

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R М.1730-1
(10/2009)

Характеристики и критерии защиты для радиолокационной службы в полосе частот 15,4–17,3 ГГц

Серия М

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



Международный
союз
электросвязи

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 1 МСЭ-R. 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/publications/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 1 МСЭ-R.*

Электронная публикация
Женева, 2010 г.

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R М.1730-1

**Характеристики и критерии защиты для радиолокационной службы
в полосе частот 15,4–17,3 ГГц**

(Вопрос МСЭ-R 226/5)

(2005-2009)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации содержатся технические характеристики и критерии защиты для радиолокационных систем, работающих и планируемых для работы в полосе частот 15,4–17,3 ГГц, Рекомендация была разработана как исходный документ в помощь исследованиям по совместному использованию частот в связи с Рекомендацией МСЭ-R М.1461, где рассматриваются процедуры анализа с целью установления совместимости РЛС, работающих в радиолокационной службе и других службах.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что антенна, распространение сигнала и характеристики РЛС, относящиеся к определению цели и большой необходимой ширине полосы, в некоторых полосах частот являются оптимальными для выполнения своих функций;
- b) что технические характеристики РЛС, работающих в радиолокационной службе, определяются задачей системы и широко варьируются даже в рамках одной полосы частот;
- c) что МСЭ-R рассматривает потенциальную возможность введения новых типов систем либо применений в полосах частот между 420 МГц и 34 ГГц, используемых РЛС в службе радиоопределения;
- d) что репрезентативные технические и эксплуатационные характеристики РЛС, работающих в службе радиоопределения, требуются для определения технической осуществимости внедрения новых типов систем в полосы частот, распределенные службе радиоопределения;
- e) что процедуры и методика анализа совместимости между РЛС службы радиоопределения и системами других служб содержатся в Рекомендации МСЭ-R М.1461,

отмечая,

- a) что настоящая Рекомендация вместе с Рекомендацией МСЭ-R М.1461 используются в качестве руководства при анализе совместимости между РЛС службы радиоопределения и системами других служб;
- b) что в Рекомендации МСЭ-R М.1461 определен критерий мощности мешающего сигнала по отношению к уровню мощности шума приемника РЛС,

признавая,

- a) что требуемые критерии защиты зависят от особых типов мешающих сигналов;
- b) что применение критериев защиты может потребовать рассмотрения вопроса о включении статистического характера критериев и других элементов методики для осуществления исследований совместимости (т. е. сканирование антенны, включая движение передатчика и потери при распространении). Дальнейшая разработка этих статистических факторов может быть включена в случае необходимости в будущие пересмотры настоящей Рекомендации и других соответствующих рекомендаций,

рекомендует,

- 1 чтобы технические и эксплуатационные характеристики радиолокационных РЛС, описанные в Приложении 1, рассматривались в качестве репрезентативных для РЛС, работающих или планируемых для работы в полосе частот 15,4–17,3 ГГц;
- 2 чтобы отношение I/N , равное –6 дБ, использовалось в качестве требуемого уровня защиты для тех участков полосы частот 15,4–17,3 ГГц, в которых имеются распределения для радиолокации и чтобы это представляло собой чистый уровень защиты в случае наличия множественных помех;
- 3 чтобы при наличии импульсной помехи критерии основывались на анализе каждого отдельного случая, принимая во внимание характеристики мешающей последовательности импульсов и, насколько это возможно, обработку сигнала в приемнике РЛС.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Настоящая Рекомендация должна быть пересмотрена, когда появится более подробная информация.

Приложение 1

Характеристики и критерии защиты для РЛС, работающих или планируемых для работы в радиолокационной службе в полосе частот 15,4–17,3 ГГц

1 Введение

Характеристики радиолокационных РЛС, работающих или планируемых для работы по всему миру в полосе частот 15,4–17,3 ГГц, представлены в таблице 1 и описываются далее в следующих пунктах.

2 Технические характеристики

Полоса частот 15,4–17,3 ГГц используется многими различными типами РЛС, включая сухопутные, перевозимые, судовые и находящиеся на воздушном судне платформы. К радиолокационным функциям, осуществляемым в данной полосе частот, относятся поиск с самолета и с поверхности земли, картографирование земной поверхности, слежение за рельефом местности, система опознавания морских объектов и целей. Можно допустить, что частоты, на которых работают РЛС, равномерно распространены по всему диапазону настройки каждой РЛС. В таблице 1 представлены технические характеристики репрезентативных радиолокационных РЛС, развернутых в полосе частот 15,4–17,3 ГГц.

Основные радиолокационные РЛС, работающие или планируемые для работы в полосе частот 15,4–17,3 ГГц, в первую очередь используются для обнаружения находящихся в воздухе объектов, и некоторые используются для наземной съемки. Они необходимы для измерения высоты цели, дальности, пеленгации и формирования карт рельефа местности. Некоторые из воздушных и наземных целей невелики по размерам, а некоторые находятся на удалении до 300 морских миль (556 км), поэтому такие радиолокационные РЛС должны обладать большой чувствительностью и должны обеспечивать высокую степень подавления всех форм отражения, включая отражение от моря, земли и осадков.

ТАБЛИЦА 1

Характеристики радиолокационных РЛС в полосе частот 15,4–17,3 ГГц

Характеристики	Система 1	Система 2	Система 3	Система 4	Система 5	Система 6
Функция	РЛС для поиска, отслеживания и картографирования земной поверхности (многофункциональная)	РЛС для поиска, отслеживания и картографирования земной поверхности (многофункциональная)	Воздушное наблюдение, обеспечение посадки, отслеживание в ходе сканирования	Наблюдение	Наземное наблюдение и отслеживание	Поиск, отслеживание и картографирование земной поверхности (многофункциональность)
Тип платформы	Находящаяся на воздушном судне, низкая мощность	Находящаяся на воздушном судне, высокая мощность	Судовая, высокая мощность	Наземная, низкая мощность	Наземная, высокая мощность	Находящаяся на воздушном судне (пиковая рабочая высота = 8 500 м)
Диапазон настройки (ГГц)	16,2–17,3	16,29–17,21	15,7–17,3	16,21–16,5	15,7–16,2	15,4–17,3
Модуляция	Переменная линейная ЧМ	Импульс с линейной ЧМ	Импульс, скачкообразный переход частоты	Радиоимпульс с линейной ЧМ	Импульс, скачкообразный переход частоты	Радиоимпульс с линейной ЧМ
Максимальная мощность передачи (Вт)	80	700	20 k	2	10 k	500
Длительность импульса (мкс)	18,2; 49	120–443	0,1	5,5	36	0,05–50
Время нарастания/спада импульса (нс)	20	4	7/70	10	8	5–100
Частота повторения импульсов (имп/с)	5 495; 2 041	900–1 600	4 000; 21 600	7 102	20 000	200–20 000
Максимальный коэффициент заполнения импульса	0,1	Не определен	0,00216	0,039	0,00072	до 0,2 ⁽¹⁾
Выходное устройство	Лампа бегущей волны	Лампа бегущей волны	Лампа бегущей волны	Транзистор	Лампа бегущей волны	Лампа бегущей волны
Тип диаграммы направленности антенны	Веерообразная/остронаправленная	Веерообразная	Остронаправленная	Остронаправленная	Остронаправленная	Остронаправленная
Тип антенны	Волноводно-щелевая	С фазированной решеткой	С плоско фазированной решеткой	Эллиптическая с параболическим контуром	Отражатель двойной кривизны с рупорным облучателем	С фазированной решеткой
Поляризация антенны	Линейная вертикальная	Линейная вертикальная	Круговая правосторонняя	Горизонтальная	Круговая	Линейная
Коэффициент усиления антенны (дБи)	25,6	38,0	43,0	37,0	43	35
Ширина луча по углу места антенны (градусы)	9,7	2,5	1	1,1	1,6	3,2
Ширина луча по азимуту антенны (градусы)	6,2	2,2	1	3,5	,25	3,2
Скорость развертки по горизонтали антенны	30 градусов/с	5 градусов/с	1 500 скан./мин.	7,8 или 15,6 градусов/с	60 об./мин., 360 градусов/с	1–30 градусов/с

ТАБЛИЦА 1 (окончание)

Характеристики	Система 1	Система 2	Система 3	Система 4	Система 5	Система 6
Тип развертки антенны по горизонтали (непрерывный, произвольный, секторальный и т. д.)	$\pm 45^\circ$ до $\pm 135^\circ$ (механический)	$\pm 30^\circ$ (электронный, конический)	$\pm 40^\circ$ (механический)	180° (механический)	360° (непрерывный)	$\pm 45^\circ$ (электронный)
Скорость развертки антенны по вертикали	30 градусов/с	5 градусов/с	1 500 скан/мин	Не применяется	Не применяется	1,5 градуса/с
Тип развертки антенны по вертикали	-10° до -50° (механический)	0° до -90° (электронный, конический)	$+30^\circ/-10^\circ$ (механический)	$+22,5^\circ/-33,75^\circ$ (механический)	Не применяется	$+5^\circ$ до -45° (электронный)
1-й уровень боковых лепестков антенны	10 дБи при 31°	18 дБи при $1,7^\circ$	20 дБи при $1,6^\circ$	15 дБи при $2,4^\circ$	23 дБи при $1,6^\circ$	3,5 дБ при $5,2^\circ$
Высота антенны	Высота полета воздушного судна	Высота полета воздушного судна	Высота крепления на мачте или палубе	На земле	100 м	Высота полета воздушного судна
Ширина полос пропускания ПЧ по уровню -3 дБ 1-го и 2-го приемника (МГц)	215/68	26,7 (широкая полоса); 7,2 (узкая полоса)	70/40	500/0,750	50	25
Коэффициент шума приемника (дБ)	4	2,7	Не определен	4	$1 + (860/290)$ 860 = шумовая температура приемника К 290 = шумовая температура Земли К 3,97	5
Минимальный различимый сигнал (дБм)	-89	-97,4	-80	-100,4	-92	-100
Ширина полосы радиоимпульса с линейной ЧМ (МГц)	≤ 640	Не определен	30	0,750	Не определен	$< 1\,900^{(2)}$
Ширина полосы радиоизлучения передатчика (МГц): -3 дБ -20 дБ	622; 271 725; 324	1 200; 600; 180 1 220; 620; 200	6,8; 37 20; 42	0,608 2,35	540 670	1 850 1 854

⁽¹⁾ Исследования по совместному использованию частот будут проведены с использованием разнообразных коэффициентов заполнения импульса, начиная от низких и кончая высокими коэффициентами заполнения импульса до 0,2.

⁽²⁾ Исследования по совместному использованию частот будут сконцентрированы на ширине полосы радиоимпульса большей, чем 1600 МГц.

В значительной степени из-за таких связанных с их задачами требований радиолокационные РЛС, использующие полосу частот 15,4–17,3 ГГц или планируемые для ее использования, имеют тенденцию к обладанию следующими общими характеристиками:

- они стремятся иметь высокую максимальную и среднюю мощность передатчика, со значительными исключениями;
- они обычно используют передатчики на основе усилителя мощности с задающим генератором, а не генератор мощности. Они обычно настраиваемые, и некоторые из них с быстрой перестройкой частоты. Некоторые из них используют радиоимпульс с линейной частотной модуляцией или фазово-кодovou межимпульсную модуляцию;
- некоторые из них имеют основные лепестки антенны, регулируемые и по азимуту, и по углу места путем управления электронным лучом;
- они обычно используют универсальные возможности приема и обработки, такие как вспомогательные приемные антенны с подавлением боковых лепестков, обработка импульсной последовательности когерентных несущих для подавления отражения посредством селекции движущихся целей, технологии постоянной вероятности ложных тревог и, в некоторых случаях, адаптивная селекция работающих частот, основанная на опознавании помех на различных частотах.

В таблице 1 обобщены технические характеристики репрезентативных систем, развернутых или планируемых для развертывания во всей полосе частот 15,4–17,3 ГГц или в ее участках. Эта информация достаточна для общего расчета в целях оценки совместимости между этими РЛС и другими системами. Некоторые либо все радиолокационные РЛС, характеристики которых представлены в таблице 1, обладают перечисленными выше свойствами, хотя они не иллюстрируют полный комплект свойств, которые, возможно, появятся в будущих системах.

2.1 Передатчики

РЛС, работающие или планируемые для работы в полосе частот 15,4–17,3 ГГц, используют различные виды модуляций, включая немодулированные импульсы, частотно-модулированные (радиоимпульсы с линейной частотной модуляцией) импульсы и фазово-кодовые импульсы. Электронные СВЧ-приборы О-типа и твердотельные выходные устройства используются на заключительных стадиях работы передатчиков. В новых системах РЛС имеется тенденция использовать электронные СВЧ-приборы О-типа и твердотельные выходные устройства в связи с требованиями обработки доплеровского сигнала. Также РЛС, которые применяют твердотельные выходные устройства, имеют более низкую максимальную выходную мощность передатчика и более высокий коэффициент заполнения импульсов.

Ширина полосы обычных передатчиков радиоизлучения (3 дБ) РЛС, работающих или планируемых для работы в полосе частот 15,4–17,3 ГГц, находится в диапазоне от 60 кГц до 1850 МГц. Максимальная выходная мощность передатчика варьируется от 2 Вт (33,01 дБм) для твердотельных передатчиков до 20 кВт (73,01 дБм) для высокомошных РЛС, использующих электронные СВЧ-приборы М-типа (магнетроны) и электронные СВЧ-приборы О-типа (лампа бегущей волны).

2.1.1 Скачкообразная перестройка частоты

Скачкообразная перестройка частоты представляет собой одну из наиболее распространенных радиоэлектронных защит (ECCMs). Системы РЛС, которые разработаны для работы в неблагоприятной среде активного радиоэлектронного подавления, используют скачкообразную перестройку частоты как один из способов ECCM. Этот тип РЛС обычно разделяет свою распределенную полосу частот на каналы. РЛС затем произвольно выбирает канал из всех имеющихся для передачи каналов. Такое произвольное занятие канала может происходить на основе положения каждого луча, когда передается множество импульсов на одном и том же канале, либо на основе каждого импульса. Этот важный аспект систем РЛС должен быть рассмотрен, и при проведении исследований по совместному использованию частот следует принимать во внимание возможное воздействие РЛС со скачкообразной перестройкой частоты.

2.2 Приемники

Еще более новое поколение систем РЛС использует цифровую обработку сигналов после определения дальности 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 разрешающей способности цели и опознавания необходимых целей, также обеспечивают некоторое подавление импульсной помехи с низким коэффициентом заполнения импульсов (менее чем 5%), что несинхронно с полезным сигналом.

При обработке сигналов РЛС нового поколения используются радиоимпульсы с линейной частотной модуляцией и импульсы с фазово-кодовой модуляцией для обеспечения превышения полезного сигнала над помехой и могут также обеспечивать подавление нежелательных сигналов.

Некоторые из современных маломощных твердотельных РЛС используют обработку многоканального сигнала с интенсивным рабочим циклом (10%) для улучшения отражения полезных сигналов. Некоторые приемники РЛС способны определять РЧ каналы, имеющие низкий уровень нежелательных сигналов, и отдавать приказ передатчику осуществлять передачу по этим РЧ каналам.

2.3 Антенны

На РЛС, работающих или планируемых для работы в полосе частот 15,4–17,3 ГГц, используются разнообразные типы антенн. Антенны в этой полосе частот, как правило, имеют различные размеры и, таким образом, представляют интерес для применения там, где важны подвижность и легкий вес, а также рабочие характеристики, обеспечивающие большой радиус действия. Многие РЛС в полосе частот 15,4–17,3 ГГц работают или планируются для работы в различных режимах, включая режимы поиска, картографирования и навигации (метеонаблюдения). Антенны для таких РЛС обычно сканируют по углу 360° в горизонтальной плоскости. Другие РЛС в данной полосе частот более специализированны и ограничивают сканирование фиксированным сектором. Большинство РЛС в полосе частот 15,4–17,3 ГГц используют или планируют использовать механическое сканирование, однако РЛС более нового поколения используют антенные решетки с электронным сканированием. Используется горизонтальная, вертикальная и круговая поляризация. Стандартные высоты антенн для РЛС наземного базирования и судовых РЛС варьируются от 8 м и 100 м над уровнем поверхности Земли, соответственно.

3 Критерии защиты

Для участка полосы частот 15,4–17,3 ГГц, где имеется распределение для радиолокации, сигнал какой-то другой службы, приводящий к соотношению I/N ниже -6 дБ, допускается пользователями РЛС для сигналов от другой службы с высоким коэффициентом заполнения импульсов (например, незатухающая волна (CW), двухпозиционная фазовая манипуляция (ДФМН), четырехпозиционная фазовая манипуляция (ЧФМН), шумоподобный сигнал и т. д.). Соотношение I/N , равное -6 дБ, дает $(I + N)/N$, равное 1,26, или приблизительно возрастание мощности шума приемника РЛС на 1 дБ. Для оценки помех с точки зрения функционального влияния на работу РЛС могут быть необходимы дальнейшие исследования либо измерения совместимости. Следует отметить, что ведутся исследования по возможности использования статистических и эксплуатационных аспектов в отношении критериев защиты для систем РЛС радиоопределения. Этот статистический подход может быть особенно уместным в случае прерывных сигналов. В случае если системы РЛС работают в полосе частот, для которой существует рекомендация МСЭ-R по характеристикам и критериям защиты РЛС, за специальным руководством в отношении критериев защиты следует обращаться к соответствующей рекомендации¹.

¹ К некоторым примерам Рекомендаций МСЭ-R, содержащих технические характеристики и критерии защиты для конкретных полос частот, относятся: МСЭ-R М.1313, МСЭ-R М.1460, МСЭ-R М.1462, МСЭ-R М.1463, МСЭ-R М.1464, МСЭ-R М.1465, МСЭ-R М.1638 и МСЭ-R М.1466.

Влияние импульсной помехи определить более сложно, и оно строго зависит от конструкции и режима работы приемника/процессора. В частности, дифференцированный выигрыш в отношении сигнал-шум при обработке сигналов для сигнала, отраженного от важной цели, который синхронно работает в импульсном режиме, и импульсов помехи, которые обычно несинхронные, часто оказывают значительное влияние на воздействие заданных уровней импульсной помехи. Несколько различных форм ухудшения работы могут быть вызваны подобным уменьшением чувствительности. Оценка этого будет являться целью для анализов взаимодействия между конкретными типами РЛС. В целом можно предположить, что многочисленные свойства радиолокационных РЛС помогут подавить импульсные помехи с низким коэффициентом заполнения импульсов, в особенности от нескольких отдельных источников. Методы для подавления импульсных помех с низким коэффициентом заполнения импульсов содержатся в Рекомендации МСЭ-R М.1372 – Эффективное использование радиоспектра радиолокационными станциями в службе радиоопределения.

При наличии множества помех рекомендуемое отношение критерия защиты I/N остается неизменным (поскольку оно зависит от типа приемника РЛС и его характеристик обработки сигнала). Общий уровень помех, фактически поступающих на приемник РЛС (который необходимо проверить на предмет соответствия рекомендуемому отношению I/N критерия защиты), зависит от числа помех, их распределения в пространстве и структуры их сигнала и должен быть оценен в ходе совокупного анализа данного сценария. Если помеха была получена с нескольких азимутальных направлений, совокупный анализ должен аккумулировать одновременные сигналы со всех этих направлений, получаемые через основной луч антенны РЛС и/или боковые лепестки, с тем чтобы оценить совместимость.

4 Будущие радиолокационные системы

В общих чертах радиолокационные РЛС, которые могут быть разработаны в будущем для работы в полосе частот 15,4–17,3 ГГц, скорее всего будут похожи на описанные здесь существующие РЛС.

Будущие радиолокационные РЛС, вероятно, будут иметь, по меньшей мере, такую же гибкость, как и уже описанные РЛС, включая способность по-разному работать при различных азимутах и различных секторах угла места.

Есть основания предполагать, что некоторые будущие конструкции могут стремиться к обеспечению возможности работать в широкой полосе частот, расширяющейся, по меньшей мере, в пределах полосы частот, используемых в настоящем обсуждении.

Будущие радиолокационные РЛС этой полосы частот, вероятно, будут иметь электронно-наводимые антенны. Однако существующие в настоящее время технологии делают управление фазой практичной и интересной альтернативой управлению частотой, и множество радиолокационных РЛС, разработанных за последние годы для использования в других полосах частот, использовали управление фазой и по азимуту, и по углу места. В отличие от РЛС с управлением частотой новые РЛС с фазированной антенной решеткой могут управлять любой основной частотой в рабочей полосе частот РЛС на любом произвольном азимуте и угле места в пределах области углового покрытия. Вместе с другими преимуществами это во многих ситуациях облегчило бы электромагнитную совместимость.

Ожидается, что некоторые будущие радиолокационные РЛС будут обладать возможностями излучения средней мощности, по меньшей мере, такого же уровня, как у описанных здесь РЛС. Тем не менее, есть основания предполагать, что разработчики будущих РЛС постараются сделать излучения широкополосного шума ниже излучений существующих РЛС, использующих магнетроны или усилители магнетронного типа. Ожидается, что подобное подавление шума будет достигнуто посредством использования твердотельных передатчиков/антенных систем. В этом случае переданные импульсы будут длиннее и рабочие циклы передачи существенно выше, чем у самых ранних радиолокационных передатчиков на электронно-лучевых трубках.