

интенсивности когерентной компоненты [4] с экспериментальными данными (точки) [5]. При расчетах использовался коэффициент рассеяния m_s , взятый в форме (1) при $\varphi = \varphi_0$. Эксперимент проводился в условиях «линейного» приповерхностного канала глубиной $h \approx 88$ м и относительным градиентом скорости звука $a = 1,27 \cdot 10^{-5}$ 1/м. В качестве источника звука использовался ненаправленный монохроматический излучатель, погруженный на глубину $z_1 \approx 17$ м. Экспериментальные данные соответствуют частоте 1030 Гц и глубине приема 71 м. Скорость ветра изменялась в интервале от 2 до 4 м/с. На рисунке приведена также кривая 2, полученная в [5] на основе модели, учитывающей рассеяние как на неровностях поверхности, так и на внутренних волнах. При этом взволнованная поверхность аппроксимировалась пилообразными неровностями. Кривая 2 удовлетворительно описывает лишь средний уровень полного поля.

Отсюда следует, что при интерпретации экспериментальных данных именно знание формы реальной индикатрисы рассеяния имеет первостепенное значение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белоусов А. В., Лысанов Ю. П. О законе спадания некогерентного поля в океане со взволнованной поверхностью // Акуст. журн. 1987. Т. 33. № 5. С. 814–820.
2. Pierson W. J., Moskowitz L. A proposed spectral form for fully-developed wind seas based on the similarity theory of S. A. Kitaigorodsky // J. Geophys. Res. 1964. V. 69. № 24. P. 5181–5190.
3. Белоусов А. В., Копыл Е. А., Лысанов Ю. П. Об индикатрисе рассеяния низкочастотного звука поверхностью океана // Акуст. журн. 1989. Т. 35. № 2. С. 223–228.
4. Брежневских Л. М., Лысанов Ю. П. Теоретические основы акустики океана. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 264 с.
5. Wilson H. L., Tappert F. D. Acoustic propagation in random oceans using the radiation transport equation // J. Acoust. Soc. Amer. V. 66. № 1. P. 256–274.

Акустический институт
им. Н. Н. Андреева
Академии наук СССР

Поступило в редакцию
25.07.89

УДК 534.231.1

© 1990 г.

Е. Л. Бородина, Ю. В. Петухов

ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ КОЛЬЦЕВАЯ АНТЕННА В ОКЕАНИЧЕСКОМ ВОЛНОВОДЕ

В работах [1–5] достаточно подробно изучались направленные свойства протяженной горизонтальной линейной антенны в водном слое в акустическом поле тонального [1, 2], узкополосного шумового [3] и широкополосного шумового [4, 5] сигнала. Один из важнейших результатов этих исследований состоит в том, что с использованием горизонтальной линейной антенны апертуры L , заполненной элементами с одинаковой чувствительностью и сравнимой или превышающей по величине минимальный период интерференции поля в волноводе, однозначное определение направления на источник при варьировании угла компенсации β возможно лишь при значении угла поворота антенны α в горизонтальной плоскости по отношению к направлению на источник, равном $\alpha = \beta = 0$ (см. [1]). Это обстоятельство можно рассматривать как существенный недостаток в работе такой антенны, обусловленный появлением дополнительных максимумов в функции отклика антенны $B(\alpha, \beta)$ при углах $\beta = \arcsin(k_m \sin \alpha / k)$ вследствие существования мод различных номеров $m = [1, M]$ с волновыми числами k_m ; здесь $M = \max\{m\}$, k – волновое число плоской волны в свободном пространстве.

В настоящем сообщении показано, что отмеченный недостаток в определении направления на источник отсутствует у кольцевой антенны, как впрочем и у всякой антенны, симметричной в горизонтальной плоскости.

Направленные свойства антенны в волноводе будем, так же как и в [1–5], характеризовать ее откликом

$$B(\alpha, \beta) = J(\alpha, \beta) / \max\{J(\alpha, \beta)\}, \quad (1)$$

определяемым как нормированная по максимуму интенсивность $J(\alpha, \beta) = |u(\alpha, \beta)|^2$ сигнала $u(\alpha, \beta)$ на выходе антенны при определенных горизонтальном расстоянии r_0 до центра антенны, глубинах ее погружения z и источника z_0 , частоте излучения ω . В рассматриваемом случае кольцевой антенны радиуса R имеем

$$u(\alpha, \beta) = \int_0^{2\pi} p[r(\varphi), z, z_0, \omega] \exp\{ikR \sin(\beta + \varphi)\} d\varphi, \quad (2)$$

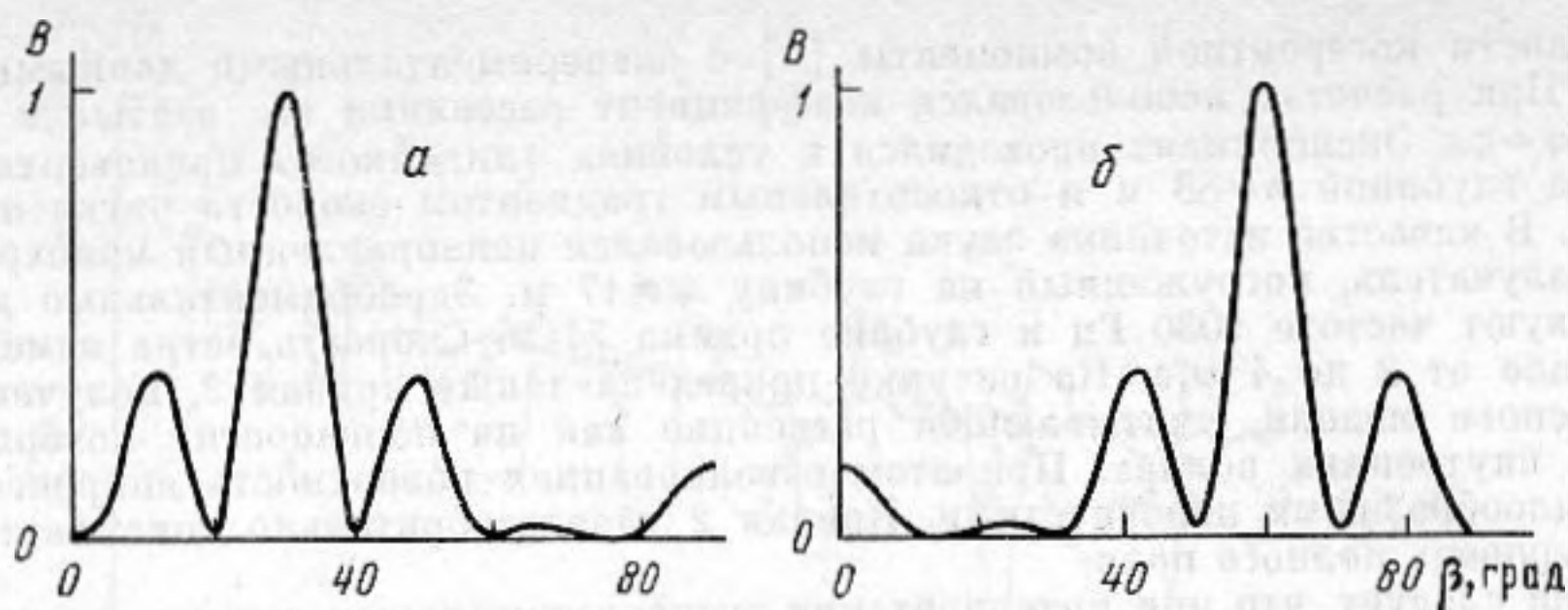


Рис. 1. Зависимость функции отклика B кольцевой антенны в идеальном волноводе от угла компенсации β при $\alpha=30^\circ$ (а) и $\alpha=60^\circ$ (б)

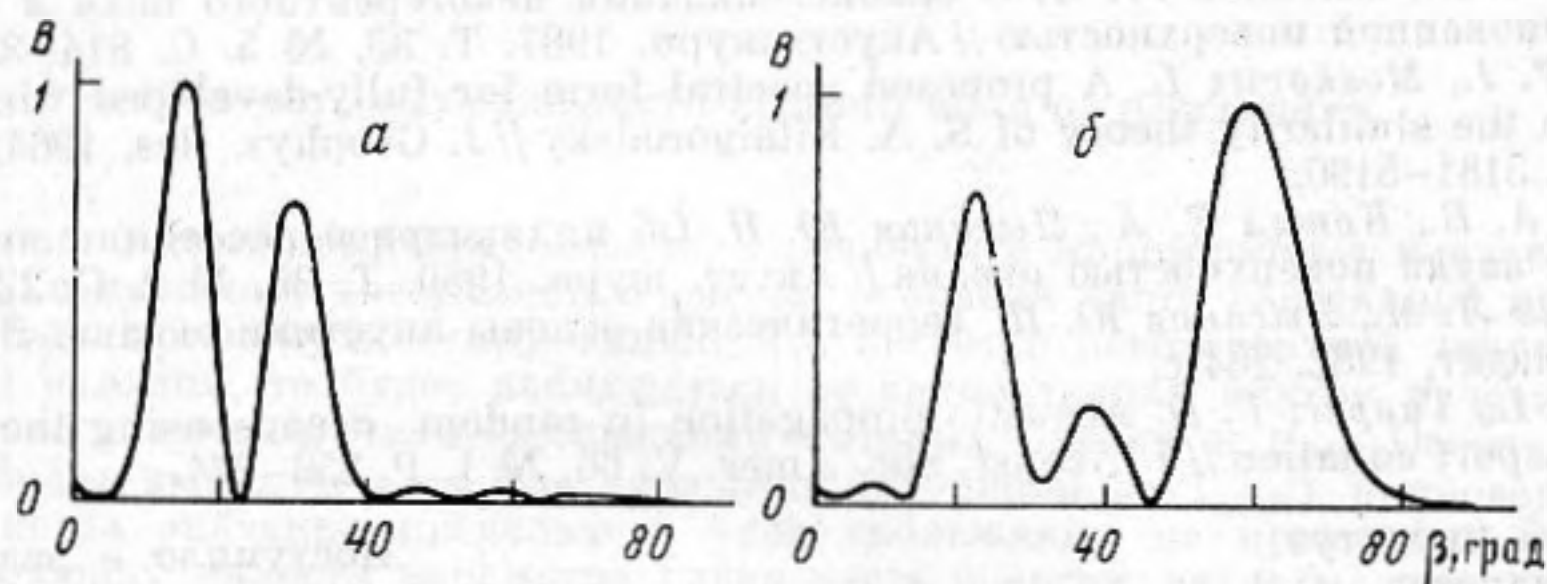


Рис. 2. Зависимость функции отклика B линейной антенны в идеальном волноводе от угла компенсации β при $\alpha=30^\circ$ (а) и $\alpha=60^\circ$ (б)

где $r = \sqrt{r_0^2 + R^2 - 2r_0R \sin(\alpha + \varphi)}$ — расстояние до ее элемента. Поскольку на практике представляют интерес значительные расстояния, существенно превышающие размер апертуры $2R/r_0 \ll 1$, то в дальнейшем ограничимся приближенным равенством $r \approx r_0 - R \sin(\alpha + \varphi)$. Для линейной антенны, которая понадобится ниже для сравнения с кольцевой, имеем

$$u(\alpha, \beta) = \int_{-L/2}^{L/2} p[r(x), z, z_0, \omega] \exp\{ikx \sin \beta\} dx, \quad (3)$$

где $r = r_0 + x \sin \alpha$ [1-5]. Если решение для поля давления в волноводе представить в виде суммы $M(\omega)$ распространяющихся без затухания нормальных волн с амплитудами $A_m(z, z_0, \omega)$, т. е.

$$p(r, z, z_0, \omega) = \frac{1}{\sqrt{r}} \sum_{m=1}^{M(\omega)} A_m(z, z_0, \omega) \exp\{i(k_m r - \omega t)\}, \quad (4)$$

то выражение для интенсивности поля на выходе антенны запишется в следующем виде:

$$J(\alpha, \beta) = \frac{1}{r_0} \left| \sum_{m=1}^{M(\omega)} A_m(z, z_0, \omega) \exp(ik_m r_0) D_m(\alpha, \beta) \right|^2, \quad (5)$$

где для кольцевой антенны

$$D_m(\alpha, \beta) = 2\pi J_0(Rk \sqrt{1 + (k_m/k)^2 - 2(k_m/k) \cos(\beta - \alpha)}), \quad (6)$$

для линейной (см. [1-5])

$$D_m(\alpha, \beta) = \frac{2 \sin \left[\frac{Lk}{2} \left(\frac{k_m}{k} \sin \alpha - \sin \beta \right) \right]}{k \left(\frac{k_m}{k} \sin \alpha - \sin \beta \right)}. \quad (7)$$

Величину $B_m(\alpha, \beta) = |D_m(\alpha, \beta)|^2 / \max\{|D_m(\alpha, \beta)|^2\}$ можно интерпретировать как отклик антенны на соответствующую нормальную волну, который совпадает при $k_m = k$ с ее откликом в свободном пространстве. Из простейшего анализа выражений

(5), (6) следует, что у кольцевой антенны максимальное значение $J(\alpha, \beta)$ всегда имеет место при $\beta = \alpha$, т. е. при совпадении угла компенсации с углом, характеризующим направление на источник; это, тем самым, подразумевает однозначное определение направления на источник, в отличие от линейной антенны (7) (см. [1]). Кроме того, из (5)–(7) видно также, что если у линейной антенны ширина главного максимума функции $B(\alpha, \beta)$ увеличивается с ростом α (см. [1–4]), то у кольцевой — она остается неизменной.

В качестве иллюстративного примера на рис. 1, 2 приведены результаты расчетов отклика кольцевой (рис. 1) и линейной (рис. 2) антенн в водном слое толщиной H с абсолютно жестким дном, подтверждающие сказанное выше о преимуществах первой. При выполнении вычислений длина волн излучения $\lambda = 2\pi/k$ выбиралась таким образом, чтобы $H/\lambda = 2,5$; $M = 5$, $R/\lambda = 2$, $r_0/\lambda = 50$; остальные параметры принимались следующими: $z_0/H = 0,4$; $z/H = 0,6$; $L = \pi R$.

Таким образом, с использованием компенсированной горизонтальной кольцевой антенны, апертура которой $2R$ сравнима или превышает минимальный период интерференции поля в волноводе, возможно однозначное определение направления на источник, причем без изменения ширины главного максимума ее отклика при варьировании угла компенсации; как известно (см. [1–4]), подобные свойства отсутствуют у линейной антенны аналогичных размеров. Следует также отметить еще одно обстоятельство, заключающееся в том, что вследствие конечного радиуса корреляции полезного сигнала в реальном океаническом волноводе существует оптимальный размер апертуры линейной антенны L_{opt} , поэтому на практике выгоднее, по-видимому, не проводить дальнейшего наращивания ее апертуры ($L > L_{opt}$), а замкнуть антенну в кольцо, получив при этом отмеченные выше преимущества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Елисеев В. А. О работе горизонтальной линейной антенны в водном слое // Акуст. журн. 1979. Т. 25. № 2. С. 227–233.
2. Елисеев В. А. О работе горизонтальной линейной антенны в мелком море // Акуст. журн. 1983. Т. 29. № 1. С. 44–49.
3. Елисеев В. А. О работе горизонтальной линейной антенны в водном слое в поле узкополосного шумового сигнала // Акуст. журн. 1984. Т. 30. № 2. С. 213–217.
4. Елисеев В. А. О работе горизонтальной линейной антенны в водном слое в поле широкополосного шумового сигнала // Акуст. журн. 1985. Т. 31. № 5. С. 684–686.
5. Елисеев В. А. О работе горизонтальной линейной антенны в водном слое с наклонным дном // Акуст. журн. 1987. Т. 33. № 3. С. 480–483.

Научно-исследовательский
радиофизический институт

Поступило в редакцию
31.10.89

УДК 534.883

© 1990 г.

Н. А. Васильев

ВЛИЯНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ И ВРЕМЕННОЙ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ВЕРХНЕГО СЛОЯ ОКЕАНА НА АКУСТИЧЕСКИЕ ПОЛЯ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ

Выполняя экспериментальные исследования в различных районах Мирового океана с использованием псевдостационарных гидроакустических трасс, были обнаружены медленные изменения в уровнях принимаемых сигналов. Акустические трассы состояли из излучателя, опущенного с борта НИС, стоящего либо на якорь, либо находящегося в свободном дрейфе, и вертикальной цепочки гидрофонов, прикрепленной к плавучести и отдрейфованной от НИС на кабель-тросу, к которому по мере его вытравливания подвешивались поплавки. Такую трассу можно назвать псевдостационарной, поскольку длина ее была достаточно стабильна и хорошо контролировалась. Однако в целом трасса с излучателем и приемником могла перемещаться в пространстве, если НИС находилось в свободном дрейфе.

Расстояние от излучателя, опущенного с НИС, до вертикальной цепочки приемных гидрофонов, в зависимости от условий опыта составляло от 1000 до 3500 м. Наблюдаемые медленные изменения уровней принимаемых сигналов достигали на отдельных гидрофонах 5–6 дБ. Период таких колебаний составлял 7–12 мин. Колебания по уровню нельзя было объяснить интерференцией отдельных лучей за счет некоторого изменения по длине образованных трасс. Действительно, измерения акустическим методом показывали, что хотя длина трассы и менялась во время эксперимента на некоторую величину, однако эта величина была слишком мала, чтобы вызвать интерференцию. Изменения по глубине излучателя или приемных гидро-