

УДК 681.883.67

В. Д. Зубов
АО «Концерн «Океанприбор»» (Санкт-Петербург)

Д. В. Кондаков
Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Моделирование антенной решетки эхолота с управляемой характеристикой направленности в режиме излучения

Предлагается решение задачи устранения погрешности измерения глубины эхолотом, вызванной качкой судна, путем регулирования направления центрального лепестка характеристики направленности излучающей антенны.

Погрешность измерения глубины, качка судна, характеристика направленности антенны, направление центрального лепестка

Для повышения точности измерения глубины с помощью эхолота необходимо устранение погрешности, вызванной качкой корабля-носителя. Одним из путей устранения этой погрешности является стабилизация в вертикальной плоскости центрального лепестка характеристики направленности (ХН) излучающей антенны.

Традиционно антенны эхолота конструируются на основе пьезокерамических преобразователей, соединенных в антенную решетку. Прямоугольные антенные решетки дают наилучшие параметры ХН, однако цилиндрические антенны более технологичны, имеют минимальные габариты. Их характеристики направленности подробно рассмотрены в [1], но регулировка угла наклона их ХН в процессе работы практически невозможна – для ее реализации необходимо использовать линейную антенную решетку.

Амплитудная ХН линейной эквидистантной решетки с равномерным распределением определяется выражением [1]

$$D(\varphi) = \frac{\sin(Nt)}{N \sin t}, t \in \left[-\pi \frac{d}{\lambda}, \pi \frac{d}{\lambda} \right], \quad (1)$$

где φ – угол отклонения фронта прихода волны от нормали (или его проекции на плоскость XY в трехмерном пространстве XYZ); N – число элементов антенной решетки;

$$t = \frac{\pi d}{\lambda} \sin \varphi; \quad (2)$$

d – расстояние между двумя элементами антенной решетки; $\lambda = c / F_0$ – длина волны излучаемого колебания (F_0 – частота; c – скорость звука).

Рассмотрим зависимости ХН от числа N при $d = \lambda/2$. Этот вариант характерен для режима излучения. В [1] принято приводить функцию $D(t)$ вместо $D(\varphi)$. На рис. 1 приведена ХН при равномерном распределении. Амплитуда боковых максимумов, соседствующих с главным, в этом случае составляет 22.5 % от амплитуды главного максимума. ХН антенной решетки в третьем и четвертом квадрантах значений φ симметрична, но излучение антенны в обратном направлении гасится с помощью акустического экрана.

Ширина ХН главного лепестка на уровне 0.707 может быть найдена по формуле [1]

$$\Delta\varphi = 51^\circ \frac{\lambda}{Nd}. \quad (3)$$

Зависимость $D(\varphi)$ может быть получена из $D(t)$ с помощью преобразования

$$\varphi = \arcsin \frac{t\lambda}{\pi d}. \quad (4)$$

Зависимость $\varphi(t)$ при малых значениях t имеет линейный характер, при больших – нелиней-

ный (рис. 2). Амплитуды максимумов $D(\varphi)$ (линия 2) и $D(t)$ (линия 1) совпадают, но их координаты, выраженные в градусах, для бокового поля расходятся, как следует из рис. 1.

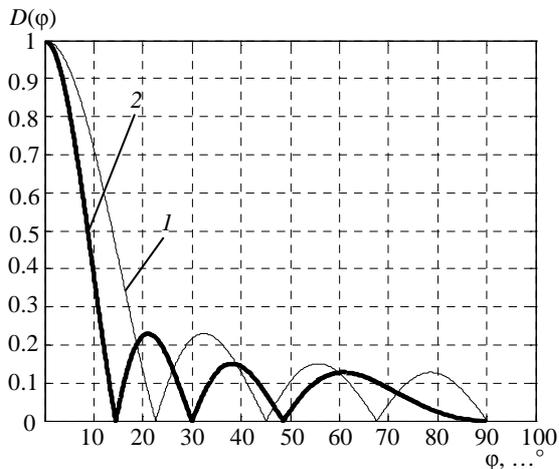


Рис. 1

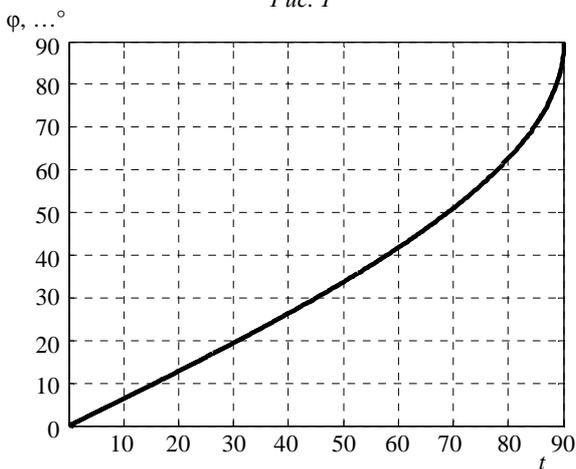


Рис. 2

При необходимости конструирования более сложных, например оптимальных (чебышевских), амплитудных распределений целесообразно использовать аппарат оконной фильтрации, применяемой при цифровой обработке сигналов [2], [3]. ХН и весовые функции можно вычислять с помощью процедур, включенных в систему MATLAB.

В качестве примера примем заданную ширину ХН эхолота равной 13° , тогда, пользуясь (3), при $\lambda/d = 2$ находим для линейной эквидистантной антенной решетки $N = 8$.

Обычно расстояние между антенными преобразователями выбирается равным половине длины волны ($\lambda/2$) излучаемого колебания. Выбор d в диапазоне $\lambda/2 < d < \lambda$ позволяет уменьшить число преобразователей (на практике – до 1.5 раз). При этом, однако, растут требования к мощности отдельных преобразователей и несколько снижается

подавление сигнала в боковом поле. На рис. 3 дано сравнение ХН двух антенных решеток: при $N = 8d = \lambda/2$ (линия 1) и $N = 6d = 0.75\lambda$ (линия 2).

На практике угол отклонения от вертикали при бортовой качке может достигать $\pm 15^\circ$, период качки составляет несколько секунд. Для устранения погрешности, вызванной действием качки, необходимо менять направление основного лепестка антенны сигнал от задающего генератора, должен поступать на антенную решетку через линии задержки с постоянным шагом, причем временная задержка на звено определяется как

$$\tau = d \sin \alpha / c. \quad (5)$$

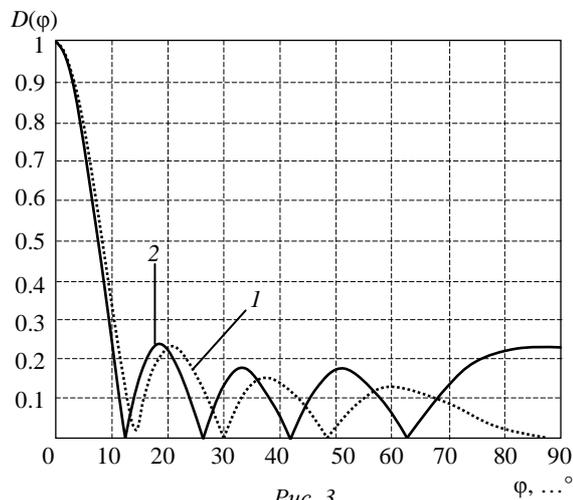


Рис. 3

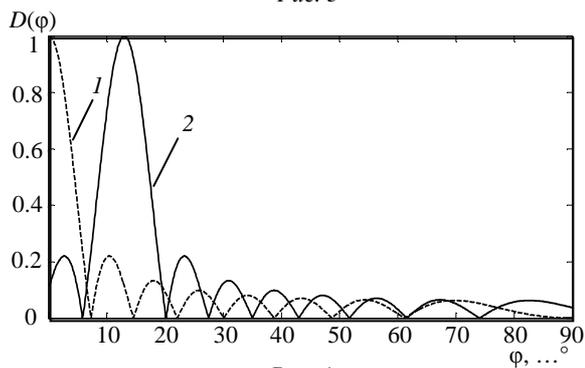


Рис. 4

При максимальных углах качки с погрешностью, не превышающей 1 %, можно считать, что

$$\tau = d\alpha/c, \quad (6)$$

где α – угол, рад.

Максимальная задержка при максимальном угле отклонения $\alpha = 15^\circ$ составит 5 мкс при 50 кГц и 2.5 мкс – при 100 кГц. Изменения ХН при сдвиге ее направленности на 15° приведены

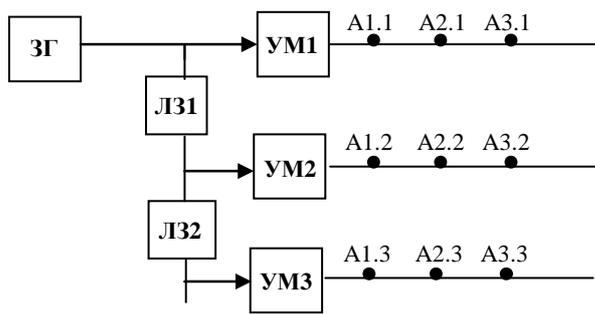


Рис. 5

на рис. 4 (1 – характеристика направленности без сдвига, 2 – со сдвигом).

Линия задержки должна содержать N звеньев. Поскольку организация непрерывного изменения задержки весьма проблематична, предлагается переключать 5 дискретных линий задержки с шагом 7.5° , τ может принимать следующие значения: -15 , -7.5 , 0 , 7.5 и 15° . Таким образом, реализовать надо будет только 4 линии задержки.

Наиболее перспективной остается реализация задержек методами цифровой обработки сигналов. Функциональная схема передатчика при этом будет иметь вид, приведенный на рис. 5: ЗГ – задающий генератор; УМ1–УМ3 – усилители мощности; ЛЗ1, ЛЗ2 – звенья задержки; А1.1, А2.1–А3.3 – гидроакустические преобразователи антенной решетки.

Для обеспечения регулировки угла наклона при круговой конфигурации антенны можно вписать антенную решетку с параллельным распределением преобразователей в круг, однако для сохранения ширины ХН антенны диаметр его должен превышать длину антенной решетки D в $4/\pi$ раз, при этом площадь антенны остается неизменной.

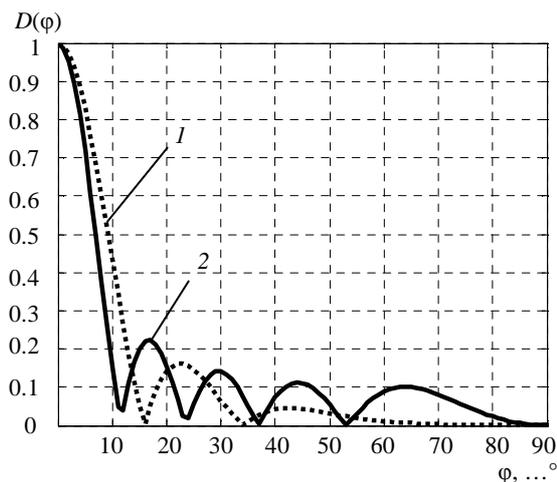


Рис. 6

Следует отметить, что у антенной решетки, вписанной в круг, подавление боковых лепестков в этом случае значительно выше (рис. 6). На этом рисунке приведено сравнение квадратной антенной решетки с $N = 10$ и длиной D (линия 2) с решеткой, вписанной в круг диаметром $4D/\pi$ (линия 1). Для достижения заданной ширины ХН число N увеличено с 8 до 10. Квадратная антенная решетка той же длины имеет $\Delta\varphi = 10^\circ$, вписанная в круг – заданное значение $\Delta\varphi = 13^\circ$.

На основании изложенного можно сделать следующие выводы:

1. Требуемое для устранения влияния бортовой качки регулирование ХН может быть получено при построении антенны на основе линейной антенной решетки, вписанной в круг, и введения временных задержек для питания антенных преобразователей.

2. Аналогичные результаты могут быть получены на основе креста Миллса, но этот вариант, давая выигрыш по числу преобразователей, повышает требования к излучаемой ими мощности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смаришев М. Д., Добровольский Ю. Ю. Гидроакустические антенны. Л.: Судостроение, 1984. 300 с.
2. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов. СПб.: БХВ-Петербург, 2011. 768 с.
3. Марпл-мл. С. Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения. М.: Мир, 1990. 584 с.

V. D. Zubov

SC «Concern «Oceanpribor»» (Saint Petersburg)

D. V. Kondakov

Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

MODELING OF ANTENNA ARRAY FATHOMETER WITH CONTROLLABLE DIRECTIONAL PATTERN IN RADIATING MODE

Offers a solution to the problem of roll-induced sonic depth finder error elimination, by adjusting the direction of the central lobe of the directional pattern of the radiating antenna.

Measurement error of depth, pitching of the ship, characteristics of the antenna, direction of the central lobe