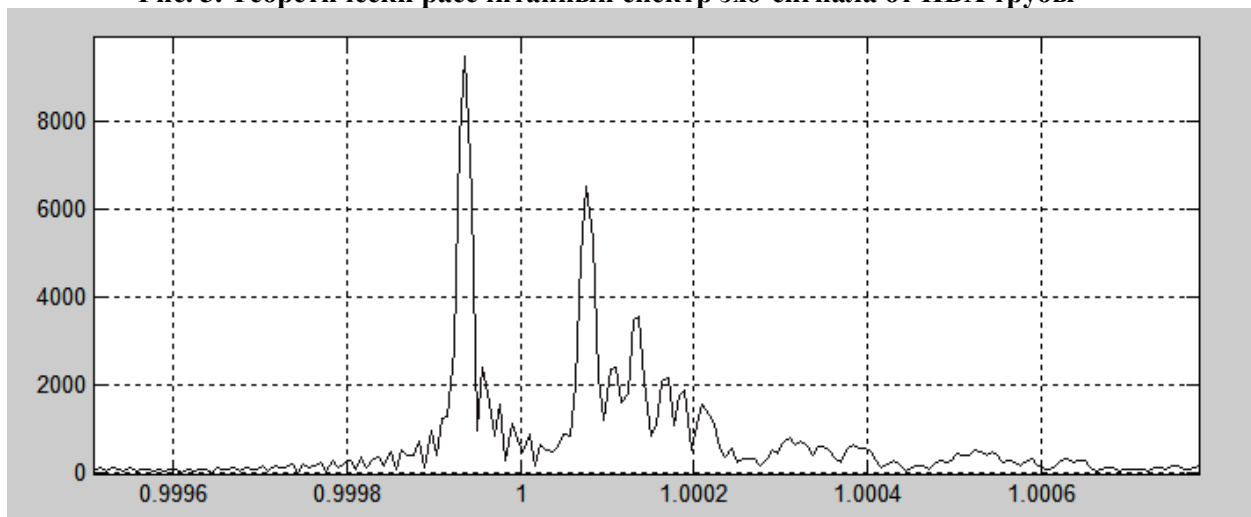
Эксперименты по исследованию характеристик эхо-сигналов от объектов с различной формой и из различного материала проводились сотрудниками АО «НИИП имени В.В. Тихомирова» в измерительном бассейне ЮФУ (г. Таганрог) при содействии сотрудников кафедры ЭГА и МТ ЮФУ. Измерительным средством являлся активный гидролокатор с СШП сигналами, разработанный в АО «НИИИП имени В.В.Тихомирова»,

Эксперименты проводились с использованием СШП сигнала с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ) с нижней частотой 78 кГц и девиацией 64 кГц. Длительность посылки ЛЧМ сигнала составляла 2 мс. В процессе проведения экспериментов производилась корреляционная обработка эхо-сигналов в реальном времени с выводом осциллограмм ВКФ на экран монитора, а также их запись на жесткий диск с целью последующей спектральной обработки.

На рисунках 3 и 4 представлены аналитически рассчитанные спектр и ВКФ эхосигнала от цели для ЛЧМ сигнала с указанными выше параметрами.

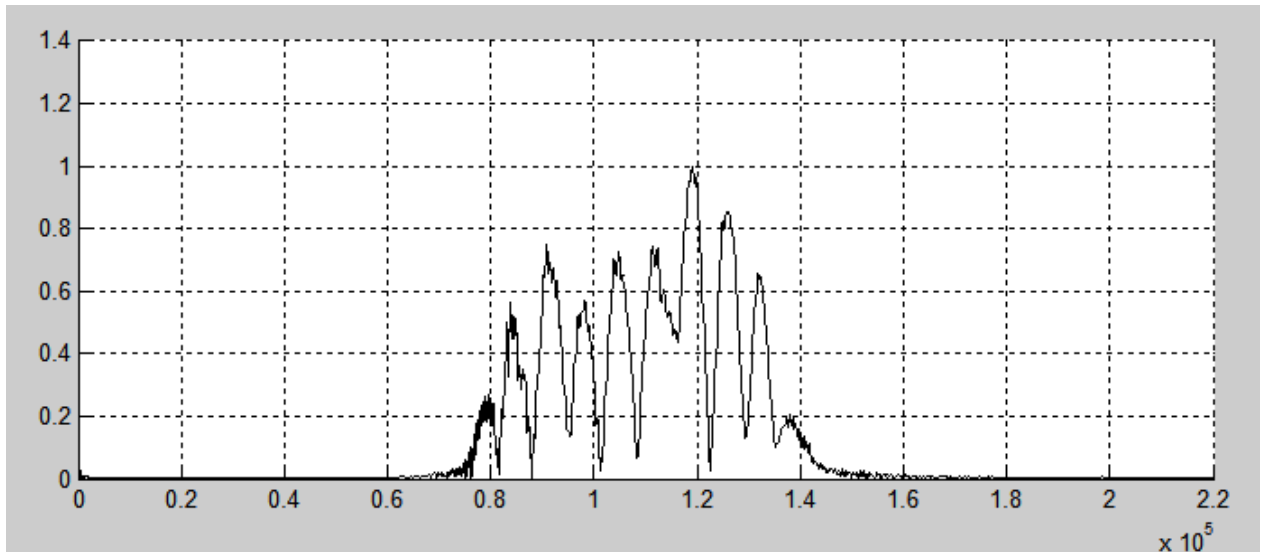


**Рис. 3. Теоретически рассчитанный спектр эхо-сигнала от ПВХ трубы**

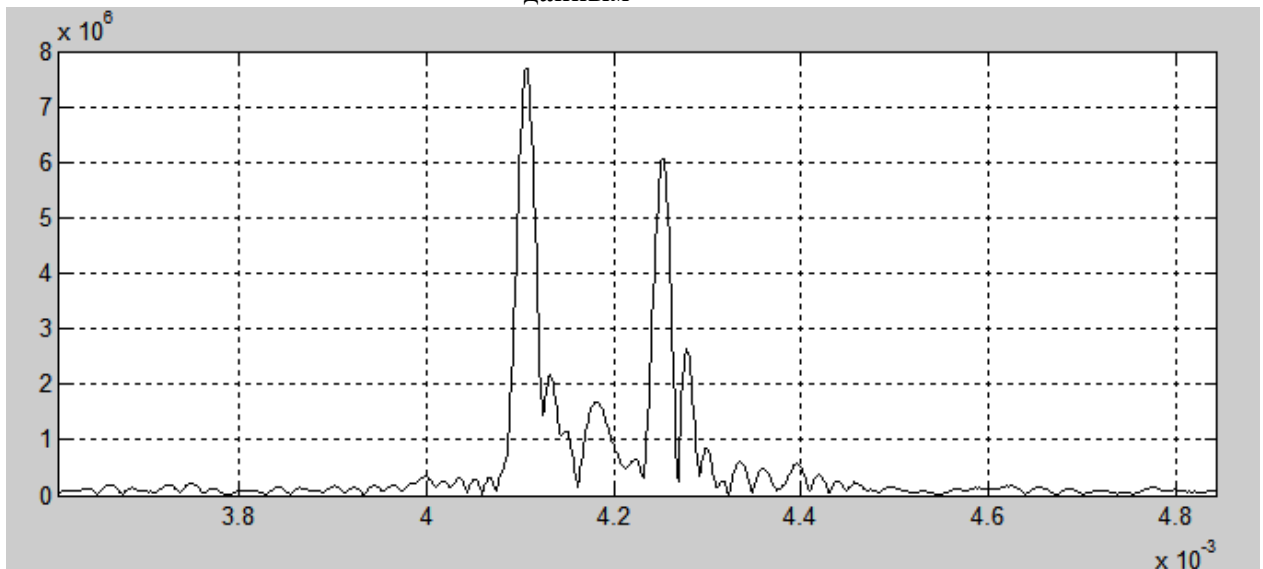


**Рис. 4. Теоретически рассчитанная ВКФ эхо-сигнала от ПВХ трубы**

На рисунках 5 и 6 представлены рассчитанные по экспериментальным данным спектр и ВКФ эхосигнала от ПВХ трубы.



**Рис. 5. Спектр эхо-сигнала от ПВХ трубы, рассчитанный по экспериментальным данным**



**Рис. 6. ВКФ эхо-сигнала от ПВХ трубы, рассчитанный по экспериментальным данным**

Огибающие спектров, приведенных на рисунке 3 и рисунке 5, имеют характерное совпадение основных резонансных частот с некоторым отличием их спектральной плотности.

Теоретически рассчитанная ВКФ во временной области также имеет хорошее совпадение с ВКФ, полученной по экспериментальным данным. (Рисунок 4 и Рисунок 6). Период повторения основных резонансов в спектрах равняется примерно 7150 Гц, что соответствует разнице времени прихода двух основных эхо-сигналов от цели, равному 140 мкс.

Высокая степень сходства результатов численного моделирования и натурального эксперимента позволяет говорить о возможности использования описанного выше метода для расчета характеристик вторичных полей от целей цилиндрической формы.

### Литература

1. Л. Ю. Астанин. Характеристики радиолокационных объектов при использовании сверхширокополосных сигналов. Радиотехника, 1984 г., №11, с. 19-24.
2. Е.Л. Шендеров. Излучение и рассеяние звука. Л. Судостроение. 1989.
3. Y. Pailhas, C. Capus, K. Brown Analysis and classification of broadband echoes using bio-inspired dolphin pulses. J. Acoust. Soc. Am. 127 (6), 2010, p. 3809-3820.
4. А.В. Скняря, С.А. Тощов. Экспериментальные исследования характеристик объектов правильной формы в измерительном бассейне с помощью гидролокатора со сверхширокополосными зондирующими сигналами. Доклады Шестой Всероссийской научной конференции «Радиофизические методы в дистанционном зондировании сред». Муром, 2014 г., с. 168-171.
5. R. Doolittle and H. Uberall Sound scattering by elastic cylindrical shells. J. Acoust. Soc. Am. 39, 272–275 1966.
6. Химический энциклопедический словарь. Гл. ред. И. Л. Кнунянц. — М.: Советская энциклопедия, 1983. — 792 с.