

А. А. ПОДОЛЬСКИЙ, Г. В. АБРАМОВ,
Н. А. МАЛЫГИН, В. В. ФАДЕЕВ

ХАРАКТЕРИСТИКА НАПРАВЛЕННОСТИ ШИРОКОПОЛОСНОЙ АНТЕННЫ ПРИ ПРИЕМЕ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ШУМОВ

В последние годы появился ряд работ по вопросам излучения, распространения и приема немонохроматических гидроакустических сигналов. В частности, большое внимание этим вопросам уделено в [1], однако использованная автором методика анализа и расчетов громоздка, связана с введением многочисленных вспомогательных коэффициентов и потому неудобна для практического применения. В работах [2, 3] изложен более рациональный подход к решению задачи об определении характеристики направленности антенны при приеме случайных сигналов в широкой полосе частот. Однако расчетные формулы и результаты расчетов, полученные в [2, 3], относятся к случаю, когда входной сигнал имеет постоянную спектральную плотность в полосе пропускания приемного тракта. Спектральная плотность гидроакустических шумов (шумы моря, шумы корабля) изменяется обратно пропорционально квадрату частоты [1, 4]. Поэтому представляет интерес определение характеристики направленности широкополосной приемной антенны для случая, когда спектральная энергетическая плотность шумового сигнала на входе аппроксимируется функцией $\frac{a}{f^2}$. Решение этой задачи и составляет основное содержание данной статьи.

Ограничимся случаем, когда антенна представляет собой плоский прямоугольный поршень и приемная система имеет прямоугольную форму амплитудно-частотной характеристики (АЧХ)

$$c(\omega) = \begin{cases} k & \omega_1 \leq \omega \leq \omega_2 \\ 0 & \omega > \omega_2, \omega < \omega_1, \end{cases} \quad (1)$$

где ω_1, ω_2 — граничные частоты полосы пропускания. В соответствии с [2] характеристика направленности плоского прямоугольного поршня определяется выражением

$$M(\Psi) = \sqrt{\frac{2}{B_y(0)} \int_0^1 (1-x) B_y(\tau_0 x) dx}, \quad (2)$$

где $B_y(\tau_0 x)$ — функция корреляции процесса на выходе приемной системы; $\tau_0 = \frac{b \sin \Psi}{c}$; b — ширина поршня; c — скорость звука; Ψ — угол между нормалью к поршню и направлением на источник шума. При прямоугольной форме АЧХ спектр шума на выходе гидроакустического преобразователя имеет вид

$$F_y(\omega) = \begin{cases} \frac{ak}{\omega^2} & \omega_1 \leq \omega \leq \omega_2 \\ 0 & \omega > \omega_2; \omega < \omega_1. \end{cases} \quad (3)$$

По теореме Винера-Хинчина для функции корреляции выходного шума с учетом (3) получим

$$B_y(\tau) = \frac{ak}{2\pi} \left[\frac{\cos \omega_1 \tau}{\omega_1} - \frac{\cos \omega_2 \tau}{\omega_2} - \tau \int_{\omega_1}^{\omega_2} \frac{\sin \omega \tau}{\omega} d\omega \right]. \quad (4)$$

Подставляя (4) в (2) и производя почленное интегрирование, находим выражение для характеристики направленности в следующем виде:

$$M(\Psi) = \sqrt{\frac{2\omega_1\omega_2}{\omega_2 - \omega_1} [\Phi_1 + \Phi_2 - \Phi_3 + \Phi_4 - \Phi_5]}, \quad (5)$$

$$\text{где } \Phi_1 = \frac{1}{3} \left(\frac{1}{\omega_1^3 \tau_0} - \frac{1}{\omega_2^3 \tau_0} \right); \quad \Phi_2 = \frac{1}{6} \left(\frac{\sin \omega_1 \tau_0}{\omega_1^2 \tau_0} - \frac{\sin \omega_2 \tau_0}{\omega_2^2 \tau_0} \right);$$

$$\Phi_3 = \frac{1}{3} \left(\frac{\cos \omega_1 \tau_0}{\omega_1^3 \tau_0^2} - \frac{\cos \omega_2 \tau_0}{\omega_2^3 \tau_0^2} \right); \quad \Phi_4 = \frac{1}{6} \left(\frac{\cos \omega_1 \tau_0}{\omega_1} - \frac{\cos \omega_2 \tau_0}{\omega_2} \right);$$

$$\Phi_5 = \frac{\tau_0}{6} \int_{\omega_1 \tau_0}^{\omega_2 \tau_0} \frac{\sin x}{x} dx.$$

Следуя [2], представим $M(\Psi)$ в виде функции безразмерных параметров $\xi = \omega_1 \tau_0$ и $\rho = \frac{\omega_2}{\omega_1}$:

$$M(\Psi) = \sqrt{\frac{2\rho}{\rho - 1} [\varphi_1(\rho, \xi) + \varphi_2(\rho, \xi) - \varphi_3(\rho, \xi) + \varphi_4(\rho, \xi) - \varphi_5(\rho, \xi)]}, \quad (6)$$

$$\text{где } \varphi_1(\rho, \xi) = \frac{\rho^3 - 1}{3\xi^2 \rho^3}; \quad \varphi_2(\rho, \xi) = \frac{\rho^2 \sin \xi - \sin \rho \xi}{6\xi \rho^2};$$

$$\varphi_3(\rho, \xi) = \frac{\rho^3 \cos \xi - \cos \rho \xi}{3\xi^2 \rho^3}; \quad \varphi_4(\rho, \xi) = \frac{\rho \cos \xi - \cos \rho \xi}{6\rho};$$

$$\varphi_5(\rho, \xi) = \frac{\xi}{6} [Si(\rho \xi) - Si \xi].$$

Нетрудно показать, что при $\rho \rightarrow 1$ выражение (1) совпадает с формулой для расчета характеристики направленности прямоугольного поршня при приеме монохроматических сигналов [5].

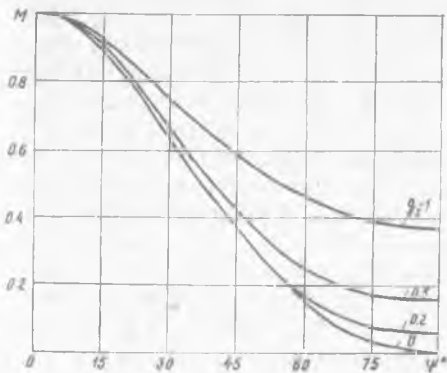


Рис. 1. Характеристики направленности широкополосной антенны при $g_1=1$

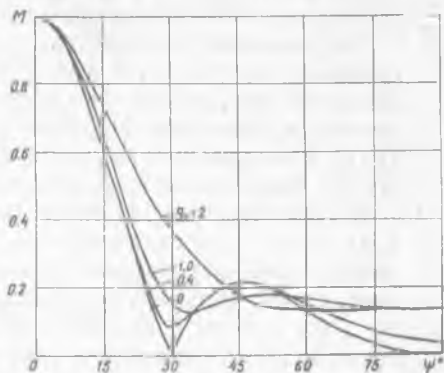


Рис. 2. Характеристики направленности широкополосной антенны при $g_1=2$

Для оценки влияния ширины полосы пропускания на форму характеристики направленности более целесообразно введение безразмерных параметров $g_1 = \frac{\omega_0 b}{2\pi c}$ и $g_2 = \frac{(\omega_2 - \omega_1) b}{2\pi c}$, связанных с параметрами ξ и ρ соотношениями:

$$\xi = 2\pi \left(g_1 - \frac{g_2}{2} \right) \sin \psi; \quad \rho = \frac{g_1 + \frac{g_2}{2}}{g_1 - \frac{g_2}{2}}. \quad (7)$$

Однако использование параметров ρ и ξ приводит к более простой и компактной записи $M(\Psi)$. Поэтому при проведении расчетов, исходя из заданных значений g_1 и g_2 , определяли параметры ρ и ξ и затем рассчитывали $M(\Psi)$ по формуле (6).

Расчеты характеристики направленности были произведены по формуле (6) с учетом (7) для трех значений параметра g_1 : $g_1=1$ (см. рис. 1), $g_1=2$ (см. рис. 2) и $g_1=5,75$ (см. рис. 3). При каждом значении g_1 параметр g_2 принимал следующие дискретные значения: $g_1=1, g_2=0; 0,2; 0,5; 1,0$;

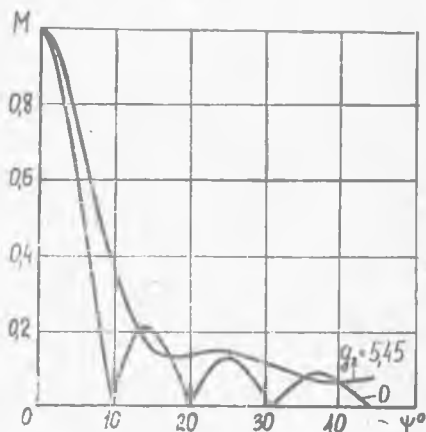


Рис. 3. Характеристики направленности широкополосной антенны при $g_1=5,75$

$g_1=2, g_2=0; 0,4; 1,0; 2,0; g_1=5,75; g_2=0; 5,75$. Расчеты производились на ЭВМ «Проминь» с шагом в 1 градус.

Из результатов анализа и расчетов, представленных в виде графиков на рис. 1, 2 и 3, следует, что характеристика направленности антенны существенно зависит от ширины полосы пропускания приемной системы. При $g_2 \leq (0,1 \div 0,2)$ g_1 характеристика направленности почти полностью совпадает с характеристикой направленности при приеме монохроматических сигналов.

С увеличением значения параметра g_2 характеристика направленности «сглаживается»: исчезают нули, уменьшается величина побочных максимумов. При этом характеристика расширяется, что приводит к уменьшению точности пеленгации источника шума. Это обстоятельство не отмечено в работах [2, 3], где расчеты проводились для случая «белого» шума.

ЛИТЕРАТУРА

1. Уоррен Хортон Дж. Основы гидроакустики. Судпромгиз, 1961.
 2. Абрамов Г. В., Подольский А. А. К вопросу о пространственной избирательности антенны гидролокатора при широкополосном приеме. Труды ЛИАП, вып. 64, 1969.
 3. Подольский А. А. Определение характеристики направленности прямоугольной поршневой антенны при широкополосном приеме. Труды КуАИ, вып. 44, 1971.
 4. Сташкевич А. П. Акустика моря. «Судостроение», М., 1966.
 5. Тюрин А. М., Сташкевич А. П., Таранов Э. С. Основы гидроакустики. «Судостроение», М., 1966.
-