

# МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

**Рекомендация МСЭ-R М.2008-1**  
(02/2014)

## **Характеристики и критерии защиты для радаров, работающих в воздушной радионавигационной службе в полосе частот 13,25–13,40 ГГц**

**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
<b>M</b>	<b>Подвижная спутниковая служба, спутниковая служба радиоопределения, любительская спутниковая служба и относящиеся к ним спутниковые службы</b>
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.2008-1

**Характеристики и критерии защиты для радаров, работающих в воздушной радионавигационной службе в полосе частот 13,25–13,40 ГГц**

(2012-2014)

**Сфера применения**

В настоящей Рекомендации определены характеристики и критерии защиты радаров, работающих в воздушной радионавигационной службе (ВРНС) в полосе частот 13,25–13,4 ГГц. Эти технические и эксплуатационные характеристики должны использоваться при анализе совместимости радаров, работающих в воздушной радионавигационной службе, и систем других служб.

**Ключевые слова**

13,25–13,4 ГГц, радар, характеристики, защита.

**Сокращения/гlossарий**

ARNS	Aeronautical radionavigation service	ВРНС	Воздушная радионавигационная служба
PSD	Power spectral density		Спектральная плотность мощности
UA	Unmanned aircraft	БВС	Беспилотное воздушное судно
UAS	Unmanned aircraft system	БАС	Беспилотная авиационная система

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

*учитывая,*

- a)* что антенна, распространение сигнала, определение цели и большая необходимая ширина полосы радара, требующиеся для выполнения ими своих функций в некоторых полосах частот являются оптимальными;
- b)* что технические характеристики радаров, работающих в воздушной радионавигационной службе (ВРНС), определяются задачей системы и значительно отличаются даже в рамках одной полосы частот,

*признавая,*

- a)* что полоса частот 13,25–13,4 ГГц распределена на первичной основе воздушной радионавигационной службе, спутниковой службе исследования Земли (активной) и службе космических исследований (активной);
- b)* что спутниковая служба исследования Земли (активная) и служба космических исследований (активная), работающие в полосе частот 13,25–13,4 ГГц, не должны создавать вредных помех ВРНС или ограничивать использование и развитие этой службы;
- c)* что типичные технические и эксплуатационные характеристики систем, работающих в полосах частот, распределенных ВРНС, необходимы для определения технической осуществимости внедрения новых типов систем;
- d)* что требуются процедуры и методики анализа совместимости радаров, работающих в ВРНС, с системами других служб,

*рекомендует*

- 1 считать технические и эксплуатационные характеристики радаров, работающих в ВРНС, которые описаны в Приложении, типовыми для радаров, работающих в полосе частот 13,25–13,4 ГГц, и использовать их в исследованиях совместимости с другими службами;
- 2 использовать Рекомендацию МСЭ-R М.1461 при анализе совместимости радаров, работающих в полосе частот 13,25–13,4 ГГц, с системами других служб;
- 3 чтобы критерий уровня мощности мешающего сигнала по отношению к уровню мощности шума приемника радара ( $I/N$ ) в – 10 дБ использовался в качестве требуемого уровня защиты радаров воздушной радионавигационной службы и чтобы этот уровень представлял собой суммарный уровень защиты при наличии многих источников помех.

## Приложение

### Технические и эксплуатационные характеристики радаров, работающих в воздушной радионавигационной службе в полосе частот 13,25–13,40 ГГц

#### 1 Введение

Системы ВРНС эксплуатируются во всем мире на первичной основе в полосе частот 13,25–13,4 ГГц. В настоящем Приложении представлены технические и эксплуатационные характеристики типичных радаров ВРНС, работающих в этой полосе частот.

Воздушные навигационные доплеровские системы устанавливаются на воздушных судах (вертолетах, а также некоторых летательных аппаратах) и используются для специализированных применений, таких как непрерывное определение скорости движения и угла сноса воздушного судна относительно земли. Радиотехническая комиссия по авионавигации разработала минимальные качественные показатели работы для этого оборудования "*DO-158 – Бортовое навигационное оборудование с использованием доплеровского радара*". Кроме того, радары, используемые для предотвращения столкновений, на борту беспилотного воздушного судна (БВС) планируются для содействия интеграции беспилотной авиационной системы (БАС) в необособленное воздушное пространство.

#### 2 Технические параметры

Технические параметры радаров радионавигационной службы, работающие в полосах частот 13,25–13,4 ГГц, представлены в таблице 1. Все системы эксплуатируются во всем мире на борту воздушного судна. Радары используются для бортовых систем навигации воздушных судов для обеспечения безошибочной навигации в любых погодных условиях.

ТАБЛИЦА 1

Параметр	Единицы	Радар 1	Радар 2	Радар 3	Радар 4	Радар 5	Радар 6	Радар 7	Радар 8	
Платформа		Воздушное судно (вертолет)	Воздушное судно (вертолет)	Воздушное судно (летательный аппарат)	Воздушное судно (летательный аппарат)	Воздушное судно (вертолет)	Воздушное судно (летательный аппарат)	Воздушное судно (летательный аппарат)	Воздушное судно (вертолет)	
Максимальная рабочая высота платформы	м	3 600	3 660	10 400	15 000	0–4 500	15 000	15 000	3 500	
Тип радара		Допплеровский навигационный радар	Допплеровский навигационный радар	Допплеровский навигационный радар	Допплеровский навигационный радар	Допплеровский радар – датчик скорости	Допплеровский радар – датчик скорости	Допплеровский навигационный радар	Допплеровский навигационный радар	
Диапазон измеряемой путевой скорости	км/ч	333	553	750	1 047	250	1 100	180–1 300	50–399	
Частота	ГГц	Фиксированный один канал	Фиксированный один канал	Фиксированный один канал	Фиксированный один канал	Фиксированный один канал	Фиксированный один канал	13,25–13,40	13,295–13,355	
Тип излучения		Незатухающая волна	Прерывная незатухающая волна	Незатухающая волна с частотной модуляцией	Незатухающая волна	Незатухающая волна с частотной модуляцией	Немодулированный импульс	Немодулированная незатухающая волна	Немодулированная незатухающая волна	
Ширина импульса	мкс	Не применимо	1–4	Не применимо	Не применимо	Не применимо (ЧМ)	4–7	Не применимо	Не применимо	
Время нарастания и спада импульса	нс	Не применимо	20	Не применимо	Не применимо	Не применимо (ЧМ)	0,2, 0,2	Не применимо	Не применимо	
Ширина полосы РЧ излучения	–3 дБ –20 дБ –40 дБ	кГц	Не применимо	2 800 20 000	100 250 350	Не применимо	Отсутствует Отсутствует 150	1 000 5 600 95 000	Отсутствует	Отсутствует
Частота повторения импульсов	имп./с	Не применимо	Отсутствует	Не применимо	Не применимо	Не применимо	80 000	Не применимо	Не применимо	
Пиковая мощность передатчика	Вт	0,85	0,132	0,18	1,0	0,050	40 Средняя 20	0,125...10	0,15...10	

ТАБЛИЦА 1 (продолжение)

Параметр	Единицы	Радар 1	Радар 2	Радар 3	Радар 4	Радар 5	Радар 6	Радар 7	Радар 8
Ширина полосы ПЧ приемника –3дБ	кГц	1,4 Расчетная	1,6 Расчетная	55 000	2,9 Расчетная	14	2 500	15 000	100 000
Чувствительность	дБм	–135 для отношения $S/N$ в 0 дБ	–135	–134 для отношения $S/N$ в 0 дБ	–138 для отношения $S/N$ в 3 дБ	–130 для отношения $S/N$ в 3 дБ ( $V = 100$ м/с) –160 для отношения $S/N$ в 3 дБ ( $V =$ зависание)	–96 для 3 дБ $S/N$ ( $V = 100$ м/с)	–110 (режим захвата) –120 (режим отслеживания)	–144
Коэффициент шума приемника	дБ	22 (гомодинный приемник)	22 (гомодинный приемник с двойным преобразованием))	12 (супергетеродинный приемник с двойным преобразованием)	22 (гомодинный приемник)	22 (гомодинный приемник)	7,5	Отсутствует	Отсутствует
Тип антенны		Параболический отражатель	Фазированная решетка	Фазированная решетка	Фазированная решетка	Решетка с печатной платой	Решетка с печатной платой	Фазированная решетка	Рупорно-отражательная
Размещение антенны		Точки на поверхности Земли	Точки на поверхности Земли	Точки на поверхности Земли	Точки на поверхности Земли	Точки на поверхности Земли	Точки на поверхности Земли	Точки на поверхности Земли (угол отклонения от надира в 9...11 градусов)	Точки на поверхности Земли (угол отклонения от надира в 18 градусов)
Коэффициент усиления антенны	дБи	27	27	26	29,5	26,5	18	20	27,8
Первый боковой лепесток антенны	дБи	5,5	Отсутствует	9	14,2 в 4 градуса	–10	–10	7	–7,2
Горизонтальная ширина луча	градусы	7	3,3	9	4,7	4,0	20	Отсутствует	Отсутствует
Вертикальная ширина луча	градусы	4,5	5	3	2,5	3,4	4,2	Отсутствует	Отсутствует
Поляризация		Линейная	Отсутствует	Отсутствует	Линейная	Линейная	Линейная	Отсутствует	Отсутствует
Количество лучей		4	4	4	4	4	2	3 или 4	3

ТАБЛИЦА 1 (окончание)

Параметр	Единицы	Радар 1	Радар 2	Радар 3	Радар 4	Радар 5	Радар 6	Радар 7	Радар 8
Конфигурация луча антенны		Использует систему с двухлепестковой диаграммой направленности. Сблизить четыре угла пирамиды каждый с отклонением в 18 градусов от надира	Отсутствует	Использует систему с двухлепестковой диаграммой направленности. Сблизить четыре угла пирамиды каждый с отклонением в 16 градусов от надира и 10,5 градусов в сторону	Использует систему с двухлепестковой диаграммой направленности	Использует систему с двухлепестковой диаграммой направленности. Сблизить четыре угла пирамиды каждый с отклонением в 20 градусов от надира	Два луча	Отсутствует	Отсутствует
Сканирование антенны		Сканирование – это когда один луч в отдельно взятый момент времени проходит по каждому углу пирамиды	Сканирование – это когда один луч в отдельно взятый момент времени проходит по каждому углу пирамиды	Сканирование – это когда один луч в отдельно взятый момент времени проходит по каждому углу пирамиды	Отсутствует	Сканирование – это когда один луч в отдельно взятый момент времени проходит по каждому углу пирамиды	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует
Критерий защиты	дБ	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10

Примечания к таблице:

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Динамический потолок вертолетов, как правило, не превышает 7000 м над средним уровнем моря (MSL), а практический потолок патрульного самолета с неподвижным крылом базовой авиации составляет приблизительно 15 000 м MSL.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – При расчете чувствительности (допустив минимальное требование отношения  $S/N$  в 3 дБ для отслеживания) для доплеровской системы должна учитываться ширина полосы устройства слежения приемника. Чувствительность, рассчитанная в отношении ширины полосы открытого приемника, покажет относительно невысокую величину, по сравнению с чувствительностью, основанную на динамическом предоставлении полосы пропускания устройства слежения. В устройствах слежения нынешнего поколения эта полоса пропускания сопоставима с полосой пропускания отраженного сигнала радара, которая изменяется в зависимости от скорости движения воздушного судна.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Фактически мгновенное направление ориентации лучей антенны зависит от высоты установки бортового доплеровского радара относительно базовой системы координат воздушного судна (не всегда одинаковой), а также от состояния тангажа и крена воздушного судна. Вертолеты, находящиеся в режиме воздушного поиска или совершающие кратковременные маневры по ускорению/замедлению скорости полета, зачастую будут иметь значения тангажа и крена, превышающие на протяжении короткого периода времени 30 градусов. Изменения высоты полета военных вертолетов с высокими лётно-техническими характеристиками дают еще более высокие значения.

ПРИМЕЧАНИЕ 4. – Для систем, в отношении которых нет показателей шума, допускается значение в 12 дБ для систем, использующих приемники ПЧ и 22 дБ – для гомодинных (ПЧ-0) приемников. См. Fried, W. R.: Principles and Performance Analysis of Doppler Navigation Systems, IRE Trans., Vol. ANE-4, pp.176–196, December 1957.

### 3 Характеристики систем воздушной радионавигационной службы

Радары воздушной радионавигационной службы в полосе частот 13,25–13,4 ГГц работают непрерывно во время всего полета, определяя скорость и направление движения. Это охватывает диапазон высот от момента взлета до приблизительно 4500 м для вертолета и 15 000 м для воздушного судна. Полетное время может составлять несколько часов, и большую его часть, обычно, составляет время в пути, однако учитывается также время задержек, либо в пункте вылета, либо в пункте назначения. Система навигации на основе доплеровского радара с двухлепестковой диаграммой направленности использует четыре антенных луча, как показано на рис. 1; два в продольном и два в поперечном направлениях по обе стороны от линия фактического пути, чтобы рассчитать вектор скорости воздушного судна относительно поверхности Земли путем измерения доплеровского смещения лучей, отраженных от земли. Лучи могут послаться попарно или последовательно, в зависимости от структуры системы. На рис. 2 показана диаграмма направленности луча антенны на доплеровских линиях изо. Аппаратное оборудование или программное обеспечение, обеспечивающие стабилизацию антенны, удерживают ее в состоянии наведения на землю. В тех случаях, когда ширина полосы ПЧ,  $BW_{IF_{BW}}$  ПЧ в герцах не доступна, можно использовать следующее приближение:

$$IF_{BW} = 2 * v * f_c * B_w * \sin(a) / s ,$$

где:

- $IF_{BW}$ : ширина полосы ПЧ (Гц);  
 $v$ : скорость воздушного судна (м/с);  
 $f_c$ : центральная частота (Гц);  
 $B_w$ : ширина луча антенны 3 дБ в радианах;  
 $a$ : угол наклона луча;  
 $s$ : скорость света (м/с).

Для радиолокационных систем с двухлепестковой диаграммой направленности включен поправочный коэффициент 1.414. См. Fried, W.R.: Principles and Performance Analysis of Doppler Navigation Systems, IRE Trans., Vol. ANE-4, pp. 176–196, December 1957.

РИСУНОК 1

Пример конфигурации диаграммы направленности антенны воздушного судна

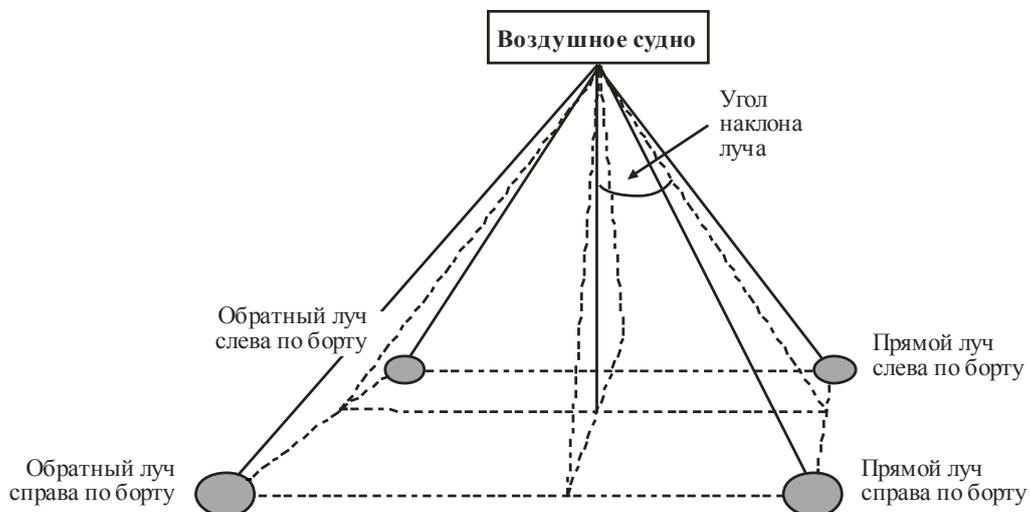
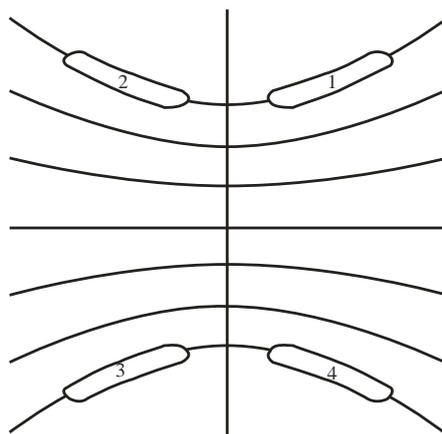


РИСУНОК 2

Пример диаграммы направленности луча антенны на доплеровских линиях iso



M.2008-02

#### 4 Характеристики радара для обнаружения и предотвращения столкновений воздушной радионавигационной службы

Безопасность летной эксплуатации БВС требует использования передовых методов обнаружения и отслеживания, находящихся в непосредственной близости воздушных судов, поверхности земли и препятствий для осуществления навигации. БВС должно избегать столкновения с этими объектами точно так же, как и пилотируемое воздушное судно. Дистанционный оператор должен быть знаком с окружающей средой, в которой находится воздушное судно, уметь определять потенциальные угрозы для продолжения безопасного полета воздушного судна и принимать надлежащие меры. Радар для обнаружения и предотвращения столкновений – это система предотвращения столкновений беспилотного воздушного судна, основная функция которой состоит в обеспечении возможности обнаружения, отслеживания и передачи пользователю информации о воздушном движении, чтобы это судно постоянно находилось на достаточном расстоянии от объекта, создающего опасность столкновения. Система основана на использовании подхода "летчик в контуре", при котором окончательное решение относительно маневров с целью предотвращения столкновения БАС принимает наземный оператор БВС. Технические параметры этой системы приводятся в таблице 2.

ТАБЛИЦА 2

#### Технические параметры радара для обнаружения и предотвращения столкновений

Параметр	Единицы	Радар 1	Радар 2
Платформа		Воздушное судно	Воздушное судно
Высота платформы	км	До 20	До 15,5
Тип радара		Система предотвращения столкновений в воздухе (навигационные средства на базе доплеровского радара)	Система предотвращения столкновений в воздухе (навигационные средства на базе доплеровского радара)
Скорость относительно земли	км/ч	До 1 500	До 1 500
Диапазон настройки по частоте	ГГц	13,25–13,4	13,25–13,4
Тип излучения		Импульсы, кодированные по фазе	Импульсы, кодированные по фазе
Ширина импульса	мкс	1–2	2,5
Время нарастания и спада импульса	нс	0,1–0,2 для времени нарастания и спада импульса	0,1–0,2 для времени нарастания и спада импульса

ТАБЛИЦА 2 (окончание)

Параметр	Единицы	Радар 1	Радар 2
Ширина полосы РЧ излучения –40 дБ	МГц	30	28,5
Частота повторения импульсов	имп./с	6 000–8 000	30 000
Средняя мощность передатчика	Вт	25–35 (до 50)	25–35 (до 50)
Ширина полосы ПЧ приемника –3 дБ	МГц	0,7–1,1	14
Чувствительность	дБм	–122 для $S/N$ 10 дБ	–98,6 для $S/N$ 13,1 дБ
Коэффициент шума приемника	дБ	3	2,7
Рассчитанная мощность шума $R_x$	дБВт	–140,6	–128,5
Тип антенны		Фазированная решетка	Фазированная решетка
Размещение антенны		Носовая часть воздушного судна	Носовая часть воздушного судна
Коэффициент усиления антенны	дБи	28–32	28–32
Первый боковой лепесток антенны	дБи	15–19	19
Горизонтальная ширина луча	градусы	5	5
Вертикальная ширина луча	градусы	5	5
Поляризация		Линейная вертикальная	Линейная вертикальная и горизонтальная
Сканирование антенны	градусы	В вертикальной плоскости $\pm 30$ В горизонтальной плоскости $\pm 110$	В вертикальной плоскости $\pm 37$ В горизонтальной плоскости $\pm 110$
Критерий защиты	дБ	–10	–10

## 5 Критерии защиты

Влияние модуляции типа незатухающей волны (CW) или шумоподобного типа на снижение чувствительности радаров к помехам от других служб связано с ее интенсивностью и может прогнозироваться. В любых азимутальных секторах, в которые поступает такая помеха, ее спектральная плотность мощности (PSD) в пределах допустимого приближения может просто добавляться к PSD теплового шума приемника радара. Если PSD 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  $I_0 + N_0$ .

Для радионавигационной службы, учитывая выполняемые ею функции обеспечения безопасности человеческой жизни, увеличение примерно на 0,5 дБ будет означать существенное ухудшение работы. Такое увеличение соответствует отношению ( $I/N$ ) в –10 дБ. Данные критерии защиты учитывают совокупное воздействие многочисленных источников помех при их наличии; допустимая величина отношения  $I/N$  для единичного источника помех зависит от количества источников помех и геометрии их расположения и требует оценки в ходе проведения анализа заданного сценария. В случае некоторых систем связи, в которых можно развернуть большое количество станций, фактор агрегирования может оказаться весьма существенным.