

Министерство высшего и среднего специального образования
Р С Ф С Р

Горьковский ордена Трудового Красного Знамени
научно-исследовательский радиофизический институт (НИРФИ)

П р е п р и н т № 294

О РАБОТЕ КОЛЫЦЕВОЙ И ЛИНЕЙНОЙ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ АНТЕНН
В ВОЛНОВОДАХ

Е.Л.Бородина
Ю.В.Петухов

Бородина Е. Л., Петухов Ю. В.

О РАБОТЕ КОЛЫЦЕВОЙ И ЛИНЕЙНОЙ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ АНТЕНН В ВОЛНОВОДАХ // Препринт № 294, Горький: НИРФИ, 1990. - 8 с.

УДК 534.231.1

Показано, что в отличие от компенсированной линейной антенны, апертура которой сравнима или превышает минимальный период интерференции поля в волноводе, кольцевая антенна аналогичных размеров позволяет однозначно определять направление на источник.

Подписано к печати 18.12.89 г. МЦ 00964. Формат 60x84/16
Бумага писчая. Печать офсетная. Объем 0,45 усл. л. л.
Заказ 5006. Тираж 120. Бесплатно

Отпечатано на ротапринте НИРФИ

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 рассмотреть как существенный недостаток в работе такой антенны, обусловленный появлением дополнительных максимумов в функции отклика антенны $B(\alpha, \beta)$ при углах $\beta = \arcsin\left[\frac{K_m}{K} \sin \alpha\right]$ вследствие существования мод различных номеров $m = [1, M]$ с волновыми числами K_m , здесь $M(\omega) = \max\{m\}$, 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, также 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

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

где $r = \sqrt{r_0^2 + R^2 - 2r_0 R \sin(\alpha + \varphi)}$ - 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

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

где $r = r_0 + x \sin \alpha$ /I-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.

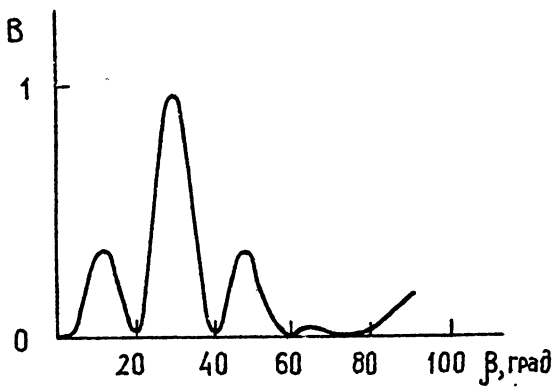
$$P(r, z, z_0, \omega) = \frac{1}{\sqrt{r}} \sum_{m=1}^{M(\omega)} A_m(z, z_0, \omega) e^{i(k_m r - \omega t)}, \quad (4)$$

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

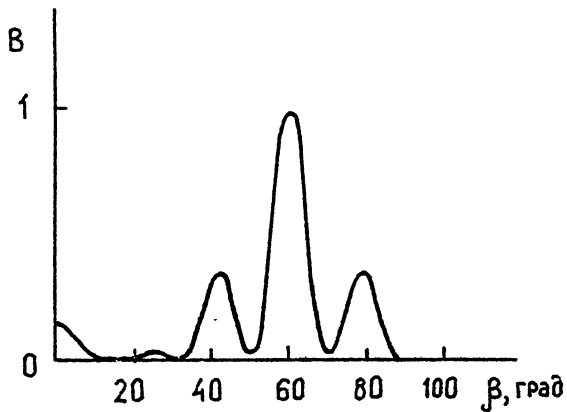
$$J(\alpha, \beta) = \frac{1}{r_0} \left| \sum_{m=1}^{M(\omega)} A_m(z, z_0, \omega) e^{ik_m r_0} D_m(\alpha, \beta) \right|^2, \quad (5)$$

где для кольцевой антенны

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



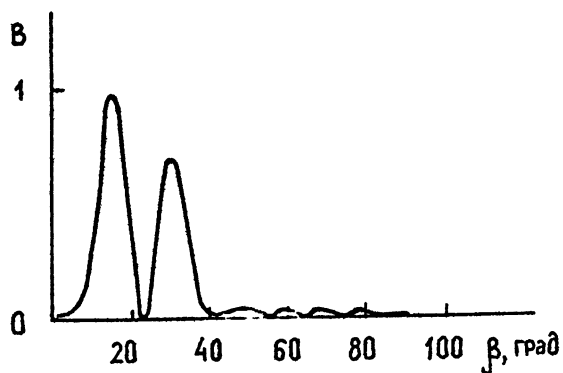
а)



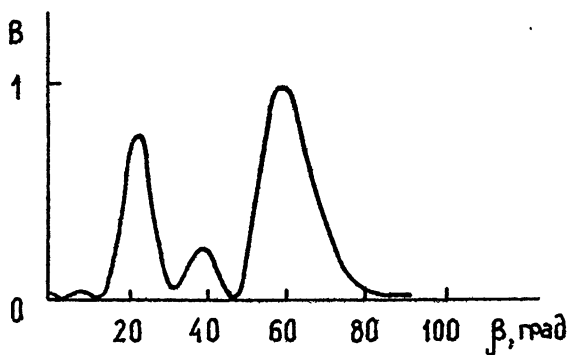
б)

Р и с. I

Зависимость функции отклика B кольцевой антенны в идеальном волноводе от угла компенсации β при $\alpha = 30^\circ$ - (а) и $\alpha = 50^\circ$ - (б) .



а)



б)

Р и с. 2

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

для линейной (см./I-5/)

$$D_m(\alpha, \beta) = \frac{2 \sin [L(k_m \sin \alpha - k \sin \beta)/2]}{k_m \sin \alpha - k \sin \beta} \quad (7)$$

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./I/). Кроме того, из (5)–(7) видно также, что если у линейной антенны ширина главного максимума функции $B(\alpha, \beta)$ увеличивается с ростом α (см./I-4/), то у кольцевой – она остается неизменной.

В качестве иллюстративного примера на рис. I, 2 приведены результаты расчетов отклика кольцевой (рис. I) и линейной (рис. 2) антенн в водном слое толщиной H с абсолютно жестким дном, подтверждающие сказанное выше о преимуществах первой. При выполнении вычислений длина волны 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: $z_0/H = 0,4$; $z/H = 0,6$.

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./I-4/), подобные свойства отсутствуют у линейной антенны аналогичных размеров. Следует также отметить одно обстоятельство, заключающееся в том, что вследствие конечного радиуса корреляции полезного сигнала в реальном 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.

Л И Т Е Р А Т У Р А

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

Дата поступления статьи
20 октября 1989 г.