

УДК 534.874

Н. С. Виноградов
Ф. В. Рожин
О. С. Тонаканов

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ
КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ СВОЙСТВА
ДОННОЙ РЕВЕРБЕРАЦИИ
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ
ДИПОЛЬНЫХ ПРИЕМНИКОВ
И ТОНАЛЬНОМ ИЗЛУЧЕНИИ
ДИСКРЕТНОЙ ЛИНЕЙНОЙ
АНТЕННОЙ

В статье приводятся результаты теоретического расчета пространственных корреляционных функций донной реверберации, воспринимаемой парой различно ориентированных в горизонтальной плоскости диполей. Показаны условия взаимного расположения диаграмм направленности диполей и излучающей антенны, при которых воздействие реверберационной помехи будет минимальным.

В работе [1] рассмотрены пространственные корреляционные функции донной реверберации при равномерном излучении в секторе, вне которого излучение отсутствует. Практически такая диаграмма направленности нереализуема, поэтому в данном сообщении теоретически рассматривается случай, когда реверберация возникает в результате облучения дна линейной антенной, состоящей из точечных, равномерно расположенных на расстоянии d_1 друг от друга преобразователей. Кроме того, в отличие от работы [1] здесь более подробно рассматривается зависимость от угла облучения дна в диапазоне углов падения от 15° до 85° , т. е. зависимость коэффициентов корреляции от времени прихода донной реверберации.

Геометрия задачи представлена на рис. 1. В декартовой системе координат база антенны совпадает с направлением оси Ox , а центр ее — с началом координат. Диаграмму направленности линейной антенны, компенсированной в положительном направлении Ox , без учета взаимодействия между преобразователями можно получить на основе соотношений, приведенных в [2]. Она имеет вид

$$R_n(\varphi) = \frac{\sin \left[N \frac{kd_1}{2} (\sin \theta \cos \varphi - 1) \right]}{N \sin \left[\frac{kd_1}{2} (\sin \theta \cos \varphi - 1) \right]} \quad (1)$$

Пример практического выполнения шестиэлементной линейной антенны подобного типа приводится в работе [3].

Для заданной диаграммы направленности излучения (1) найдем коэффициент корреляции реверберационной помехи в случае, когда приемниками являются диполи, расположенные на горизонтальной базе вдоль оси Oy , симметрично относительно начала координат на рас-

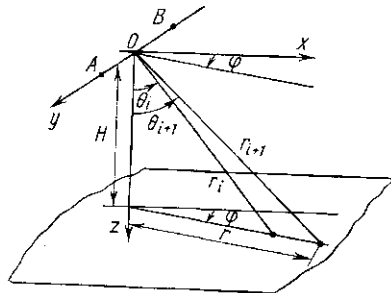


Рис. 1

стоянии d друг от друга (точки А и В). Рассмотрим возможные варианты ориентации дипольных приемников относительно оси излучения и относительно друг друга в плоскости ХОУ и запишем выражения для их диаграмм направленности в сферической системе координат с вертикальным направлением полярной оси ОZ (рис. 1):

1. Максимум диаграммы направленности одного из приемников совпадает с осью излучения, а другой повернут на угол φ_0 относительно первого (вариант Р1)

$$R_1 = \sin \theta \cos \varphi; \quad R_2 = \sin \theta \cos (\varphi + \varphi_0). \quad (2)$$

2. Приемники поворачиваются в разные стороны относительно оси излучения на угол φ_0 (вариант Р2)

$$R_1 = \sin \theta \cos (\varphi + \varphi_0); \quad R_2 = \sin \theta \cos (\varphi - \varphi_0). \quad (3)$$

3. Пара ортогональных диполей одновременно поворачивается в одну сторону относительно оси излучения (вариант Р3)

$$R_1 = \sin \theta \sin (\varphi + \varphi_0); \quad R_2 = \sin \theta \cos (\varphi + \varphi_0). \quad (4)$$

Если принять диаграмму направленности равномерно распределенных по поверхности дна и статистически независимых рассеивателей как и в работах [4, 5] в виде $\cos^{2n}\theta$, то после необходимых вычислений формула для коэффициента пространственной корреляции может быть записана в виде

$$\rho = \frac{\iint R_n^2 R_1 R_2 \cos^{2n+1} \theta \sin^3 \theta \cos (kd \sin \theta \sin \varphi) d\varphi d\theta}{\left(\iint R_n^2 R_1^2 \cos^{2n+2} \theta \sin^3 \theta d\varphi d\theta \iint R_n^2 R_2^2 \cos^{2n+2} \theta \sin^3 \theta d\varphi d\theta \right)^{1/2}}. \quad (5)$$

Выражение (5) можно упростить, если учесть, что для практических реальных величин удаления от дна приемно-излучающего устройства H и длительности посылки τ интервал интегрирования по θ $\Delta\theta = \theta_{i+1} - \theta_i$ очень мал. Оценочный расчет для $H = 1500$ м и $\tau = 50$ мс показывает, что $\Delta\theta$ в пределах $15^\circ \leq \theta \leq 80^\circ$ меняется также незначительно. В этих пределах интегрирования по θ функции вида $\cos^{2n+1}\theta \sin^3\theta$ представляют собой достаточно гладкую зависимость от θ при $n \leq 3$. Поэтому их можно вынести за знак интегрирования по теореме о среднем. Тогда для коэффициента корреляции получается выражение

$$\rho = \frac{\int_{\varphi} R_n^2 R_1 R_2 \cos (kd \sin \varphi \sin \theta) d\varphi}{\left(\int_{\varphi} R_n^2 R_1^2 d\varphi \int_{\varphi} R_n^2 R_2^2 d\varphi \right)^{1/2}}. \quad (6)$$

При этом упрощении исчезает зависимость коэффициента корреляции от направленности рассеивателей в вертикальной плоскости. При высоких степенях направленности рассеивателей ($n > 3$), когда функция $\cos^{2n}\theta$ заметно меняется в пределах интегрирования, выражение (6) становится несправедливым. Данное выражение отличается от приведенного в работе [1] наличием диаграммы направленности излучения, заданной в аналитическом виде формулой (1).

Расчет коэффициентов корреляции был проведен на ЭВМ БЭСМ-4М для шестиеlementной излучающей антенны в пределах изменения углов $0 \leq \varphi_0 \leq 80^\circ$ с шагом 10° и $15 \leq \theta \leq 85^\circ$ с шагом 5° для различных вариантов ориентации диполей и значений волнового параметра kd .

Для рассматриваемого случая коэффициент корреляции реверберационной помехи, воспринимаемой парой соосно ориентированных в горизонтальной плоскости дипольных приемников, в функции волнового параметра kd имеет затухающий осциллирующий характер, причем положение первого нуля корреляции и амплитуда осцилляций зависит от угла θ . Для удаленных участков дна (большие значения $\theta \geq 60^\circ$) амплитуда последующих осцилляций уменьшается, и положение первого нуля корреляции приближается к значению $kd \approx 2\pi$. На рис. 2

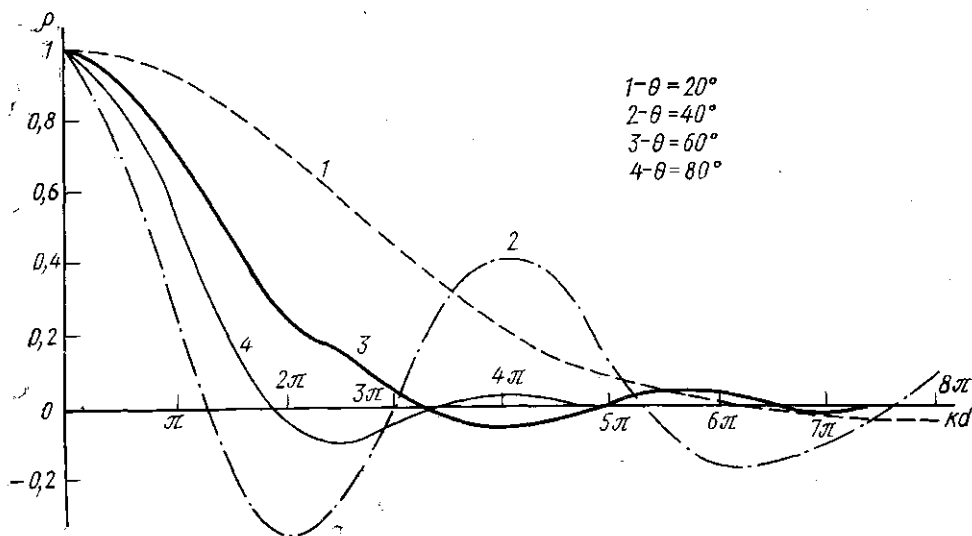


Рис. 2

в качестве примера приведены коэффициенты корреляции ρ реверберационной помехи, воспринимаемой парой соосно ориентированных диполей, в функции kd для четырех значений угла θ (20° , 40° , 60° и 80°).

При повороте одного из диполей относительно другого, ориентированного по оси излучателя, коэффициент корреляции также носит затухающий осциллирующий характер в функции kd . При совмещенной паре диполей в точке пространства ($kd=0$) с увеличением угла поворота корреляция падает и при угле поворота $\varphi=90^\circ$ она равна нулю. Этот результат аналогичен данным, полученным при секторном излучении [1], т. е. при симметричной форме диаграммы направленности излучения относительно оси излучения пара совмещенных ортогональных диполей при ориентации одного из них по оси излучения оказывается некоррелированной по отношению к донной реверберационной помехе. Кроме того, можно заметить, что в рассматриваемом здесь случае новый нуль корреляции достигается при меньших значениях параметра $kd < 2\pi$ (в работе [1] первый нуль наблюдается при $2\pi < kd < 3\pi$). Этот факт объясняется излучением боковыми лепестками диаграммы направленности, которое дает дополнительную составляющую реверберации, носящую характер, близкий к изотропному, за счет равномерного углового распределения боковых лепестков диаграммы направленности излучения.

Для пары ортогональных диполей, синхронно изменяющих ориентацию относительно оси излучения, коэффициент корреляции при $kd=0$ меняется подобно зависимости, полученной в работе [1], имея

нулевое значение при первоначальной ориентации одного из диполей по оси излучения и максимальное значение при угле поворота, равном 45° . Максимальное значение определяется значением угла падения θ . В зависимости от kd кривые коэффициента корреляции представляют собой осциллирующие сильно затухающие зависимости от kd . Первый нуль корреляционных кривых достигается при $kd \approx 2\pi$.

На рис. 3 представлена зависимость коэффициента корреляции в функции волнового параметра, когда априори ориентированные вдоль

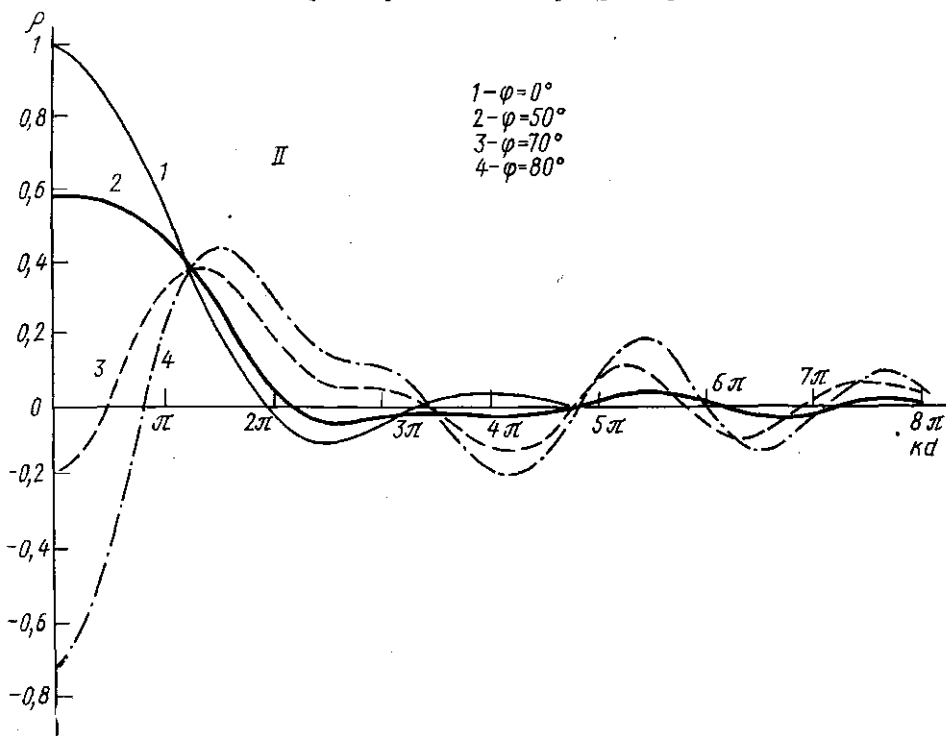


Рис. 3

оси излучения диполи, поворачиваются в разные стороны на одинаковые углы φ_0 относительно оси излучения. Рассматривается момент времени, соответствующий углу $\theta = 80^\circ$. Сравнение с результатами работы [1], дающими подобную же зависимость для случая секторного излучения, показывает, что кривые имеют одинаковую качественную зависимость от kd . Различие состоит в амплитуде последующих осцилляций, которые при секторном излучении имеют большую величину. В случае дискретной линейной излучающей антенны также есть некоторое значение угла разворота диполей φ_0 , при котором корреляция реверберационной помехи, воспринимаемой двумя диполями, находящимися в одной точке пространства, равна нулю.

Изменение уровня корреляции реверберационной помехи во времени, воспринимаемой парой различным образом ориентированных в горизонтальной плоскости диполей, можно получить, проследив эту зависимость от угла падения θ . Очевидно, что между временем прихода реверберации в приемник и углом θ существует простая зависимость $t = t_0 / \cos \theta$, где t_0 — время прихода реверберации от ближайших участков дна. Анализ теоретических расчетов показывает, что качест-

венный характер изменения коэффициентов корреляции во времени (или функции угла θ) для различных вариантов ориентации пары диполей примерно одинаков.

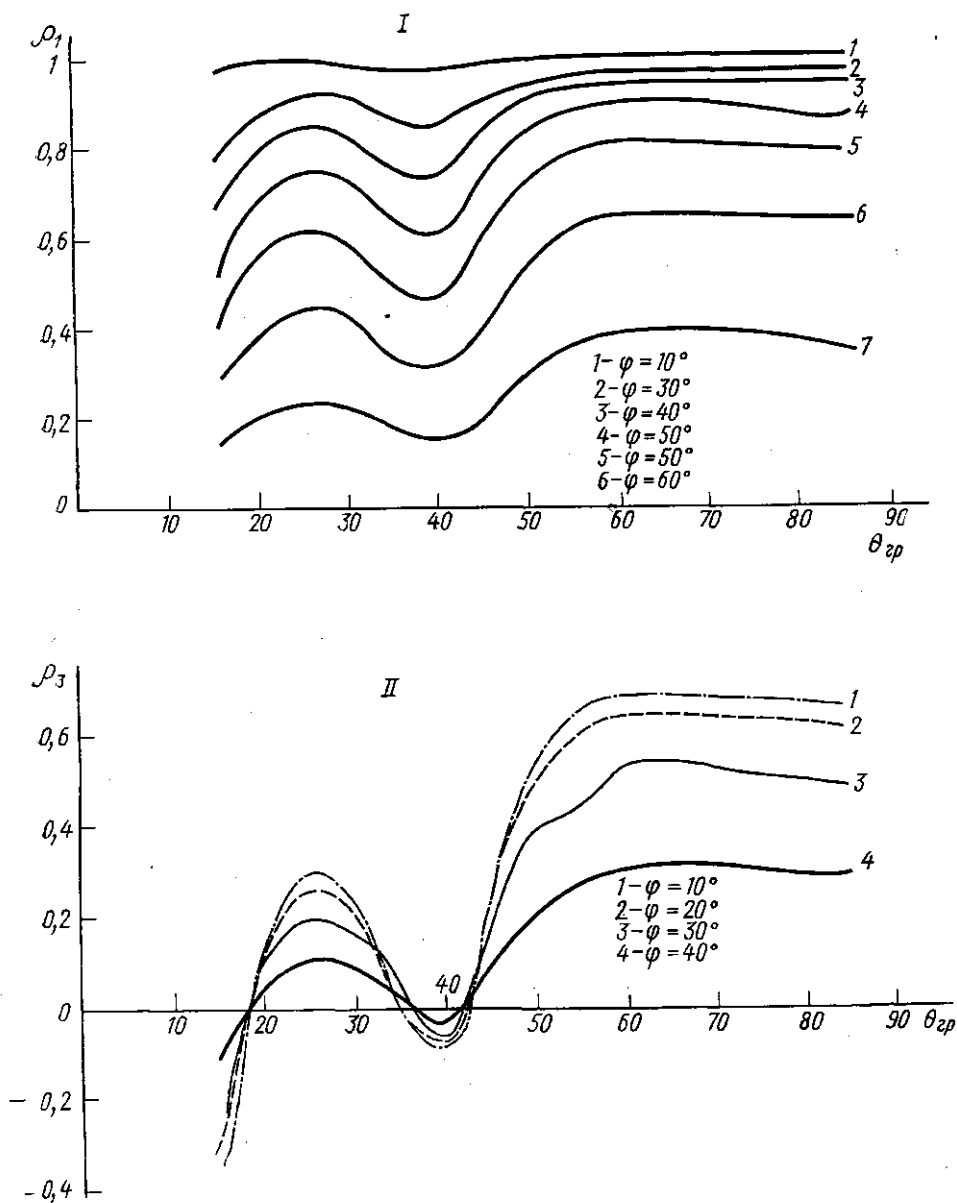


Рис. 4

В качестве примера на рис. 4 приведены зависимости коэффициентов корреляции ρ_1 и ρ_3 от угла θ при $kd=0$ соответственно для вариантов первого (I) и третьего (II). В пределах $15^\circ < \theta < 60^\circ$ кривые имеют нестабильный характер, наблюдается изменение величины корреляции во времени. При углах $\theta > 60^\circ$ значения коэффициентов корреляции стабилизируются для каждого конкретного угла φ_0 . При

заданных параметрах излучающей антенны ($N=6$) и удалении $H=1500$ м при углах $\theta \geq 60^\circ$ донная реверберационная помеха определяется излучением в пределах основного лепестка излучающей антенны. При меньших углах $\theta < 60^\circ$ в роль вступают боковые лепестки диаграммы направленности излучения, и их влиянием следует объяснять нестабильную область значений коэффициента корреляции. Очевидно, что это влияние для различных вариантов ориентации пар диполей будет неодинаковым, что и наблюдается на рис. 4.

На рис. 5 приведены зависимости коэффициентов корреляции реверберационной помехи, воспринимаемой двумя диполями при различ-

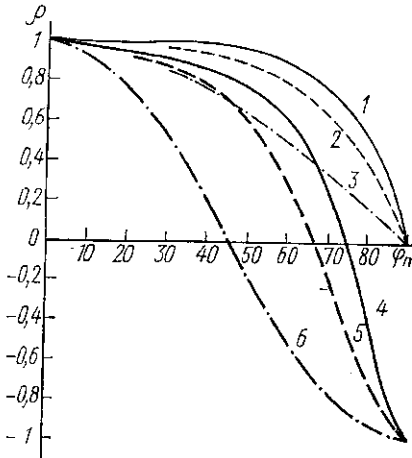


Рис. 5

ной их ориентации в горизонтальной плоскости относительно друг друга при $kd=0$ (совмещенные диполи) и разных диаграммах направленности излучения. Рассматриваются излучения в секторе (кривые 1 и 4, по данным работы [1]), линейной шестиэлементной антенной (кривые 2 и 5) ненаправленное излучение (кривые 3 и 6). Кривые 1, 2, 3 относятся к паре диполей, один из которых ориентирован по оси излучения (в случаях направленного излучения), а другой поворачивается относительно первого на угол φ_0 (вариант первый). Кривые 4, 5, 6 относятся к паре диполей, разворачивающихся в разные стороны каждый на угол φ_0 относительно первоначального соосного положения, совпадающего с направлением максимума излучения (вариант второй). Отсюда видно, что во всех случаях имеются некоторые значения углов поворота φ_0 для всех условий излучения, когда реверберационная помеха на паре диполей оказывается некоррелированной. Убывание коэффициентов корреляции оказывается самым медленным для случая секторного излучения (кривые 1 и 4) и наиболее быстрым для ненаправленного излучения (кривые 3 и 6). При излучении шестиэлементной линейной антенной кривые 2 и 5 занимают промежуточное значение для соответствующих пар диполей.

Таким образом, при тональном излучении и статистической независимости равномерно распределенных по дну рассеивателей ортогональная пара диполей, расположенная в одной точке пространства и ориентированная максимумами в горизонтальной плоскости, оказывается защищенной от донной реверберационной помехи во всех случаях излучения. При симметричном направленном излучении максимум одного из диполей должен совпадать с максимумом (осью) излучения. При заданной симметричной относительно оси диаграмме направленности излучения существуют некоторые углы поворота φ_0 , при которых коэффициент корреляции донной реверберационной помехи на паре совмещенных диполей, каждый из которых повернут на этот угол относительно оси излучения, равен нулю.

ЛИТЕРАТУРА

1. Виноградов Н. С., Рожин Ф. В., Тонаканов О. С. — «Вестн. Моск. ун-та. Физ., астрон.», 1976, 17, № 5, 573—579.

2. Смарышев М. Д. Направленность гидроакустических антенн. М.—Л., 1973, с. 140—145.
3. Кеддинг П. В сб.: Подводная акустика. М., 1970, с. 29—63.
4. Крон Б., Шерман Ч. — В кн.: Некоторые проблемы обнаружения сигнала, маскируемого флюктуационной помехой. М., 1965, с. 114—128.
5. Фурдуев А. В. Шумы океана. Акустика океана. М., 1974, с. 615—691.

Поступила в редакцию
26.5 1977 г.
Кафедра
акустики