

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R М.1465-2
(02/2015)

Характеристики и критерии защиты для радаров, работающих в службе радиоопределения в полосе частот 3100–3700 МГц

Серия М

**Подвижные службы, служба радиоопределения,
любительская 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	Подвижные службы, служба радиоопределения, любительская 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, 2016 г.

© ITU 2016

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.1465-2

Характеристики и критерии защиты для радаров, работающих в службе радиоопределения в полосе частот 3100–3700 МГц

(2000-2007-2015)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации приводятся технические и эксплуатационные характеристики, а также критерии защиты радаров сухопутного базирования/на борту судов/воздушного базирования, работающих в полосе частот 3100–3700 МГц. Рекомендация включает репрезентативные характеристики передатчика, приемника и компонентов антенн этих радаров, а также информацию об их развертывании.

Ключевые слова

Характеристики, критерии защиты, судовой радар, радар наземного базирования, радар на борту воздушного судна.

Сокращения/гlossарий

AMSL	Above mean sea level		Над средним уровнем моря
ATC	Air traffic control	УВД	Управление воздушным движением
MTI	Moving target indication		Индикация движущихся целей
PPI	Planned position indicator		Индикатор кругового обзора

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 после ВАРК-79 были исключены или переведены в более низкую категорию многие распределения спектра радиолокационной и радионавигационной службам (в целом около 1 ГГц);
- e)* 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;
- f)* что репрезентативные технические и эксплуатационные характеристики систем, работающих в полосах частот, распределенных службе радиоопределения, необходимы для определения технической осуществимости внедрения новых типов систем;
- g)* что требуются процедуры и методики анализа совместимости между радарными, работающими в службе радиоопределения, и системами других служб;
- h)* что полоса частот 3100–3400 МГц распределена радиолокационной службе на первичной основе во всех трех Районах;

- i) что полоса частот 3400–3600 МГц распределена радиолокационной службе на вторичной основе в Районе 1;
- j) что полоса частот 3400–3600 МГц распределена радиолокационной службе на первичной основе в Районах 2 и 3;
- k) что полоса частот 3600–3700 МГц распределена радиолокационной службе на вторичной основе в Районах 2 и 3;
- l) что полоса частот 3100–3300 МГц также распределена радионавигационной службе на первичной основе в странах, перечисленных в п. 5.428 РР,

признавая,

a) что в п. 5.433 РР отмечается, что в Районах 2 и 3 полоса частот 3400–3600 МГц распределена радиолокационной службе на первичной основе. Однако все администрации, использующие радиолокационные системы в этой полосе частот, должны прекратить их работу к 1985 году. После этого администрации должны принимать все практически возможные меры для защиты фиксированной спутниковой службы, к которой не должны предъявляться требования координации,

рекомендует,

1 чтобы технические и эксплуатационные характеристики радиолокационных радаров, описанные в Приложении 1, считались репрезентативными для радаров, работающих в полосе частот 3100–3700 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 критерий уровня мощности мешающего сигнала по отношению к мощности шума приемника радара, отношение I/N , равное -6 дБ, использовался в качестве требуемого уровня защиты для радиолокационных систем и чтобы этот уровень представлял собой чистый уровень защиты в случае наличия многих источников помех.

Приложение 1

Технические и эксплуатационные характеристики радиолокационных радаров, работающих в полосе частот 3100–3700 МГц

1 Введение

Характеристики радиолокационных радаров, работающих в полосе частот 3100–3700 МГц, представлены в таблице 1 и более подробно описываются в представленных ниже пунктах.

ТАБЛИЦА 1

Таблица характеристик радиолокационных систем в полосе частот 3100–3700 МГц

Параметр	Ед. изм.	Системы сухопутного базирования		Судовые системы				Система на борту воздушного судна
		А	В	А	В	С	Д	А
Использование		Поиск с поверхности земли и из воздуха	Поиск с поверхности земли	Поиск с поверхности земли и из воздуха				Поиск с поверхности земли и из воздуха
Модуляция		P0N/Q3N	P0N	P0N	Q7N	P0N/Q7N	Q7N	Q7N
Диапазон настройки	ГГц	3,1–3,7		3,5–3,7	3,1–3,5	3,1–3,5		
Мощность, подаваемая на антенну передатчика (максимальная)	кВт	640	1000	1000	4000–6400	60–200	4–90	1000
Длительность импульса	мкс	160–1000	1,0–15	0,25, 0,6	6,4–51,2	0,1–1000	0,1–100	1,25 ⁽¹⁾
Частота повторения	кГц	0,020–2	0,536	1,125	0,152–6,0	0,3–10	0,5–10	2
Степень сжатия		48 000	Не применяется	Не применяется	64–512	До 20 000	До 400	250
Тип сжатия		Не имеется	Не применяется	Не применяется	CPFSK	Не имеется	Не имеется	Не имеется
Коэффициент заполнения	%	2–32	0,005–0,8	0,28, 0,67	0,8–2,0	Макс. 20	Макс. 20	5
Ширина полосы передатчика (–3 дБ)	МГц	25/300	2	4, 16,6	4	25	3,15	> 30
Усиление антенны	дБи	39	40	32	42	До 40	До 40	40
Тип антенны		Параболическая		Параболическая	РА			SWA
Ширина луча (H,V)	градусы	1,72	1,05, 2,2	1,75, 4,4, csc ² до 30	1,7, 1,7	1,1–5, 1,1–5	1,5–6, 4–20	1,2, 6,0
Тип развертки по вертикали		Не имеется	Не применяется	Не применяется	Произвольная	Не применяется	Не применяется	Не имеется
Максимальная развертка по вертикали	градусы	93,5	Не применяется	Не применяется	90	90	90	± 60
Скорость развертки по вертикали	градусы/с	15	Не применяется	Не применяется		Мгновенная развертка		Не имеется

Параметр	Ед. изм.	Системы сухопутного базирования		Судовые системы				Система на борту воздушного судна
		А	В	А	В	С	Д	А
Тип развертки по горизонтали		Не применяется	Вращающаяся	Вращающаяся	Произвольная	Непрерывная 360 + Секторная	Непрерывная 360 + Секторная	Вращающаяся
Максимальная развертка по горизонтали	градусы	360		360			360	360
Скорость развертки по горизонтали	градусы/с	15	25,7	24	Не применяется	30–360	50–180	36
Поляризация		RHCP	V	H	V	Не имеется	V	Не имеется
Чувствительность приемника	дБм	Не имеется	-112	-112	Не имеется	Не имеется	Не имеется	Не имеется
Критерий S/N	дБ	Не применяется	0	14	Не имеется	Не имеется	Не имеется	Не имеется
Показатель шума приемника	дБ	3,1	4,0	4,8	5,0	1,5	1,5	3
Ширина полосы РЧ приемника (-3 дБ)	МГц	Не имеется	2,0	Не имеется		400		
Ширина полосы ПЧ приемника (-3 дБ)	МГц	380	0,67	8	10	10–30	2–20	1
Зона развертывания		Во всем мире	Во всем мире	Во всем мире	Во всем мире	Во всем мире	Во всем мире	Во всем мире

⁽¹⁾ Сжатие 100 нс.

CPFSK: ЧМн с непрерывной фазой

РА: Фазированная решетка

SWA: Волноводно-щелевая решетка

2 Технические характеристики

Полоса частот 3100–3700 МГц используется радарными установками на суше, морских и воздушных судах. В целом она используется в основном подвижными радарными установками на борту морских и воздушных судов, в то время как фиксированные системы сухопутного базирования эксплуатируются на испытательных полигонах и часто размещаются на привязных аэростатах для наблюдения за сушей или прибрежными зонами. Выполняемые функции включают поиск объектов, расположенных вблизи от поверхности или на борту воздушного судна на большой высоте, наблюдение за морем, слежение за объектами на борту воздушных судов, а также поиск многоцелевых контрольно-измерительных приборов на испытательных полигонах. Применяется как излучение немодулированной несущей, так и излучение с угловой импульсной модуляцией, а типичная максимальная мощность передатчика колеблется от 50 кВт до 6400 кВт. Малые коэффициенты заполнения применяются для выполняемых радарными функциями поиска, и их типичные значения составляют менее 1%. Показатели шума приемника обычно колеблются от 3,1 дБ до 16 дБ. В таблице 1 содержатся репрезентативные характеристики двух радарных систем сухопутного базирования, двух систем на борту морских судов и одной системы на борту воздушных судов, работающих в полосе частот 3100–3700 МГц.

2.1 Радары сухопутного базирования

2.1.1 Операции радаров сухопутного базирования

Радары сухопутного базирования, работающие в полосе частот 3100–3700 МГц, применяются обычно для проведения испытаний на испытательных полигонах и за их пределами. Многие из этих радаров являются подвижными в том смысле, что они часто устанавливаются на колесных транспортных средствах для перемещения радара с целью обеспечения функций поиска и слежения для летательных аппаратов на продолжительных маршрутах полетов. Другие радары устанавливаются в фиксированных местоположениях на испытательных полигонах, где они также обеспечивают функции поиска и слежения.

Представленная в таблице 1 Система В сухопутного базирования привязывается на высоте до 4600 м для увеличения дальности наблюдений до 275 км. Описанная в таблице 1 Система А сухопутного базирования работает в основном в светлое время суток при хороших погодных условиях и иногда в темное время суток, тогда как радары, расположенные на привязных аэростатах, работают постоянно.

2.1.2 Передатчик

Передатчики являются настраиваемыми и предназначены для работы в любом месте в пределах полосы частот 3100–3700 МГц. Применяются немодулированный импульс, одноканальная угловая модуляция и многоканальная угловая модуляция.

2.1.3 Приемник

У многих приемников радаров, установленных на испытательных полигонах, есть специальные селекторные схемы для корреляции видеоданных и подачи данных на различные дисплеи, пульта операторов и записывающие устройства. Полученные радаром, установленным на привязном аэростате, видеоданные ретранслируются на наземные устройства оператора как по радио (фиксированная служба), так и по проводам.

2.1.4 Антенна

Антенны проектируются для конкретной цели на испытательном полигоне, но работают при усилении главного луча до 40 дБи, управляются с помощью электронных средств и обычно направлены в небо в произвольных направлениях, что увеличивает вероятность освещения объектов космического базирования и получения от них энергии. Антенны радаров, расположенных на привязных аэростатах, направлены на линию горизонта вплоть до нескольких градусов над линией горизонта.

2.2 Радары на борту морских судов

2.2.1 Операции на борту морских судов

В таблице 1 в качестве Систем А–D описаны четыре репрезентативных типа радаров на борту морских судов, работающих в полосе частот 3,1–3,7 ГГц. Система А используется как основная система управления воздушным движением на авианосцах. Система В – это многофункциональный радар, расположенный на борту кораблей сопровождения. Районы обслуживания этих радаров на борту морских судов включают прибрежные районы и открытое море. Как правило, такие радары работают круглосуточно. При обеспечении сопровождения других судов нередко одновременно работают до десяти таких радаров. Помимо бортовых систем имеются фиксированные системы на суше, которые используются для подготовки и тестирования. Кроме того, для регулярного технического обслуживания и тестирования требуется, чтобы эти радары время от времени работали в некоторых портовых зонах. Суда, оборудованные Системой А, почти всегда сопровождаются как минимум одним судном, оборудованным Системой В.

2.2.2 Передатчик

Система А осуществляет передачу в полосе частот 3500–3700 МГц с максимальной мощностью в 1000 кВт. Система В осуществляет передачу в полосе частот 3100–3500 МГц с максимальной мощностью в 6,4 МВт и использует сочетание фазовой модуляции и скачкообразной перестройки частоты. Излучения имеют быструю перестройку частоты по десяти полосам частот, каждая шириной 40 МГц, обозначенным как полосы частот от 1 до 10. Последовательность ширины изменяющегося импульса является произвольной.

2.2.3 Приемник

Приемники Системы А являются такими, как это описано в таблице 1, и выполняют обычные функции систем управления воздушным движением (УВД) по уменьшению количества ложных целей/местных помех, индикации движущихся целей (МТТ), распознаванию на коротких/больших расстояниях и передаче видеоизображений на осциллографы с индикатором кругового обзора (РРІ); диапазон настройки приемника такой же, что и у передатчика. Приемник Системы В работает в полосе частот 3100–3500 МГц. Характеристики приемников не представлены, но предполагается, что это современные приемники с большим коэффициентом расширения спектра сигнала, необходимым для обнаружения многочисленных и различных объектов в расширенном диапазоне, при сильной местной помехе и в сложных метеорологических условиях.

2.2.4 Антенна

В Системе А используется механически вращающаяся антенна типа отражателя с шириной полосы по азимуту в $1,75^\circ$ и косекансно-квадратичным (csc^2) лучом при угле места от $4,4^\circ$ до 30° с усилением главного луча 32 дБи. Номинальная высота антенны – 46 м над средним уровнем моря (AMSL). В Системе В используются четыре плоскостных фазированных антенных решетки, управляемых с помощью электронных средств, для обеспечения покрытия в 360° с усилением главного луча в 42 дБи. Номинальная высота антенны радара В составляет 20 м над средним уровнем моря.

2.3 Радары на борту воздушных судов

В находящихся в этой полосе частот радарах на борту воздушных судов используются преимущества свойств спектра, имеющих на этой длине волны, для проведения наблюдений на дальних расстояниях, слежения за целью и управления воздушным движением (УВД). В таблице 1 приводятся характеристики спектра для типичных радаров на борту воздушных судов в этой полосе частот. Эта система представляет собой многофункциональный радар с фазированной антенной решеткой, размещенный на самолетах наблюдения ряда администраций. Антенна такой системы – крупная сборная волноводно-щелевая антенная решетка, установленная на корпусе самолета. Она обеспечивает усиление главного луча в 40 дБи, а усиление ее бокового лепестка оценивается в – 10 дБи. Воздушное судно, на котором установлены такие радары, способно выполнять операции по всему миру. Помимо выполняемых ими функций воздушного наблюдения и УВД, у них также есть режим работы по наблюдению за морем. Такая бортовая система обычно работает на высоте около

9000 м и может также эксплуатироваться продолжительное время вплоть до 12 часов, в зависимости от готовности летного экипажа. В некоторых ситуациях постоянное наблюдение поддерживается на круглосуточной основе с помощью дозаправки воздушного судна.

3 Критерии защиты

Радары подпадают под воздействие нежелательных сигналов различных форм принципиально разными путями, и особенно сильная разница существует между воздействием энергии типа непрерывного шума и воздействием импульсов.

Системы, в которых используется сжатие импульсов, имеют полосу пропускания по ПЧ, согласованную со сжатым импульсом, и действуют в качестве согласованного фильтра, обеспечивающего минимальное ухудшение отношения S/N . Фильтры сжатия импульсов могут быть частично согласованы и таким образом увеличивать влияние шумоподобных помех. В этом случае отношение I/N , равное -6 дБ, может оказаться недостаточным, и для оценки помех с точки зрения функционального влияния на рабочие характеристики радара могут быть необходимы дальнейшие исследования либо измерения совместимости.

Помеха от незатухающей волны шумоподобного типа приводит к падению чувствительности радаров радиоопределения, и такое воздействие 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 радарной системы. Если мощность шума радарной системы при отсутствии помех обозначить как N , а мощность шумоподобной помехи как I , то получаемая в результате мощность шума становится просто $I + N$.

С учетом того, что критерии защиты радаров, традиционно устанавливаемые в рамках МСЭ-R, основаны на ухудшении рабочих характеристик, необходимом для поддержания отношения отраженного от цели сигнала к шуму в присутствии помехи, требуется, чтобы мощность отраженного от цели сигнала была увеличена пропорционально увеличению мощности шума от N до $I + N$. Это можно сделать, только допуская более короткие максимальные расстояния относительно конкретных целей, сокращая наблюдения небольших целей или модифицируя радар, с тем чтобы увеличить его мощность передатчика или произведение средней излучаемой. (В современных радарх шум приемной системы как правило уже близок к возможному минимуму, и обычным явлением становится близкая к оптимальной обработка сигнала.)

Такие ухудшения рабочих характеристик колеблются в зависимости от функции радара и характера его целей. Для большинства радарных систем увеличение эффективного уровня шума примерно на 1 дБ повлияло бы на максимально допустимое ухудшение рабочих характеристик. В случае отдельной цели с определенной средней или медианной эффективной отражающей поверхностью (RCS) такое увеличение привело бы к уменьшению дальности обнаружения примерно на 6%, независимо от каких-либо характеристик колебания RCS, которые могут быть у цели. Такое воздействие является результатом того факта, что достижимая дальность в свободном пространстве пропорциональна квадратичному корню из отношения мощности сигнал/шум (SNR), получаемого на основе наиболее известной формы уравнения дальности действия радара. Увеличение эффективной мощности шума на 1 дБ приводит к увеличению мощности в 1,26 раз, так что, если такое увеличение не будет компенсировано, потребуется уменьшить дальность в свободном пространстве в $1/((1,26)^{1/4})$, или 1/1,06, раз; то есть дальность действия уменьшится примерно на 6%. В уравнении дальности отношение SNR также прямо пропорционально мощности передатчика, произведению средней излучаемой (для радара наблюдения) и поперечному сечению радара обнаружения цели. Вследствие этого, в качестве альтернативы, увеличение эффективной мощности шума на 1 дБ может

компенсироваться вышеуказанным обнаружением целей, за исключением целей со средним поперечным сечением радаров, в 1,26 раз превышающим цель минимального размера, которая могла бы быть обнаружена при режиме работы без помех, либо увеличением мощности передатчика радара или его произведения средней излучаемой на 26%. Любые из этих альтернативных вариантов находятся на рубеже допустимого в большинстве программ работы радаров, а модификации систем были бы дорогостоящими, нецелесообразными или невозможными, особенно в подвижных радаров. Для отдельных целей такие ухудшения рабочих характеристик действуют по отношению к любым заданным показателям вероятности обнаружения и частоты ложных тревог и любым характеристикам отклонения цели.
