

УДК 534.874

## О ВЗАИМНОМ СПЕКТРЕ ИЗЛУЧЕННОГО ШУМОВОГО СИГНАЛА С ОТРАЖЕННЫМ ОТ СЛОИСТОГО ДНА ОКЕАНА

Ераснобородько В. В.

В ряде практических задач акустики приходится сталкиваться с рассеянием шумовых сигналов от дна и поверхности океана. В связи с этим изучение спектрально-корреляционных характеристик таких сигналов представляет большой интерес.

В работе [1] приведен расчет функции взаимной корреляции  $B(\tau)$  излученного шумового сигнала с отраженным от слоистого дна океана, при этом модель дна выбрана в виде  $N$  слоев со статистически неровными границами

$$B(\tau) = \sum_{n=0}^N \frac{V_n}{\sqrt{1+P_n^2(\nu)}} \exp \left[ \frac{-(\nu\tau_n/2)^2 - P_n^2(\omega_0)}{1+P_n^2(\nu)} \right] \cos \left[ \frac{\omega_0\tau_n}{1+P_n^2(\nu)} \right], \quad (1)$$

где  $V_n$  — коэффициент отражения от  $n$ -й ровной границы среды,  $\omega_0 = 2\pi f_0$ ,  $f_0$  — центральная частота,  $\nu$  — ширина спектральной полосы шумового сигнала,  $\tau_n = \tau - \Delta t_n$ ,  $\Delta t_n$  — двойное время прохождения звука  $n$  верхних слоев дна океана,  $P_n(\omega)$  — параметр Рэля для  $n$ -й границы на частоте  $\omega$  с учетом вышележащих слоев.

Энергетический спектр излученного шумового сигнала задавался в виде

$$S(\omega) = \frac{1}{2\nu\sqrt{\pi}} \left\{ \exp \left[ - \left( \frac{\omega - \omega_0}{\nu} \right)^2 \right] + \exp \left[ - \left( \frac{\omega + \omega_0}{\nu} \right)^2 \right] \right\}. \quad (2)$$

Из анализа формулы (1) следует, что при наличии  $N$  слоев функция взаимной корреляции  $B(\tau)$  имеет  $N+1$  пик, соответствующий значениям  $\tau_n = 0$ . Подробный анализ выражения, определяющего величину  $B(\tau)$ , дан в работе [1].

Кроме функции взаимной корреляции важной характеристикой рассеянного шумового сигнала является взаимный спектр излученного шумового сигнала с отраженным от слоистого дна океана, расчет и анализ которого проведены в настоящей работе. Выполнив преобразование Фурье взаимной корреляционной функции, получим

$$G(\omega) = \sum_{n=0}^N V_n \exp \left[ - \frac{P_n^2(\omega_0)}{1+P_n^2(\nu)} + i\omega\Delta t_n \right] \cdot S_n(\omega), \quad (3)$$

где

$$S_n(\omega) = \frac{1}{2\nu\sqrt{\pi}} \left\{ \exp \left[ - \left( \frac{\omega + \omega P_n^2(\nu) - \omega_0}{\nu\sqrt{1+P_n^2(\nu)}} \right)^2 \right] + \exp \left[ - \left( \frac{\omega + \omega P_n^2(\nu) + \omega_0}{\nu\sqrt{1+P_n^2(\nu)}} \right)^2 \right] \right\}.$$

Поскольку взаимная корреляционная функция не обладает свойством четности, то взаимный спектр в рассматриваемом случае есть комплексная величина. Действительная часть  $G(\omega)$  или, как ее еще называют [2], синфазная составляющая взаимного спектра на частотах  $f_{mn} = (m+1/2)/(2\Delta t_n)$ , где  $m$  — целое число, будет иметь локальные минимумы, величины которых существенно зависят от коэффициентов отражения и параметров Рэля границ. Заметим, что самая низкая частота локального минимума взаимного спектра равна  $1/(4\Delta t_N)$ , где  $\Delta t_N$  — двойное время прохождения всей системы из  $N$  слоев. Следовательно, измерив эту минимальную частоту, можно оценить эффективную толщину слоев дна.

Таким образом, наличие слоев на дне приводит к существенному изменению взаимного спектра. На синфазной составляющей взаимного спектра появляется ряд частотных просечек или интерференционных полос. Эти частотные просечки будут тем ярче, чем меньше параметр Рэля и выше коэффициент отражения от каждой из границ слоистого дна океана.

При малых параметрах Рэля на границах слоев, т. е. при  $P_n(\omega) \ll 1$  и, следовательно,  $P_n(\nu) \ll 1$ , соотношение (3) приводится к виду

$$G(\omega) = S(\omega) \sum_{n=0}^N V_n \exp(i\omega\Delta t_n). \quad (4)$$

Анализируя полученное выражение, можно показать, что в этом случае взаимный спектр излученного шумового сигнала с отраженным от дна равен спектру излученного шума, но промодулированного суммой гармонических функций. Синфазная составляющая взаимного спектра на частотах, удовлетворяющих уравнению



$$\sum_{n=0}^N V_n \cos(\omega \Delta t_n) = 0, \quad (5)$$

будет обращаться в нуль.

При наличии только одной ровной границы на дне взаимный спектр полностью совпадет, как это и следовало ожидать, со спектром излученного шумового сигнала. Таким образом, появление интерференционных полос в синфазной составляющей взаимного спектра связано с отражением на двух или нескольких границах, величина неровностей которых приводит к размытию и уменьшению интерференционных полос, а также центральной частоты взаимного спектра.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Вологов В. И., Краснобородько В. В., Лысанов Ю. П. Некоторые особенности корреляции псевдошумовых сигналов при отражении от слоистого дна океана.— Акуст. ж., 1979, т. 25, № 6, с. 854–859.
2. Бендат Дж., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов. М.: Мир, 1974.

Институт океанологии  
им. П. П. Ширшова  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
30.VII.1982

УДК 621.391

### УСТРОЙСТВО ВЫДЕЛЕНИЯ ИНФОРМАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ РЕЧЕВОГО СИГНАЛА

*Нгуен Ань Туан*

В течение 1981–1982 гг. в Вычислительном центре АН СССР разработано устройство выделения информативных признаков 10–20-миллисекундных сегментов речевого сигнала (блок-схема устройства приведена на фиг. 1). Устройство входит в общую систему получения признаков первичного описания, используемую в исследованиях по распознаванию речи и дополнительно включающую гребенку полосовых фильтров. Оно включает 17 каналов, позволяющих с удовлетворительной степенью приближения оценить параметры артикуляторного тракта, соответствующие признакам способа и места образования звуков. Среди признаков, выделяемых устройством, бинарные признаки  $A_H$ ,  $A_B$ ,  $\rho_2$  характеризуют способ артикуляции звуков:  $A_H$  — бинарный признак звонкости, соответствующий повышенной энергии сигнала в полосе 0–450 Гц и определяющий наличие периода основного тона на анализируемом отрезке сигнала;  $A_B$  — признак энергии в полосе 500–2000 Гц, превышающей пороговую. Одновременное присутствие  $A_H$  и  $A_B$  может служить хорошим признаком гласности. Признак  $\rho_2$  определяет наличие шумного звука. Одновременное отсутствие признаков  $A_H$ ,  $A_B$ ,  $\rho_2$  в середине слова определяет глухую смычку-паузу, предшествующую глухим взрывным звукам. (Признаки  $\rho_3$ ,  $\rho_5$  являются, скорее, параметрами места образования звуков;  $\rho_2$ ,  $\rho_3$ ,  $\rho_5$  — бинарные параметры, порог срабатывания которых определяется усредненными мгновенными частотами в 2, 3 и 5 кГц соответственно.)

Признаками места артикуляции звуков являются значения формантных частот и полос, усредненная мгновенная частота, параметры шумовой составляющей сигнала и ряд других параметров. Устройство выделения информативных признаков включает каналы измерения средней частоты и средней интенсивности сигнала в полосах первой и второй формант, измерение усредненной мгновенной частоты сигнала, измерения импульсов клипшированного речевого сигнала в диапазонах различных длительностей за интервал 10 мс. (Гребенка селекции импульсов по длительности.)

В связи с тем что основным назначением этого устройства было исследование параметров звуков речи тонального языка (вьетнамского), особенностью которого является наличие микровариаций просодических параметров на отрезках, соответствующих звукам, особое внимание представляют каналы выделения периода основного тона  $T_0$  и усредненной интенсивности  $A_0$ , о которых далее будет сообщено более подробно.

Каналы устройства изготавливались на микросхемах серий 155, 284 и 298. При измерении средней интенсивности (каналы  $A_0$ ,  $A_1$  и  $A_2$ ) использовались преобразователи «амплитуда — частота» (генераторы управляемой частоты), реализованные на оптронах АОД-101В и транзисторах КТ-117А. Система управления предусматривает использование генератора частоты 12,8 кГц и счетчика-делителя частоты для получения импульсов управления, следующих с частотой 100 и 50 Гц.

Измерение формантных частот производилось способом, описанным в [1]. Речевой сигнал в каждом из каналов  $F_1$  и  $F_2$  проходит через широкополосные фильтры, перекрывающие области первой и второй формантных частот. После фильтрации сигналы клипшируются; импульсы с выхода клиппера поступали на счетчики; измерение усредненной частоты  $F_1$  производилось за 20, а  $F_2$  — за 10 мс.

Принципиально новым каналом устройства, позволившим анализировать