# 9 задач РЛС

## Задача 2

Амплитуда отражённого целью сигнала флуктуирует, подчиняясь релеевскому закону распределения. ЭПР с вероятностью 0.7 не превышает величины S. Какую величину ЭПР превышает с вероятностью 0.1?

## Решение

В литературе [1] показано, что для сигнала, отраженного от цели, амплитуда которого имеет распределение в виде закона Релея, эффективная поверхность рассеяния (ЭПР) цели имеет плотность вероятности в виде экспоненциального распределения:

 (2.1))

где  - ЭПР, случайная величина;

 - дисперсия случайной величины .

Вероятность того, что случайная величина  не превышает значение , определяется выражением:

 (2.2)

По условию вероятность . Отсюда находим дисперсию  случайной величины . Она определится, если приравнять выражение (2.2): 

тогда

 (2.3)

Теперь найдем, какую величину ЭПР превышает с вероятностью 0,1. Запишем выражение для заданной вероятности:

 (2.4)

Подставим в (2.4) значение дисперсии из (2.3),:  отсюда получим значение, которое ЭПР превышает с вероятностью 0,1:

 (2.5)

## Ответ

Для заданных условий ЭПР с вероятностью 0,1 превышает величину, равную .

## Задача 4

Определить площадь элемента разрешения на поверхности земли для самолётной РЛС с ДНА, направленной вертикально вниз.

## Решение

На рисунке 4.1 схематично показано сечение в вертикальной плоскости для геометрии задачи.



Рисунок 4.1. Геометрия задачи а) - в вертикальной плоскости, б) - вид сверху

Обозначения на рисунке – самолет находится в точке С, на высоте Н над поверхностью земли, антенна РЛС имеет ширину ДН в вертикальной плоскости ,  - размер элемента разрешения в вертикальной плоскости,  - размер элемента разрешения в горизонтальной плоскости.

Из рисунка 4.1а видно, что размер элемента разрешения в вертикальной плоскости равен:

 (4.1)

По аналогии размер элемента разрешения в горизонтальной плоскости равен:

 (4.2)

где  - ширина ДНА в горизонтальной плоскости.

Площадь элемента разрешения на поверхности земли (рисунок 4.1б) для самолётной РЛС с ДНА, направленной вертикально вниз равна произведению размеров элемента разрешения:

 (4.3)

Из выражения (4.3) видно, что площадь элемента разрешения определяется шириной диаграммы направленности (ДН) антенны в вертикальной и горизонтальной плоскостях а также высотой самолета над поверхностью земли.

## Ответ:

Площадь элемента разрешения на поверхности земли  для самолётной РЛС с ДНА, направленной вертикально вниз равна:



## Задача 6

Дальность обнаружения некоторой воздушной цели составляет . При какой высоте полёта носителя РЛС  будет реализована эта дальность обнаружения, если цель летит на высоте =1 км?

## Решение

Дальность прямой видимости вблизи поверхности земли обуславливается кривизной Земли и состоянием атмосферы. Для стандартной атмосферы дальность прямой видимости  равна [2]:

 (6.1)

где  - высота носителя РЛС;

 - высота цели.

Все величины в формуле (6.1) выражаются в километрах.

Приняв  найдем высоту носителя РЛС. После простых преобразований получим:

 (6.2)

## Ответ

Требуемая дальность обнаружения для заданной цели будет реализована при высоте носителя РЛС, равной .

## Задача 9

Самолёт пролетает мимо РЛС на расстоянии R. Какова его скорость, если частота отражённого сигнала меняется со скоростью W, а длина волны РЛС равна L?

## Решение

Частота сигнала, отраженного от движущего самолета  равна:

 (9.1)

где  - частота излученного сигнала;

 - доплеровская частота, соответствующая радиальной скорости самолета.

Известно, что доплеровская частота (разность частот принятого и излученного сигналов) меняется со скоростью . Поскольку излучаемая частота  неизменна, то изменяется только доплеровская частота  и заданное условие можно записать:

 (9.2)

Проинтегрировав это выражение, получим значение для доплеровской частоты:

 (9.3)

где  - некоторое начальное значение доплеровской частоты;

 - текущее время.

Зная доплеровскую частоту , можно определить радиальную скорость самолета  [2]:

 (9.4)

Из выражения (9.4) видно, что движение самолета равноускоренное. Радиальная составляющая скорости самолета содержит некоторую начальную скорость  и составляющую, соответствующую движению с ускорением, радиальная составляющая которого равна:

 (9.5)

## Ответ

Радиальная составляющая скорости самолета для заданных условий равна:  и соответствует равноускоренному движению с ускорением, радиальная составляющая этого ускорения равна: .

## Задача 10

Как изменится дальность обнаружения цели, если вдвое увеличить ширину луча сканирующей антенны, а также период следования излучаемых импульсов?

## Решение

Максимальная дальность действия РЛС  при заданных вероятностях правильного обнаружения и ложной тревоги определяется выражением [1]:

 (10.1)

 - мощность передатчика РЛС;

 - длительность зондирующего импульса;

 - эффективная площадь передающей и приемной антенн;

 - эффективная поверхность рассеяния цели;

 - коэффициент шума приемника РЛС;

 - постоянная Больцмана;

 - температура приемника в градусах Кельвина;

- длина волны РЛС;

 - коэффициент различимости – это необходимое превышение мощности сигнала  над собственными шумами приемника .

По условию задачи все параметры РЛС остались неизменными, изменились только параметры антенны. Увеличилась ширина диаграммы направленности (ДН) - в 2 раза. Предположим, что ДН стала шире в горизонтальной плоскости. Ширина ДН по уровню половинной мощности в азимутальной плоскости  определяется из выражения [1]:

 (10.2)

где  - размер антенны в горизонтальной плоскости

Длина волны РЛС осталась неизменной, а ДН стала шире в 2 раза. Следовательно, новая антенна имеет размер в горизонтальной плоскости меньше в 2 раза

 (10.3)

Площадь антенны, которая входит в формулу (1.1), пропорциональна произведению размеров антенны в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

 (10.4)

где  - некоторый коэффициент.

Размеры антенны в вертикальной плоскости  не изменились.

Площадь новой антенны равна:

 (10.5)

т. е. площадь новой антенны в 2 раза меньше площади старой антенны.

После подстановки нового значения площади антенны в выражение (1.1) получим значение максимальную дальность действия РЛС с новой антенной:

 (10.6)

При расширении ДН в два раза максимальная дальность действия РЛС уменьшится в 1,41 (в корень из двух) раза.

Увеличение периода следования излучаемых импульсов  не влияет на дальность обнаружения цели. Величина  определяет максимальную однозначно определяемую дальность  [1]:

 (10.7)

Из выражения (10.7) видно, что при увеличении периода следования излучаемых импульсов  в два раза, максимально однозначно определяемая дальность  также увеличивается в два раза.

## Ответ

1. При расширении ДН в два раза максимальная дальность действия РЛС уменьшится в 1,41 раза.

2. При увеличении периода следования излучаемых импульсов в два раза, максимально однозначно определяемая дальность также увеличивается в два раза.

## Задача 12

Для релеевского распределения амплитуды отражённого сигнала найти её значения, соответствующие максимуму распределения и точке перегиба его кривой.

## Решение

Простой (необобщенный) закон Релея, которому подчиняется распределение амплитуд отраженного сигнала, записывается выражением [1]:

 (12.1)

где  - случайные значения амплитуд отраженного сигнала;

 - дисперсия случайных значений амплитуд отраженного сигнала.

График закона Релея для дисперсии, равной , приведен на рисунке 12.1.



Рисунок 12.1. Закон Релея

По оси абсцисс отложены значения амплитуд , нормированные на среднеквадратическое значение, равное корню квадратному из дисперсии.

По оси ординат отложены значения плотности вероятностей нормированных амплитуд.

Значение амплитуды, соответствующей максимуму плотности находим, приравняв первую производную функции (12.1) нулю:

 (12.2)

Отсюда получим значение амплитуды, при котором плотность вероятностей максимальна. Это значение равно:

 (12.3)

Это значение показано на рисунке 12.1. Следует отметить, что максимальная плотность вероятностей равна:.

Значение амплитуды, соответствующей точке перегиба функции (12.1) находим, приравняв вторую производную функции (12.1) нулю:

 (12.4)

Отсюда получим значение амплитуды, при котором плотность вероятностей имеет перегиб. Это значение равно:

 (12.5)

Это значение показано на рисунке 12.1. Следует отметить, что плотность вероятностей при этом значении равна:.

## Ответ

1. Амплитуда отражённого сигнала, соответствующая максимуму распределения равна значению среднеквадратического отклонения .

2. Амплитуда отражённого сигнала, соответствующая перегибу функции распределения равна значению .

## Задача 16

Амплитуда отражённого целью сигнала флуктуирует, подчиняясь релеевскому закону распределения. Какое значение ЭПР превышается и не превышается с одинаковой вероятностью?

## Решение

В литературе [1] показано, что для сигнала, отраженного от цели, амплитуда которого имеет распределение в виде закона Релея, эффективная поверхность рассеяния (ЭПР) цели имеет плотность вероятности в виде экспоненциального распределения:

 (16.1))

где  - ЭПР, случайная величина;

 - дисперсия случайной величины .

Искомое значение ЭПР обозначим буквой . Такое значение ЭПР, для которое превышается и не превышается с одинаковой вероятностью называется срединным значением ЭПР [1].

Вероятность того, что случайная величина  не превышает искомое значение ЭПР  с заданной вероятностью определяется выражением:

 (16.2)

Вероятность того, что случайная величина  превышает искомое значение ЭПР  с заданной вероятностью определяется выражением:

 (16.3)

По условию задачи эти вероятности равны:

  (16.4)

Из этого равенства получим:

   (16.5)

Из выражения (16.5) видно для заданных условий срединное значение ЭПР равно: , где  - дисперсия случайной величины ЭПР.

## Ответ

Для заданных условий значение ЭПР, равное , где  - дисперсия случайной величины ЭПР, которое превышается и не превышается с одинаковой вероятностью

## Задача 11

Система компенсации скорости носителя самолетной РЛС перестраивает излучаемую частоту в процессе азимутального обзора. Определить скорость перестройки при азимутальном положении антенны , если скорость самолета =600 км/ч, длина волны =30 см, а период кругового обзора .

## Решение

### (описание такого компенсатора я не нашел, поэтому решение основано на моих предположениях)

Сигнал, отраженный от земной поверхности, на входе приемника самолетной РЛС будет иметь частоту , равную:

 (11.1)

где  - излучаемая частота;

 - добавка, обусловленная движением самолета (доплеровская частота).

Эта добавка равна [3]:

 (11.2)

 - радиальная составляющая скорости самолета ;

 - угол в вертикальной плоскости, под которым ДН направлена на поверхность (угол места);

 - азимутальный угол.

Все величины в выражении (11.2) постоянны, кроме азимутального угла, который меняется, т.к. осуществляется обзор по азимуту. Исходя их этого, можно записать:

 (11.3)

где  - максимальная доплеровская частота;

 - азимутальный угол, который является функцией времени;

 - текущее время, при  ДН направлена вперед, по курсу самолета.

В этот момент времени система компенсации должна уменьшать излучаемую частоту, поэтому добавка частоты должна быть отрицательная:

 (11.4)

Выражение (11.4) описывает закон изменения доплеровской частоты сигнала, отраженного от земной поверхности на входе приемника самолетной РЛС. Система компенсации должна компенсировать этот доплеровский сдвиг частоты путем изменения излучаемой частоты. Следовательно, по такому закону должна изменяться излучаемая частота. Скорость ее изменения можно определить, найдя первую производную выражения (11.4). Производная равна:

 (11.5)

Требуется найти скорость перестройки частоты при . Подставим это значение в (11.5), получим:

 (11.6)

Задана скорость самолета , что соответствует доплеровской частоте . Частота , это следует из выражения (11.3). Угол  не задан. Если задать угол , то получим:



И скорость изменения частоты будет равна:



## Ответ

Скорость перестройки частоты при  равна:



При  она составляет величину:



## Задача 14

Какова вероятность обнаружения пачки из трёх импульсов критерийным обнаружителем с критерием “2 из 3”, если вероятность обнаружения одного импульса равна 0.7?

## Решение (мои догадки)

Насколько я понимаю критерий обнаружения “2 из 3” реализуется следующим образом: из элемента разрешения принимается пачка, соответствующая длительности трех отраженных импульсов, отстоящих друг от друга на период повторения. И если за это время происходит обнаружение хотя бы двух импульсов, то принимается решение о наличии цели в этом элементе разрешения.

Пусть событие А – это обнаружение одного импульса, событие В – обнаружение второго импульса. Вероятность события А – р(А)=0,7. Вероятность события В – р(В)=0,7.

События, состоящие в обнаружении импульса – это независимые события потому, что вероятность обнаружения одного импульса не зависит от обнаружения другого импульса.

А вероятность того, что произойдет два события (будет обнаружено 2 импульса) равна произведению вероятностей одиночных событий:

 (14.1)

## Ответ

Вероятность обнаружения пачки из трёх импульсов критерийным обнаружителем с критерием “2 из 3” равна .

# Список литературы

|  |  |
| --- | --- |
|  | 1. Теоретические основы радиолокации. Под ред. Ширмана Я.Д., Москва: Советское радио, 1970, с. 560. |
|  | 2. Сборник задач по курсу "Радиолокационные системы"/под ред П.А. Бакулева и А.А. Сосновского, Москва: Радиотехника, 2007, с. 208. |
|  | 3. Васин В.В, Степанов Б.М. Справочник-задачник по радиолокации, Москва: Сов. радио, 1977, с. 320. |