**Параметры, определяющие зону обнаружения вторичных моноимпульсных обзорных радиолокаторов**

В отличие от первичных радиолокаторов при вторичной радиолокации дальность действия определяется системой уравнений

 (1)

В этих уравнениях:

*R*3 – дальность действия вторичной РЛС по запросу;

*R*0 – дальность действия вторичной РЛС по ответу;

*P*3 – импульсная мощность запросчика;

*Р*0 – импульсная мощность ответчика;

*G*3 – коэффициент усиления антенны запросчика;

*G*0 – коэффициент усиления антенны ответчика;

*P*пр.min.3 – чувствительность приемника запросчика;

*P*пр.min.0 – чувствительность приемника ответчика;

*S*А0 – эффективная площадь антенны ответчика;

*S*А3 – эффективная площадь антенны запросчика;

*L*∑3 – суммарные потери мощности по запросу;

*L*∑0 – суммарные потери мощности по ответу;

Учитывая, что

,

система уравнений (1) может быть приведена к более удобному виду

, (2)

где λ3 – длина волны при работе системы по запросу; λ0 – длина волны при работе системы по ответу.

С энергетической точки зрения система вторичной радиолокации будет считаться оптимальной, если *R*3 = *R*0,

.

Учитывая, что и , получаем для оптимальной системы

.

Так как вторичная РЛС содержит в своем составе и наземное, и бортовое оборудование, и обе эти части взаимосвязаны, государственные стандарты и рекомендации ICAO и Евроконтроля устанавливают нормы не только на тактические, но и на технические параметры вторичных радиолокаторов и ответчиков.

Для уменьшения уровня внутрисистемных помех государственными стандартом и международными нормами рекомендуется выбирать эффективную излучаемую мощность запросчика, т.е. произведение , такой, чтобы она не превышала минимум, необходимый для обеспечения требуемой зоны обзора.

Для предотвращения излишних запусков ответчиков и уменьшения числа несинхронных ответов во вторичных ОРЛ должна быть предусмотрена возможность оперативного уменьшения эффективной излучаемой импульсной мощности.

Для запросчиков, работающих в селективных режимах, эффективная излучаемая мощность не должна превышать 58,5 дБ/Вт при углах места, превышающих минус , ограничивая мощность излучения до 52,5 дБ/Вт ниже радиогоризонта. Чувствительность приёмника ОРЛ при отношении сигнал/шум 0 дБ должна быть не хуже минус 122 дБ/Вт (6,31∙10-13 Вт).

Мощность передатчика в импульсе самолётного ответчика должна быть не менее 300 и не более 800 Вт. Документ ICAO и государственный стандарт для ответчиков, работающих в селективных режимах, дают более корректную рекомендацию по этому поводу: пиковая выходная мощность каждого импульса ответа, измеренная на клеммах антенны, т.е. за вычетом всех потерь в фидерном тракте, должна лежать в пределах 21...27 дБ/Вт (126...501 Вт).

На высотах до 4570 м при тех же условиях разрешается иметь пиковую мощность в пределах 18,5...27 дБ/Вт (71...501 Вт).

Чувствительность приёмника ответчика по 90%-ному срабатыванию согласно должна составлять минус (104±4) дБ/Вт, т.е. лежать в пределах 1,58⋅10-11...10-10 Вт.

Для вторичных каналов, работающих на частотах 835, 837,5 и 840 МГц она должна быть равна минус 66±2 дБ/Вт, т.е. лежать в пределах 0,25⋅10-6...0,4⋅10-6 Вт.

Для ответчиков, работающих в селективных режимах, чувствительность ответчика принято ставить в зависимость от заданного процента ответов. При этом учитываются только правильные ответы, содержащие данные, соответствующие типу запроса.

Для запросов в режимах RBS и УBД, запросов общего вызова и запросов режима S минимальный пороговый уровень для приёмников селективных ответчиков должен определяться в зависимости от минимального входного уровня мощности, обеспечивающего 90%-ную вероятность ответа, и должен составлять минус (1043) дБ/Вт, т.е. лежать в приделах 2·10-11 до 7,94·10-11Вт. Чувствительность приёмников, также как и выходную мощность передатчика ответчика, измеряют при этом на выходных (входных) клеммах антенны.

Для современных моноимпульсных вторичных РЛС и ответчиков характерны следующие значения параметров, определяющих их максимальную дальность действия:

– импульсная мощность передатчика запросчика *P*3 лежит в пределах 1,6...5,4 кВт с возможностью ступенчатого оперативного уменьшения на 3, 6 и 12 дБ ;

– импульсная мощность передатчика самолётного ответчика *P*0 в большинстве случаев лежит в пределах 126...500 Вт;

– чувствительность приёмников запросчиков *P*np.min3 ориентировочно равна минус 110...120 дБ/Вт, соответствующие значения коэффициента шума *К*ш равны 9...5 дБ;

– чувствительность приёмников ответчиков *Рп*р.min.о равна минус 100...104 дБ/Вт с возможностью оперативного ухудшения при перегрузке ответчика излишне частыми запросами;

– коэффициент усиления антенны запросчика *G*3 равен 27...29 дБ;

– коэффициент усиления антенны ответчика *G*0 равен приблизительно 0 дБ;

– общий коэффициент потерь мощности в фидерном тракте запросчика *L*ф.3 ориентировочно равен 4,5 дБ;

– общий коэффициент потерь мощности в фидерном тракте ответчика *L*ф.d ориентировочно равен 3 дБ;

– максимальная дальность действия вторичных моноимпульсных РЛС по запросу и ответу *R*max.з и *P*max.0 обычно лежит в пределах 400...500 км для ВС, находящихся на высоте 12000 м;

– инструментальная дальность действия *R*max.инстр., определяемая в первую очередь параметрами аппаратуры обработки принимаемой информации, устанавливается обычно на уровне 256 морских миль (470 км).

Такой параметр, как максимальная дальность действия вторичной РЛС, даёт лишь ориентировочные представления о информационных возможностях радиолокатора.

Более полные сведения в этом плане дает такая характеристика радиолокатора, как его зона обнаружения, т. е. пространство, в пределах которого радиолокатор обнаруживает цели с вероятностными характеристиками, не хуже заданных.

Применительно к вторичной радиолокации понятие о зоне обнаружения несколько видоизменяется. В ней вместо эффективной отражающей площади цели вводятся параметры ответчика, определяется зона обнаружения не только по запросу, но и по ответу.

Кроме зоны обнаружения по координатной информации определяется также зона приёма дополнительной полётной информации с заданной вероятностью правильного воспроизведения передаваемой информации в условиях определённой помеховой обстановки.

В качестве основы для определения зоны обнаружения вторичной РЛС обычно принимается расчёт мощности, поступающей на вход приёмника ответчика *Р*пр.0 при запросе или на вход приёмника запросчика *Р*пр.3 при ответе в функции расстояния между радиолокатором и ВС *R* и угла места θ°, под которым находится ВС:

при запросе ;

при ответе .

Затем находят превышение *М* принимаемой мощности над чувствительностью соответствующего приёмника Pnp. min.0 и *P*np. min.3:

по запросу ;

по ответу .

Последней операцией является назначение пороговых значений *М*3пор. и М0пор., при которыхобеспечиваются необходимые вероятности обнаружение целей и правильного декодирования кодов дополнительной информации ответных сигналов.

Одновременно производится определение соответствующих предельных значений максимальной дальности действия *R*max 3 и *R*max.0 и построение зон обнаружения по запросу и ответу в координатах дальность R, высота *Н* с указанием углов места θ.

Расчёт принимаемой мощности производится в соответствии с уравнениями (3), претерпевшими незначительные изменения по сравнению с уравнениями (2):

. (3)

В этих выражениях

; ,

где *С* – скорость распространения света; *f*3 = 1030 МГц; *f*0=1090 МГц;

где *L*зат (*R*) – потери мощности из-за затухания радиоволн в атмосфере в функции расстояния *R*;

*L*pаc. (*R*) – потери мощности из-за рассеивания радиоволн в атмосфере в функции расстояния;

*L*ф3 – потери мощности в фидерном тракте запросчика;

*L*ф0 – потери мощности в фидерном тракте ответчика;

*L*∆G (θ) – потери мощности, связанные с уменьшением коэффициента усиления антенны запросчика в зависимости от угла места по сравнению с максимальным коэффициентом усиления *G*3 антенны.

При этом предполагается, что коэффициент усиления антенны ответчика в реальных условиях не зависит от угла места.

Для удобства расчётов уравнения (3) обычно записываются в логарифмической форме и все значения величин, входящих в эти уравнения, подставляют в децибелах. Линейные величины *R* и λ берут в одинаковых единицах, например, в [км]. Тогда

Соответствующие превышения *М* будут записаны в этом случае следующим образом:

;

.

В качестве реального примера на рис. 2 показаны результаты расчёта превышения мощности, принимаемой самолётным ответчиком (кривые *1* и *3*), и мощности, принимаемой запросчиком (кривые *2* и *4*), над уровнем мощности, соответствующим чувствительности приёмника ответчика и чувствительности приёмника запросчика.

*М*, дБ

16

8

0

*R*, км

100

300

200

Рис.2. Превышение принимаемой мощности над чувствительностью приёмников ответчиков (кривые *1* и *3*) и запросчиков (кривые *2* и *4*):

*1* и *2* – Δθ = 0˚; *3* и *4* – Δθ = -7˚

400

*2*

*1*

*3*

*4*

Порог1

Порог2

Кривые *1* и *2* относятся к случаю, когда коэффициент усиления антенны запросчика равен максимальному значению 27 дБ [*L*∆G(θ) = 0 дБ].

Для кривых *3* и *4* – угол θ отличается от угла места, соответствующего максимуму ДНА в вертикальной плоскости, на –7°. Изменение коэффициента усиления антенны запросчика в этом случае будет равно –6 дБ [*L*∆G(-7о) = -6 дБ].

В качестве исходных данных при этом принимались следующие наиболее характерные для моноимпульсных вторичных радиолокаторов и ответчиков значения:

*Р*3 = 4 кВт (36 дБ/Вт);

*Р*0 = 300 Вт (24,8 дБ/Вт);

*G*3 = 500 (27 дБ);

*G*0 = 1 (0 дБ);

λ3 = 29,126.10-5 км (-35,36 дБ);

λ0 = 27,5210-5 км (-35,6 дБ/км);

*L*ф.3 =2,82 (4,5 дБ);

*L*ф.о = 2 (3 дБ);

*Р*пр.min.0 = 10-10 Вт (-100 дБ/Вт);

*Р*пр.min.3 = 1,26.10-11 Вт (-109 дБ/Вт).

Значения потерь, связанных с затуханием *L*зат(*R*) и рассеянием *L*рас (*R*) радиоволн в атмосфере в функции расстояния между РЛС и ВС, представлены на рис. 3.

*L*, дБ

1,2

0,8

0

*R*, км

100

300

200

Рис.3 Потери мощности сигналов за счёт рассеивания радиоволн в атмосфере (*1*), за счёт поглощения в атмосфере (*2*) и суммарные потери (*3*)

400

*2*

*1*

*3*

Потери мощности из-за уменьшения дифференциального коэффициента усиления запросной антенны при отклонении угла места Δθ от его значения, при котором коэффициент усиления имеет максимум, можно определить по ДН суммарного луча антенны в вертикальной плоскости, показанной на рис.4.

Представленная на рисунке ДН принадлежит антенне CSL-M моноимпульсного вторичного радиолокатора IRS-20MP/L фирмы *Indra*. Диаграмма является типичной для большинства антенн современных моноимпульсных вторичных РЛС.

Представленные на рис.2. графики относятся к случаям, когда угол места θ соответствует максимальному коэффициенту усиления суммарного лепестка ДН запросной антенны (кривые *1* и *3*), а отклонение угла места Δθ от этого значения составляет –70.

Аналогичным образом, используя данные, представленные на рис.4, можно построить семейство таких же кривых превышения *М* для любых значений Δθ.

Далее, задаваясь определёнными пороговыми значениями превышения (на рис. 2. это – 8 и 10 дБ), по точкам пересечения кривых превышения, построенных для различных углов Δθ, с линиями порогов можно построить зоны обнаружения вторичной РЛС по запросу и ответу.

*G(θ)*, дБ

-10

-20

-10

*θ*˚

0

20

10

Рис.4. ДН суммарного луча моноимпульсной антенны CLS-M в вертикальной плоскости

30

В качестве реального примера на рис. 5 показаны две такие зоны обнаружения по запросу, построенные для случаев, когда превышение принимаемых ответчиком сигналов над мощностью, соответствующей чувствительности приемника ответчика, составляет 8 дБ (кривая *1*) и 10 дБ (кривая *2*).

При этом предполагалось, что максимум вертикальной ДНА направлен под углом +70 относительно линии горизонта, а все остальные параметры вторичной РЛС соответствуют данным, использованным при построении графиков, представленных на рис.2.

*Н*, км

40

20

0

*R*, км

100

300

200

Рис.5. Зоны обнаружения моноимпульсного вторичного радиолокатора по запросу: *1 – М* = 8 дБ; *2 – М* = 10 дБ

400

*2*

*1*

Угол места 40°30° 25° 20° 14° 11° 8°

7°

5°

4°

3°

2°

1°

Аналогичным образом могут быть построены и зоны обнаружения вторичной системы по ответу.

Выбор порогов для кривых превышения зависит от требований, предъявляемых к вероятности правильного обнаружения цели и вероятности правильного декодирования принимаемой дополнительной информации. Очевидно, чем выше эти пороги, тем больше будут указанные вероятности, но тем меньше будут соответствующие зоны обнаружения.