

УДК 534+534.231.2

ОТКЛИК ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ЛИНЕЙНОЙ АНТЕННЫ В ОБЛАСТИ ДИСЛОКАЦИИ ФАЗОВОГО ФРОНТА ЗВУКОВОГО ПОЛЯ В ВОЛНОВОДЕ

© 1998 г. В. Н. Голубева*, В. А. Елисеевнин

* Московский институт коммунального хозяйства и строительства
109807 Москва, ул. Средняя Калитниковская, 30Акустический институт им. Н.Н. Андреева РАН
117036 Москва, ул. Шверника, 4

E-mail: bvp@acoins.msc.ru

Поступила в редакцию 31.10.97 г.

При исследовании звуковых полей в морях и океанах в последние годы широкое применение находят протяженные приемные антенные системы [1, 2]. Интерференционная структура звукового поля в морской среде, определяемая многомодовым (многолучевым) характером распространения [3], в ряде случаев приводит к ухудшению, иногда значительному, направленных свойств таких систем. Так например, если антенна располагается в области каустики звукового поля, то последнее на ее апертуре приобретает сложный интерференционный характер и сфазированная на определенное направление антенна теряет свои направленные свойства и не позволяет определить точное направление на источник без учета интерференции падающих на нее звуковых лучей [4, 5].

В работах [6–9] рассмотрено влияние многомодового состава звукового поля в мелком море на направленные свойства протяженной горизонтальной линейной антенны и показано, что ее отклик в общем случае носит “многолепестковый” характер. И лишь в частном случае ориентации антенны вдоль фазового фронта принимаемой плоской волны (при нулевом угле компенсации) можно избежать “многолепестковости” в ее отклике. В настоящей работе показывается, что последнее утверждение справедливо далеко не всегда. Оказывается, что даже при нулевом угле компенсации может иметь место ухудшение направленных свойств антенны, если ее фазовый центр располагается в области дислокации фазового фронта принимаемой звуковой волны.

Под дислокациями понимаются линии в трехмерном пространстве в волноводе, на которых модуль акустического поля равен нулю, а фаза не определена [10]. Наиболее отчетливо этот эффект проявляется в случае малого числа мод, когда наиболее резко выделяются минимумы в интерференционной картине поля. Однако не только в областях дислокаций, но также и в областях интерференционных минимумов звукового поля,

когда модуль последнего не равен нулю и фаза определена, но их величины в сильной степени меняются на апертуре антенны, следует ожидать ухудшения ее направленных свойств.

Объяснение этого явления проведем на следующем простом примере. Будем рассматривать однородный волновод с мягкой поверхностью и жестким дном. Точечный ненаправленный монохроматический источник и горизонтальная линейная антенна апертуры $L = 1.5\lambda$, где λ – длина волны звука в водной толще, располагаются на дне. Расстояние от источника до центра R . Толщина волновода $H = \lambda$ и в нем может распространяться без затухания только две нормальные волны. Источник находится в зоне Фраунгофера антенны.

Согласно [6–9] отклик такой антенны в волноводе, являющийся аналогом ее диаграммы направленности в свободном пространстве и определяемый как нормированная по максимуму интенсивность сигнала на ее выходе в зависимости от угла между направлением на источник и нормалью к центру антенны в горизонтальной плоскости α , будет равен

$$B(\alpha) = D_1^2(\alpha) + D_2^2(\alpha) + 2D_1(\alpha)D_2(\alpha)\cos[(\xi_1 - \xi_2)R], \quad (1)$$

где

$$D_l(\alpha) = A_l \frac{\sin\left(\xi_l \frac{L}{2} \sin \alpha\right)}{\xi_l \frac{L}{2} \sin \alpha}, \quad l = 1, 2. \quad (2)$$

Здесь $D_l(\alpha)$ – диаграмма направленности антенны по полю при приеме только одной l -й нормальной волны, ξ_l – горизонтальная компонента волнового вектора l -й нормальной волны, а A_l характеризует степень ее возбуждения.

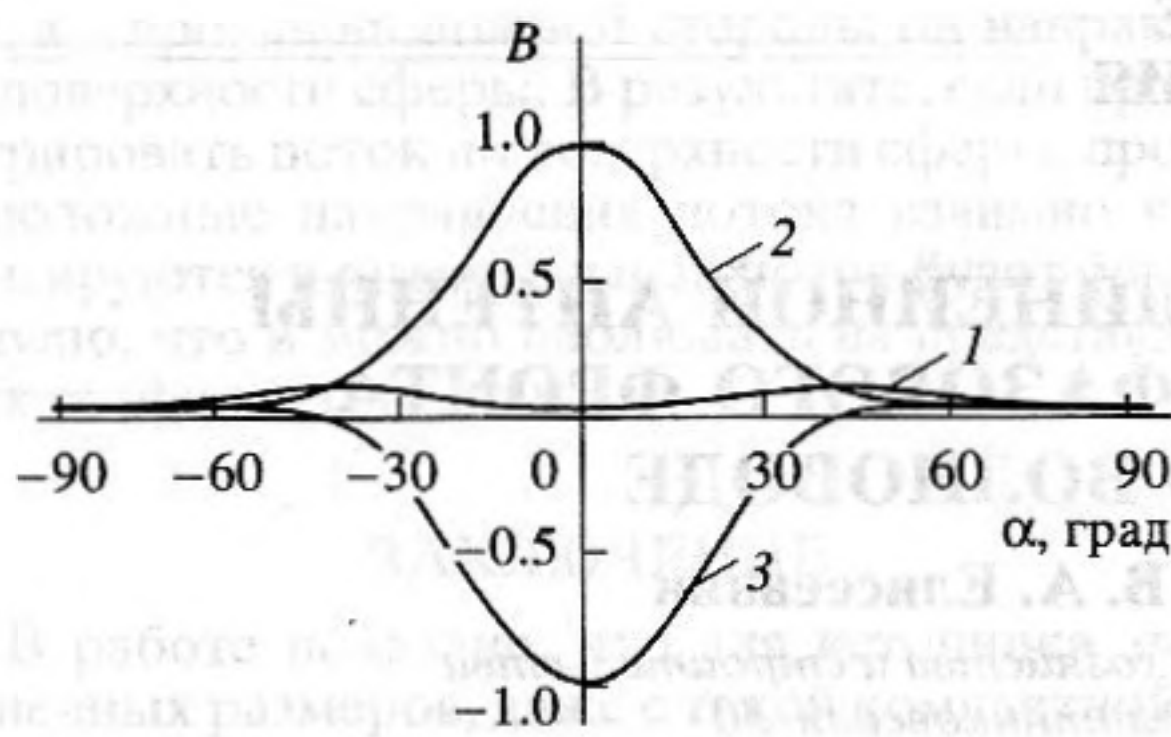


Рис. 1. Отклик антенны в слое $B(\alpha)$ (кривая 1), его энергетическая (кривая 2) и интерференционная (кривая 3) части.

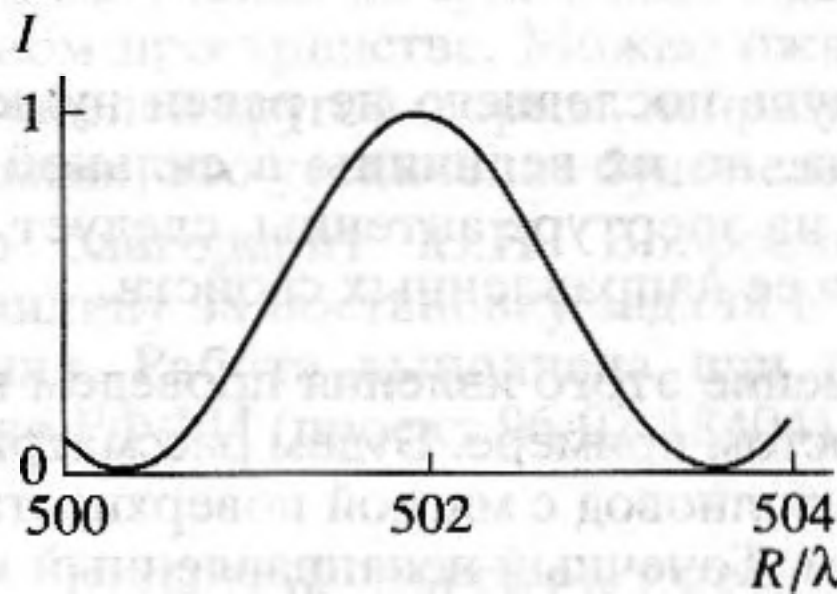


Рис. 2. Зависимость интенсивности звука с расстоянием $I(R)$ в водном слое.

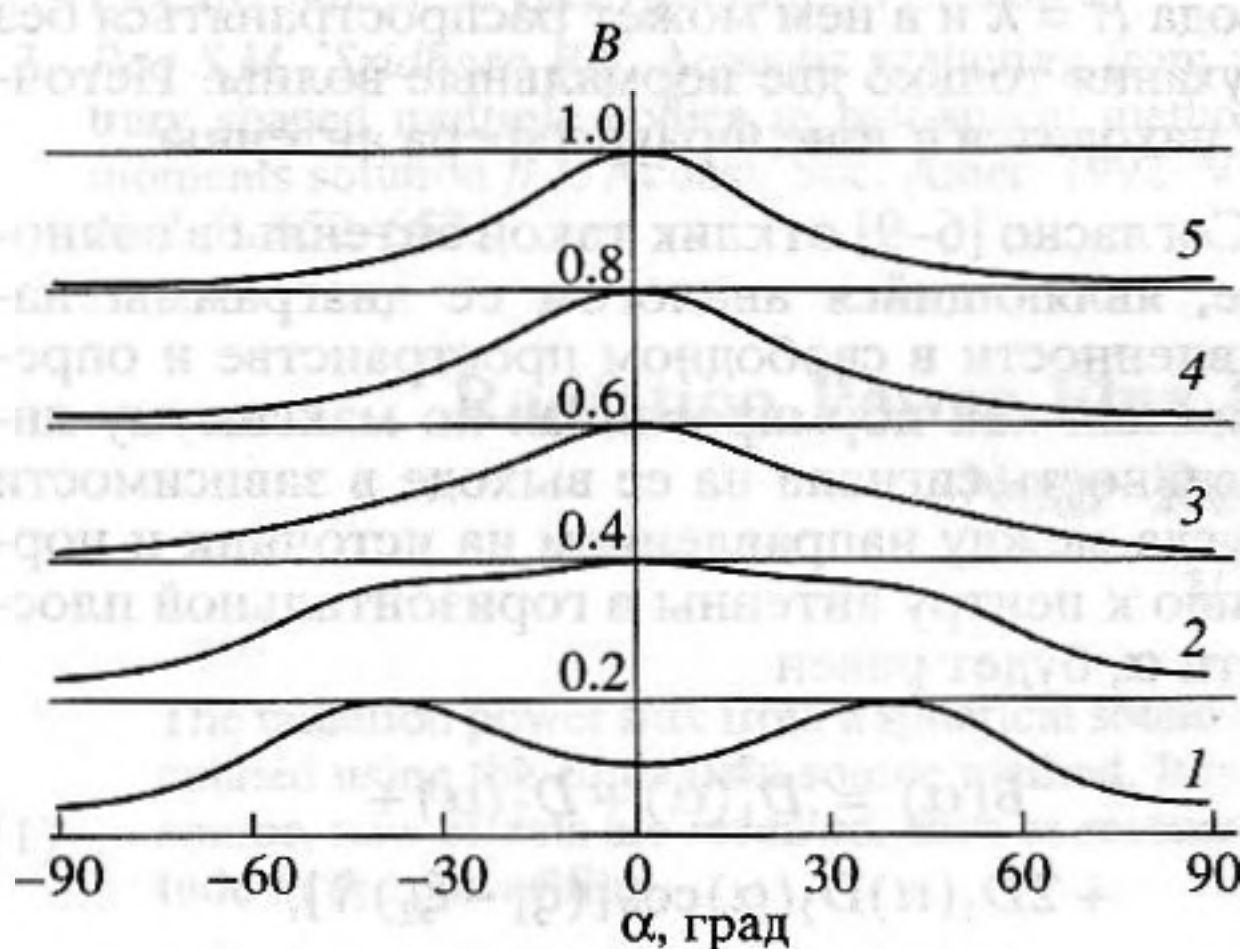


Рис. 3. Изменение формы кривой отклика антенны в слое $B(\alpha)$ при ее удалении от места дислокации.

Отклик $B(\alpha)$ можно рассматривать состоящим из двух частей – энергетической и интерференционной. Первые два слагаемых в правой части (1) характеризуют сложение нормальных волн на антенне без учета набега фазы при их распространении, то есть энергетически. Множитель $\cos[(\xi_1 - \xi_2)R]$ в третьем слагаемом правой части (1) определяет разность фаз, с которой нормальные

волны складываются на приемной антенне. В случае, когда фазовый центр антенны находится вблизи дислокации фазового фронта или интерференционного минимума звукового поля, этот множитель будет иметь знак минус и интерференционная часть будет отрицательна. И наоборот, если фазовый центр антенны располагается вблизи максимума интерференционной картины, то интерференционная часть будет положительна.

На рис. 1 представлен отклик антенны $B(\alpha)$ (кривая 1), его энергетическая (кривая 2) и интерференционная (кривая 3) части. Расстояние между источником и фазовым центром антенны $R = 500.345\lambda$. Как видно из рис. 2, фазовый центр антенны находится вблизи дислокации фазового фронта. На этом рисунке представлен участок кривой зависимости интенсивности звукового поля от горизонтального расстояния $I(R)$ в рассматриваемом волноводе, на котором имеют место максимум и минимум интерференционной картины.

Как видно из рис. 1, кривые 2 и 3 близки по форме, но противоположны по знаку. Это приводит к тому, что кривая отклика антенны (кривая 1) оказывается искаженной. Она принимает “двугорбую” форму, имея минимум при нулевом азимутальном угле.

С изменением расстояния R , когда фазовый центр антенны постепенно перемещается из интерференционного минимума звукового поля в интерференционный максимум, кривая отклика начинает приобретать вид, соответствующий ее положению в свободном пространстве. Это иллюстрируется рис. 3, на котором представлены отклики $B(\alpha)$ для значений R от 500.345λ до 500.745λ через $\Delta R = 0.1\lambda$ (кривые 1–5 соответственно). Каждая кривая рисунка пронормирована к своему максимальному значению.

Выше был рассмотрен случай распространения в волноводе двух нормальных волн. “Двугорбый” характер кривой отклика антенны сохраняется и при большем числе нормальных волн, если ее фазовый центр располагается вблизи дислокации фазового фронта звукового поля. При величине угла компенсации, отличной от нулевой, искажение кривой отклика увеличивается, так как в этом случае при формировании отклика антенны будет играть роль эффект распространения нормальных волн с различными фазовыми скоростями, приводящий к уже упоминавшемуся “многолепестковому” характеру кривой отклика.

Очевидно, что вид кривой спада интенсивности звукового поля с расстоянием будет зависеть от того, как осуществляется прием – на точечный ненаправленный приемник или на протяженную горизонтальную антенну. Следует ожидать, что при экспериментальном определении кривых спада силы звука с расстоянием это различие

