

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R М.1463-2
(02/2013)

Характеристики и критерии защиты для радаров, работающих в службе радиоопределения в полосе частот 1215–1400 МГц

Серия М
**Подвижная спутниковая служба, спутниковая
служба радиоопределения, любительская
спутниковая служба и относящиеся к ним
спутниковые службы**



Предисловие

Роль Сектора радиосвязи заключается в обеспечении рационального, справедливого, эффективного и экономичного использования радиочастотного спектра всеми службами радиосвязи, включая спутниковые службы, и проведении в неограниченном частотном диапазоне исследований, на основании которых принимаются Рекомендации.

Всемирные и региональные конференции радиосвязи и ассамблеи радиосвязи при поддержке исследовательских комиссий выполняют регламентарную и политическую функции Сектора радиосвязи.

Политика в области прав интеллектуальной собственности (ПИС)

Политика МСЭ-R в области ПИС излагается в общей патентной политике МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК, упоминаемой в Приложении 1 к Резолюции МСЭ-R 1. Формы, которые владельцам патентов следует использовать для представления патентных заявлений и деклараций о лицензировании, представлены по адресу: <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>, где также содержатся Руководящие принципы по выполнению общей патентной политики МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК и база данных патентной информации МСЭ-R.

Серии Рекомендаций МСЭ-R

(Представлены также в онлайн-форме по адресу: <http://www.itu.int/publ/R-REC/en>.)

Серия	Название
BO	Спутниковое радиовещание
BR	Запись для производства, архивирования и воспроизведения; пленки для телевидения
BS	Радиовещательная служба (звуковая)
BT	Радиовещательная служба (телевизионная)
F	Фиксированная служба
M	Подвижная спутниковая служба, спутниковая служба радиоопределения, любительская спутниковая служба и относящиеся к ним спутниковые службы
P	Распространение радиоволн
RA	Радиоастрономия
RS	Системы дистанционного зондирования
S	Фиксированная спутниковая служба
SA	Космические применения и метеорология
SF	Совместное использование частот и координация между системами фиксированной спутниковой службы и фиксированной службы
SM	Управление использованием спектра
SNG	Спутниковый сбор новостей
TF	Передача сигналов времени и эталонных частот
V	Словарь и связанные с ним вопросы

Примечание. – Настоящая Рекомендация МСЭ-R утверждена на английском языке в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции МСЭ-R 1.

Электронная публикация
Женева, 2014 г.

© ITU 2014

Все права сохранены. Ни одна из частей данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких бы то ни было средств без предварительного письменного разрешения МСЭ.

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R М.1463-2*

Характеристики и критерии защиты для радаров, работающих в службе радиоопределения в полосе частот 1215–1400 МГц

(2000-2007-2013)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации приводятся технические и эксплуатационные характеристики, а также критерии защиты радаров наземного базирования, работающих в полосе частот 1215–1400 МГц. Рекомендация включает репрезентативные характеристики передатчика, приемника и компонентов антенн этих радаров.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a)* что характеристики радаров, относящиеся к антеннам, распространению сигнала, определению цели и большой требующейся ширине полосы, в некоторых полосах частот являются оптимальными для выполнения своих функций;
- b)* что технические характеристики радаров, работающих в службе радиоопределения, определяются задачей системы и широко отличаются даже в рамках одной полосы частот;
- c)* что радионавигационная служба является службой безопасности, как это указано в п. 4.10 Регламента радиосвязи (РР), и создание ей вредных помех недопустимо;
- d)* что некоторые исследовательские комиссии по радиосвязи рассматривают потенциальную возможность введения новых типов систем (например, системы фиксированного беспроводного доступа и системы фиксированной и подвижной связи высокой плотности) или служб в полосах частот между 420 МГц и 34 ГГц, используемых радарными в службе радиоопределения;
- e)* что репрезентативные технические и эксплуатационные характеристики систем, работающих в полосах частот, распределенных службе радиоопределения, необходимы для определения технической осуществимости внедрения новых типов систем;
- f)* что требуются процедуры и методики анализа совместимости между радарными, работающими в службе радиоопределения, и системами других служб;
- g)* что полоса частот 1215–1400 МГц распределена радиолокационной службе на первичной основе;
- h)* что полоса частот 1300–1350 МГц распределена на первичной основе воздушной радионавигационной службе только для радаров наземного базирования и связанных с ними ретрансляторов на борту воздушных судов;
- j)* что во многих странах полоса частот 1215–1300 МГц дополнительно распределена на первичной основе радионавигационной службе;
- k)* что полоса частот 1215–1300 МГц распределена радионавигационной спутниковой службе (космос-Земля) на первичной основе;
- l)* что полоса частот 1215–1300 МГц распределена спутниковой службе исследования Земли (активной) и службе космических исследований (активной) на первичной основе;

* Настоящую Рекомендацию следует довести до сведения 7-й Исследовательской комиссии по радиосвязи и Международной организации гражданской авиации (ИКАО).

m) что полоса частот 1350–1400 МГц распределена службам фиксированной и подвижной связи на первичной основе в Районе 1 и что полоса частот 1215–1300 МГц также распределена службам фиксированной и подвижной связи на первичной основе в странах, перечисленных в п. 5.330 РР,

рекомендует,

1 чтобы технические и эксплуатационные характеристики радаров радиоопределения, описанные в Приложении, считались репрезентативными для радаров, работающих в полосе частот 1215–1400 МГц;

2 чтобы Рекомендация МСЭ-R М.1461 использовалась как руководство при анализе совместимости между радаром, работающим в службе радиоопределения, и системами в других службах;

3 чтобы в случае продолжающейся (неимпульсной) единичной или совокупной помехи мощность мешающего сигнала по отношению к уровню мощности шума приемника радара, отношение I/N , равное –6 дБ, использовалось в качестве требуемого уровня защиты для радаров радиоопределения;

4 чтобы в случае импульсной помехи критерии основывались на анализе каждого случая отдельно с учетом нежелательных характеристик импульсной последовательности и, насколько это возможно, обработки сигнала в приемнике радара.

Приложение

Технические и эксплуатационные характеристики радаров радиоопределения, работающих в полосе частот 1215–1400 МГц

1 Введение

Характеристики радаров радиоопределения, работающих во всем мире в полосе частот 1215–1400 МГц, представлены в таблице 1 и более подробно описываются в представленных ниже пунктах. Такие характеристики, в частности для радаров профилирования ветра, содержатся в пункте 4 настоящего Приложения.

2 Технические характеристики

Полоса частот 1215–1400 МГц используется многими различными типами радаров на фиксированной и транспортируемой платформах. Осуществляемые в этой полосе функции радиоопределения включают поиск, слежение и наблюдение на дальних расстояниях. Можно исходить из того, что рабочие частоты радаров равномерно распределены в полосе частот 1215–1400 МГц. Таблица 1 содержит технические характеристики репрезентативных радиолокационных и радионавигационных радаров, развернутых в полосе частот 1215–1400 МГц.

2.1 Передатчики

В радаров, работающих в полосе частот 1215–1400 МГц, используются различные виды модуляции, включая импульсы незатухающей волны (CW), частотно-модулированные импульсы (радиоимпульсы с линейной частотной модуляцией) и фазово-кодовые импульсы. Приборы магнетронного типа, электронные СВЧ приборы типа O и твердотельные выходные устройства используются на заключительных стадиях работы передатчиков. В новых радарных системах имеется тенденция использовать электронные СВЧ приборы типа O и твердотельные выходные устройства в связи с требованиями обработки доплеровского сигнала.

Кроме того, радары, в которых применяются твердотельные выходные устройства, отличаются более низкой максимальной выходной мощностью передатчика и более высокими коэффициентами заполнения импульсов, приближающимися к 50% в случае работы на одном канале (один канал может состоять из трех-четырех дискретных частот в ширине полосы 10 МГц). Также имеется тенденция использовать системы радаров с быстрой перестройкой частоты, которые могут устранить или уменьшить помеху.

Типичная ширина полосы РЧ излучения передатчиков радаров, работающих в полосе частот 1215–1400 МГц, колеблется от 0,5 до 2,5 МГц. Максимальная выходная мощность передатчиков варьируется от 45 кВт (76,5 дБм) для твердотельных передатчиков до 5 МВт (97 дБм) для высокомошных радаров, использующих клистроны.

2.2 Приемники

В радарных системах более нового поколения используется цифровая обработка сигналов после определения радиуса действия, азимута и доплеровской обработки. Как правило, обработка сигнала включает методы, которые используются для улучшения обнаружения необходимых целей и для воспроизводства символов цели на экране. Методы обработки сигнала, используемые для повышения качества изображения и опознавания необходимых целей, также обеспечивают некоторое подавление помехи с малым коэффициентом заполнения (менее чем 5%), несинхронно с полезным сигналом.

Кроме того, обработка сигналов радаров более нового поколения, использующих радиоимпульсы с линейной частотной модуляцией и импульсы с фазово-кодовой модуляцией, приводит к выигрышу при обработке для полезного сигнала и может также обеспечивать подавление нежелательных сигналов.

В некоторых более новых маломощных твердотельных передатчиках для улучшения возврата полезных сигналов используется обработка канального сигнала нескольких приемников с интенсивным коэффициентом заполнения. Некоторые радарные приемники способны определять РЧ каналы, имеющие низкий уровень нежелательных сигналов, и отдавать команду передатчику осуществлять передачу по этим РЧ каналам.

2.3 Антенны

На радарных, работающих в полосе частот 1215–1400 МГц, используются разнообразные типы антенн. Радары более нового поколения, в которых используются антенны типа отражателя, имеют много рупоров. Для передающих и приемных антенн используются двойные рупоры с целью лучшего обнаружения при мешающем отраженном от поверхности сигнале. Многорупорные отражательные антенны со стекловым лучом используются также для трехмерных радаров. Многорупорные антенны обеспечивают снижение уровня помех. Кроме того, в некоторых радарных в полосе частот 1215–1400 МГц используются антенные решетки с распределенной фазой. На таких антенных решетках устанавливаются передающие/приемные модули. Кроме того, радары, в которых используются фазовые антенные решетки, как правило, отличаются более низким уровнем боковых лепестков, чем антенны типа отражателей, и узким сканирующим лучом в вертикальной плоскости, или в них используются цифровые принципы формирования луча.

Поскольку радары в полосе частот 1215–1400 МГц осуществляют функции поиска, слежения и дальнего наблюдения, антенны сканируют 360° в горизонтальной плоскости. Используется горизонтальная, вертикальная и круговая поляризация.

2.3.1 Типовые диаграммы покрытия радарных антенн

Многие радары управления воздушным движением в полосе частот 1215–1400 МГц имеют косекансно-квадратичный тип диаграммы направленности антенны, большая часть энергии которой излучается в верхнем направлении от нескольких градусов над горизонтом до приблизительно 40°. Поскольку в различных радарных, работающих в полосе 1215–1400 МГц, может использоваться ряд разных антенн, в настоящей Рекомендации не делается попытки представить репрезентативные диаграммы направленности антенн для систем, представленных в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1

Характеристики систем радиоопределения, работающих в полосе 1215–1400 МГц

Параметр	Единицы	Система 1	Система 2	Система 3	Система 4	Система 5	Система 6	Система 7	Система 8
Максимальная мощность, подаваемая на антенну	дБм	97	80	76,5	80	73,9	96	93	78,8
Диапазон частот	МГц					1 215–1 400	1 280–1 350	1 215–1 350	1 240–1 350
Длительность импульса	мкс	2	8,8; 58,8 (Примечание 1)	0,4; 102,4; 409,6 (Примечание 2)	39 одна частота 26 и 13 две частоты (Примечание 3)	2 по 51,2 2 по 409,6	2	6	115,5; 17,5 (Примечание 4)
Частота повторения импульсов	имп/с	310–380 со сдвигом	291,5 или 312,5 средняя	200–272 большая дальность 400–554 малая дальность	774 средняя	240–748	279,88–370,2	279,88–370,2	319 средняя
Ширина полосы радиоимпульса с линейной ЧМ для импульсов с частотной модуляцией (линейной ЧМ)		Не применяется	770 кГц для ширины обоих импульсов	2,5 МГц для 102,4 мкс 625 кГц для 409,6 мкс	Не применяется	1,25 МГц	Не применяется	Не применяется	1,2 МГц
Ширина фазово-кодовой части импульса	мкс	Не применяется	Не применяется	Не применяется	1	Не применяется	Не применяется	Не применяется	Не применяется
Степень сжатия		Не применяется	68,3:1 и 45,2:1	256:1 для обоих импульсов		64:1 и 256:1	Не применяется	Не применяется	150:1 и 23:1
Ширина полосы РЧ излучения (3 дБ)	МГц	0,5	1,09	2,2; 2,3; 0,58	1	0,625 или 1,25	1,2	1,3	1,2
Выходное устройство		Клистрон	Транзистор	Транзистор	Усилитель магнетронного типа	Транзистор	Магнетрон/амплитрон	Клистрон	Транзистор
Тип антенны		Рупорный отражатель	Отражатель со стеквым лучом	Вращающаяся фазированная антенная решетка	Параболический цилиндр	Плоская антенная решетка с управлением углом места луча	47' × 23' (14,3 × 7 м) косекансно-квадратичная	45' × 19' (13,7 × 5,8 м) косекансно-квадратичная	Рупорный отражатель
Поляризация антенны		Горизонтальная, вертикальная, LHCP, RHCP	Вертикальная, круговая	Горизонтальная	Вертикальная	Горизонтальная	CP/LP	Линейная прямоугольная и CP	Вертикальная; RHCP

ТАБЛИЦА 1 (продолжение)

Параметр	Единицы	Система 1	Система 2	Система 3	Система 4	Система 5	Система 6	Система 7	Система 8
Максимальное усиление антенны	дБи	34,5, передача 33,5 прием	32,4–34,2, передача 31,7–38,9, прием	38,9, передача 38,2, прием	32,5	38,5	34	35	34,5
Ширина луча по углу места антенны	Градусы	3,6 профилировано до 44	3,63–5,61, передача 2,02–8,79, прием	1,3	4,5 профилировано до 40	2	3,75 (косекансно-квадратичная)	3,75 (косекансно-квадратичная)	3,7 профилировано до 44 (косекансно-квадратичная)
Ширина луча по азимуту антенны	Градусы	1,2	1,4	3,2	3,0	2,2	1,2	1,3	1,2
Характеристики развертки по горизонтали антенны	об./мин.	360° механическая при 5 об./мин.	360° механическая при 5 об./мин.	360° механическая при 6 об./мин. для большой дальности и 12 об./мин. для малой дальности	360° механическая при 6, 12 или 15 об./мин.	5	6	5	360° механическая при 5 об./мин.
Характеристики развертки по вертикали антенны	Градусы	Не применяется	От –7 до +30 при 12,8 или 13,7 мс	От –1 до +19 при 73,5 мс	Не применяется	От –6 до +20	От –4 до +20	От –4 до +20	Не применяется
Ширина полосы ПЧ приемника	кГц	780	690	4 400–6 400	1 200	1 250–625	720–880 (log) 1 080–1 320 (МТИ)	270–330 (20 серий log) 360–480 (20 серий МТИ) 540–660 (60 серий log) 720–880 (60 серий МТИ)	1 200
Коэффициент шума приемника	дБ	2	2	4,7	3,5	2,6	4,25	9	3,2

ТАБЛИЦА 1 (окончание)

Параметр	Единицы	Система 1	Система 2	Система 3	Система 4	Система 5	Система 6	Система 7	Система 8
Тип платформы		Фиксированная	Фиксированная	Транспортируемая	Транспортируемая	Фиксированная наземная	Фиксированная наземная	Фиксированная наземная	Фиксированная
Время работы системы	%	100	100	100	100	100	100	100	100

ЛНСП: С левосторонней круговой поляризацией.

РНСП: С правосторонней круговой поляризацией.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – У радара 44 пары РЧ каналов, при этом одна из 44 пар РЧ каналов выбирается для работы в нормальном режиме. Передаваемая форма сигнала состоит из импульса в 88,8 мкс на частоте f_1 , за которым следует импульс в 58,8 мкс на частоте f_2 . Разнесение между f_1 и f_2 составляет 82,854 МГц.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – У радара 20 РЧ каналов при приращении в 8,96 МГц. Группа передаваемых форм сигналов состоит из одного импульса Р0 в 0,4 мкс (не обязательно), за которым следует один импульс с линейной частотной модуляцией в 102,4 мкс (если не передается Р0 в 0,4 мкс) радиоимпульса с линейной ЧМ в 2,5 МГц, за которым может следовать от одного до четырех импульсов с линейной частотной модуляцией большой дальности в 409,6 мкс, каждый из которых является импульсом с линейной ЧМ в 625 кГц и передается по различным каналам с разнесением в 3,75 МГц. При нормальном режиме работы используется быстрая перестройка частоты, при которой отдельные частоты каждой группы передаваемых форм сигналов выбираются в псевдослучайном порядке из одного из возможных 20 ЧР каналов в полосе 1215–1400 МГц.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – У радара есть возможность работать на одной частоте или на двух частотах. Двухчастотные РЧ каналы разнесены на 60 МГц. При одноканальном режиме используется ширина импульса 39 мкс. При двухканальном режиме импульс в 26 мкс передается на частоте f , и за ним следует импульс в 13 мкс, передаваемый на частоте $f+60$ МГц.

ПРИМЕЧАНИЕ 4. – В этом радаре используются два основных канала, F1 и F2, каждый с двумя субимпульсами, один для обнаружения на средней дальности, а второй для обнаружения на большой дальности. Каналы настраиваются при приращении в 0,1 МГц при минимальном разнесении 26 МГц между F1 (ниже 1300 МГц) и F2 (выше 1300 МГц). Субимпульсы каналов разделены фиксированной величиной в 5,18 МГц. Последовательность импульсов следующая: импульс 115,5 мкс на F1 + 2,59 МГц, затем импульс 115,5 мкс на F2 + 2,59 МГц, затем импульс 17,5 мкс на F2 – 2,59 МГц, затем импульс 17,5 мкс на F1 – 2,59 МГц. Все четыре импульса передаются за один период следования импульсов.

3 Критерии защиты

Влияние модуляции типа незатухающей волны (CW) или шумоподобного типа на уменьшение чувствительности радаров радиоопределения от помех других служб связано с ее интенсивностью и может прогнозироваться. В любых азимутальных секторах, в которые поступает такая помеха, ее спектральная плотность мощности в пределах допустимого приближения может просто добавляться к спектральной плотности мощности теплового шума приемника радара. Если спектральную плотность мощности шума приемника радара при отсутствии помех обозначить как N_0 , а спектральную плотность мощности шумоподобной помехи как I_0 , то получаемая в результате эффективная спектральная плотность мощности шума становится просто $I_0 + N_0$. Увеличение примерно на 1 дБ составило бы существенное ухудшение, эквивалентное уменьшению дальности обнаружения примерно на 6%. Такое увеличение соответствует отношению $(I + N)/N$, равному 1,26, или отношению I/N , равному примерно –6 дБ. Это представляет совокупное воздействие различных источников помех, когда они есть; допустимое отношение I/N для какого-либо отдельного источника помех зависит от количества источников помех и их геометрии и должно оцениваться в ходе анализа того или иного конкретного сценария. Если помехи CW получены из большинства азимутальных направлений, то необходимо будет поддерживать более низкое отношение I/N .

В случае некоторых систем связи, в которых можно развернуть большое количество станций, фактор агрегирования может быть весьма существенным.

Влияние импульсной помехи определить более сложно, и оно сильно зависит от конструкции и режима работы приемника/процессора. В частности, дифференцированный выигрыш при обработке для сигнала, отраженного от важной цели, который синхронно работает в импульсном режиме, и для импульсов помехи, которые обычно несинхронные, часто оказывает значительное влияние на воздействие заданных уровней импульсной помехи. Подобным уменьшением чувствительности могут быть вызваны несколько различных форм ухудшения работы. Оценка этого будет являться целью для анализа взаимодействия между конкретными типами радаров. В целом можно предположить, что многочисленные свойства радаров радиоопределения помогут подавить импульсные помехи с малым коэффициентом заполнения, в особенности от немногих изолированных источников. Методы для подавления импульсной помехи с малым коэффициентом заполнения содержатся в Рекомендации МСЭ-R М.1372.

4 Радары профилирования ветра

Радар профилирования ветра – это доплеровский радар для измерения ветра с земли с использованием эхо радара от турбулентности при ясном небе. Турбулентность при ясном небе приводит к колебанию индекса рефракции, для которого масштабным параметром является половина длины волны радара (дифракция Брэгга). В радаре профилирования ветра используется ряд направленных в небо лучей антенны. На основе доплеровского сдвига вдоль направления луча антенны можно измерить скорость ветра вдоль луча радара. Исходя из предположения о горизонтальной однородности поля ветра, можно измерить три составляющих вектора ветра с помощью результатов не менее трех наблюдений луча. Наблюдаемый диапазон высот радаров зависит от передаваемой мощности, размера антенны и частоты радара, а также от размаха колебаний коэффициента преломления атмосферы.

В настоящее время для радаров профилирования ветра используется несколько частот, включая 50 МГц, 400 МГц, 900 МГц и 1300 МГц. Имеются преимущества и недостатки, связанные с использованием каждой из этих частот. Как правило, системы, работающие на частотах около 400 МГц с большими апертурами антенны, используются для наблюдения ветра в верхних слоях тропосферы или нижних слоях стратосферы. В отличие от этого системы, работающие на частотах около 900 МГц или выше, могут обеспечить измерение на высоте только до нескольких километров. Однако преимущество систем, работающих на более высокой частоте, состоит в компактном размере антенны и более короткой зоне "отсутствия приема", что означает, что эти системы подходят для измерения ветра в пограничных слоях и недорогой реализации. В таблице 2 содержатся характеристики радаров профилирования ветра, в частности работающих в диапазоне частот 1300–1375 МГц. В Рекомендации МСЭ-R М.1227 содержится дополнительная информация и характеристики для радаров профилирования ветра, включая радары, работающие на частотах около 1000 МГц.

ТАБЛИЦА 2

Характеристики радаров профилирования ветра, работающих в полосе частот 1300–1375 МГц

Параметр	Единицы	Значение
Максимальная мощность, подаваемая на антенну		1 кВт (60 дБм)
Длительность импульса	мкс	0,5, 1, 2
Частота повторения импульсов	кГц	1–25
Ширина полосы РЧ излучения	МГц	8
Выходное устройство передатчика		Транзистор
Тип антенны		Параболический отражатель
Поляризация антенны		Горизонтальная
Максимальное усиление антенны	дБи	33,5
Ширина луча по углу места антенны	Градусы	3,9
Ширина луча по азимуту антенны	Градусы	3,9
Развертка по горизонтали антенны		Не применяется
Развертка по вертикали антенны		От -15° до $+15^\circ$ (приблизительно 15 с)
Ширина полосы ПЧ приемника	МГц	2,5
Коэффициент шума приемника	дБ	1,5
Тип платформы		Фиксированное местоположение
Время работы системы	%	100