

Занятие 10. Дальность действия радиолокационных систем.

Введение

Одной из основных задач при проектировании РЛС является расчет максимальной дальности обнаружения, которая также является одним из важнейших тактических показателей системы. При противоборстве очень важно, какая из сторон быстрее обнаружит соответствующий объект. От этого в основном зависит исход этого противоборства. Поэтому рассмотрение основных факторов, влияющих на дальность действия радиолокационных устройств и систем, является весьма актуальным.

Для достижения поставленных целей рассмотрим следующие вопросы:

1. Максимальная дальность действия активной радиолокации по пассивным целям.
2. Дальность действия радиолокационной станции с активным ответом.
3. Эффективная площадь рассеяния объектов.
4. Влияние условий распространения радиоволн на дальность действия радиолокационной станции.

Данный учебный материал можно найти в следующих **источниках**:

1. Бакулев П.А. Радиолокационные системы: Учебник для вузов. – М.: Радиотехника, 2004.
2. Белоцерковский Г.Б. Основы радиолокации и радиолокационные устройства. – М.: Советское радио, 1975.

1. Максимальная дальность действия активной радиолокации по пассивным целям.

Найдем зависимость мощности отраженного сигнала от дальности до цели. Данную задачу рассмотрим для импульсной РЛС, антенна которой при коэффициенте направленного действия (КНД) K_A излучает импульсную мощность P_u в направлении на цель, удаленную на расстояние D от РЛС. Допустим для начала, что в пространстве, окружающем цель, нет потерь энергии.

Если бы антенна РЛС была ненаправленной, то на сфере радиусом D излучаемая мощность равномерно распределилась по поверхности $4\pi D^2$. В районе цели при этом будет создана плотность потока мощности:

$$\Pi_D = \frac{P_u}{4\pi D^2}. \quad (4.1)$$

Реальная антенна направленная, и за счет этого плотность потока мощности у цели в K_A раз больше:

$$\Pi_{ц} = \frac{K_A P_u}{4\pi D^2}. \quad (4.2)$$

Энергия прямой волны частично поглощается, а частично рассеивается целью. Всякая реальная цель обладает направленностью вторичного излучения, а ее отражающие свойства в направлении к РЛС оцениваются некоторой средней эффективной площадью рассеяния (ЭПР) $S_{эфц}$. Значит, мощность отраженной волны представляется произведением $\Pi_{ц} \cdot S_{эфц}$, а плотность потока мощности $\Pi_{прм}$ отраженного сигнала в месте расположения приемной антенны РЛС

$$\Pi_{прм} = \frac{\Pi_{ц} S_{эфц}}{4\pi D^2} = \frac{K_A P_u S_{эфц}}{(4\pi)^2 D^4}. \quad (4.3)$$

Часть излученной мощности попадает в антенну РЛС: приемная антенна в соответствии со своей эффективной площадью $S_{эфА}$ (приблизительно равна $0,7S_A$) подводит к согласованному с ней приемнику мощность сигнала

$$P_c = \Pi_{прм} S_{эфА} = \frac{K_A P_u S_{эфц} S_{эфА}}{(4\pi)^2 D^4}. \quad (4.4)$$

Это выражение называют *основным уравнением радиолокации*. Оно устанавливает зависимость между мощностью принимаемого сигнала P_c и мощностью излучения P_u при активной радиолокации по пассивным целям. Как видно из уравнения, с увеличением дальности до цели D мощность сигнала, подводимого к приемнику, убывает очень быстро — в четвертой степени от дальности. Такой большой динамический диапазон мощностей принимаемых сигналов требует применения эффективной автоматической регулировки усиления (АРУ) в приемнике. Но главный вывод другой: *так как мощность шумов от дальности D не зависит, то отношение сигнал/шум с увеличением D уменьшается так же быстро, как уровень сигнала, т. е. обратно пропорционально D^4 .*

Мощность сигнала цели P_c , убывая с расстоянием, достигает порога $P_{c \text{ мин}}$ при $D = D_{\text{макс}}$. Это значит, что более удаленная цель не видна с заданными вероятностями правильного обнаружения и ложной тревоги:

$$P_{c \text{ мин}} = \frac{K_A P_u S_{\text{эфц}} S_{\text{эфА}}}{(4\pi)^2 D_{\text{макс}}^4}. \quad (4.5)$$

Известно [2: с. 35], что для приемника с эффективной полосой пропускания $\Delta f_{\text{э}} = 1/\tau_u$ мощность порогового сигнала равна

$$P_{c \text{ мин}} = m_p k T_0 K_{ш} \Delta f_{\text{э}} = m_p k T_0 K_{ш} / \tau_u, \quad (4.6)$$

где m_p — коэффициент различимости; $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ — постоянная Больцмана; $T_0 = 290 \text{ K}$ — комнатная температура; $K_{ш}$ — коэффициент шума приемника.

Подставляя $P_{c \text{ мин}}$ из (4.6) в (4.5), получаем так называемое *уравнение дальности*

$$D_{\text{макс}} = \sqrt[4]{\frac{P_u K_A S_{\text{эфц}} S_{\text{эфА}}}{(4\pi)^2 P_{c \text{ мин}}}} = \sqrt[4]{\frac{P_u \tau_u K_A S_{\text{эфц}} S_{\text{эфА}}}{(4\pi)^2 m_p k T_0 K_{ш}}}. \quad (4.7)$$

Если учесть, что в импульсных РЛС одна и та же антенна используется в качестве передающей и приемной, а коэффициент направленного действия K_A и эффективная площадь $S_{\text{эфА}}$ антенны связаны зависимостью

$$K_A = \frac{4\pi}{\lambda^2} S_{\text{эфА}}, \quad (4.8)$$

то уравнению (4.7) можно придать вид

$$D_{\max} = \sqrt[4]{\frac{P_u \tau_u S_{\text{эфА}}^2 S_{\text{эфЦ}}}{4\pi m_p k T_0 K_{\text{ш}} \lambda^2}} \quad (4.9)$$

или

$$D_{\max} = \sqrt[4]{\frac{P_u \tau_u K_A^2 S_{\text{эфЦ}} \lambda^2}{4\pi m_p k T_0 K_{\text{ш}}}}. \quad (4.10)$$

Из выражений (4.9), (4.10) следуют выводы.

1. Дальность действия РЛС тем больше, чем больше энергия радиоимпульса, излучаемая передающей антенной, $P_u \tau_u$, и с этой точки зрения безразлично, будет ли увеличена энергия за счет мощности излучения P_u или длительности τ_u импульсов. Заметим, что

$$P_u = P_{\text{ин}} \eta_A, \quad (4.11)$$

где $P_{\text{ин}}$ — мощность передатчика в импульсе, а η_A — КПД антенны.

2. Увеличение D_{\max} повышением отношения $P_{\text{ин}} / P_{\text{смин}}$, которое называется *энергетическим потенциалом РЛС*, связано с большими трудностями, так как это отношение входит в формулу дальности под корнем четвертой степени. Например, увеличение дальности D_{\max} в два раза достигается ценой увеличения мощности передатчика $P_{\text{ин}}$ или чувствительности приемника (уменьшения $P_{\text{смин}}$) в $2^4=16$ раз.

3. Большой эффект дает увеличение коэффициента направленного действия K_A антенны или, как следует из формулы 4.8, геометрической S_A , а следовательно, и эффективной $S_{\text{эфА}}$ площади антенны (они связаны зависимостью $S_{\text{эфА}} \approx (0,5 \dots 0,75) S_A$). Например, как показывает формула (4.9), для увеличения дальности D_{\max} в два раза достаточно увеличить площадь антенны в четыре раза.

4. Максимальная дальность радиолокации *обратно пропорциональна* $\sqrt{\lambda}$, если эффективная площадь антенны $S_{\text{эфА}}$ остается постоянной (4.9), и *пропорциональна* $\sqrt{\lambda}$, если неизменным остается КНД антенны K_A (4.10). Здесь нет противоречия: в первом случае уменьшение длины волны при постоянной $S_{\text{эфА}}$ увеличивает дальность D_{\max} за счет увеличения КНД

антенны (4.8), а во втором случае увеличение длины волны увеличивает дальность действия РЛС из-за того, что для сохранения неизменным коэффициента K_A нужно еще в большей мере (пропорционально λ^2) увеличить эффективную площадь антенны $S_{эфА}$. Стационарные РЛС проектируют на более длинные волны, чем самолетные РЛС того же назначения, так как на самолетах значительно меньше возможностей для размещения громоздких антенн.

5. Максимальная дальность действия РЛС зависит от размеров и отражающих свойств цели ($S_{эфц}$) и, разумеется, одна и та же РЛС способна обнаружить линкор, например, на значительно большем расстоянии $D_{макс}$, чем истребитель.

6. Обработка сигналов должна быть по возможности оптимальной, а потери, вызванные несовершенством аппаратуры, должны быть сведены к минимуму, чтобы коэффициент различимости m_p был как можно меньше.

7. Дальность действия не зависит от формы сигнала.

2. Дальность действия радиолокационной станции с активным ответом.

Условимся все величины, относящиеся к запросчику, дополнять индексом «з», а относящиеся к ответчику — индексом «о». При этом плотность потока мощности у цели, снабженной ответчиком и удаленной от запросчика на расстояние D , записывается в виде

$$\Pi_z = P_{из} K_{Az} / 4\pi D^2, \quad (4.12)$$

где $P_{из}$ — мощность излучения запросчика; K_{Az} — КНД антенны запросчика.

Умножив Π_z на эффективную площадь антенны ответчика $S_{эфAo}$, получим мощность запросного сигнала на входе приемника ответчика:

$$P_{co} = \Pi_z S_{эфAo} = P_{из} K_{Az} S_{эфAo} / 4\pi D^2. \quad (4.13)$$

Максимальная дальность действия канала запроса ($D = D_{зо}$) соответствует порогу приемника ответчика ($P_{co} = P_{co мин}$):

$$P_{co мин} = P_{из} K_{Az} S_{эфAo} / 4\pi D_{зо}^2. \quad (4.14)$$

Выразив эффективную площадь антенны ответчика через ее КНД и длину волны запросного сигнала ($S_{эфAo} = K_{Ao} \lambda_z^2 / 4\pi$), представим максимальную дальность действия этого канала:

$$D_{зо} = \sqrt{\frac{P_{из} K_{Ao} K_{Az} \lambda_z^2}{4\pi P_{co мин}}}. \quad (4.15)$$

По аналогии выразим максимальную дальность системы по каналу ответа

$$D_{оз} = \sqrt{\frac{P_{ио} K_{Ao} K_{Az} \lambda_o^2}{4\pi P_{сз мин}}}. \quad (4.16)$$

Характерно, что в полученных формулах фигурирует корень квадратный, а для систем с пассивным ответом — корень четвертой степени. Этим подтверждается, что *действия систем с активным ответом при прочих равных условиях значительно больше дальности активной радиолокации по пассивным целям.*

Проектируя систему с активным ответом, стремятся ее сбалансировать, т. е. уравнивать дальности по запросному и ответному каналам, так как при

неравенстве $D_{зо}$ и $D_{оз}$ дальность действия системы определяется меньшей из этих величин.

Согласно (4.15) и (4.16) в сбалансированной системе ($D_{зо} = D_{оз}$) имеем

$$P_{из} P_{сз.мин} \lambda_{з}^2 = P_{ио} P_{со.мин} \lambda_{о}^2. \quad (4.17)$$

Выполнение этого условия облегчается тем, что одна из станций, обычно запросчика, стационарная: в ней можно использовать более мощный передатчик ($P_{из} > P_{ио}$) и более чувствительный приемник ($P_{сз.мин} < P_{со.мин}$), обеспечив этим равенство (4.17).

Таким образом, при активной радиолокации с активным ответом необходимых энергетических соотношений добиться проще из-за активного характера цели.

3. Эффективная площадь рассеяния объектов.

Эффективная площадь рассеяния (отражения) объектов – это площадь некоторой плоской поверхности, расположенной перпендикулярно направлению на РЛС и воспринимающей такую мощность облучающего сигнала, которая при ненаправленном (изотропном) переизлучении создает в районе РЛС плотность потока мощности, равную плотности потока мощности реальной цели.

Этот параметр позволяет судить об отражательных свойствах объектов, не учитывая их форму, размеры и материалы, лежащие в основе их строения. При этом любой объект заменяется некоторой изотропно излучающей пластиной с плотностью потока мощности, равной плотности потока мощности реальной цели.

Радиолокационные цели можно разделить на элементарные и сложные. *Элементарные цели* имеют простейшую форму: предполагается, что они изготовлены из металла и полностью отражают ЭМВ. ЭПР элементарных целей вычисляются из простых соотношений. *Сложные цели* — это самолеты, корабли, земная и водная поверхности, в общем, все те объекты, ЭПР которых можно определить только экспериментально или в результате сложных расчетов, выполняемых с помощью цифровых вычислительных машин.

Рассмотрим сначала элементарные цели: шар, полуволновой вибратор, плоский лист и уголкового отражатель. Поскольку это вторичные излучатели, к ним применимы такие понятия теории антенн, как КНД цели в направлении РЛС K_{ψ} и эффективная площадь цели с учетом ($S_{эфц}$) и без учета ($S_{эфц}'$) ее направленности, причем

$$S_{эфц} = K_{\psi} S_{эфц}'. \quad (4.18)$$

Шар, радиус которого a значительно больше длины волны λ . При соотношении $a \gg \lambda$ дифракции практически нет: волны не огибают шар и перекрываются только его поперечным сечением πa^2 . Отсюда эффективная площадь шара $S_{эфц}' = \pi a^2$, но так как шар направленными свойствами не обладает ($K_{\psi} = 1$), то его ЭПР

$$S_{эфц} = K_{ц} S_{эфц}' = \pi a^2. \quad (4.19)$$

Шар часто используют в качестве эквивалента цели. Он отражает сигнал только сегментом высотой $\lambda/4$ (1 зона Френеля – блестящая точка).

Цель в виде полуволнового вибратора. Такая цель (рис. 4.1) имеет ЭПР

$$S_{эфц} = 0,86 \lambda^2 \sin^2 \theta \cos^2 \gamma, \quad (4.20)$$

где θ — зенитный угол, т. е. угол между осью вибратора OO' и направлением потока мощности Π принимаемой ЭМВ; γ — угол между вектором напряженности электрического поля E и осью вибратора (вектор напряженности магнитного поля H , показанный на рисунке, ориентирован в соответствии с векторами E и Π).

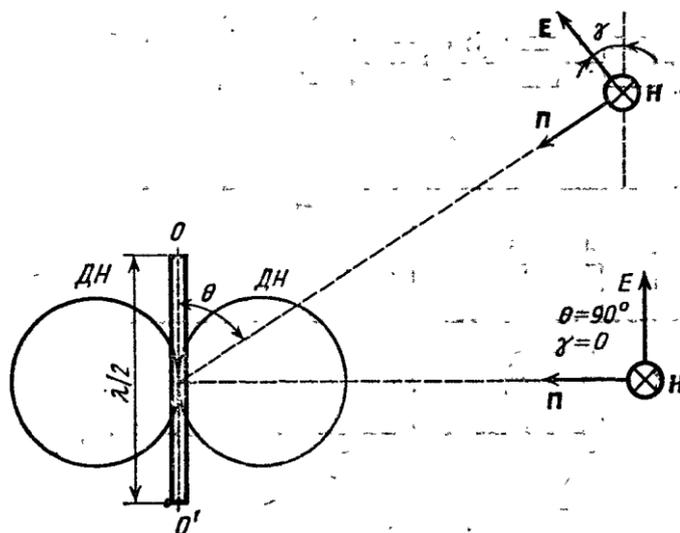


Рис. 4.1. Определение ЭПР полуволнового вибратора

В формуле (4.20) учтены направленные свойства и поляризация вибратора: с увеличением зенитного угла θ от 0 до 90° КНД полуволнового вибратора возрастает от 0 до $1,64$. Такое же увеличение угла γ уменьшает э. д. с, наводимую в вибраторе, от максимума до нуля, так как наибольшая э. д. с. получается, когда вектор E параллелен оси вибратора, а когда они взаимно перпендикулярны, э. д. с. вовсе не наводится. Увеличение длины

волны λ , равносильное удлинению полуволнового вибратора, увеличивает наводимую э. д. с и мощность отраженных от вибратора волн;

Если волны, излучаемые РЛС, поляризованы таким образом, что вектор E находится в меридиональной плоскости вибратора (эта плоскость проходит через ось OO'), то $\gamma = \pi/2 - \theta$ и формула (4.20) упрощается:

$$S_{эфц} = 0,86 \lambda^2 \sin^2 \theta \cos^2(\pi/2 - \theta) = 0,86 \lambda^2 \sin^4 \theta. \quad (4.21)$$

При $\theta = 90^\circ$ и $\gamma = 0^\circ$ ЭПР полуволнового вибратора достигает максимума: $S_{эфц \text{ макс}} = 0,86 \lambda^2$. В реальных условиях углы θ и γ принимают любые значения и поэтому эффективная площадь $S_{эфц}$ с равной вероятностью принимает значения от 0 до $0,86 \lambda^2$.

При произвольной ориентации вибратора средняя ЭПР:

$$\overline{S_{эфц}} = 0,17 \lambda^2. \quad (4.22)$$

Цель в виде прямоугольной площадки со сторонами a и b (рис. 4.2). Если направление на РЛС перпендикулярно данной площадке, то падающая ЭМВ облучает его геометрическую площадь ab равномерно и синфазно. Значит, падающая волна полностью перехватывается площадкой ($S_{эфц}' = ab$), которой, как известно из теории антенн, соответствует максимальный КНД $K_{ц \text{ макс}} = 4\pi ab / \lambda^2$. Перемножая $S_{эфц}'$ и $K_{ц \text{ макс}}$ получаем максимальную ЭПР листа

$$S_{эфц \text{ макс}} = S_{эфц \text{ макс}}' K_{ц \text{ макс}} = ab(4\pi ab / \lambda^2) = 4\pi (ab)^2 / \lambda^2. \quad (4.23)$$

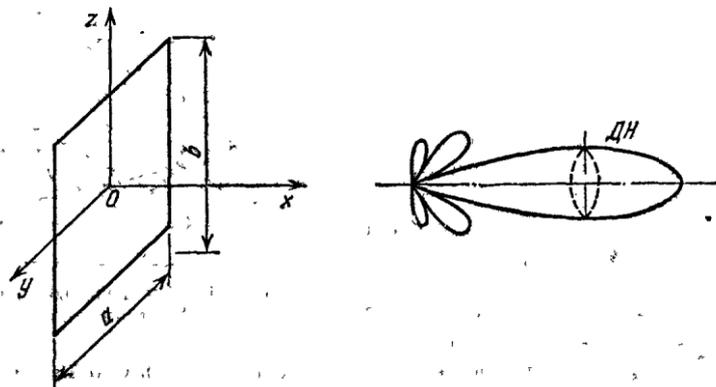


Рис. 4.2. Определение ЭПР прямоугольной площадки

КНД цели при отклонении направления РЛС — цель от перпендикуляра к площадке изменяется весьма значительно в соответствии с ДН прямоугольной площадки, имеющей многолепестковую структуру. Это приводит к примерно такому же изменению эффективной отражающей площади цели $S_{эфц}$. Таким образом, в данном случае наблюдается еще большее, чем в предыдущем случае, влияние на $S_{эфц}$ ориентации отражающей поверхности цели относительно направления РЛС — цель.

Угловый отражатель. Искусственными целями могут служить, например, трехгранные отражатели со взаимно перпендикулярными сторонами (рис. 4.3). При облучении одной грани волны от нее отражаются ко второй, затем к третьей и обратно к РЛС. Такая концентрация отраженных волн соблюдается для всех лучей, падающих в заштрихованный на рисунке шестиугольник с размером a внешней стороны одной грани, т.е. угловый отражатель можно считать устройством, которое отражает сигнал в том же направлении, откуда он пришел.

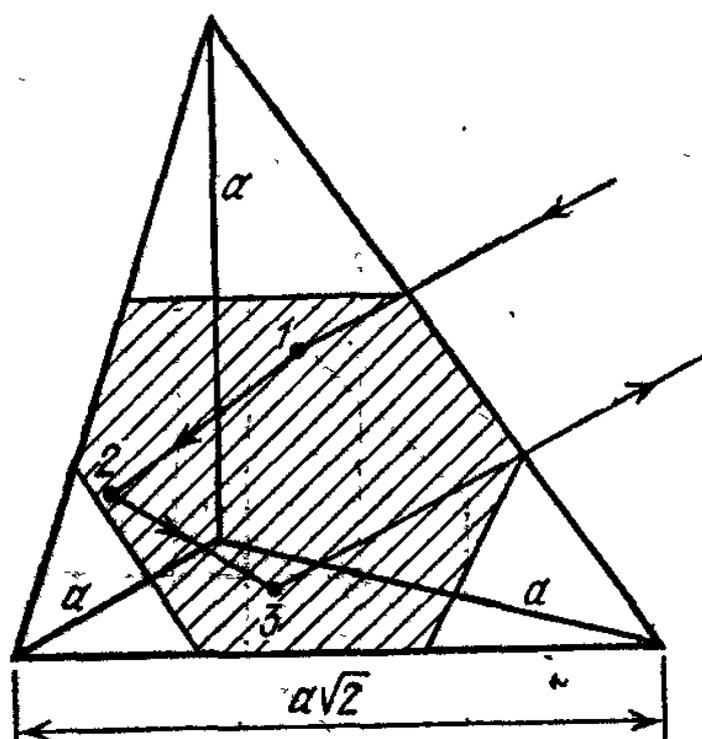


Рис. 4.3. Определение ЭПР трехгранного углового отражателя

Следовательно, уголкового отражателя эквивалентен плоской пластине, нормальной падающему лучу и имеющей площадь заштрихованного шестиугольника $S_{эфц}' = a^2/\sqrt{3}$. Соответственно КНД пластины

$$K_u = \frac{4\pi}{\lambda^2} \left(\frac{a^2}{\sqrt{3}} \right), \quad (4.24)$$

а ЭПР уголкового отражателя

$$S_{эфц} = S_{эфц}' K_u = \frac{a^2}{\sqrt{3}} \frac{4\pi a^2}{\sqrt{3}\lambda^2} = \frac{4}{3} \frac{\pi a^4}{\lambda^2}. \quad (4.25)$$

Пример 4.1. Сравнить ЭПР металлических элементарных целей в виде шара радиусом a , полуволнового вибратора, квадратного листа со стороной a и трехгранного уголкового отражателя, причем длина волны $\lambda = 3$ см и размер $a=30$ см.

ЭПР шара

$$S_{эфц} = \pi a^2 = 3,14 \cdot 0,3^2 = 0,28 \text{ м}^2,$$

полуволнового вибратора (в максимуме)

$$S_{эфц \text{ макс}} = 0,86\lambda^2 = 0,86 \cdot 0,03^2 = 7,74 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2,$$

квадратного листа (в максимуме)

$$S_{эфц \text{ макс}} = 4\pi(ab)^2/\lambda^2 = 4 \cdot 3,14 \cdot 0,3^4/0,03^2 = 113 \text{ м}^2,$$

и уголкового отражателя

$$S_{эфц} = 4\pi a^4/3\lambda^2 = 4 \cdot 3,14 \cdot 0,3^4/3 \cdot 0,03^2 = 37,7 \text{ м}^2.$$

Следует обратить внимание на то, что даже, при сравнительно малых размерах трехгранный отражатель имеет большую ЭПР и не только при облучении по нормали, но и при значительном отклонении от нее — до 45° в отличие от прямоугольной пластины.

Сложные цели. Большинство реальных радиолокационных целей имеет сложную конфигурацию и состоит из множества простых отражателей. Волны, отраженные от них, интерферируют, и в результате этого амплитуда и фаза радиолокационного сигнала оказываются в большой мере зависящими от взаимного расположения РЛС и цели. Диаграмма переизлучения

получается многолепестковой с шириной отдельных лепестков порядка десятых долей градуса.

Для движущейся цели, особенно при ее маневрировании, характерны хаотическое изменение положения отражающих элементов цели относительно РЛС и, как следствие, случайные пульсации ЭПР (рис. 4.4), Эти флуктуации достигают десятков децибел и имеют спектр частот от нуля до сотен герц. Наиболее интенсивные флуктуации наблюдаются на частотах, меньших 10 Гц.

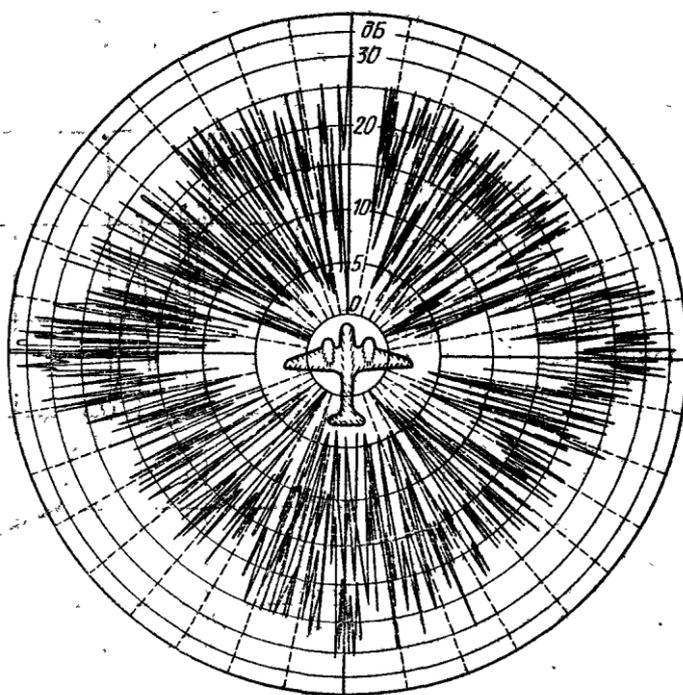


Рис. 4.4. Диаграмма ЭПР двухмоторного самолета

Таким образом, в радиолокации не только шумы, но и сигналы имеют случайный характер, и это снижает эффективность обнаружения целей.

4. Влияние условий распространения радиоволн на дальность действия радиолокационной станции.

Влияние на дальность действия РЛС внешних условий обусловлено поглощением и рассеянием РВ в атмосфере, отражением их от Земли и атмосферной рефракцией.

Уменьшение дальности действия РЛС вследствие поглощения и рассеяния РВ. Если бы атмосфера не содержала гидрометеоров, то электромагнитная энергия поглощалась только имеющимися в тропосфере газами. Энергия РВ вызывает в молекулах газов переход электронов с одного энергетического уровня на другой. Так как внутриатомным переходам свойственны собственные частоты, то когда с какой-либо из них совпадает частота распространяемой волны, наступает резонанс и поглощение резко возрастает. В парах воды резонансное поглощение происходит при длинах волн $\lambda = 1,7$ мм (коэффициент затухания $\alpha = 14$ дБ/км) и $\lambda = 1,35$ см ($\alpha = 0,1$ дБ/км), а в кислороде — при $\lambda = 1,7$ мм ($\alpha = 12$ дБ/Км) (рис. 4.5).

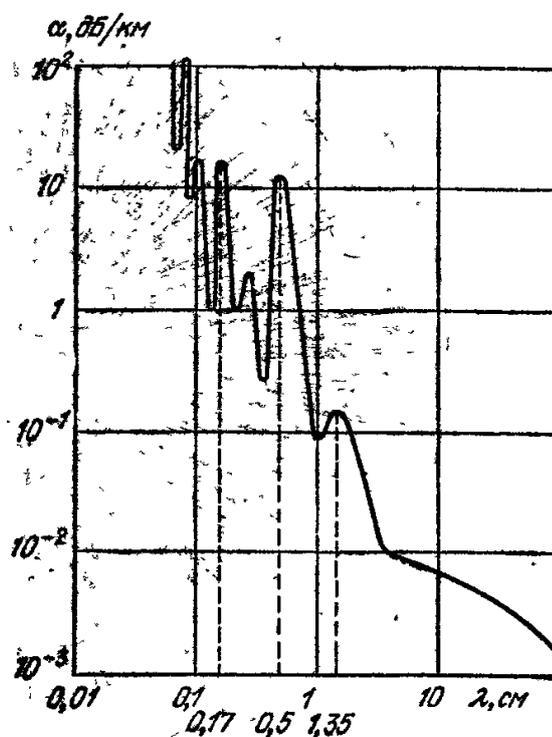


Рис. 4.5. Зависимость коэффициента затухания РВ в атмосфере от частоты

Если же в атмосфере имеются осадки, то ЭМВ вызывают в каплях влаги токи смещения, которые становятся источниками вторичного излучения. Тем самым энергия волн рассеивается вне прямой, соединяющей РЛС с целью. Одновременно происходит поглощение энергии РВ, поскольку частицы влаги имеют некоторую активную проводимость. Чем больше частота и интенсивность осадков, тем больше потери энергии.

В диапазоне волн, применяемых в радиолокации, затухание в атмосфере становится значительным при $\lambda < 3$ см, а на миллиметровых волнах оно играет решающую роль: только небольшое «окно» между частотами резонансного поглощения (на волне $\lambda \approx 8,7$ мм) удастся использовать для радиолокации.

Допустим, что на всем пути РЛС — цель — РЛС протяженностью $2D_{\text{макс}}$ [км] происходит поглощение энергии РВ при одинаковом коэффициенте затухания α [дБ/км], т. е. общее затухание равно $2\alpha D_{\text{макс}}$ [дБ]. Здесь

$$\alpha = \frac{10 \lg k_{\text{погл}}}{l_{\text{погл}}}, \quad (4.26)$$

где $k_{\text{погл}}$ — коэффициент поглощения в безразмерных единицах, $l_{\text{погл}}$ — протяженность трассы поглощения в км.

Максимальную дальность действия с учетом поглощения $D_{\text{макс погл}}$ можно выразить через $D_{\text{макс}}$, используя формулу (4.10), следующим образом:

$$D_{\text{макс погл}}^4 = \frac{D_{\text{макс}}^4}{k_{\text{погл}}}. \quad (4.27)$$

Из (4.26) можно записать:

$$k_{\text{погл}} = 10^{0,1 l_{\text{погл}} \alpha}. \quad (4.28)$$

Тогда

$$D_{\text{макс погл}} = D_{\text{макс}} 10^{-0,025 \alpha l_{\text{погл}}}. \quad (4.29)$$

Например, при одинаковом поглощении на протяжении всей трассы распространения радиоволн, т.е. когда $l_{\text{погл}} = 2D_{\text{макс}}$:

$$D_{\text{макс погл}} = D_{\text{макс}} 10^{-0,05 \alpha D_{\text{макс}}}. \quad (4.30)$$

Атмосферная рефракция и ее влияние на дальность радиолокации. При работе РЛС вблизи земли появляется дополнительный путь распространения

сигнала за счет переотражения, в результате чего диаграмма направленности антенны искажается. Максимальная дальность, вычисленная по приведенным ранее формулам, не всегда может быть реализована из-за сферичности земной поверхности. Если бы тропосфера была однородной, РВ распространялись бы прямолинейно (луч OM_1 на рис. 4.6) и предельная дальность радиолокации $D_{пред}$ ограничивалась геометрической видимостью согласно формуле

$$D_{пред} [\text{км}] = 3,57(\sqrt{h} + \sqrt{H}), \quad (4.25)$$

где h — высота антенны РЛС; H — высота цели.

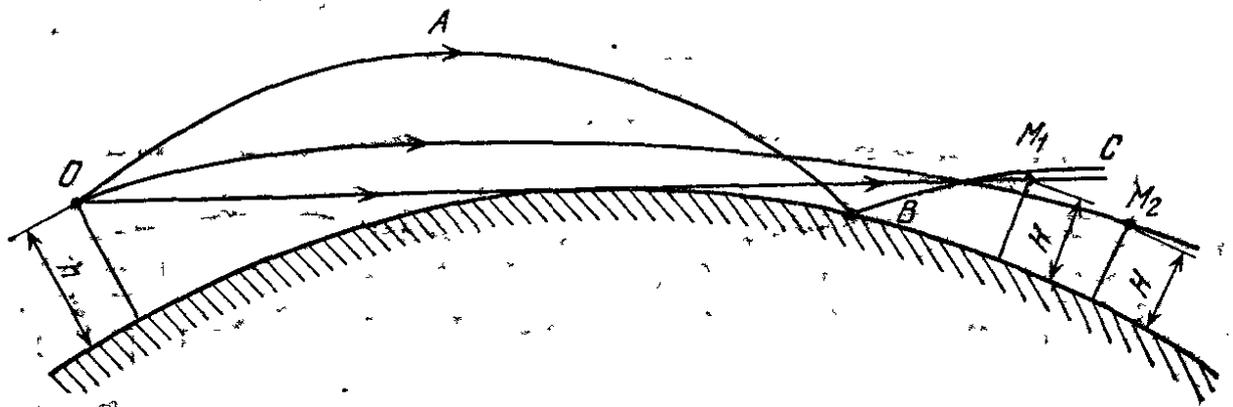


Рис. 4.6. Распространение РВ в тропосфере

В действительности тропосфера неоднородна: с высотой температура, давление и влажность воздуха изменяются, а это влечет за собой изменение показателя преломления и искривление лучей РВ. В нормальных атмосферных условиях лучи искривляются в сторону Земли таким образом (OM_2), что при тех же высотах РЛС h а цели H предельная дальность радиолокации возрастает на 17%:

$$D_{пред} [\text{км}] = 4,1 (\sqrt{h} + \sqrt{H}), \quad (4.26)$$

При быстром убывании по высоте показателя преломления возникает *сверхрефракция*. Наиболее ярко сверхрефракция проявляется в образовании атмосферного волновода: РВ многократно отражаются от Земли и от

определенного уровня тропосферы (OABC). Это, естественно, резко увеличивает возможности радиобнаружения, но поскольку сверхрефракция явление необычное, нельзя рассчитывать предельную дальность радиолокации с учетом ее.

Советский ученый Н. И. Кабанов в 1946 г. обнаружил, что лучи коротковолнового диапазона ($\lambda=10\dots 100$ м) после отражения от ионосферы облучают цель (земную поверхность), рассеиваются ею и частично возвращаются по тому же пути к РЛС. Это позволяет осуществить радиолокацию наземных или возвышающихся над Землей целей, расположенных за горизонтом. Такие коротковолновые РЛС в принципе могут обнаружить старт баллистической ракеты или ядерный взрыв за линией горизонта по сигналу, отраженному от ионизированного воздуха. Например, в США таким способом был обнаружен ядерный взрыв, произведенный на расстоянии 12 000 км от РЛС.

Таким образом, реальная дальность действия РЛС меньше данного показателя в свободном пространстве из-за поглощения и рассеяния РВ в атмосфере, отражения их от Земли и атмосферной рефракции.

Заключение

1. Дальность действия РЛС тем больше, чем больше энергия радиоимпульса, излучаемая передающей антенной, эффективная площадь антенны, ЭПР цели и чем меньше коэффициент шума приемника.

2. При активной радиолокации с активным ответом необходимых энергетических соотношений добиться проще из-за активного характера цели.

3. В радиолокации не только шумы, но и сигналы имеют случайный характер, и это снижает эффективность обнаружения целей.

4. Реальная дальность действия РЛС меньше данного показателя в свободном пространстве из-за поглощения и рассеяния РВ в атмосфере, отражения их от Земли и атмосферной рефракции.

Контрольные вопросы:

1. Вывод максимальной дальности действия для активной радиолокации по пассивным целям.

2. Основные факторы, влияющие на максимальную дальность действия для активной радиолокации по пассивным целям.

3. Дальность действия для РЛС с активным ответом.

4. ЭПР шара и полуволнового вибратора.

5. ЭПР прямоугольной площадки и уголкового отражателя.

6. Сравнение ЭПР различных стандартных целей.

7. Уменьшение дальности действия РЛС из-за поглощения и рассеяния РВ.

8. Изменение дальности действия РЛС из-за атмосферной рефракции.

Задание на самостоятельную подготовку:

1. Изучить материалы лекции.

2. Подготовиться к контрольной работе по контрольным вопросам.

Литература:

1. Бакулев П.А. Радиолокационные системы: Учебник для вузов. – М.: Радиотехника, 2004.
2. Белоцерковский Г.Б. Основы радиолокации и радиолокационные устройства. – М.: Советское радио, 1975.