

В.И. Бекетов

**Антенны сверхвысоких
частот**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 621.39
ББК 32
В11

В.И. Бекетов
В11 Антенны сверхвысоких частот / В.И. Бекетов – М.: Книга по Требованию, 2012. – 120 с.

ISBN 978-5-458-25768-8

Книга «Антенны сверхвысоких частот» входит в выпускаемую Военным Издательством библиотеку «Радиолокационная техника». Библиотека рассчитана на офицеров, связанных с эксплуатацией радиотехнических средств. Она может быть также использована широким кругом читателей, желающих подробно ознакомиться с работой отдельных узлов и элементов радиолокационных станций. Перечень брошюр, входящих в библиотеку «Радиолокационная техника», помещен на 3-й странице обложки. В брошюре «Антенны сверхвысоких частот» в популярной форме излагаются принцип действия, устройство и применение антенн сверхвысоких частот. Значительное внимание в брошюре уделено физическим процессам, происходящим в этих антеннах.

ISBN 978-5-458-25768-8

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2012

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2012

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

І. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ АНТЕНН

1. Диаграммы направленности

Антенные устройства вне зависимости от диапазона волн и конкретных особенностей приемно-передающей аппаратуры служат либо для излучения электромагнитной энергии в пространство (передающие антенны), либо для приема этой энергии из пространства (приемные антенны).

В радиолокационных станциях одна и та же антенна попеременно выполняет функции передающей (посылка зондирующего импульса) и приемной (прием сигнала, отраженного от цели).

Большинство антенн, применяемых на сверхвысоких частотах, — направленные, т. е. обеспечивают прием или излучение только в пределах определенных секторов.

Способность антенн концентрировать излучаемую электромагнитную энергию характеризуют специальные графики, называемые диаграммами направленности. Обычно диаграммы направленности строят для двух плоскостей: горизонтальной и вертикальной.

Диаграмма направленности антенны представляет собой график зависимости напряжения сигнала на входе приемника от угла поворота данной антенны в соответствующей плоскости при работе этой антенны либо на передачу, либо на прием.

Следует иметь в виду, что диаграмма направленности антенны не зависит от того, применяется ли антенна в качестве передающей или приемной, т. е. любая антенна является обратимой.

На рис. 1 для примера приведена диаграмма направленности, построенная в полярных координатах. У этой диаграммы направление максимального сигнала совмещено с направлением начала отсчета углов поворота антенны

($\vartheta = 0$), а сам максимальный сигнал принят за единицу, т. е. в направлении радиусов векторов здесь отложена не сама величина интенсивности сигнала E , а пропорциональная ей величина E/E_{\max} .

Из рис. 1 видно, что диаграмма направленности имеет характерную лепестковообразную форму. Лепесток, соответ-

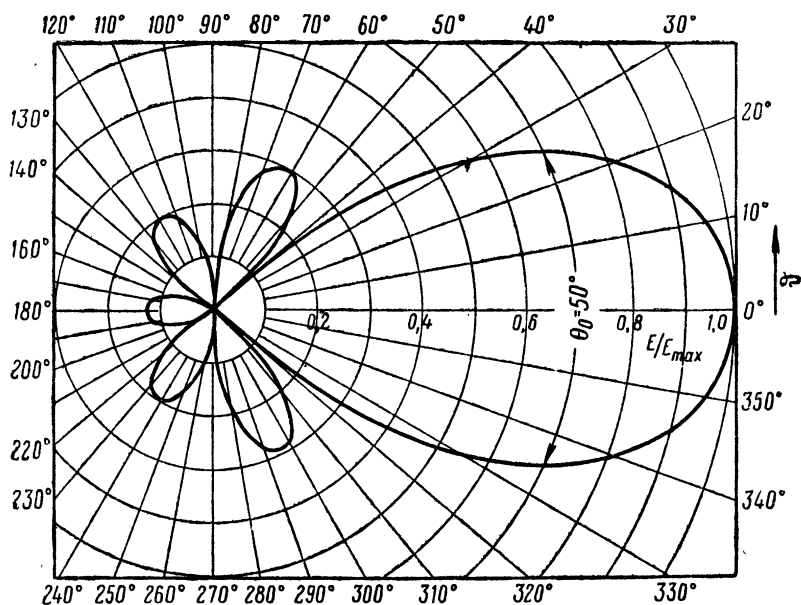


Рис. 1. Диаграмма направленности антенны в полярной системе координат

ствующий максимальному сигналу (в данном случае $\vartheta = 0$), называют главным лепестком диаграммы направленности, а все последующие — боковыми лепестками. Часто боковые лепестки нумеруют по порядку в направлении от главного лепестка. Так, например, лепестки диаграммы на рис. 1, лежащие под углами $\vartheta_1 = 60$ и 300° , называют первыми боковыми лепестками; следующие за ними — вторыми боковыми лепестками ($\vartheta_2 = 120$ и 240°) и т. д.

Как правило, величина боковых лепестков уменьшается по мере роста их номера.

Направления, в которых антенна не принимает и не излучает, называются нулями диаграммы направленности. Побочные максимумы и нули диаграммы направленности всегда чередуются.

Антенны, применяемые на сверхвысоких частотах, часто обладают столь узкими диаграммами направленности, что их графическое изображение в полярной системе координат становится затруднительным. В этих случаях диаграммы строят в прямоугольной системе координат, откладывая по вертикали величину E/E_{\max} , а по горизонтали — угол поворота антенны. Примером такой диаграммы может служить кривая 1 на рис. 2, построенная для той же антенны, что и на рис. 1.

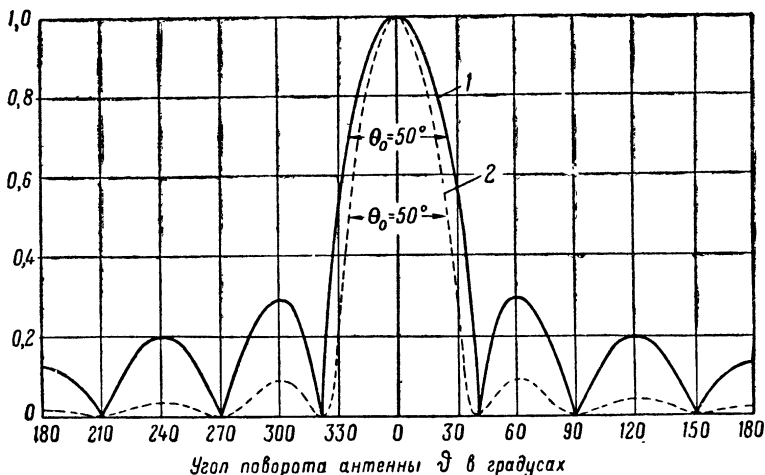


Рис. 2. Диаграммы направленности антенны в прямоугольной системе координат. Сплошной линией (1) построена диаграмма в относительных единицах напряжения; пунктиром (2) — в относительных единицах мощности

В описаниях различного типа аппаратуры часто вместо диаграмм направленности приводят их числовую характеристику, указывая углы раствора главного лепестка в вертикальной и горизонтальной плоскостях, местоположение боковых лепестков и их интенсивность

Под углом раствора диаграммы направленности в данной плоскости принято понимать угол главного лепестка, лежащий между направлениями, в которых напряжение сигнала падает до значения $E_{\text{сигн}} = \frac{\sqrt{2}}{2} = 0,707$ от максимальной величины E_{\max} . В соответствии со сказанным угол раствора главного лепестка у диаграмм, показанных на рис. 1 и 2, составляет $\theta_0 = 50^\circ$.

В некоторых случаях диаграммы направленности строят

не в относительных величинах напряжения E/E_{\max} , а в относительных величинах мощности. Так как мощность пропорциональна квадрату напряжения, то диаграмма направленности по мощности может быть получена при возведении в квадрат соответствующих величин E/E_{\max} . Таким путем, в частности, была построена кривая 2 на рис. 2, представляющая диаграмму по мощности той же самой антенны, что и кривая 1.

Измерять угол раствора главного лепестка у такой диаграммы необходимо на уровне $(E/E_{\max})^2 = (\sqrt{2}/2)^2 = 0,5$. Поэтому очень часто говорят, что угол раствора главного лепестка диаграммы направленности определяется по точкам половинного значения мощности.

В дальнейшем мы будем обозначать угол раствора диаграммы направленности в вертикальной плоскости через θ_0 , а в горизонтальной плоскости через Φ_0 .

2. Типы диаграмм направленности

Диаграммы направленности антенн, примерно симметричные относительно направления максимального излучения, т. е. имеющие пространственную характеристику излучения в виде сигарообразного тела, носят название «игольчатых диаграмм». Антенны с диаграммами такого типа широко применяются на ретрансляционных линиях связи. В радиолокационной технике они используются для определения местонахождения цели. Однако антенны с игольчатыми диаграммами не всегда могут быть применены из-за трудностей обнаружения цели при поиске как по углу места, так и по азимуту.

Для облегчения поиска цели в ряде радиолокаторов жертвуют направленностью антенны, более или менее расширяя ее диаграмму направленности в одной из плоскостей и разделяя задачу определения угла места и азимута цели между двумя связанными между собой антеннами. Такие диаграммы направленности, широкие в одной плоскости и узкие в другой, носят название «веерных диаграмм» из-за их сходства с веером.

На рис. 3 изображена антенна с веерной диаграммой, предназначенная для определения азимута φ цели.

Эта диаграмма узкая в горизонтальной плоскости и широкая в вертикальной. Применение антенны с такой диаграммой направленности обеспечивает обнаружение цели при поиске по азимуту независимо от ее высоты h над землей.

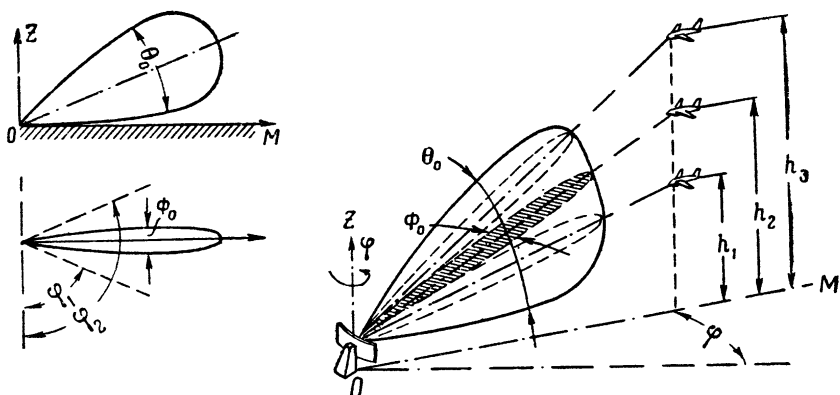


Рис. 3. Веерная диаграмма, применяемая для определения азимута цели

На рис. 4 приведена антенна с диаграммой направленности в виде горизонтального веера. Такая антенна позволяет определять по углу места высоту цели независимо от азимута в достаточно широких пределах изменения последнего.

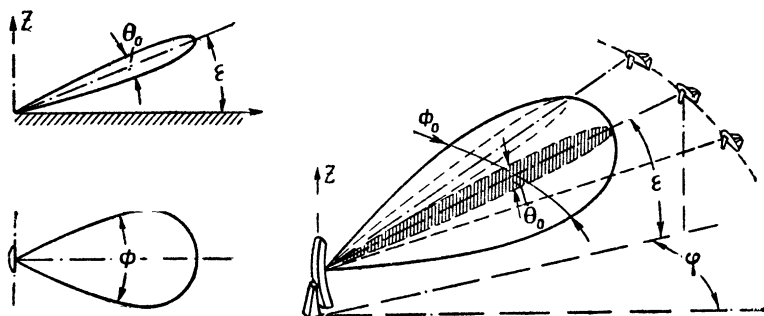


Рис. 4. Веерная диаграмма, применяемая для определения угла места

Обнаружение цели двумя такими антеннами уже дает возможность точно определить ее местоположение в пространстве относительно радиолокационной станции.

Особенности эксплуатации целого ряда радиолокационных станций налагают требования не только на углы раствора диаграмм направленности в вертикальной и горизонтальной плоскостях, но и на самую форму этой диаграммы. Так, например, у самолетных радиолокаторов, предназна-

ченных для обнаружения наземных целей (рис. 5), желательно иметь такую диаграмму направленности антенны, которая обеспечивала бы при узкой диаграмме направленности в горизонтальной плоскости одинаковую интенсивность отражений от одинаковых объектов, находящихся в радиусе действия радиолокатора.

Чтобы любые наземные объекты в пределах от минимального угла места ϵ_{\min} до максимального ϵ_{\max} облучались одинаково, необходимо получение такой диаграммы, при которой напряженность излучаемого станцией поля была бы пропорциональна расстоянию D_H от самолета до

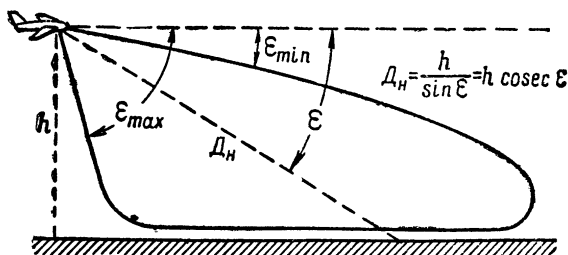


Рис. 5. Диаграмма направленности косекансного типа

земли. Так как напряженность поля при распространении радиоволн от радиолокатора до объекта обнаружения убывает обратно пропорционально расстоянию, то радиус-вектор диаграммы направленности по полю должен изменяться обратно пропорционально синусу угла места ϵ или пропорционально косекансу этого угла — $\operatorname{cosec} \epsilon$. Диаграмма такого типа, показанная на рис. 5, называется **косекансной**.

Аналогичными должны быть диаграммы направленности и у антенн наземных радиолокаторов для обнаружения воздушных целей.

У корабельных радиолокаторов для поиска целей на поверхности моря иногда применяются антенны с вертикальными веерными диаграммами, имеющими уплощенную вершину (рис. 6). При использовании такой антенны, жестко связанной с палубой корабля, уменьшается влияние качки корабля на интенсивность отражений от обнаруживаемой цели.

Диаграммы с уплощенной вершиной носят название **секторных диаграмм**.

Существуют антенны и с другими формами диаграмм направленности.

Следует заметить, что все реальные диаграммы направленности специальной формы несколько отличаются от иде-

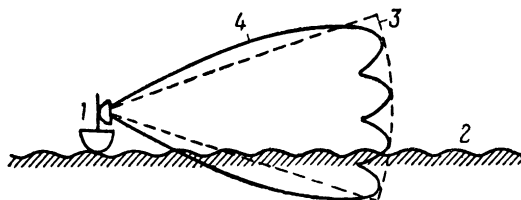


Рис. 6. Секторная диаграмма направленности: 1 — антенна, установленная на корабле; 2 — поверхность моря; 3 — идеальная секторная диаграмма направленности; 4 — примерный вид реальной секторной диаграммы

альных, однако это мало сказывается на работе радиолокационных станций.

3. Коэффициент усиления антенны

Рассмотрим теперь, как влияют направленные свойства антенны на величину интенсивности сигнала в точке приема.

Пусть в некоторой точке A размещена ненаправленная передающая антенна, которая в удаленной точке B создает сигнал E_1 (рис. 7). Диаграмма направленности такой антенны в плоскости чертежа будет окружностью. Если сигналы, излучаемые антенной A , будут приниматься только в точке B , то энергия, излученная во всех иных направлениях, кроме направления на точку B , будет затрачена зря, так как в точку B она не попадет.

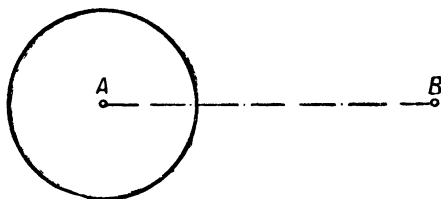


Рис. 7. Всенаправленная диаграмма направленности

Поставив в точке A направленную антенну, ориентированную максимумом излучения на точку B , мы, не меняя мощности передатчика, увеличим сигнал в точке B за счет той энергии, которая раньше бесполезно излучалась в других направлениях.

Таким образом, для корреспондента, находящегося в пункте B , направленная антенна будет обладать уси-

нием по сравнению с ненаправленной антенной.

Поэтому направленные свойства антенн, помимо диаграмм направленности, характеризуются еще одной из двух величин — коэффициентом направленного действия (сокращенно к. н. д.) или коэффициентом усиления (сокращенно к. у.).

Коэффициент усиления антенны равен произведению от умножения ее коэффициента направленного действия на коэффициент полезного действия (к. п. д.):

$$\text{к. у.} = \text{к. н. д.} \times \text{к. п. д.}$$

У идеальной антенны, лишенной потерь (к. п. д. = 1), величины к. у. и к. н. д. совпадают¹.

Так как к. у. более полно характеризует антенну с энергетической стороны, то им обычно чаще всего и пользуются на практике.

Коэффициент усиления антенны — величина относительная, которая равна квадрату отношения напряженностей полей, создаваемых в точке приема при прочих равных условиях данной антенной и другой антенной, принятой за стандартную. Иначе говоря, коэффициент усиления показывает, во сколько раз нужно уменьшить подводимую мощность, если стандартную антенну заменить данной антенной, сохраняя при этом неизменной интенсивность принимаемого сигнала.

На сверхвысоких частотах в качестве «стандартной» антенны для удобства чаще всего берется так называемый изотропный излучатель, равномерно излучающий во всех направлениях. Пространственная характеристика направленности этой антенны должна иметь вид шара. Однако реально такой антенны не существует. Самая простейшая антенна, применяемая на практике, — полуволновый вибратор — уже обладает направленными свойствами: ее пространственная характеристика направленности имеет вид тора (рис. 8). На этом рисунке показан случай, когда ось вибратора совпадает с осью *OZ*.

Из рис. 8, на котором для наглядности изъята одна четверть тора, видно, что диаграмма направленности полуволнового вибратора в плоскости, перпендикулярной его оси

¹ У большинства антенн сверхвысоких частот к. п. д. достаточно близок к единице, поэтому, за исключением особых случаев, с достаточной для практики точностью можно полагать к. у. равным к. н. д.

(экваториальная плоскость), имеет вид окружности, т. е. вибратор в этой плоскости ненаправленный.

Во всех других плоскостях, проходящих через ось вибратора (через ось OZ), диаграммы направленности имеют вид восьмерки, т. е. в направлении оси вибратора расположен нуль диаграммы направленности.

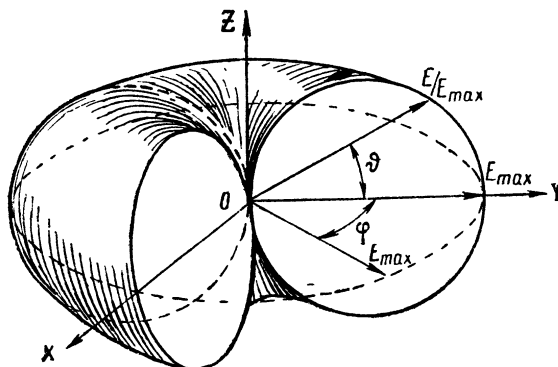


Рис. 8. Пространственная характеристика излучения вибратора, ориентированного вдоль оси OZ

Расчеты показывают, что по отношению к ненаправленной антенне коэффициент усиления полуволнового вибратора равен $G_{\lambda/2} = 1,64$.

Заметим, забегая несколько вперед, что коэффициенты усиления многих антенн, применяемых на сверхвысоких частотах, доходят до тысячи и даже нескольких тысяч.

У антенн с незначительными побочными лепестками приближенное значение величины коэффициента усиления антенны может быть вычислено по известным углам раствора главного лепестка диаграммы направленности в вертикальной и горизонтальной плоскостях:

$$G \cong \frac{35\,000}{\theta_0 \Phi_0}, \quad (1)$$

где θ_0 и Φ_0 — ширина главного лепестка в градусах между точками половинного значения мощности, измеренная соответственно в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Из формулы (1) видно, что к. у. антенны обратно пропорционален произведению углов раствора главного лепестка и, следовательно, равноценные по усилению антенны будут иметь одинаковые произведения углов раствора. Так, например, две антенны, у одной из которых $\theta_0 = 1,5^\circ$ и $\Phi_0 = 20^\circ$,

а у другой $\theta_0 = 5^\circ$ и $\Phi_0 = 6^\circ$, будут иметь одинаковое усиление, несмотря на сильное различие их пространственных характеристик направленности.

Приведенный пример показывает, что знания только одной величины к. у. еще недостаточно для того, чтобы охарактеризовать направленные свойства той или иной антенны.

Коэффициент усиления G антенны и ее диаграммы направленности зависят от геометрических размеров излучающего отверстия, а именно:

$$G = 4\pi \frac{S_{\text{эфф}}}{\lambda^2}, \quad (2)$$

где $S_{\text{эфф}}$ — эффективная площадь излучающего отверстия антенны;

λ^2 — квадрат длины волны в тех же единицах, что и S .

В литературе, особенно иностранной, часто коэффициент усиления выражают в децибелах, т. е. вместо значения G , даваемого формулой (2), приводят его удесятеренный логарифм:

$$G[\text{дБ}] = 10 \lg \left(4\pi \frac{S_{\text{эфф}}}{\lambda^2} \right). \quad (3)$$

На рис. 9 зависимости (2) и (3) представлены графиком, на котором по горизонтали отложена величина эффективной площади излучающего отверстия в квадратных длинах волн $S_{\text{эфф}}/\lambda^2$, а по вертикали слева даны величины коэффициента усиления G .

Дополнительная шкала справа на рис. 9 дает соответствующие значения коэффициентов усиления в децибелах.

У приемных антенн величину коэффициента усиления иногда выражают через так называемую поверхность поглощения $Q_{\text{эфф}}$:

$$G = 4\pi \frac{Q_{\text{эфф}}}{\lambda^2}. \quad (4)$$

В силу «обратимости» антенны ее коэффициент усиления остается одним и тем же как при работе на передачу, так и при работе на прием, поэтому $Q_{\text{эфф}} = S_{\text{эфф}}$.

Отношение эффективной площади излучающего отверстия $S_{\text{эфф}}$ к геометрической $S_{\text{г}}$ называется к о э ф ф и