

А. Г. ГОЛУБКОВ, В. И. КОРОЛЕВ, В. А. АНТОНОВ,
Е. А. ИГНАТЬЕВА

СРАВНЕНИЕ ЛОКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ ДЕЛЬФИНОВ С ДАННЫМИ РАСЧЕТОВ ОПТИМАЛЬНЫХ СИГНАЛОВ

(Представлено академиком Е. М. Крепсом 4 V 1975)

В результате эволюции локационный аппарат морских животных получил существенное развитие. В частности, дельфин приобрел способность использовать зондирующие сигналы для задач навигации и охоты за рыбой. Представляет интерес сравнить сигналы, полученные в физиологических экспериментах ⁽¹⁾, с данными технического расчета оптимального гидролокатора. Сигналы дельфина регистрировались в различные моменты условно-рефлекторного обнаружения и распознавания целей при свободном передвижении животных в открытой акватории. Регистрация сигналов производилась на магнитофон с полосой пропускания 1—200 кГц.

Задачей было исследование локации точечных объектов — «светящихся точек», их обнаружение и разрешение ^(2, 3). При этом полагали, что характеристика чувствительности приемника дельфина ⁽⁴⁾ является неизменной.

Комплексный спектр оптимального для обнаружения сигнала определяется с точностью до постоянного множителя без учета неискаженного запаздывания, как

$$\Phi_o(f) = H^*(f) K_b(f), \quad (1)$$

где $\Phi_o(f)$ — спектры оптимального для обнаружения сигнала; $H(f)$ — частотная характеристика приемника дельфина, полученная из характеристики чувствительности (рис. 1, 1). Эту характеристику можно считать оптимальной для шумов моря; $K_b(f)$ — частотная характеристика от акустического канала в воде. Дисперсию фазовой скорости считаем пренебрежимо малой ⁽⁵⁾. Другие ограничения полагаем отсутствующими. Аппроксимирующая функция приведена на рис. 1, 2, где $f_{гр}$ принята равной 100 кГц. Для малых фиксированных расстояний $K_b(f)$ можно принять постоянной

$$K_b(f) = c = \text{const}, \quad (2)$$

т. е. спектр сигнала определяется из (1) при аппроксимации (2) как

$$\Phi_{oa}(f) \approx \Phi_{oa}(f) = c H_a^*(f). \quad (3)$$

Акустический сигнал, распространяющийся в воде $\Phi_{oa}(t)$, состоит из четной и нечетной компонент и, следовательно, может быть определен ⁽⁶⁾ через синус и косинус преобразования Фурье

$$\varphi_o(-t) \approx \varphi_{oa}(-t) = S\{\Phi_{oa}(f)\} + c\{\Phi_{oa}(f)\}. \quad (4)$$

Из (4) с учетом (2) и (3) получим ⁽⁷⁾

$$\varphi_{oa}(-t) \approx \frac{\pi c}{2} \frac{d}{dt} \left(\frac{S_o(\omega_{гр} t)}{\omega_{гр} t} + \frac{I_o(\omega_{гр} t) - 1}{\omega_{гр} t} \right), \quad (5)$$

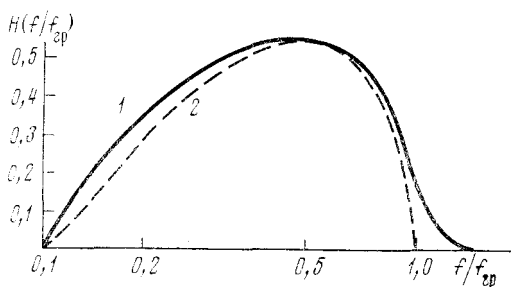


Рис. 1

где $\omega_{гр} = 2\pi f_{гр}$; $S_i(t)$ — функция Струве; $I_0(t)$ — функция Бесселя первого рода нулевого порядка.

График $\varphi_{оп}(t)$ приведен на рис. 2, 1; рис. 2, 2 — сигнал дельфина. Расчеты показали, что с увеличением дальности до цели оптимальные сигналы обнаружения за счет увеличения затухания в среде становятся более низкочастотными. Форма сигналов изменяется мало ⁽¹⁾.

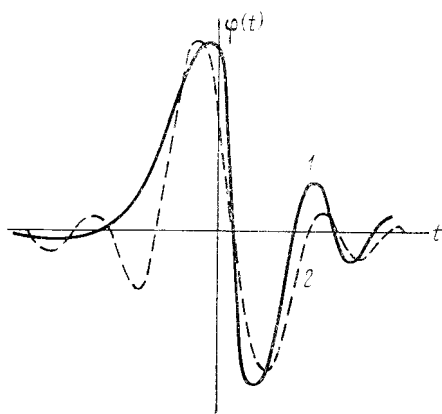


Рис. 2

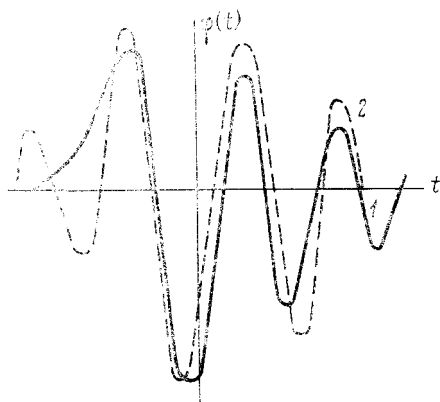


Рис. 3

Комплексный спектр оптимального сигнала для задачи разрешения при достаточно большом отношении сигнал/шум на входе приемника определяется ⁽¹⁾ при тех же условиях, как и для (1),

$$\Phi_{и}(f) = 1/H(f) \cdot K_{в}(f). \quad (6)$$

Полагая зондирующий сигнал однополосным, можно применить аппроксимацию высокочастотной части спектра сигнала

$$\begin{aligned} (f/f_{гр})^3 \arccos f/f_{гр} & \text{ при } 0 < f < f_{гр}, \\ 0 & \text{ при } f > f_{гр}. \end{aligned} \quad (7)$$

Из (4) — (6) можно определить оптимальный сигнал разрешения

$$\varphi_{и}(t) \approx \varphi_{на}(t) = \frac{\pi c}{2} \frac{d^3}{dt^3} \left[\frac{S_0(\omega_{гр}t)}{\omega_{гр}t} + \frac{I_0(\omega_{гр}t) - 1}{\omega_{гр}t} \right].$$

Зависимость $\varphi_{на}(t)$ приведена на рис. 3, 1; на рис. 3, 2 — реальный сигнал дельфина.

Подобие расчетных и реальных сигналов обнаружения и разрешения позволяет сделать выводы о лабильности гидроакустического аппарата дельфина и возможности классификации сигналов дельфинов с точки зрения технических задач гидроакустики.

Ленинградский институт авиационного
приборостроения

Поступило
4 V 1975

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Э. Ш. Айрапетьянц, А. Г. Голубков и др., ДАН, т. 188, № 5, 1197 (1969).
² Л. Френкс, Теория сигналов, М., 1974. ³ М. Д. Ширман, Разрешение и сжатие сигналов, М., 1974. ⁴ С. S. Johnson, J. Acoust. Soc. Am., v. 43, № 4, 757 (1968). ⁵ Б. К. Федюшин, О распространении звука в маловязких жидкостях и газах, Л., 1957.
⁶ К. Küpfmüller, Die Systemtheorie der elektrischen Nachrichtenübertragung, Stuttgart, 1968. ⁷ В. А. Диткин, А. П. Прудников, Интегральные преобразования и операционное исчисление, М., 1974.