# оценка эффективности устройств СДЦ РЛ С ОВНЦ по целевым показателям

Эффективность любой радиотехнической системы характеризует ее способность выполнять определенный комплекс задач в заданных условиях. Количественной мерой эффективности, позволяющей оценивать качество системы при работе в различных ситуациях, сравнивать системы между собой и т.д., являются показатели качества системы.

Обоснованный выбор показателей качества имеет очень важное значение при исследовании и проектировании радиотехнических систем. В общем случае выбираемый показатель качества должен:

* отражать основное назначение системы и соответствовать цели исследования;
* быть количественным, чтобы сравнение систем было обоснованным;
* быть критичным по отношению к параметрам, определяющим его значение;
* допускать достаточно простую физическую трактовку и, по возможности, просто определяться;
* быть достаточно устойчивым, т.е. иметь малый разброс относительно среднего значения.

Основной задачей, стоящей перед радиолокационными станциями (РЛС) с селекцией движущихся целей (СДЦ), как известно, является обнаружение целей, в том числе и на фоне пассивных помех, определение координат и параметров их движения, а также сопровождение целей. Поэтому при анализе РЛС с СДЦ основными являются целевые показатели эффективности, учитывающие вероятность правильного обнаружения цели и точность определения координат объектов при определенной помеховой обстановке.

В режиме обзора наибольшее распространение получили характеристики обнаружения или рабочие характеристики приемника (РХП) РЛС с СДЦ, представляющие собой графические зависимости вероятности правильного обнаружения цели от отношения мощностей сигналов цели и помех при заданных вероятностях ложных тревог.

РХП дают достаточно полную оценку технической эффективности РЛС с СДЦ. Недостатком их является сложность определения и недостаточная критичность по отношению к техническим параметрам, оценивающим качество работы основных узлов станций.

Рассмотрим методику оценки эффективности РЛС с СДЦ на основе сравнительного анализа вероятности правильного обнаружения с учетом влияния кривизны Земли и затухания радиоволн в пространстве в условиях пассивных помех.

В основу методики положен учет изменения отношения сигнал/помеха при применении противником пассивных помех и его увеличение после включения в схему обработки схем защиты от пассивных помех.

Алгоритм методики включает в себя:

1. Расчет вероятности правильного обнаружения в беспомеховой обстановке по методике [1];
2. Определение отношения сигнал/помеха в условиях пассивных помех на основе рассчитанного энергетического спектра мощности помехи;
3. Расчет отношения сигнал/помеха при включении в схему обработки системы СДЦ;
4. Расчет вероятности правильного обнаружения в условиях помех с применением схем защиты.

Расчет вероятности правильного обнаружения в беспомеховой обстановке производится с учетом близости и сферичности Земли в зоне свободного пространства, а также в интерференционной и дифракционной области по формуле с учетом затухания радиоволн при распространении по формуле (1)

,



(1)

где – количество импульсов в принятой пачке;



– отношение сигнал/помеха на входе приемника РЛС с учетом множителя ослабления и ;



– порог обнаружения сигналов с учетом заданной вероятности ложной тревоги .



Порог обнаружения находится решением трансцендентного уравнения (2) или по приближенной формуле (3).

,



(2)

.



(3)

Множители ослабления и вводятся для учета влияния интерференции и дифракции на распространение радиоволн и рассчитываются по формулам (4) и (13) соответственно.



,



(4)

где – модуль коэффициента отражения от поверхности Земли;



– значение диаграммы направленности антенны в направлении падающего луча;



– значение диаграммы направленности по мощности в вертикальной плоскости в направлении прямого луча;



– геометрическая разность хода прямого и отраженного лучей.



Угол между прямым лучом и осью диаграммы направленности антенны рассчитывается по формуле (5)

,



(5)

где – угол наклона антенны в вертикальной плоскости;



– угол места цели;



Угол места цели с учетом кривизны Земли находится из выражения (6)

,



(6)

где – высота цели над поверхностью Земли;



– высота антенны над поверхностью Земли;



– эквивалентный радиус Земли с учетом рефракции радиоволн в атмосфере;



– дальность до цели по поверхности Земли.



,



(7)

где – наклонная дальность до цели.



Для определения разности хода лучей необходимо знать расстояние от РЛС до точки отражения, получаемое из формулы (7)



.



(8)

Величина находится решением кубического уравнения (9)



,



(9)

где ;



.



Разность хода лучей определяется из формулы (10)

.



(10)

Угол скольжения находится из выражения (11)

.



(11)

Модуль коэффициента отражения от взволнованной морской поверхности рассчитывается из выражения (12)

,



(12)

где – средняя высота морской волны;



– длина волны импульса, излученного РЛС.



С увеличение наклонной дальности угол скольжения уменьшается и после достижения критического значения расчеты нужно производить с учетом влияния дифракции на распространение радиоволн.



,



(13)

где – значение множителя ослабления на дальности радиогоризонта;



– приведенная дальность до цели,



– приведенная дальность радиогоризонта;



– дальность радиогоризонта.



– множитель, учитывающий кривизну Земли.



Для сантиметровых и миллиметровых волн зависит только от высотного параметра , который определяется по формуле (14)



.



(14)

где и – приведенные высоты антенны и цели,



,



(15)

,



(16)

.



(17)

Зависимость от аппроксимируется отрезками



.



(18)

Расчет отношения сигнал/помеха при включении в схему обработки устройства СДЦ производится с учетом коэффициента подавления помехи системы защиты по формуле



,



(19)

где – отношение сигнал/помеха при наличии мешающих отражений без применения схем защиты.



Для цифрового фильтра расчет коэффициента подавления помехи сводится к расчету отношения (20) [2]



.



(20)

где – энергетический спектр помехи;



– амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) цифрового фильтра.



Энергетический спектр помехи от облака дипольных отражателей (ДО) можно найти через преобразование Фурье корреляционной функции помехи:

.



Корреляционная функция помехи рассчитывается как произведение корреляционных функций, учитывающих влияние отдельных факторов, оказывающих воздействие на облако ДО: [3]



(21)

где – интервал корреляции;



– корреляционная функция, учитывающая разлет элементарных отражателей в облаке;



– корреляционная функция, учитывающая вращение антенны РЛС;



– корреляционная функция, учитывающая движение носителя РЛС.



Причем:

,



(22)

где – длина волны сигнала РЛС;



– среднеквадратическое отклонение (СКО) разлета элементов в облаке.



,



(23)

где – радиальная скорость вращения антенны;



– ширина диаграммы направленности антенны на уровне 0,5;



– величина доплеровского сдвига.



,



(24)

,



(25)

где – угол между курсом носителя и направлением на объект наблюдения;



– скорость носителя РЛС.



В общем случае нормированная корреляционная функция, учитывающая разлет элементарных отражателей в облаке, вращение антенны и движение носителя РЛС, имеет график, представленный на рис. 1.

Нормированная корреляционная функция помехи

рис. 1



(26)

Отношение сигнал/помеха в условиях наличия мешающих отражений без применения схем защиты определяется как (27)



(27)

где – эффективная площадь рассеивания (ЭПР) цели;



– угол места цели;



– ширина диаграммы направленности антенны РЛС в вертикальной плоскости;



– множитель ослабления сигнала;



– ЭПР части помехи, попавшая в разрешенный объем РЛС;



– коэффициент усреднения;



– множитель ослабления помехи.



ЭПР части помехи, попавшая в разрешенный объем РЛС находится из формулы (29)

,



(29)

где – удельная ЭПР всего облака ДО;



– объем помехи, попадающей в разрешенный объем РЛС;



Удельная ЭПР облака ДО при не совпадении поляризации рассчитывается по формуле (30) или (31) – при совпадении поляризации.

,



(30)

,



(31)

где – объемна плотность облака ДО.



Объем помехи находится из выражения (32) с учетом ширины характеристики направленности антенны в вертикальной и горизонтальной плоскостях на уровне 0,5 ( и ) и дистанции до объекта .



,



(32)

где – длина помехи, попадающей в разрешенный объем РЛС;



– площадь помехи, попадающей в разрешенный объем РЛС.



Вследствие значительной протяженности облака ДО в вертикальной плоскости в структуре сигнала присутствует значительное количество интерференционных максимумов и минимумов. Поэтому для упрощения расчетов можно принять значение .



Коэффициент можно принять равным коэффициенту затухания сигнала при обработке в РЛС .



Коэффициент усреднения находится из формулы



,



(28)

где – интеграл вероятности.



Исходя из найденного значения отношения сигнал/помеха вероятность правильного обнаружения с учетом работы схем защиты находим по формуле (1), подставляя значение для соответствующих схем защиты.



На рис. 2 приведены графики зависимости вероятности правильного обнаружения, рассчитанные по предложенной методике, в зависимости от дальности с учетом влияния кривизны Земли и затухания радиоволн при распространении в атмосфере при условии нахождении сигнала от цели и помехи одном разрешаемом объёме, где – вероятность обнаружения целей в беспомеховой обстановке, – вероятность обнаружения целей в условиях помех при включении в схему обработки адаптивных цифровых устройств СДЦ, и – вероятности обнаружения целей в условиях помех при применении схем однократного и двукратного череспериодного вычитания соответственно.



Вероятность правильного обнаружения

рис. 2



Применение представленной методики возможно при проведении расчетов по определению эффективности различных устройств селекции движущихся целей в радиолокационных станциях и комплексах освещения надводной и воздушной обстановки, навигационных РЛС и позволяет сравнивать эффективность устройств различных типов как на этапах разработки проектирования, так и в период эксплуатации.

**Список использованных источников**

радиолокационная станция селекция движущихся целей

1. Гребцов Г.М. Эффективность обнаружения целей корабельными РЛС, ВМОЛУА, 1988.
2. Бакулев П.А. Радиолокация движущихся целей. М.: Сов. радио, 1964.
3. Бакулев П.А., Степин В.М. Методы и устройства СДЦ. М.: Сов. радио, 1986.