

## РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R М.1463-1\*

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

(Вопрос МСЭ-R 226/8)

(2000-2007)

**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;
- c) что радионавигационная служба является службой безопасности, как это указано в п. 4.10 Регламента радиосвязи (PP), 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, 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 1, 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 радарными, работающими в службе радиоопределения, и системами в других службах;

3 чтобы в случае продолжающейся (неимпульсной) 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 и чтобы этот уровень представлял собой чистый уровень защиты в случае наличия множественных помех;

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 1

### 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 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 1215–1400 МГц. Таблица 1 содержит технические характеристики репрезентативных радиолокационных и радионавигационных радаров, развернутых в полосе 1215–1400 МГц.

##### 2.1 Передатчики

В радарных системах, работающих в полосе 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 О и твердотельные выходные устройства используются на заключительных стадиях работы передатчиков. В новых радарных системах имеется тенденция использовать электронные СВЧ приборы типа О 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 устранят или уменьшат 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 радарях, работающих в полосе 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 стеквым лучом используются также для трехмерных радаров. Многорупорные антенны обеспечивают снижение уровня помех. Кроме того, в некоторых радарях в полосе 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 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 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 радарях, работающих в полосе 1215–1400 МГц, может использоваться ряд разных антенн, в настоящей Рекомендации не делается попытка представить репрезентативные диаграммы направленности антенн для систем, представленных в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1

## Характеристики систем радиоопределения, работающих в полосе 1215–1400 МГц

Параметр	Система 1	Система 2	Система 3	Система 4	Система 5	Система 6	Система 7
Максимальная мощность, подаваемая на антенну (дБм)	97	80	76,5	80	73,9	96	93
Диапазон частот (МГц)					1215–1400	1280–1350	1215–1350
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)	два по 51,2 два по 409,6	2	6
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
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
Ширина фазово-кодовой части импульса (мкс)	Не применяется	Не применяется	Не применяется	1	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
Ширина полосы РЧ излучения (3 дБ) (МГц)	0,5	1,09	2,2; 2,3; 0,58	1	0,625 от 1,25	1,2	1,3
Выходное устройство	Клистрон	Транзистор	Транзистор	Усилитель магнетронного типа	Транзистор	Магнетрон/амплитрон	Клистрон
Тип антенны	Рупорный отражатель	Отражатель со стековым 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
Поляризация антенны	Горизонтальная, вертикальная, ЛНСП, РНСП	Вертикальная, круговая	Горизонтальная	Вертикальная	Горизонтальная	СР/LP	Линейная прямоугольная и СР
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
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)
Ширина луча по азимуту антенны (градусы)	1,2	1,4	3,2	3,0	2,2	1,2	1,3

ТАБЛИЦА 1 (окончание)

Параметр	Система 1	Система 2	Система 3	Система 4	Система 5	Система 6	Система 7
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
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
Ширина полосы ПЧ приемника	780 кГц	0,69 МГц	4,4–6,4 МГц	1,2 МГц	1,25 МГц 625 кГц	720–880 кГц (log) 1080–1320 кГц (МТИ)	270–330 кГц (20 серий log) 360–480 кГц (20 серий МТИ) 540–660 кГц (60 серий log) 720–880 кГц (60 серий МТИ)
Коэффициент шума приемника (дБ)	2	2	4,7	3,5	2,6	4,25	9
Тип платформы	Фиксированная	Фиксированная	Транспортируемая	Транспортируемая	Фиксированная наземная	Фиксированная наземная	Фиксированная наземная
Время работы системы (%)	100	100	100	100	100	100	100

ЛНСР: 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 двухчастотном режиме импульс в 26 мкс передается на частоте  $f$ , и за ним следует импульс в 13 мкс, передаваемый на частоте  $f + 60$  МГц.

### 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 – Эффективное использование радиоспектра радиолокационными станциями в службе радиоопределения.

### 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 1300–1375 МГц

Параметр	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 $-15^\circ$ 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