

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,

ω – циклическая частота,

f_∞ - функция, определяющая распределение спектральной плотности эхосигнала в дальнем поле.

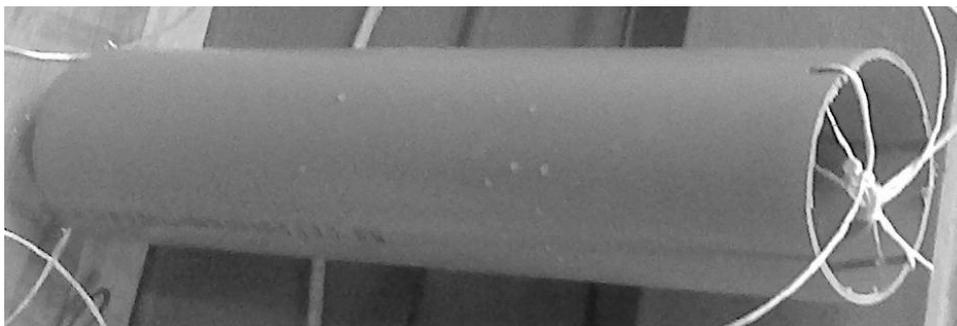


Рис. 1. ПВХ труба

Функция f_∞ соответствует формуле [3]:

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

где ε_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_∞ от частоты для выбранной ПВХ трубы, где шкала X в Гц, шкала Y в дБ. При расчетах использовались следующие параметры материала: модуль Юнга 2758×10^6 Па, коэффициент Пуассона 0,385, плотность ПВХ 1380 кг/м³. [6]

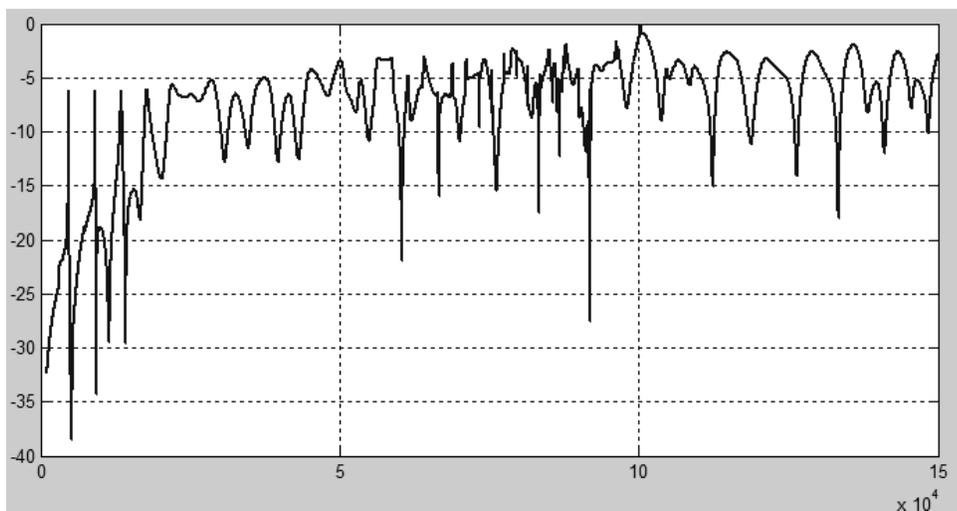


Рис. 2. Функция распределения спектральной плотности эхосигнала от ПВХ трубы (f_∞)

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.

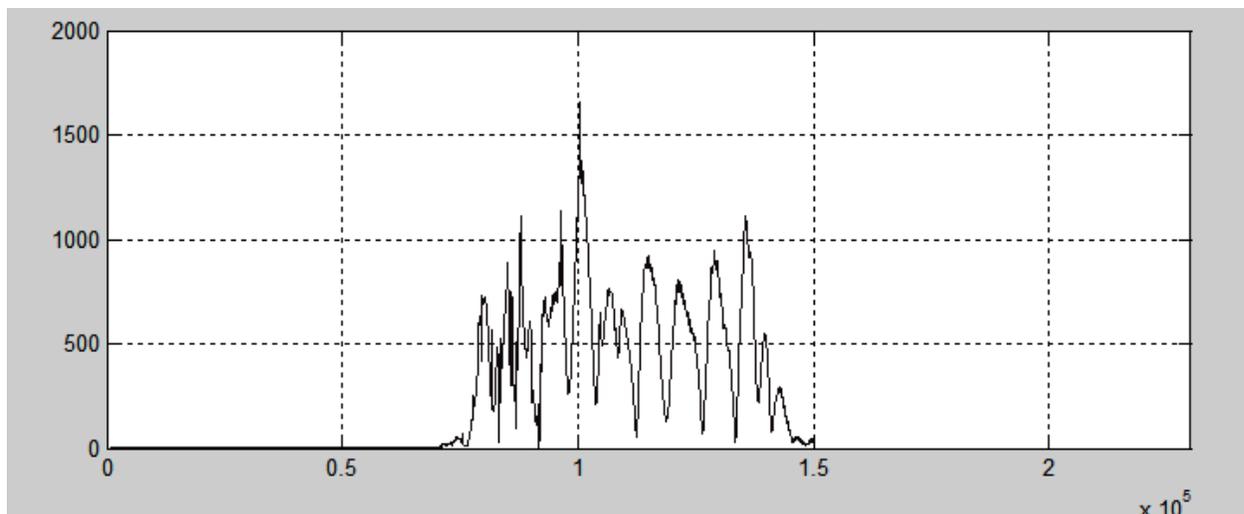


Рис. 3. Теоретически рассчитанный спектр эхо-сигнала от ПВХ трубы

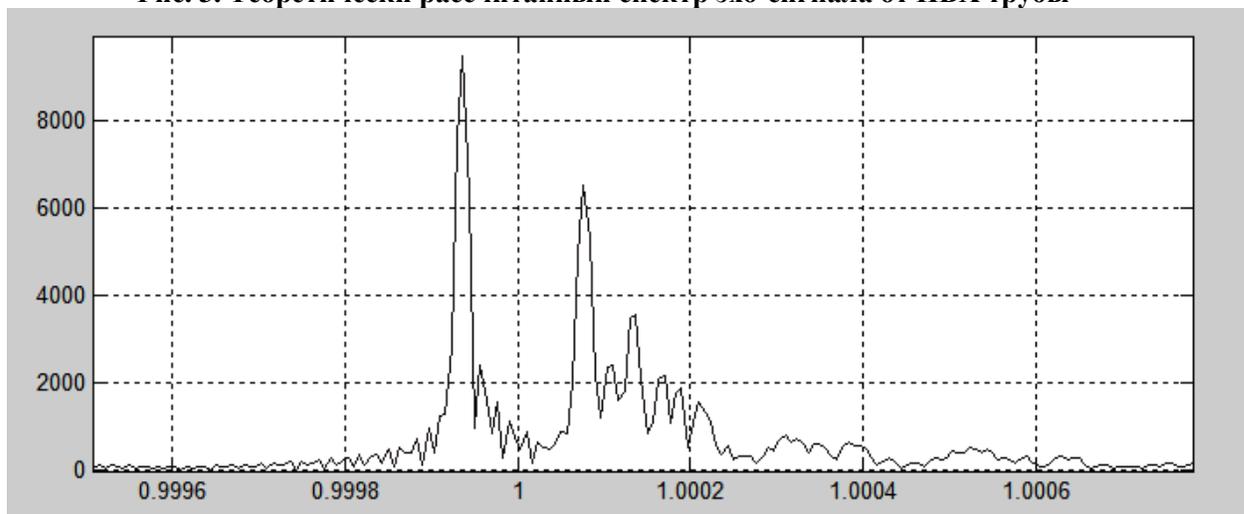


Рис. 4. Теоретически рассчитанная ВКФ эхо-сигнала от ПВХ трубы

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

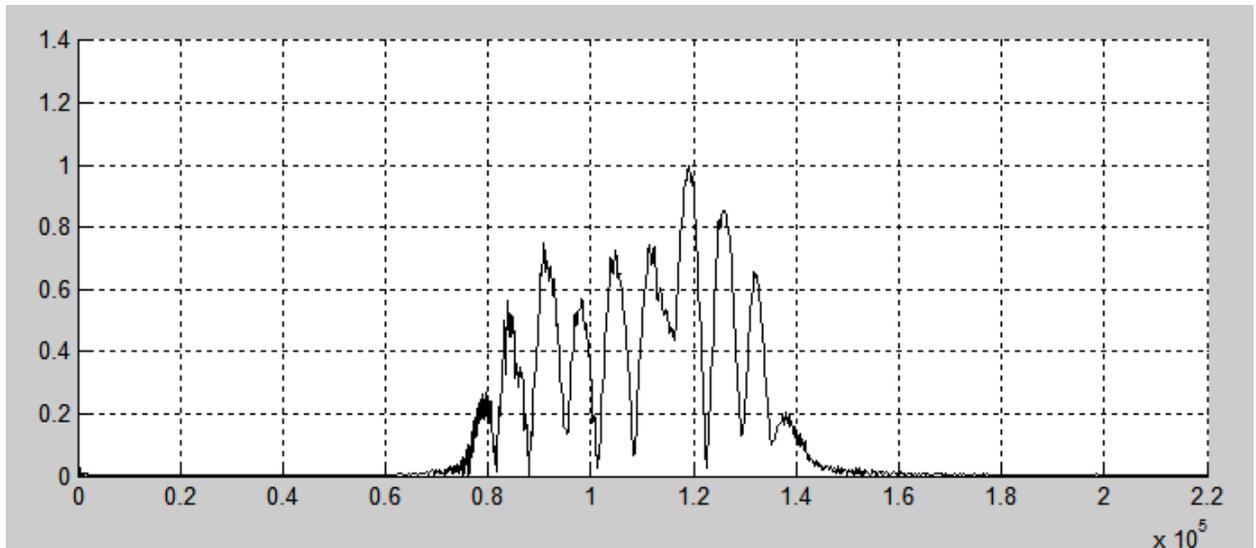


Рис. 5. Спектр эхо-сигнала от ПВХ трубы, рассчитанный по экспериментальным данным

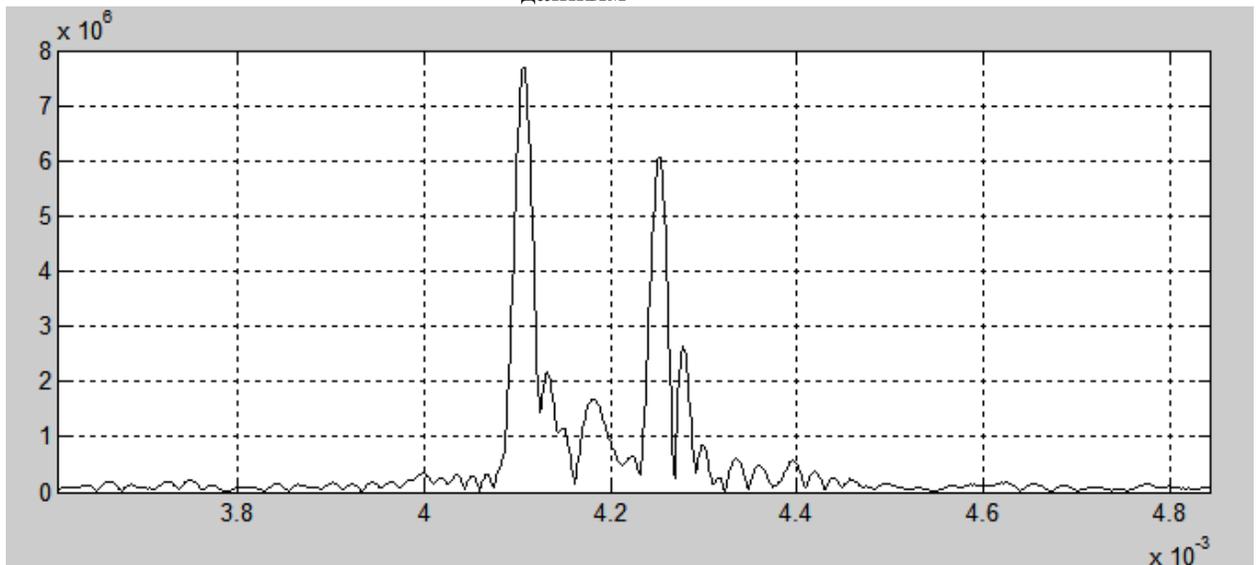


Рис. 6. ВКФ эхо-сигнала от ПВХ трубы, рассчитанный по экспериментальным данным

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.