



Военно-инженерный институт
Учебный военный центр
Отдел «Радиолокационного вооружения
РТВ ВВС»

Дисциплина
«ОСНОВЫ ТЕОРИИ
РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМ И
КОМПЛЕКСОВ»

Лекция №5
«Дальность обнаружения и зоны
видимости РЛС »

Тема 3 : «Основы статистической теории обнаружения радиолокационных сигналов»

Лекция 10: «Дальность обнаружения и зоны видимости РЛС »

Вопросы предыдущей лекции:

1. Модель некогерентного сигнала. Отношение правдоподобия.
2. Некогерентное накопление сигнала. Анализ качества некогерентного накопления.
3. Цифровые обнаружители.

Отношение правдоподобия

$$l(\mathbb{Y}) = \frac{P_{\text{СП}}(\mathbb{Y})}{P_{\text{П}}(\mathbb{Y})} = \prod_{i=1}^M \frac{P_{\text{СП}}(y_i)}{P_{\text{П}}(y_i)} = \prod_{i=1}^M l(y_i)$$

Для сигнала со случайной начальной фазой

$$\ln l_i = \ln I_0 \left(\frac{2|z_i|}{N_0} \right) + \text{const.}$$

Для сигнала (пачки) с независимыми случайными начальными фазами и независимыми релеевскими случайными амплитудами когерентных составляющих (радиоимпульсов)

$$\ln l_i = \frac{|z_i|^2}{N_0(\varepsilon_i + N_0)} + \text{const.}$$

Вопросы лекции:

1. **Дальность обнаружения РЛС**
2. **Влияние Земли и атмосферы на дальность действия РЛС**
3. **Зоны видимости РЛС**

Литература:

Основная:

1. Дальность обнаружения РЛС

8 Одной из важнейших характеристик РЛС, определяющих её боевые возможности, является дальность действия. Дальность действия показывает максимальное расстояние, на котором РЛС решает задачи с показателями качества не хуже заданных. Обычно задаются типы обнаруживаемых целей, их ЭПР, условия боевого применения РЛС, точность определения координат и условные вероятности правильного обнаружения и ложной тревоги. Поэтому дальность действия зависит как от характеристик РЛС, так и условий её работы: уровня воздействующих помех, условий распространения радиоволн, характеристик позиции РЛС и параметров влияния Земли.

Цель лекции - раскрыть содержание метода оценки дальности действия и зоны видимости РЛС и факторов, влияющих на эти характеристики.

9

Максимальная дальность обнаружения цели (дальность обнаружения) есть максимальное расстояние между РЛС и целью, при котором обеспечивается обнаружение цели с заданными показателями качества - условными вероятностями правильного обнаружения D и ложной тревоги F .

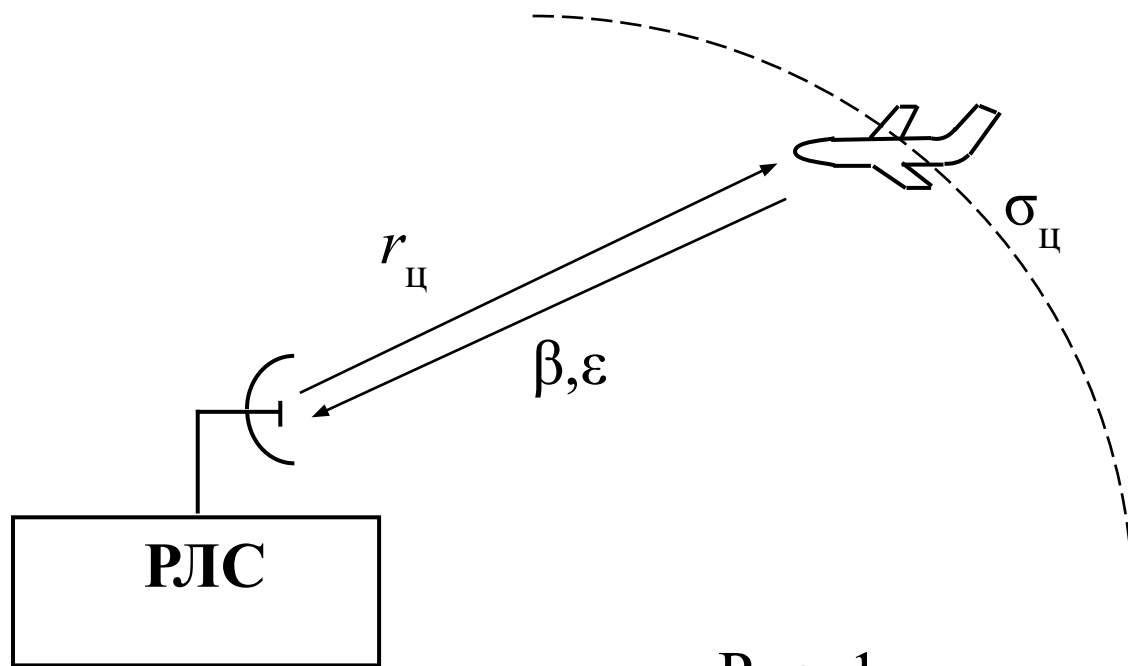


Рис. 1.

Рассмотрим простейший случай обнаружения цели в свободном пространстве, т.е. без учета влияния атмосферы и Земли.

1
0
При излучении зондирующих сигналов РЛС создает в месте расположения цели плотность потока мощности

$$\Pi_{\text{ц}} = \frac{P \cdot G(\varepsilon, \beta)}{4\pi r_{\text{ц}}^2}, \quad (1)$$

где P - мощность передатчика РЛС (для импульсной РЛС - импульсная $P_{\text{и}}$);

$G(\varepsilon, \beta)$ - коэффициент усиления передающей антенны.

Облучаемая цель становится вторичным излучателем. Мощность его излучения равна $P_{\text{ц}} = \Pi_{\text{ц}} \cdot \sigma_{\text{ц}}$.

Считая, что ЭМВ от цели распространяется изотропно, у приемной антенны РЛС плотность потока мощности равна

$$\Pi_{\text{пр}} = \frac{P_{\text{ц}}}{4\pi r_{\text{ц}}^2} = \frac{\Pi_{\text{ц}} \cdot \sigma_{\text{ц}}}{4\pi r_{\text{ц}}^2} \quad (2)$$

1
1
Мощность принимаемого сигнала $P_{\text{пр}}$ на согласованной нагрузке на выходе антенны пропорциональна эффективной площади приемной антенны $A_{\text{эфф}}(\epsilon, \beta)$

$$P_{\text{пр}} = E_{\text{пр}} \cdot A_{\text{эфф}}(\epsilon, \beta) \quad (3)$$

Подставив соотношения (1) и (2) в (3), получим

$$P_{\text{пр}} = \frac{W_{\text{ц}} \cdot \sigma_{\text{ц}}}{\epsilon r_{\text{ц}}^2} A_{\text{эфф}}(\epsilon, \beta) = \frac{P \cdot G(\epsilon, \beta) \sigma_{\text{ц}} A_{\text{эфф}}(\epsilon, \beta)}{(\epsilon)^2 r_{\text{ц}}^4}$$

Переходя от мощности излученного и принятого сигналов к их энергиям, можем записать

$$\mathcal{E}_{\text{пр}} = \frac{W_{\text{ц}} \cdot \sigma_{\text{ц}} A_{\text{эфф}}(\epsilon, \beta)}{(\epsilon)^2 r_{\text{ц}}^4} \quad (4)$$

2. Заменяем в (4) $\mathcal{E}_{\text{пр}}$ на пороговую $\mathcal{E}_{\text{пор}}$ (или минимально необходимую $\mathcal{E}_{\text{пр мин}}$), которая требуется для обнаружения цели с заданными показателями D и F . В этом случае вместо $r_{\text{ц}}$ следует подставить

$r_{\text{ц макс}}$ - максимальную дальность обнаружения, т. е.

$$\mathcal{E}_{\text{пор}} = \frac{\mathcal{Q}\beta(\sigma A)_{\text{ц}} \varepsilon_{\text{эфф}} \beta(\sigma)}{\left(\frac{A}{r_{\text{ц макс}}}\right)^2 \left(r_{\text{ц макс}}\right)^4} \quad (5)$$

$$r_{\text{ц макс}} = \sqrt[4]{\frac{\mathcal{Q}\beta(A) \varepsilon_{\text{эфф}} \beta(\sigma)_{\text{ц}}}{\left(\frac{A}{r_{\text{ц макс}}}\right)^2_{\text{пор}}}}$$

Полученное уравнение называется уравнением радиолокации.

1
3
Величина $\mathcal{E}_{\text{пор}}$ находится из соотношения

$$q = \sqrt{\frac{\mathcal{E}_{\text{пор}}}{N_0}}$$

Значения G и $A_{\text{эфф}}$ являются функциями угловых координат

$$G(\varepsilon, \beta) = G_{\text{макс}} F_n^2(\varepsilon, \beta),$$

$$A_{\text{эфф}}(\varepsilon, \beta) = A_{\text{эффмакс}} F_{\text{пр}}^2(\varepsilon, \beta) \quad (6)$$

$F_{\text{пр}}(\varepsilon, \beta)$ - нормированная характеристика антенны РЛС по полю на передачу (прием).

Если для приёма и передачи используется одна антенна, то

$$F_{\text{п}}(\varepsilon, \beta) = F_{\text{пр}}(\varepsilon, \beta) = F(\varepsilon, \beta).$$

$$r_{\text{цмакс}} = \sqrt[4]{\frac{\mathcal{D} \cdot G_{\text{макс}} \cdot A_{\text{эффмакс}} \cdot \text{ц}}{\mathcal{D}_{\text{пор}} (4)^2}} \cdot F(\varepsilon, \beta).$$

1
5 В направлении максимума ДН $F(\varepsilon, \beta)=1$, поэтому дальность обнаружения будет максимальной

$$r_{0 \text{ макс}} = \sqrt[4]{\frac{\mathcal{E} \cdot G_{\text{макс}} \cdot A_{\text{эфф макс}} \cdot \text{ц}}{\mathcal{D}_{\text{пор}} (4)^3}}$$

Следовательно $r_{\text{ц макс}} = r_{0 \text{ макс}} \cdot F(\varepsilon, \beta)$.

$$G_{\text{макс}} = \frac{A_{\text{эфф макс}}}{\lambda^2} \quad (7)$$

$$r_{0 \text{ макс}} = \sqrt[4]{\frac{\mathcal{E} \cdot G_{\text{макс}}^2 \cdot \text{ц} \cdot 2}{(\mathcal{D}_{\text{пор}})^3}}$$

Для импульсных РЛС $\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{и}} = P_{\text{и}} \cdot \tau_{\text{и}}$, где $P_{\text{и}}, \tau_{\text{и}}$ - мощность и длительность импульса.

1 Проведем анализ дальности действия РЛС.

6 Из уравнения радиолокации следует, что максимальная дальность действия РЛС пропорциональна корню четвертой степени из энергии зондирующих сигналов. Например, при увеличении мощности ЗС в 16 раз дальность обнаружения цели увеличится в 2 раза.

Аналогично влияние $\mathcal{E}_{\text{пр пор}}$ и $\sigma_{\text{ц}}$.

2. Более эффективно влияет на дальность действия РЛС изменение параметров антенны. Дальность действия пропорциональна корню квадратному из G_{max} .

3. Зависимость дальности действия от λ более сложная.

Если зафиксировать $A_{\text{эфф}}$ антенны, то уменьшение λ ведет к увеличению дальности действия. При фиксированном коэффициенте усиления антенны G уменьшение λ ведет к уменьшению дальности действия, так как уменьшится $A_{\text{эфф}}$.

2. Влияние Земли и атмосферы на дальность действия РЛС

Влияние атмосферы

На дальность действия РЛС могут повлиять различные эффекты, возникающие при распространении радиоволн в атмосфере Земли.

Основными из них являются:

- искривление траектории распространения (рефракция);
- затухание радиоволн;
- изменение характера поляризации колебаний в ионосфере.

Искривление траектории (явление рефракции) вызывается изменением коэффициента преломления тропосферы и ионосферы по высоте.

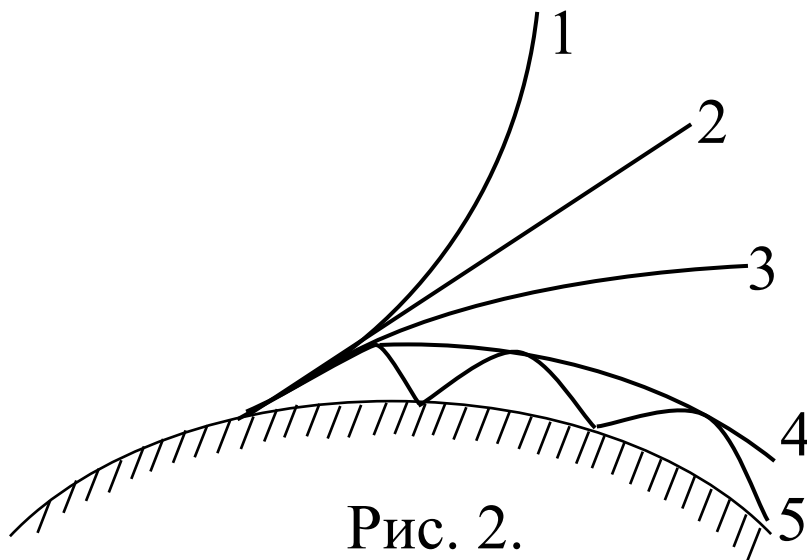


Рис. 2.

1
9
Характер и величина рефракции зависят от вертикального градиента коэффициента преломления dn/dh (рис. 2). При $dn/dh > 0$ имеет место отрицательная рефракция (кривая 1), при $dn/dh < 0$ (кривая 3) положительная рефракция.

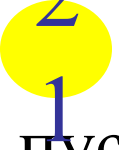
При $dn/dh = 0$ (кривая 2) - рефракция отсутствует, т.е. луч распространяется по прямолинейной траектории.

Положительная рефракция возникает и наблюдается практически постоянно. В случае положительной рефракции луч отклоняется от прямолинейной траектории к земле. Дальность обнаружения низколетящих целей при этом увеличивается. Существует критическая положительная рефракция, когда радиус кривизны луча равен радиусу земного шара. При этом луч распространяется параллельно земной поверхности (кривая 4).

При бóльшем радиусе кривизны луча (кривая 5) отраженный от земли луч может вновь многократно искривиться и отразиться от земли и без заметного ослабления достичь весьма удаленных точек. Это явление носит название сверхрефракции; в оптическом диапазоне волн - это мираж. При сверхрефракции волна распространяется в слое, который называют тропосферным волноводом. Его высота составляет 40-200 м.

Условиями возникновения сверхрефракции являются: увеличение температуры с высотой ($dT/dh > 0$) и резкое уменьшение влажности ($dl/dh < 0$).

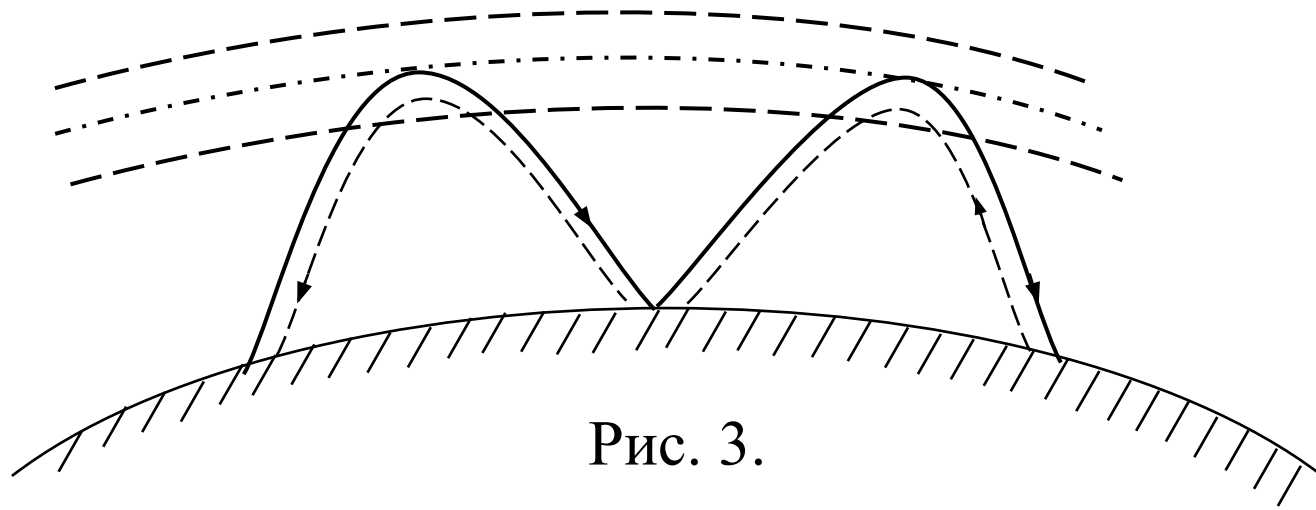
Среди многих метеорологических условий, приводящих к возникновению сверхрефракции, можно отметить случай переноса воздуха, нагретого над сушей, на более холодную поверхность моря. Более вероятно возникновение инверсного слоя небольшой толщины, поэтому сверхрефракция чаще наблюдается в сантиметровом, чем в метровом диапазоне волн.



Сверхрефракция может возникнуть также над пустынями и полупустынями. Однако она не носит регулярного характера и в ряде случаев может послужить причиной создания взаимных помех РЭС.

Отрицательная рефракция может возникнуть во время снегопада. Наиболее вероятной в реальных условиях является нормальная рефракция, характерная для нормальной тропосферы.

Одним из наиболее существенных факторов влияния ионосферы на РРВ является отражение коротких волн от ионосферы, что делает возможным радиолокацию объектов, находящихся в **области тени Земли**



Экспериментальное подтверждение возможности приема последовательно отраженных от ионосферы и земной поверхности радиоволн впервые получил советский ученый Н.И.Кабанов в 1946-48 годах. В связи с этим отмеченное явление получило название эффекта Кабанова.

На основе использования эффекта Кабанова возникла загоризонтная радиолокация, а также осуществляется возвратно-наклонное зондирование ионосферы с целью изучения её состояния и параметров.

2
3

Затухание радиоволн в атмосфере обусловлено

поглощением их энергии свободными молекулами кислорода и водяного пара, а также взвешенными частицами - пылинками и каплями воды. Кроме того, происходит рассеяние радиоволн жидкими и твердыми частицами.

Затухание радиоволн характеризуют коэффициентом затухания β , который учитывают при расчете дальности действия РЛС по формуле:

$$r_{\text{ц}_{\text{макс}}} = r_{0_{\text{макс}}} \cdot 10^{-\beta,05 \Delta r},$$

где $r_{0_{\text{макс}}}$ - максимальная дальность действия РЛС в среде без потерь;

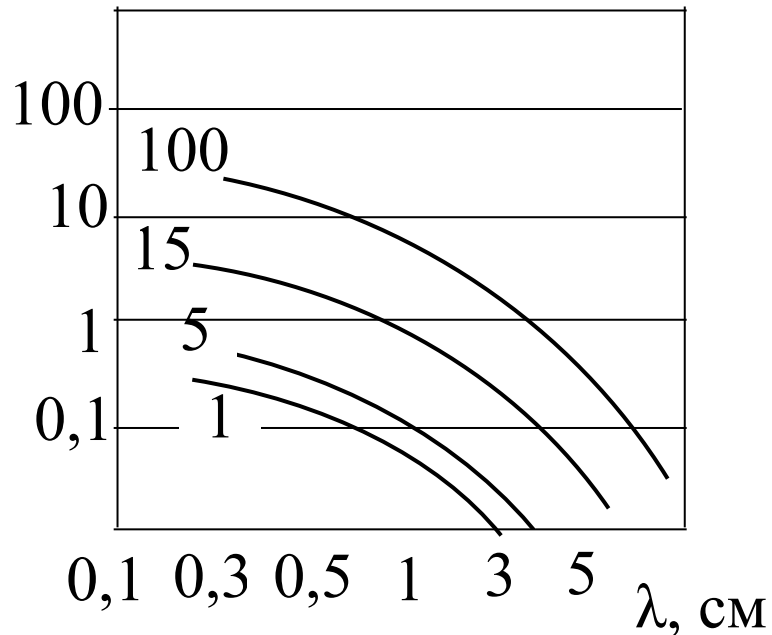
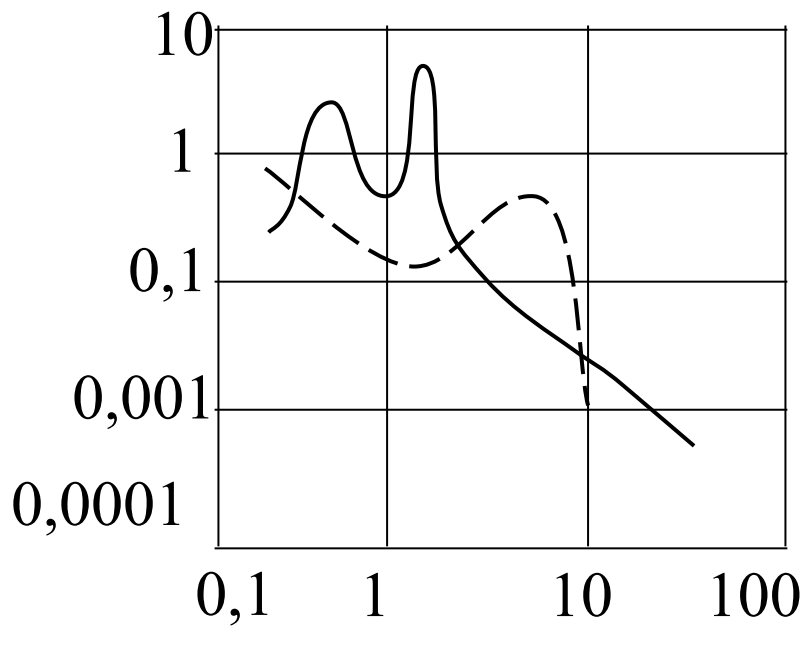
β - коэффициент затухания [дБ/км];

Δr - участок трассы, на котором происходит затухание.

Величина коэффициента α зависит от длины волны (рис. 4).

β , дБ/км

β , дБ/км



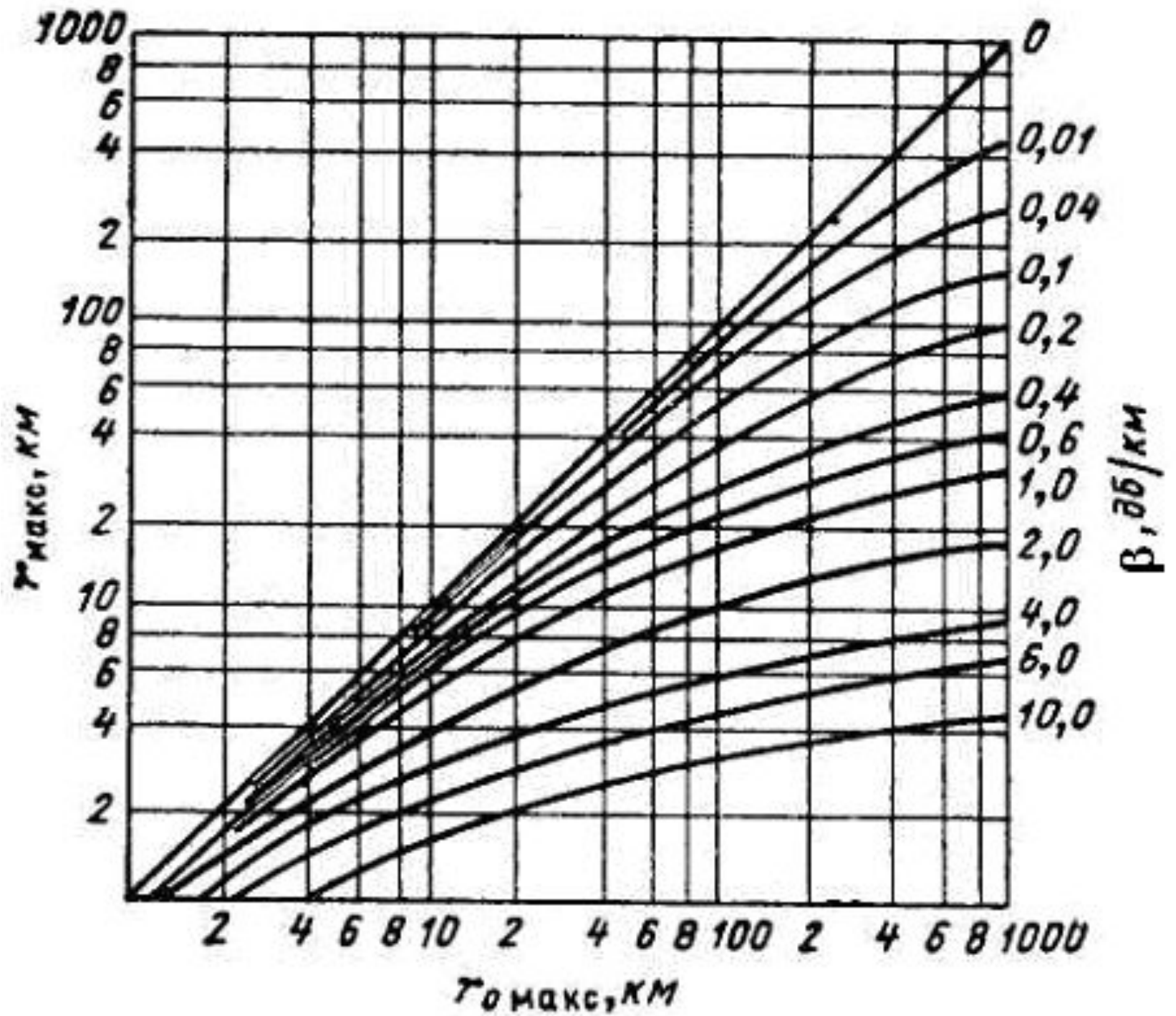
а) — Кислород

--- Водяные пары

б) В дожде и тумане

Рис. 4.

Резонансные максимумы поглощения энергии ЭМВ молекулами кислорода соответствуют длинам волн $\lambda=0,25; 0,5$ см; водяного пара - $\lambda=0,075; 0,015; 1,35$ см. При длине волны $\lambda>10$ см влиянием водяного пара на затухание можно пренебречь. Около 50% потерь в тропосфере приходится на первые 300 м.



2
6 Физика процесса поглощения радиоволн в ионосфере состоит в том, что свободные электроны, сталкиваясь с тяжелыми частицами, передают им часть энергии, полученной от электромагнитного поля волны. Эта энергия преобразуется в энергию теплового движения тяжелых частиц.

Рассеяние радиоволн может происходить и на неоднородности тропосферы. Они представляют собой области, в которых ϵ и n отличаются от их средних значений в окружающей эти области тропосфере.

За счет рассеяния радиоволн неоднородностями тропосферы возможно дальнейшее тропосферное распространение радиоволн УКВ диапазона (ДТР).

Если трасса локации проходит через ионосферу Земли, то на дальность действия радиолокационной станции может повлиять эффект Фарадея, заключающийся в повороте плоскости поляризации радиоволн. Это приводит к рассогласованию поляризации сигнала и приемной антенны и, соответственно, к уменьшению дальности действия РЛС.



Таким образом, изменение состояния атмосферы приводит к изменению условий распространения радиоволн и изменению возможностей РЛС по обнаружению объектов и определению их координат. Наряду с ухудшением условий радиолокации (затухание радиоволн, помехи от метеообразований и т.п.) могут иметь место и положительные эффекты такие, например, как повышение дальности обнаружения маловысотных целей или радиосвязи между подразделениями.

Влияние Земли

Влияние Земли на дальность действия РЛС связано с кривизной Земли и интерференцией радиоволн.

Кривизна Земли ограничивает видимость целей пределами «радиогоризонта» (рис. 5):

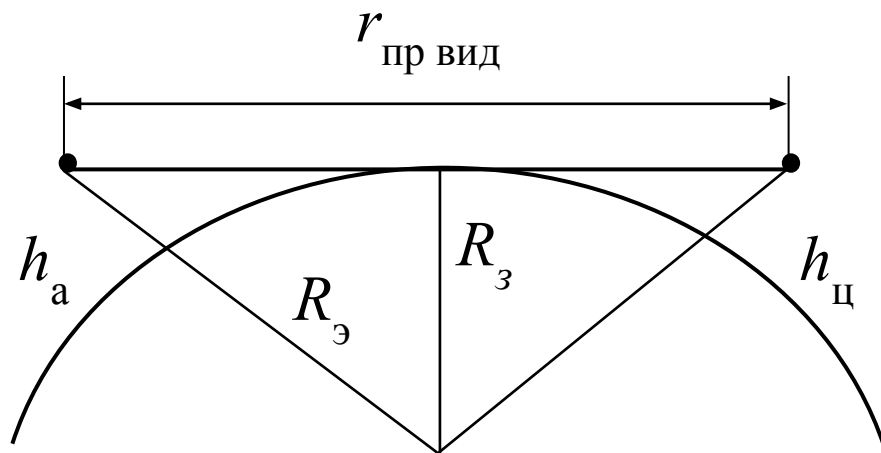


Рис. 5.

Дальность прямой видимости РЛС равна:

$$r_{\text{пр. вид}} [\text{км}] = 4,12 \left(\sqrt{h_a} [\text{м}] + \sqrt{h_ц} [\text{м}] \right),$$

где h_a , $h_ц$ – высоты расположения антенны и цели над землей соответственно.

2
9 Кроме того, сферичность Земли требует коррекции соотношения для вычисления высоты цели. Если не учитывать сферичность земной поверхности, то высота цели над плоскостью горизонта равна

$$H_r = h_a + r_{\text{ц.макс}} \sin \varepsilon$$

где $r_{\text{ц макс}}$, ε - дальность и угол места цели.

С учетом сферичности $H_{\text{ист}} = H_{\text{Г}} + \Delta H_2$, где при стандартной атмосфере поправка $\Delta H = \frac{r_{\text{цмакс}}}{2R_{\text{э}}}$.

Где $R_{\text{э}}$ – эквивалентный радиус Земли.

Интерференция возникает при взаимодействии прямой и отраженной от Земли радиоволн (рис. 6). Для одноантенного радиолокатора с характеристикой направленности $F(\varepsilon)$ дальность действия РЛС определяется соотношением

$$r_{\text{цмакс}} = r_{0_{\text{макс}}} \cdot F(\Phi); \quad ()$$

где $F(\epsilon)$ - множитель Земли, учитывающий влияние Земли на ДН антенны.

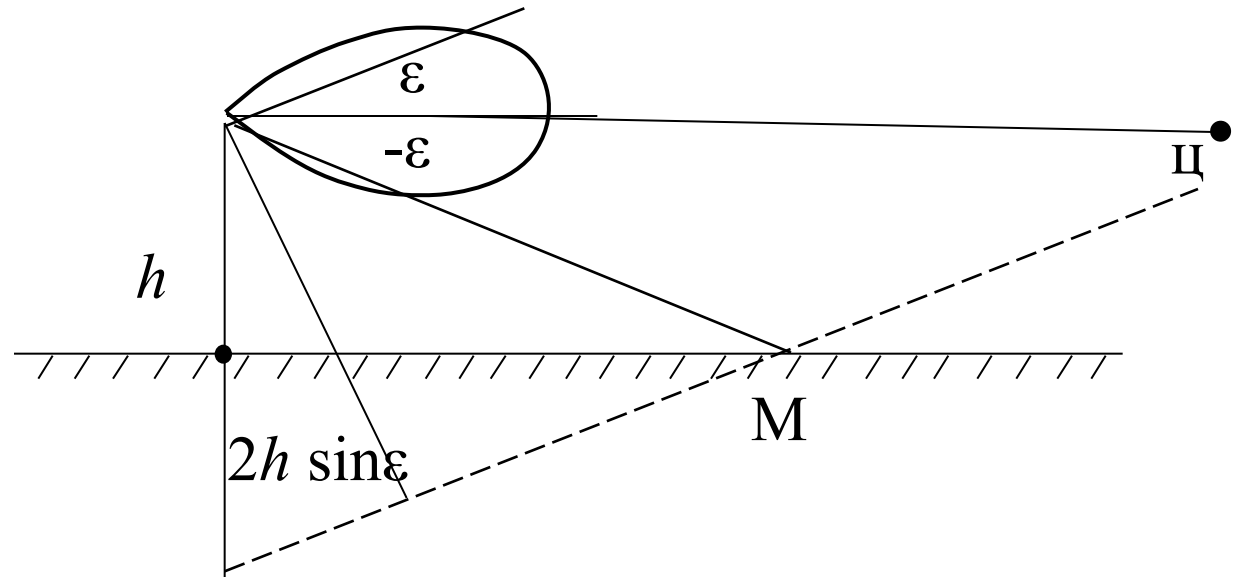


Рис. 6.

Результат интерференции сводится к произведению поля прямой волны и комплексного множителя Земли:

$$E_p = E_0 F(\epsilon) + E_0 F(-\epsilon) \rho e^{-j\Delta\phi} = E_0 F(\epsilon) \left[1 + \rho e^{-j\Delta\phi} \cdot \frac{F(-\epsilon)}{F(\epsilon)} \right] =$$

$$= E_0 F(\Phi); \quad ()$$

2
1

$\rho = |\rho|e^{-j\varphi_p}$ - комплексный коэффициент отражения;

$\Delta\varphi = \frac{2h \sin \varepsilon}{\lambda}$ - сдвиг фазы колебаний отраженной волны по отношению к прямой волне.

Модуль $\Phi(\varepsilon)$ соответствует множителю Земли:

$$|\Phi(\varepsilon)| = \Phi(\varepsilon).$$

В простейшем случае зеркального отражения при малых углах ε удовлетворяются условия

$$\rho = -1 \left(|\rho| = 1, \quad \varphi_\rho = 180^\circ \right), \quad F(\varepsilon) = F(-\varepsilon)$$

$$\begin{aligned} \Phi(\varepsilon) &= \left| 1 + e^{-j(\pi + \Delta\varphi)} \right| = 2 \left| \cos \pi \left(1 + \frac{h \sin \varepsilon}{\lambda} \right) \right| = \\ &= 2 \left| \sin \frac{2h \sin \varepsilon}{\lambda} \right| \approx \frac{4\pi h}{\lambda} \left| \sin \varepsilon \right| \end{aligned}$$

2 Из полученного соотношения видно, что множитель Земли носит лепестковый характер (рис. 7).

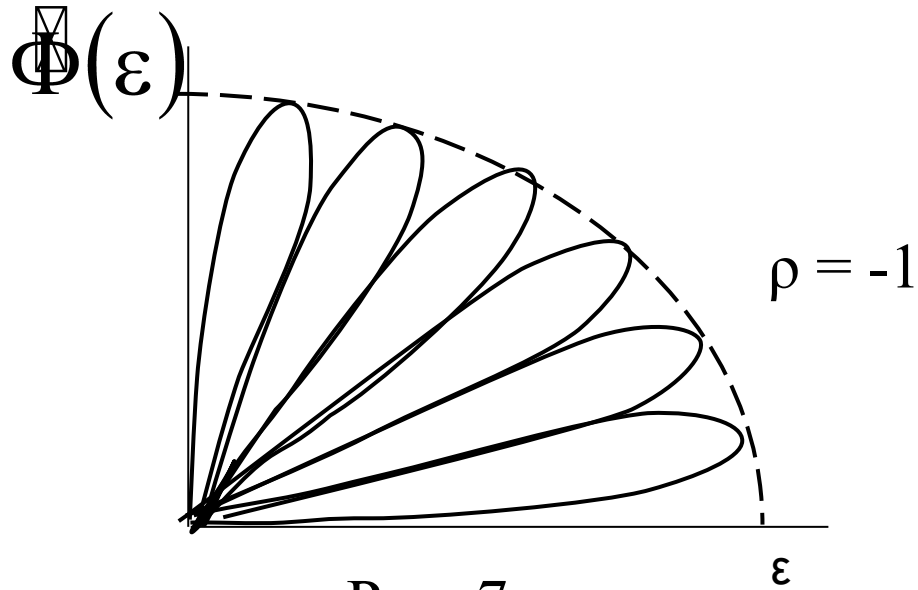


Рис. 7.

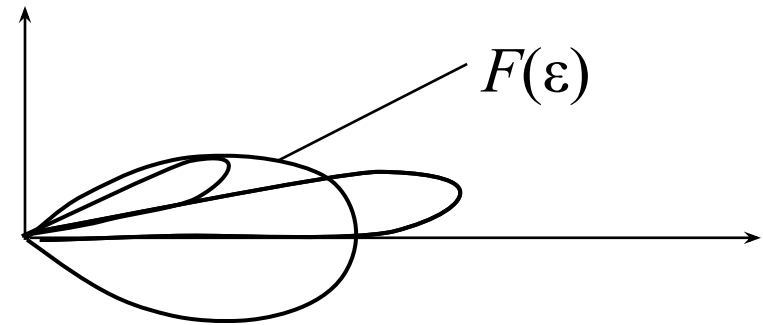


Рис. 8.

Влияние Земли на дальность действия РЛС **увеличивается** с **увеличением длины волны**. Причем при зеркальном отражении дальность действия РЛС может быть как больше $r_{ц\ макс}$, так и меньше этой величины.

Таким образом, Земля и её атмосфера могут оказывать существенное влияние на дальность действия РЛС.

3. Зоны видимости РЛС

3
4 Зоной видимости называют часть пространства, в пределах которой радиолокатор может осуществлять функции обнаружения или измерения с требуемыми качественными показателями при заданной эффективной поверхности цели.

Зона видимости в вертикальной плоскости за счет влияния Земли может иметь лепестковый характер (рис. 9)

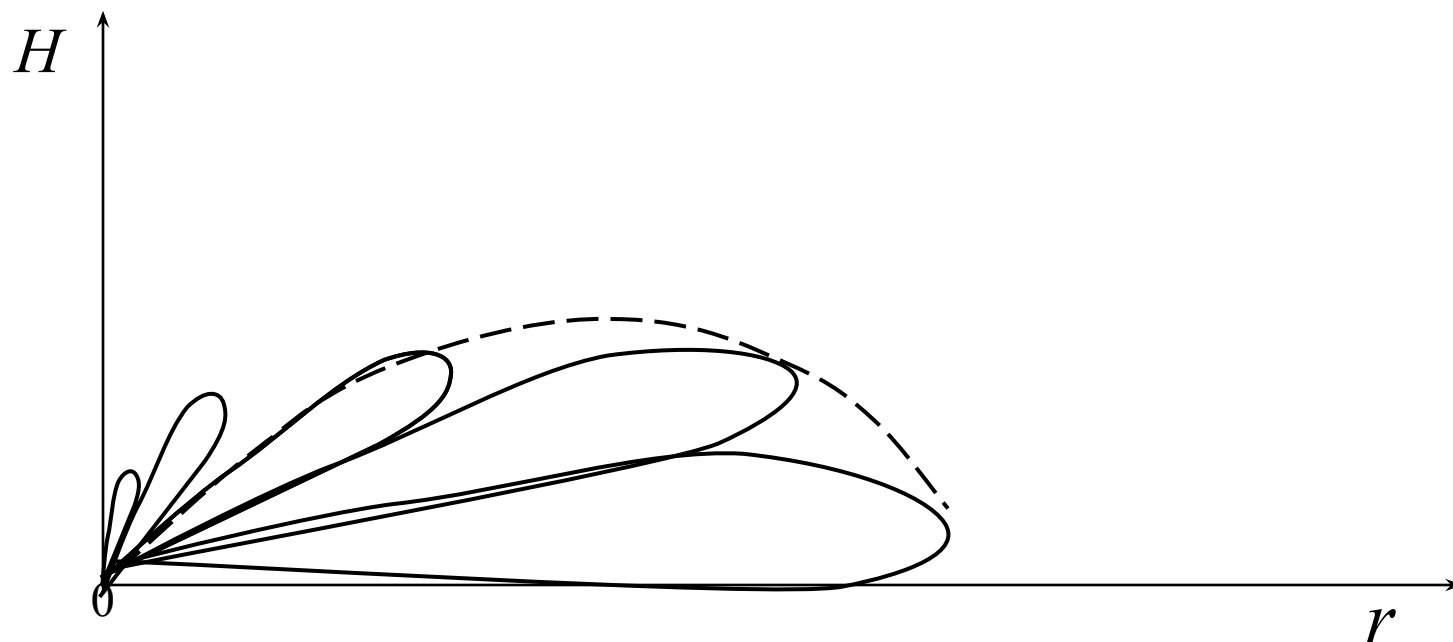
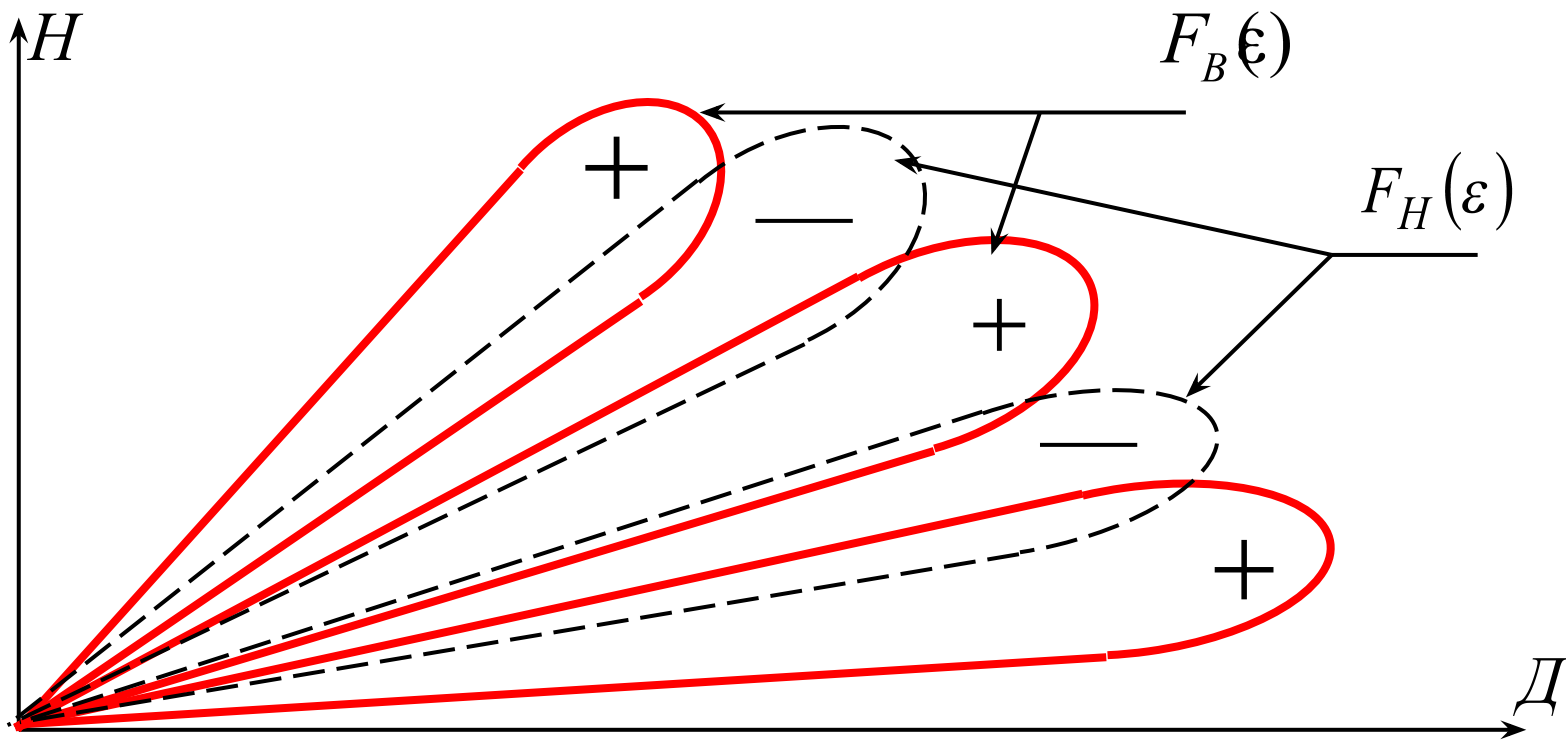


Рис. 9.

Зоны видимости могут строиться в аксонометрии или характеризоваться своими сечениями в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Границы зон видимости в горизонтальных плоскостях для наземной РЛС кругового обзора, расположенной на гладкой поверхности, представляют собой окружности. Зона видимости в вертикальной плоскости за счет влияния Земли может иметь лепестковый характер (рис. 9). В частности, это имеет место в диапазоне метровых волн, когда значения $|P|$ близки к единице.

Для заполнения провалов в зоне видимости РЛС метрового диапазона применяют двухъярусные антенны. Высоты ярусов подбираются так, чтобы лепестки одного яруса перекрывали провалы другого.





ДНА РЛС П- 18 в вертикальной плоскости.

Зона видимости в вертикальной плоскости обычно строится в прямоугольной системе координат: высота (H) - дальность наклонная ($r_{ц\text{ макс } H}$).

На координатную сетку наносятся линии углов места, линии приведенных высот (H_r) и изовысотные кривые с учетом сферичности Земли (рис. 10). Понижения (ΔH) последних под линиями приведенных высот определяется соотношением

$$\Delta H = \frac{r_{ц\text{ макс } H}^2}{2R_z}.$$

При этом высоту и дальность на диаграмме обычно откладывают в разных масштабах.

Изовысотные кривые используются при оценке боевых возможностей РЛС по целям, летящим на разных высотах. В зависимости от характера позиции РЛС зоны видимости в вертикальной плоскости в разных направлениях могут быть неодинаковы. В этом случае боевые возможности РЛС оцениваются совокупностью зон видимости, взятых для характерных азимутальных направлений.

9 При этом высоту и дальность на диаграмме обычно откладывают в разных масштабах.

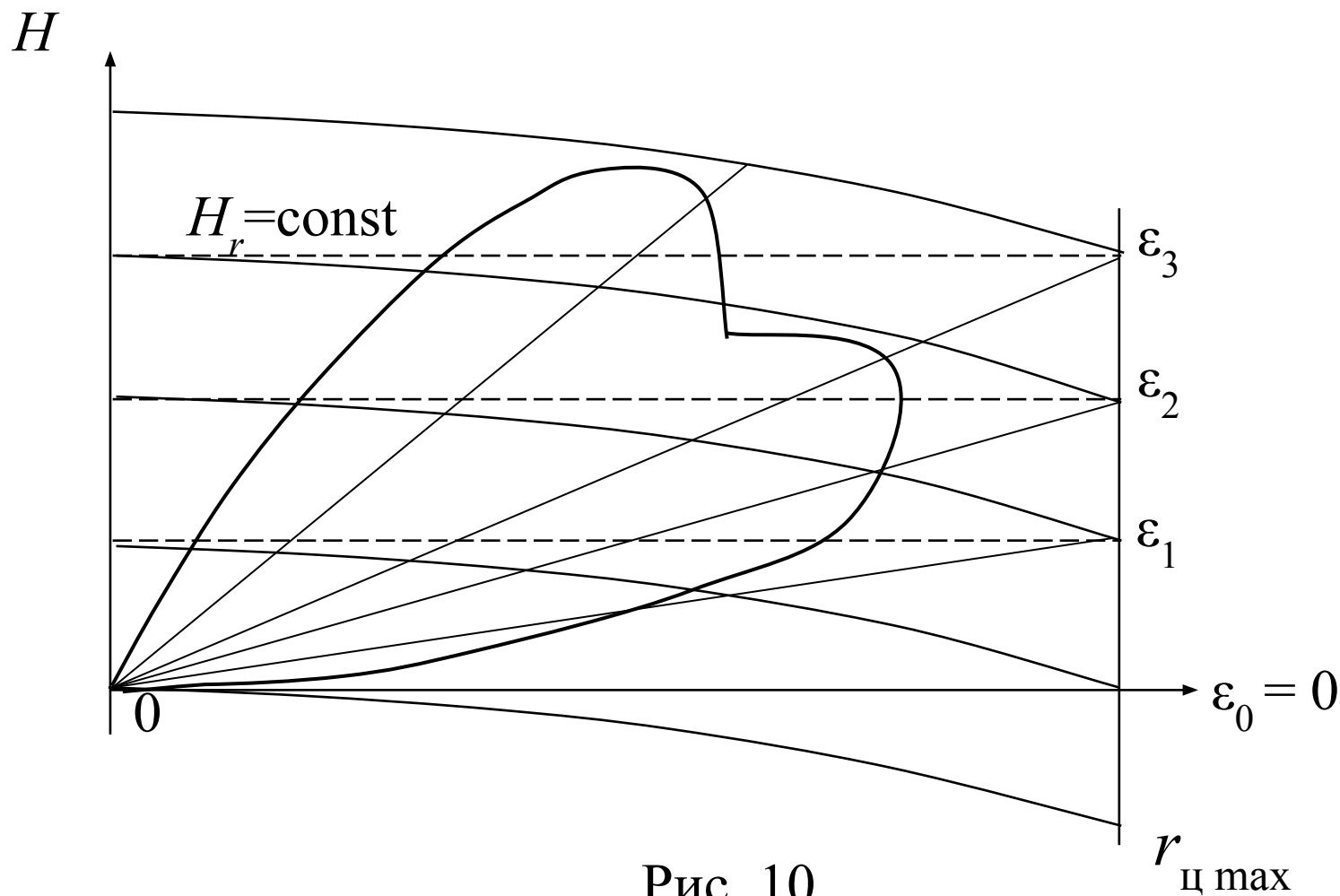


Рис. 10

При локации маловысотных ($H < 1000\text{м}$) целей

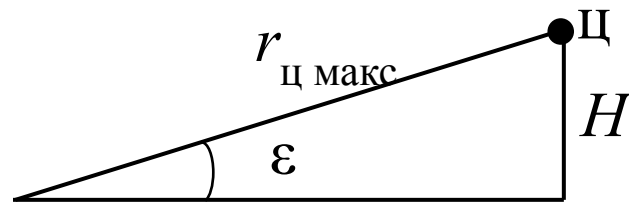
дальность действия РЛС существенно уменьшается.

Положим $F(\beta, \varepsilon) = 1$.

Тогда $r_{\text{ц макс}} = r_{\text{о макс}} \Phi(\varepsilon)$.

При малых углах $\varepsilon \sin \varepsilon \approx \varepsilon$, поэтому

$$\Phi(\varepsilon) = \frac{\sqrt{\frac{h}{\lambda}}}{\varepsilon}.$$



В свою очередь (рис. 11)

Рис. 11. $\varepsilon = \frac{H}{r_{\text{ц макс}}}.$

$$r_{\text{ц макс}} = r_{\text{о макс}} \left(\frac{\sqrt{\frac{h}{\lambda}}}{\varepsilon} \right) \cdot \frac{H}{r_{\text{ц макс}}}.$$

$$r_{\text{ц макс}} = \sqrt{\frac{\sqrt{\frac{h}{\lambda}}}{\varepsilon} r_{\text{о макс}} H} = \sqrt{\frac{\pi}{\lambda} \frac{hH}{\lambda}} \cdot \sqrt[8]{\frac{\mathcal{D} \cdot G_{\text{макс}} \cdot A_{\text{эфф макс}} \cdot \text{Ц}}{\mathcal{D}_{\text{пор}} (4)^2}}.$$

В зависимости от типа и технических характеристик РЛС используют различные зависимости для расчёта дальности обнаружения:

$$R_0 = \sqrt[4]{\frac{P_{\text{и}} \tau_{\text{и}} A_{\text{эфф. ц}}^2}{\lambda^2 N_0 q}} \quad (4.20)$$

$$R_0 = \sqrt[4]{\frac{P_{\text{и}} \tau_{\text{и}} G^2 \lambda^2 \sigma_{\text{ц}}}{(4)^3 N_0 q}} \quad (4.21)$$

$$R_0 = \sqrt[4]{\frac{P_{\text{и}} M_{\text{и}} \sigma_{\text{ц}} G^2}{(4)^3 kT \alpha_{\text{ш}} q_{\text{п}}}} \quad (4.22)$$

$$R_0 = \sqrt[4]{\frac{P_{\text{и}} A_{\text{и}} G_{\text{эфф. ц}}}{(4)^2 N_0 q}} \quad (4.23)$$

Расчёты дальности ведутся, используя следующие размерности величин, входящих в формулы: $P_{\text{ср}}, P_{\text{и}} - \text{Вт}$; $\tau_{\text{и}}, T_{\text{с}} - \text{с}$; $S_{\text{а}}, \sigma_{\text{ц}} - \text{м}^2$; $N_0 = kTK_{\text{ш}} - \text{Вт/Гц}$; $\lambda - \text{м}$; $R_0 - \text{м}$, остальные величины безразмерные (дБ).

Мощность излучения. Средняя и импульсная мощности излучения бортовых РЛС зависят от типа (предназначения) РЛС и обычно равны: $P_{\text{ср}} = 100 \dots 300 \text{ Вт}$, $P_{\text{и}} = 10^3 \dots 10^4 \text{ Вт}$.

Длительность сигнала. Время $\tau_{\text{и}}$ определяется длительностью когерентного сигнала или когерентной пачки сигналов из M импульсов. Некогерентное накопление M сигналов после когерентной обработки учитывается в соответствующих характеристиках обнаружения.

Коэффициент усиления и площадь антенны. Коэффициент усиления G определяется площадью антенны и для бортовых РЛС равен $(1 \dots 4) \cdot 10^3$. Эффективная площадь антенны $S_{\text{а}}$ определяется геометрической площадью S и типом антенны: $S_{\text{а}} = k_{\text{а}} S$, где $k_{\text{а}}$ – коэффициент использования антенны, равный для зеркальных антенн $(0,5 \dots 0,7)$, а для антенных решёток $(0,6 \dots 0,8)$.

Эффективная площадь рассеяния цели. ЭПР цели определяется не только классом и типом цели, длиной волны, поляризацией и углом облучения, но и целым рядом неконтролируемых факторов, что определяет её случайное значение. При картографировании также используется среднее значение удельной ЭПР σ_0 местности, полученное экспериментально. В этом случае ЭПР цели $\sigma_{\text{ц}} = \sigma_{\text{ф}} = \sigma_0 \delta r \delta l$ определяется площадью $\delta S = \delta r \delta l$ элемента разрешения на местности. ЭПР наземных (надводных) целей и фона (земной и водной поверхности) имеют значения в диапазоне от 10^2 до 10^4 м^2 и более.

Спектральная плотность шумов. Спектральная плотность внутренних шумов приёмника равна $N_0 = kTK_{ш}$, где kT – коэффициент, равный $4 \cdot 10^{-21}$ (Вт/Гц); $K_{ш}$ – фактор шума, определяемый входным устройством приёмника РЛС:

параметрический усилитель $K_{ш} = 2...4$ дБ;

туннельный диод $K_{ш} = 5...6$ дБ;

балансный смеситель $K_{ш} = 6...9$ дБ.

Спектральная плотность прямошумовой помехи $N_{п}$. Энергетический потенциал (спектральная плотность излучения) станций активных помех $P_{п} G_{п} / \Delta f_{п} = 10^{-1}...10^{-3}$ Вт/Гц, где $P_{п}$ – мощность передатчика помех; $G_{п}$ – коэффициент усиления антенны станций помех; $\Delta f_{п}$ – полоса частот излучения помех.

Спектральная плотность помех на входе приёмника РЛС

$$N_{п} = \frac{P_{п} G_{п}}{\Delta f_{п}} \cdot \frac{S_a}{R_{п}^3} = \frac{P_{п} G_{п}}{\Delta f_{п}} \cdot \frac{G \lambda^2}{(4\pi)^2 R_{п}^2}$$

где $R_{п}$ – расстояние от станции помех до РЛС;

S_a – эффективная площадь антенны РЛС в направлении на помеху;

G – коэффициент усиления антенны РЛС в направлении на помеху.

Суммарная помеха (внутренний шум плюс шумовая помеха) определяет дальность обнаружения и имеет спектральную плотность $N_{0п} = N_0 + N_{п}$.

Помеховый сигнал фона. Основной вклад в помеховый сигнал фона вносят отражения от подстилающей поверхности, определяемые удельной ЭПР местности σ_0 и разрешением по дальности и азимуту $\sigma_\phi = \sigma_0 \delta r \delta l$. Влиянием отражений от метеообразований обычно пренебрегают.

Расчёт коэффициента потерь энергии сигнала. Суммарные потери энергии сигнала:

$$\alpha_\Pi = \alpha_{\text{ВЧ}} + \alpha_{\text{дж}} + \alpha_{\text{раст}} + \alpha_{\text{обр}}. \quad (4.25)$$

Потери в высокочастотном тракте $\alpha_{\text{ВЧ}}$ (обтекатель антенны, волноводы, переключатель приём/передача) – 4-5 дБ. Эти потери иногда включают в соответствующее уменьшение коэффициента усиления антенны.

Потери в дожде $\alpha_{\text{дж}}$ определяются интенсивностью дождя (мм/час) и расстоянием, проходимым ЭМВ в полосе дождя (туда и обратно). Обычно высота (верхняя кромка) дождя $H_{\text{дж}}$ не превышает 3 км (рис. 12):

$$R_{\text{дж}} = \frac{H_{\text{дж}} R_{\text{ц}}}{H_c}, \quad (4.26)$$

где H_c – высота полёта самолёта;

$R_{\text{ц}}$ – расстояние до цели.

Потери в дожде:

$$\alpha_{\text{дж}} = 2R_{\text{дж}} \gamma_{\text{дж}}, \quad (4.27)$$

где коэффициент потерь $\gamma_{\text{дж}} = 0,3 \frac{Q(\text{мм/час})}{\lambda^3(\text{см})}$, (дБ/км) определяется интенсивно-

стью дождя Q . Коэффициент потерь $\gamma_{\text{дж}}$ при среднем дожде 4 мм/час в сантиметровом диапазоне составляет 0,12 дБ/км, а в миллиметровом диапазоне в 10 раз больше.

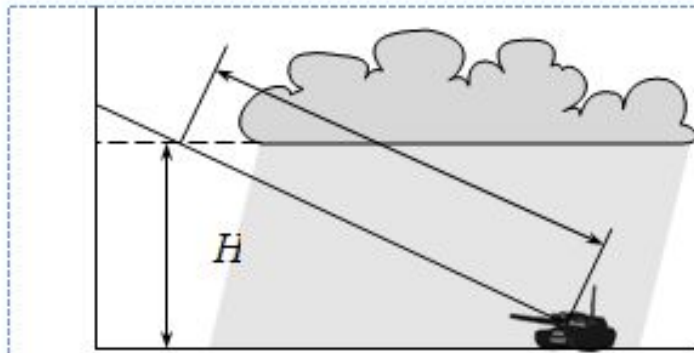


Рис. 12. Путь прохождения ЭВМ в дожде

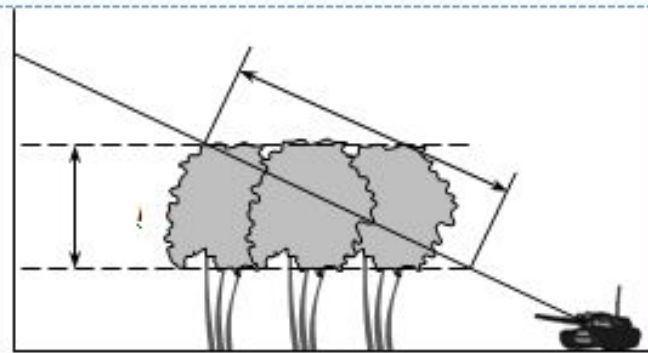


Рис. 13. Путь прохождения ЭВМ в кронах деревьев

Потери в растительности $\alpha_{\text{раст}}$ определяются для двух случаев обнаружения целей: под пологом сплошного леса и за лесопосадками вдоль дорог. Основное поглощение происходит в кронах деревьев.

В первом случае (рис. 13), путь в кронах деревьев равен $R_{\text{кр}} = h_{\text{кр}} R_{\text{ц}} / H_{\text{с}}$, где $h_{\text{кр}}$ – высота крон деревьев (3-7 м). Коэффициент поглощения в кронах деревьев $\alpha_{\text{кр}} = 2R_{\text{кр}} \gamma_{\text{кр}}$. В сантиметровом диапазоне $\gamma_{\text{кр}} = 1,2$ дБ/м. В дециметровом диапазоне ($\lambda = 70$ см) коэффициент поглощения в 10 раз меньше $\gamma_{\text{кр}} = 0,12$ дБ/м.

Потери при обработке сигналов $\alpha_{\text{обр}}$ обусловлены:

- несогласованностью принимаемого и опорного сигналов;
- неточностью отчёта максимума выходного сигнала;
- уменьшением амплитуды сигнала на краях пачки импульсов;
- флюктуациями фазы сигнала.

Потери энергии при обработке сигналов достигают 5-8 дБ, а общие потери энергии сигнала 10-20 дБ.

Заключительная часть

1. Дальность действия РЛС существенно увеличивается с ростом мощности передатчика и пороговой чувствительности приемника.
2. Дальность обнаружения низколетящих целей определяется корнем восьмой степени из произведения энергетических параметров радиолокатора.
3. Атмосфера и отражения от Земли могут как уменьшать, так и увеличивать дальность действия РЛС.

Литература:

Основная:

1. Л.1/о. с. 101-113

Дополнительная:

1. Теоретические основы радиолокации. Под редакцией Ширмана Я.Д. Учебное пособие для вузов. М., изд-во «Советское радио».1970, 235-240, 252-265.
2. Сайт кафедры в ЛВС. Электронный адрес <http://kaf17.ru/>