

**Рекомендация МСЭ-R М.1640-1**  
(01/2018)

**Характеристики и критерии защиты для исследований совместного использования частот радарными, работающими в службе радиоопределения в полосе частот 33,4–36 ГГц**

**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
<b>BO</b>	Спутниковое радиовещание
<b>BR</b>	Запись для производства, архивирования и воспроизведения; пленки для телевидения
<b>BS</b>	Радиовещательная служба (звуковая)
<b>BT</b>	Радиовещательная служба (телевизионная)
<b>F</b>	Фиксированная служба
<b>M</b>	<b>Подвижные службы, служба радиоопределения, любительская служба и относящиеся к ним спутниковые службы</b>
<b>P</b>	Распространение радиоволн
<b>RA</b>	Радиоастрономия
<b>RS</b>	Системы дистанционного зондирования
<b>S</b>	Фиксированная спутниковая служба
<b>SA</b>	Космические применения и метеорология
<b>SF</b>	Совместное использование частот и координация между системами фиксированной спутниковой службы и фиксированной службы
<b>SM</b>	Управление использованием спектра
<b>SNG</b>	Спутниковый сбор новостей
<b>TF</b>	Передача сигналов времени и эталонных частот
<b>V</b>	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, 2018 год

© ITU 2018

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.1640-1

**Характеристики и критерии защиты для исследований совместного использования частот радарными, работающими в службе радиоопределения в полосе частот 33,4–36 ГГц**

(Вопросы МСЭ-R 213/7 и МСЭ-R 226/8)

(2003-2018)

**Сфера применения**

В настоящей Рекомендации представлены технические характеристики и критерии защиты систем радиоопределения, работающих в полосе частот 33,4–36 ГГц. Текст разработан как вспомогательный документ в помощь при проведении исследований возможности совместного использования частот службой радиоопределения и другими службами.

**Ключевые слова**

Характеристики, критерии защиты, радар, формирователи радиометрических изображений, измерительный радар, радар наведения, радар поиска, радар сопровождения

**Сокращения/гlossарий**

IF	Intermediate frequency	ПЧ	Промежуточная частота
RF	Radio frequency	РЧ	Радиочастота
RR	Radio regulations	РР	Регламент радиосвязи
Rx	Receive		Прием
Tx	Transmit		Передача

**Соответствующие Рекомендации и Отчеты МСЭ**

Рекомендация МСЭ-R М.1461 Процедуры определения потенциальных помех между радарными, работающими в службе радиоопределения, и системами в других службах

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

*учитывая,*

- a)* что характеристики антенны, распространения сигнала, обнаружения цели и большой необходимой ширины полосы радара для выполнения его функций оптимальны в определенных полосах частот;
- b)* что технические характеристики радаров радиоопределения зависят от назначения системы и варьируются в широких пределах даже внутри одной полосы частот;
- c)* что для определения возможности внедрения в полосах частот новых типов систем требуются типовые технические и эксплуатационные характеристики радаров;
- d)* что в Рекомендации МСЭ-R М.1461 приведены процедуры и методики анализа совместимости с радарными и системами других служб;
- e)* что радары радиоопределения работают в полосе частот 33,4–36 ГГц;
- f)* что полоса частот 33,4–34,2 ГГц распределена радиолокационной службе на первичной основе;

- g) что полоса частот 34,2–34,7 ГГц распределена радиолокационной службе и службе космических исследований (дальний космос) (Земля-космос) на первичной основе;
- h) что полоса частот 34,7–35,2 ГГц распределена радиолокационной службе на первичной основе и службе космических исследований на вторичной основе;
- i) что полоса частот 35,2–35,5 ГГц распределена вспомогательной службе метеорологии и радиолокационной службе на первичной основе;
- j) что полоса частот 35,5–36 ГГц распределена вспомогательной службе метеорологии, спутниковой службе исследования Земли (активной), радиолокационной службе и службе космических исследований (активной) на первичной основе;

*рекомендует*

- 1** считать типовыми характеристиками радаров, работающих в полосе частот 33,4–36 ГГц, технические и эксплуатационные характеристики радаров радиоопределения, представленные в Приложении 1;
- 2** в случае непрерывных (неимпульсных) помех использовать отношение мощности мешающего сигнала к уровню мощности шума приемника радара,  $I/N$ , равное –6 дБ, в качестве необходимого уровня защиты радиолокационных систем для исследований совместного использования частот в целом, в том числе для радаров поиска и сопровождения (F), которые представлены в таблице 1 Приложения 1, в диапазоне частот 33,4–36 ГГц;
- 3** для исследований совместного использования полосы 33,4–36 ГГц радарными (А–Е), представленными в таблице 1 Приложения 1, и системами других служб использовать следующие критерии:
- для формирователей радиометрических изображений критерии краткосрочной защиты составляют –137,8 дБ (Вт/2 ГГц) в течение времени не более 3 с, а критерии долгосрочной защиты – не более –144,8 дБ (Вт/2 ГГц) в течение времени не более 60 с;
  - для радаров измерения и наведения критерии краткосрочной защиты составляют –126,2 дБ (Вт/6 МГц) в течение времени не более 5 с, а критерии долгосрочной защиты – не более –136,1 дБ (Вт/6 МГц) в течение времени не более 60 с.

## Приложение 1

### Характеристики и критерии защиты для радаров, работающих в службе радиоопределения в полосе частот 33,4–36 ГГц

#### 1 Назначение

Характеристики и критерии защиты, указанные в настоящей Рекомендации, предназначены для применения в исследованиях совместного использования частот, которые проводятся во исполнение Резолюций **712 (ВКР-2000)** и **730 (ВКР-2000)** и для оценки совместимости радаров и других систем, работающих в полосе частот 33,4–36 ГГц.

#### 2 Технические характеристики

Частоты около 35 ГГц и 94 ГГц примерно соответствуют первым двум окнам распространения в характеристиках атмосферного поглощения спектра миллиметровых волн, и для достижения высокой точности измерения и обеспечения способности систем службы радиоопределения различать отдельные цели в диапазоне волн миллиметровой длины требуется использование этих частот. Для решения задач картографирования, идентификации целей, навигации, определения точки наведения,



контрольного измерения дальности и т. д. используются как пассивные, так и активные датчики, работающие в службе радиоопределения на этих частотах. В таблице 1 приведены технические характеристики типовых систем, применяемых в этих полосах. Приведенные данные позволяют выполнить общий расчет для оценки совместимости указанных радаров и других систем.

ТАБЛИЦА 1

## Технические характеристики радаров, работающих на частоте около 35 ГГц

Параметр	Ед. изм.	Радар А	Радар В	Радар С	Радар D	Радар Е	Радар F
Назначение		Формирование изображений	Формирование изображений	Измерение	Измерение	Поиск	Поиск и сопровождение
Тип датчика		Пассивный	Активный	Активный	Активный	Активный	Активный
Модуляция		–	Импульсная	Импульсная	Импульсная	Линейная ЧМ	Линейная ЧМ Импульсная
Коэффициент уплотнения		–	–	–	–	200	50
Ширина импульса	мкс	–	0,05	0,25	0,05	10	20
Пиковая мощность передатчика	кВт	–	0,5	135	1	0,001	10
Частота повторения импульсов	кГц	–	30	1	50	10	10–30
Ширина полосы РЧ	МГц	–	80	10	101	12	2 000
Усиление антенны	дБи	35	30	52	51	28,7	52
Ширина луча	град.	0,5 × 3,0	0,75 × 10	0,25 × 0,25	0,5 × 0,5	4,4 × 4,4	0,25 × 0,25
Ширина полосы ПЧ приемника	Гц	2	0,040	0,006	0,185	0,100	0,006
Шумовая температура	К	850	–	–	–	–	–
Коэффициент шума	дБ	–	4,5	10	10	5	4
Чувствительность приемника	дБм	–	–81	–95	–78	–93	–
Настройка		Фиксированная	Фиксированная	Фиксированная	Перескок частоты	Фиксированная	Перескок частоты

### 3 Критерии защиты

В следующих пунктах выводятся критерии защиты от краткосрочных помех для наземных радиолокационных систем, описанных в таблице 1.

#### 3.1 Формирователи радиометрических изображений

В предположении незначительного изменения усиления систем минимальная чувствительность системы формирования радиометрических изображений к изменению температуры  $\Delta T$  составляет:

$$\Delta T = \frac{T_A + T_r}{\sqrt{B \cdot t_i}}, \quad (1)$$

где:

$T_A$  : шумовая температура антенны;

$T_r$  : шумовая температура приемника;

$B$  : ширина полосы РЧ;

$t_i$ : время интегрирования.

Порог радиометра  $\Delta P$  определяется следующим образом:

$$\Delta P = k \Delta T B, \quad (2)$$

где  $k$  – постоянная Больцмана =  $1,38 \times 10^{-23}$ , а значения  $\Delta T$  и  $B$  – как указано выше. Используя уравнения (1) и (2), заключаем, что для радиометра с полосой пропускания 2 ГГц, шумовой температурой системы 850 К и временем интегрирования 1 мс значение составит  $\Delta P = -137,8$  дБ(Вт/2 ГГц).

#### *Критерий краткосрочной защиты*

Учитывая, что такое событие маловероятно, оператор может посчитать приемлемым значительное ухудшенное изображение в течение нескольких секунд. Разрешив приближение уровня нежелательного сигнала к порогу чувствительности радиометра, получим допустимый уровень нежелательного сигнала  $-137,8$  дБ (Вт/2 ГГц) в течение не более 3 с.

#### *Критерий долгосрочной защиты*

Для периодов времени длительностью до 1 мин. можно рассмотреть менее значительное ухудшение изображения. В этом случае ухудшение не всегда очевидно для оператора, но вызывает некоторую потерю оптического разрешения. Разрешив достижение нежелательным сигналом уровня 20% от порога чувствительности радиометра, получим допустимый уровень помех  $-144,8$  дБ(Вт/2 ГГц) в течение не более 60 с.

### **3.2 Измерительные радары и радары наведения**

В случае наземных измерительных радаров и радаров наведения можно заметить, что две важные характеристики – угловая точность  $\sigma_\theta$  и дальность обнаружения цели  $R$  – связаны с отношением  $S/N$  на входе приемника следующим образом:

$$\sigma_\theta \propto \frac{1}{\sqrt{S/N}}; \quad (3)$$

$$R \propto \frac{1}{\sqrt[4]{S/N}}. \quad (4)$$

В диапазоне волн миллиметровой длины при достаточно небольших размерах антенны можно получить узкий луч антенны и высокую угловую точность. Эта характеристика, по сути, является основной причиной, по которой радары наведения и измерительные радары разрабатывались на этих частотах. Из уравнений (3) и (4) видно, что угловая точность радара более чувствительна к отношению  $S/N$  на входе приемника, чем к дальности обнаружения, поэтому для определения допустимых уровней помех используется именно эта характеристика<sup>1</sup>.

Как и в случае системы формирования изображений, рассмотренном в предыдущем пункте, можно установить краткосрочные и долгосрочные критерии допустимого ухудшения характеристик системы из-за нежелательных сигналов (помех).

Кратковременные помехи могут значительно ухудшать работу системы в течение времени, достаточно короткого для того, чтобы остаться приемлемым для оператора, учитывая, что такое событие маловероятно. Долгосрочные помехи могут постепенно ухудшить производительность системы до такой степени, когда это очевидно заметно оператору, но приемлемо в течение указанного времени.

#### *Критерий краткосрочной защиты*

Ухудшение соотношения  $S/N$  радара приводит к ошибке слежения, которая может частично свести на нет преимущество работы на более высоких частотах и существенно повлиять на выполнение радаром своей задачи. Разрешив достижение нежелательным сигналом уровня шума радара ( $I/N = 0$  дБ),

<sup>1</sup> Для простоты предполагается, что мешающие сигналы воспринимаются приемником как повышение уровня мощности шума в каскадах ПЧ. Возможно, потребуется рассмотреть реальную реакцию радиолокационных систем, но это выходит за рамки настоящего обобщенного анализа.

получим увеличение угловой погрешности на 40%. Можно также предположить, что такое ухудшение на периоды времени менее 5 с не слишком важно, учитывая, что такое событие маловероятно. Тогда допустимый уровень нежелательного сигнала может составлять до  $-126,2$  дБ(Вт/6 МГц) в течение времени не более 5 с (при использовании радара с самой узкой полосой частот, указанной в таблице 1).

#### *Критерий долгосрочной защиты*

Очевидно, что при более длительных периодах времени погрешность радара становится важнее. Следует полагать, что в интервалах длительностью до 1 мин. увеличение угловой погрешности из-за нежелательного сигнала не должно превышать 5%. Тогда долгосрочным критерием становится допустимый уровень нежелательного сигнала, равный  $-136,1$  дБ(Вт/6 МГц), в течение времени не более 60 с.

### **3.3 Радары поиска и сопровождения**

Для радаров поиска и сопровождения критерий защиты, выраженный отношением мощности мешающего сигнала к уровню мощности шума приемника радара,  $I/N$ , составляет  $-6$  дБ.

---