

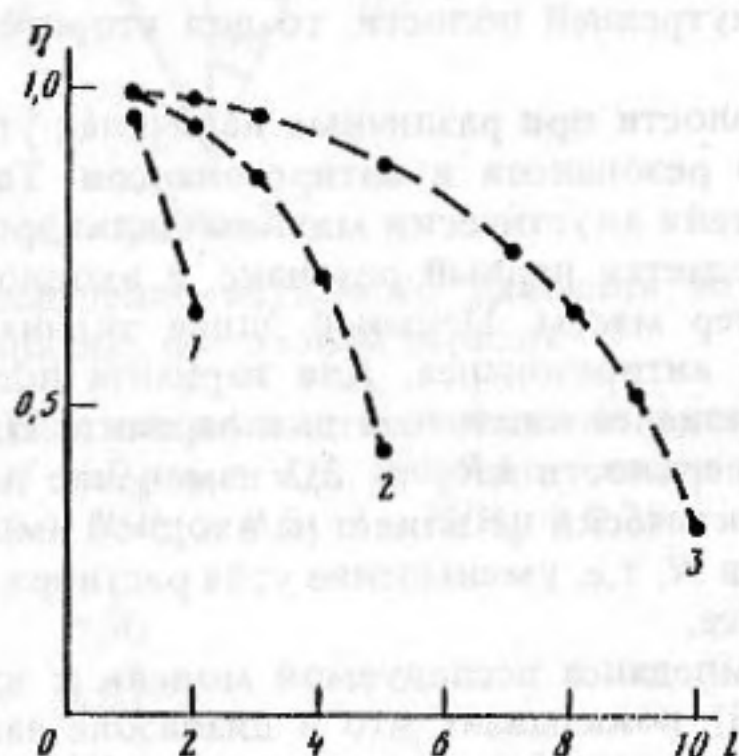
ГРАНИЦА МЕЖДУ БЛИЖНИМ И ДАЛЬНИМ ПОЛЕМ АНТЕННЫ В ВОЛНОВОДЕ

Звуковое поле при направленном излучении или приеме принято делить на ближнее (или зону Френеля) и дальнее (или зону Фраунгофера). При этом предполагается, что излучающая или приемная антенны находятся в однородном неограниченном пространстве. Граница между этими зонами определяется из условия [1, 2]

$$R_{\text{гр}} = 2(L \cos \alpha)^2 / \lambda, \quad (1)$$

где $R_{\text{гр}}$ — расстояние от фазового центра антенны, L — ее апертура, λ — длина звуковой волны, α — угол между нормалью к антенне и направлением в заданную точку поля в плоскости измерения диаграммы направленности антенны. Предполагается, что $L \ll R_{\text{гр}}$.

Такое деление на зоны условно. В технике акустических измерений граница между ближним и дальним полем выбирается исходя из степени искривления фазового фронта звуковой волны на этой границе. Искривление должно быть таким, чтобы разность фаз поля на расстоянии между центральным и крайним элементами антенны составляла $\pi/8$ радиан и меньше. Выполнение этого условия означает, что искривленный фронт волны может рассматриваться как плоский. Звуковое поле в ближней зоне (зоне Френеля) носит сложный интерференционный характер. Поэтому при определении характеристик направленности антенны, таких как диаграмма, коэффициент концентрации, острота главного максимума и так далее, измерения проводятся в дальнем поле антенны.



Зависимость величины η от номера нормальной волны l . $H = 1\lambda, \kappa = 2$ (кривая 1); $H = 2,5\lambda, \kappa = 5$ (2); $H = 5\lambda, \kappa = 10$ (кривая 3)

Определение вышеупомянутых характеристик направленности требуется и тогда, когда антенная система находится в гидроакустическом волноводе. И здесь возникает необходимость в делении звукового поля антенны на ближнюю и дальнюю зоны. Граница между ними будет отличаться от случая свободного пространства, условия (1).

В области высоких звуковых частот при реализации необходимой в практической гидроакустике направленности апертура антенны обычно оказывается много меньше толщины волновода. Это позволяет при определенных допущениях вдали от границ волновода определять направленные свойства излучающих и приемных систем так, как будто они располагаются в однородном неограниченном пространстве. В области низких звуковых и инфразвуковых частот (звуковое поле в волноводе в этом случае принято представлять в виде суммы нормальных волн [3]) для сохранения необходимых направленных свойств антенн приходится увеличивать их размеры. Это приводит к тому, что апертура антенны может оказаться сравнимой или большей толщины волновода и ее характеристики направленности будут существенным образом отличаться от случая, когда антенна располагается в свободном пространстве.

Пусть излучающая линейная антенна располагается в волноводе горизонтально. Излучаемое ею звуковое поле представляется в виде суммы нормальных волн, распространяющихся вдоль волновода с теми же фазовыми и групповыми скоростями и распределением поля по вертикали, что и в случае поля, создаваемого точечным ненаправленным источником [4]. Но в отличие от последнего случая излучаемые антенной нормальные волны обладают определенной направленностью в горизонтальной плоскости. Каждая нормальная волна распространяется вдоль волновода со своей фазовой скоростью C_l , отличной от фазовой скорости звука C в однородном неограниченном пространстве. Поэтому набег фаз в $\pi/8$ радиан между центральным и крайними элементами антенны происходит на различных расстояниях от нее для различных нормальных волн. Таким образом, граница между ближней и дальней зонами антенны своя для каждой нормальной волны и определяется фазовой скоростью этой нормальной волны C_l .

Расстояние по горизонтали, на которое распространяется ближнее поле антенны для l нормальной волны, определяется выражением

$$R_{гр}^l = 2(L \cos \alpha)^2 / \lambda_l, \quad (2)$$

где $\lambda_l = C_l / F$, F — частота излучения. Всегда $\lambda_l > \lambda$, а следовательно, и $R_{гр}^l < R_{гр}$ и это различие увеличивается с ростом номера нормальной волны l . Другими словами, граница между ближней и дальней зонами антенны для нормальной волны номера l приближается к антенне с увеличением номера этой нормальной волны.

В качестве иллюстрации на рисунке приводится зависимость величины $\eta = R_{гр}^l / R_{гр}$ от номера нормальной волны l для случая однородного волновода с мягкой поверхностью и жестким дном для различных значений толщины волновода H . За единицу принимается $R_{гр}$ свободного пространства. Скорость звука в водной толще $C = 1500$ м/с. В однородном волноводе для антенны любой апертуры L для первой нормальной волны $R_{гр}^1$ близка к $R_{гр}$ той же антенны в свободном пространстве. С увеличением номера нормальной волны l величина $R_{гр}^l$ уменьшается и для старших номеров, как в рассматриваемом примере, может составлять около $0,3 R_{гр}$.

Все вышесказанное в равной степени применимо к случаю приемной антенны. Направленность вертикальной линейной антенны в волноводе проявляется в степени возбуждения (амплитуде) излучаемых нормальных волн [4], которые переносят звуковую энергию вдоль волновода горизонтально. Тем самым снимается вопрос о ближнем и дальнем полях вертикальной антенны в волноводе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Смарышев М.Д.* Направленность гидроакустических антенн. Л.: Судостроение, 1973.
2. *Свердлин Г.М.* Прикладная гидроакустика. Л.: Судостроение, 1990.
3. *Бреховских Л.М.* Волны в слоистых средах. М.: Наука, 1973.
4. *Кравцов Ю.А., Кузькин В.М.* Об излучении антенны в многомодовом волноводе с плавноменяющимися параметрами // Акуст. журн. 1985. Т. 31. Вып. 2. С. 207–210.

Акустический институт
им. Н.Н. Андреева
Российской академии наук

Поступило в редакцию
09.04.92

УДК 534.222

© 1993 г. И.Б. Есипов, С.В. Зименков, А.И. Калачев, В.Е. Назаров

ЗОНДИРОВАНИЕ ОКЕАНИЧЕСКОГО ВИХРЯ НАПРАВЛЕННЫМ ПАРАМЕТРИЧЕСКИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

В настоящее время область практических применений параметрических излучателей (ПИ) звука постоянно расширяется. Несомненно, достоинство таких устройств — узкая диаграмма направленности (ДН) в широком диапазоне низких частот — позволяет эффективно использовать их при исследовании океана и его донных структур [1, 2]. В работе [3] изложены результаты измерений звукового поля мощного акустического излучателя в параметрическом режиме на расстояниях до 180 км. В настоящей работе приводятся результаты экспериментального исследования угловых характеристик звукового поля того же излучателя, полученных при зондировании океанического вихря направленным параметрическим излучением.

Опыты проводились в ходе рейса научно-исследовательских судов (НИС) "Академик Н. Андреев" (АНА) и "Академик Б. Константинов" (АБК) (сентябрь 1990 г.). Излучающая антенна, установленная вдоль корпуса НИС АБК, имела прямоугольную форму размером 2×6 м² и была выполнена в виде 24 секций, скоммутированных группами по 3 элемента. Четные и нечетные группы элементов запитывались от генераторов, настроенных на разные частоты f_1 и f_2 в диапазоне $2,8 \div 3,5$ кГц. Таким образом обеспечивалось излучение бигармонического сигнала приблизительно равных амплитуд. Полная акустическая мощность сигналов накачки составляла около 20 кВт. Характерная ширина ДН-излучателя накачки на частоте $f \approx 3$ кГц составляла 6° в горизонтальной и 18° в вертикальной плоскостях, а ее ось была направлена под углом -9° к горизонту. При распространении бигармонического сигнала в море возбуждался и независимо распространялся акустический сигнал на разностной частоте $F = f_1 - f_2$. Прием сигналов на судне АНА осуществлялся на ненаправленный гидрофон.

Полученные в ходе рейса судов результаты показали, что используемая бортовая излучающая антенна оказалась достаточно эффективной для проведения океанологических исследований с помощью направленного параметрического излучения. Поэтому были поставлены эксперименты по изучению характеристик поля параметрического излучения при его распространении в районе океана с выраженными гидрологическими неоднородностями. С этой целью для ис-