

МСЭ-R
Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R SA.1160-3
(07/2017)

**Критерии суммарных помех для систем
передачи данных в спутниковой службе
исследования Земли и
метеорологической спутниковой службе,
использующих спутники
на геостационарной орбите**

Серия SA
Космические применения и метеорология



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, 2018 г.

© 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 SA.1160-3

Критерии суммарных помех для систем передачи данных в спутниковой службе исследования Земли и метеорологической спутниковой службе, использующих спутники на геостационарной орбите

(Вопрос МСЭ-R 141/7)

(1995-1997-1999-2017)

Сфера применения

Цель настоящей Рекомендации – предоставить критерии суммарных помех для линий передачи данных спутников ГСО в спутниковой службе исследования Земли и метеорологической спутниковой службе.

Ключевые слова

ССИЗ, MetSat, спутники ГСО, передача данных, критерии помех

Соответствующие Рекомендации и Отчеты

Рекомендации МСЭ-R SA.1022, МСЭ-R SA.1159 и МСЭ-R SA.1161

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a)* что критерии помех необходимы для обеспечения возможности разработки систем, демонстрирующих надлежащие характеристики в условиях наличия помех;
- b)* что критерии помех можно определить с использованием методики, описанной в Рекомендации МСЭ-R SA.1022, и требуемых рабочих характеристик, указанных в Рекомендации МСЭ-R SA.1159;
- c)* что критерии помех способствуют разработке критериев совместного использования полос частот системами, включая системы, работающие в других службах;
- d)* что для систем спутниковой службы исследования Земли (ССИЗ) и метеорологической спутниковой службы (MetSat) пороговые значения помех должны определяться на уровнях, не ниже допустимых уровней;
- e)* что в Приложении представлены параметры типовых систем, которые обеспечивают основу для определения критериев помех применительно к соответствующим передачам в службах ССИЗ и MetSat,

рекомендует

использовать уровни помех, указанные в таблице 1, в качестве допустимых суммарных уровней мощности мешающего сигнала на выходе антенны станций, работающих в службах ССИЗ и MetSat.

ТАБЛИЦА 1

Критерии помех для станций служб ССИЗ и MetSat, использующих космический аппарат на геостационарной орбите

Полоса частот (МГц)	Мощность мешающего сигнала (дБВт) в эталонной ширине полосы, которая будет превышена не более чем для 20% времени	Мощность мешающего сигнала (дБВт) в эталонной ширине полосы, которая будет превышена не более чем для $p\%$ времени
1 670–1 710 космос-Земля	–158,0 дБВт на 1 МГц	–152,8 дБВт на 1 МГц $p = 0,025$
2 025–2 110 Земля-космос	–139,9 дБВт на 1 МГц	–136,6 дБВт на 1 МГц $p = 0,025$
25 500–27 000 космос-Земля	–144,6 дБВт на 10 МГц	–133,0 дБВт на 10 МГц $p = 0,25$

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Значения мощности мешающего сигнала (дБВт) в эталонной ширине полосы указаны для приема при углах места $\geq 3^\circ$.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Уровень полной мощности мешающего сигнала, который может быть превышен не более чем в течение $x\%$ времени, где x меньше 20%, но больше указанного процента времени ($p\%$ времени) действия кратковременной помехи, можно определить путем интерполяции между заданными величинами с использованием логарифмической шкалы (по основанию 10) для процента времени и линейной шкалы для плотности мощности мешающего сигнала (дБ).

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Критерии помех могут быть выражены как допустимые значения плотности потока мощности главного луча приемной антенны путем вычитания $10\log(G\lambda^2/4\pi)$ из значения, указанного в таблице 1, где G – усиление приемной антенны, а λ – длина волны.

ПРИМЕЧАНИЕ 4. – Основу критериев помех составляют описанные в Приложении системы, однако эти критерии помех применимы ко всем системам, которые работают в указанных полосах частот и обеспечивают указанные служебные функции.

Приложение

Основа для определения критериев помех

В настоящем Приложении представлены параметры, используемые в качестве исходных данных в методике определения критериев помех из Рекомендации МСЭ-R SA.1022 для передачи по линии вниз необработанных данных измерений на основные приемные земные станции спутникового оператора и распространения этих данных на пользовательские станции.

1 Передача необработанных данных измерений по линии вниз на основные приемные земные станции

В таблице 2 указаны критерии для передачи необработанных данных измерений по линии вниз на основные приемные земные станции, когда все помехи поступают непосредственно на приемные земные станции и эти станции не принимают каких-либо помех через спутник, передающий данные.

Критерии помех могут быть выражены как допустимые значения плотности потока мощности главного луча приемной антенны путем вычитания $10\log(G\lambda^2/4\pi)$ из значения, указанного в таблице 2, где G – усиление приемной антенны, а λ – длина волны.

ТАБЛИЦА 2

Характеристики передачи необработанных данных измерений по линии вниз на основные приемные земные станции, используемые в качестве основы для определения критериев помех для станций, работающих со спутниками на геостационарной орбите

а) Полоса частот 1670–1710 МГц

Параметр линии		Значение	Примечания
Э.и.и.м. линии вниз		16,1 дБВт	
Потери линии вниз		190,1 дБ	Свободное пространство, поляризация и неточность наведения антенны
G/T линии вниз		24,4 дБ (K^{-1})	
C/N_0 линии вниз		79,0 дБ.Гц	
Скорость передачи данных		2,6 Мбит/с	
Требуемое C/N_0		78,1 дБ.Гц	КОБ = 1×10^{-6} Потери реализации 2,2 дБ Потери модуляции 1 дБ
Запас		0,9 дБ	Долговременный и кратковременный
Усиление приемной антенны		45,1 дБи	
Плотность шума приемника		-207,9 дБ (Вт/Гц)	
Критерии помех	Долговременные	-153,9 дБ (Вт/2,6 МГц)	$q = 1/3$ и $M_{\min} = 1,2$ дБ
	Кратковременные	-148,7 дБ (Вт/2,6 МГц)	$q = 1$ и $M_{\min} = 1,2$ дБ

б) Полоса частот 25,5–27,0 ГГц

Параметр линии		Значение	Примечания
Э.и.и.м. линии вниз		55,5 дБВт	
Потери линии вниз	Долговременные	227,9 дБ	Свободное пространство, дождь и атмосферные явления, поляризация и неточность наведения антенны
	Кратковременные	231,3 дБ	Дополнительные потери 7,1 дБ
G/T линии вниз		37,6 дБ (K^{-1})	
C/N_0 линии вниз	Долговременные	93,8 дБ.Гц	
	Кратковременные	90,4 дБ.Гц	
Скорость передачи данных		164 Мбит/с	
Требуемое значение C/N_0		88,7 дБ.Гц	КОБ = 1×10^{-9} Потери реализации 1,5 дБ Потери модуляции 1,75 дБ
Запас	Долговременный	5,1 дБ	
	Кратковременный	1,7 дБ	
Усиление приемной антенны		60,6 дБи	В том числе потери из-за неточности наведения
Плотность шума приемника		-205,6 дБ (Вт/Гц)	
Критерии помех	Долговременные	-144,6 дБ (Вт/10 МГц)	$q = 0,1$ и $M_{\min} = 4,5$ дБ
	Кратковременные	-133,0 дБ (Вт/10 МГц)	$q = 1$ и $M_{\min} = 4,5$ дБ

2 Распространение данных на пользовательские станции

На распространение обработанных данных высокого разрешения влияют помехи, принимаемые станцией через спутник, а также помехи, поступающие непосредственно на станцию в полосе частот 1670–1710 МГц. Обработанные данные высокого разрешения передаются на спутник в полосе 2025–2110 МГц и ретранслируются вместе с мешающими сигналами, поступающими на спутник в той же полосе частот, приемникам земных станций через спутниковые ретрансляторы с постоянным усилением.

Отношения несущая/шум плюс плотность помех линий вверх и вниз составляют соответственно:

$$\left(\frac{C}{N_0 + I_0} \right)_{up} = \frac{(C/N_0)_{up}}{1 + \frac{I_{01}}{k T_1}}$$

и

$$\left(\frac{C}{N_0 + I_0} \right)_{down} = \frac{(C/N_0)_{down}}{1 + \frac{I_{02}}{k T_2}},$$

где:

I_{01} и I_{02} : плотность помех, принимаемых приемниками спутника и станций;

T_1 и T_2 : шумовые температуры систем приемников спутника и станций;

k : постоянная Больцмана.

Суммарное отношение несущая/шум плюс плотность помех:

$$\frac{C}{N_0 + I_0} = \left[\left(\frac{C}{N_0 + I_0} \right)_{up}^{-1} + \left(\frac{C}{N_0 + I_0} \right)_{down}^{-1} \right]^{-1}.$$

Согласно Рекомендации МСЭ-R SA.1022 это также можно записать следующим образом:

$$\frac{C}{N_0 + I_0} = M^{-q} \frac{C}{N_0},$$

где:

M : запас помехоустойчивости;

q : доля запаса помехоустойчивости, которую могут поглощать помехи;

C/N_0 : суммарное отношение несущей к плотности шума, определяемое как:

$$C/N_0 = \left[(C/N_0)_{up}^{-1} + (C/N_0)_{down}^{-1} \right]^{-1}.$$

Из приведенных выше уравнений:

$$M^q = 1 + \frac{\frac{I_{01}}{k T_1} (C/N_0)_{up} + \frac{I_{02}}{k T_2} (C/N_0)_{down}}{(C/N_0)_{up} + (C/N_0)_{down}}.$$

Предположим, что помехи в линиях вверх и вниз распределены так, что часть помех p , принимаемых земной станцией, поступает через спутник, а часть $1 - p$ – непосредственно на станцию. Желательно, чтобы значение p было близким к 1/2, с тем чтобы обеспечить разумный баланс между помехами в линиях вверх и вниз. Можно показать, что для ретранслятора с постоянным усилением

$$\frac{I_{02}}{k T_2} = \frac{1 - p}{p} \frac{I_{01}}{k T_1} \frac{(C/N_0)_{down}}{(C/N_0)_{up}},$$

так что:

$$M^q = 1 + \frac{1}{p} \frac{I_{01}}{k T_1} \left[1 + \frac{(C/N_0)_{up}}{(C/N_0)_{down}} \right]^{-1}.$$

Соответственно, получим допустимую плотность помех в линии вверх:

$$I_{01} = 1 + p k T_1 \left[1 + \frac{(C/N_0)_{up}}{(C/N_0)_{down}} \right] (M^q - 1) \quad \text{для } M > M_{\min},$$

где в соответствии с Рекомендацией ITU-R SA.1022 M_{\min} – наименьший запас помехоустойчивости, из которого помехи поглощают только часть q . Следовательно, допустимая плотность помех в линии вниз:

$$I_{02} = (1 - p) k T_2 \left[1 + \frac{(C/N_0)_{down}}{(C/N_0)_{up}} \right] (M^q - 1) \quad \text{для } M > M_{\min}.$$

В таблице 3 приведены расчеты I_{01} и I_{02} для данных высокого разрешения в предположении, что $p = 1/2$, $q = 1/3$ и $M_{\min} = 1,2$ дБ для долговременных помех и $p = 1/2$, $q = 1$ и $M_{\min} = 1,2$ дБ для кратковременных помех.

Критерии помех можно выразить как допустимые значения плотности потока мощности главного луча приемной антенны путем вычитания $10\log(G \lambda^2/4\pi)$ из значений, указанных в таблице 3, где G – усиление приемной антенны, а λ – длина волны.

ТАБЛИЦА 3

Анализ характеристик, используемых в качестве основы критериев помех при распространении данных высокого разрешения на пользовательские станции через геостационарные спутники

Параметр линии	Значение	Примечания
Э.и.и.м. линии вверх	72,1 дБВт	
Потери линии вверх	191,7 дБ	Свободное пространство, поляризация и неточность наведения антенны
G/T линии вверх	-17,5 дБ (K^{-1})	Измерение после запуска
C/N_0 линии вверх	91,5 дБ/Гц	
Э.и.и.м. линии вниз	23,8 дБВт	
Потери линии вниз	190,1 дБ	Свободное пространство, поляризация и неточность наведения антенны
G/T линии вниз	15,2 дБ (K^{-1})	
C/N_0 линии вниз	77,5 дБ.Гц	
Суммарное значение C/N_0	77,3 дБ.Гц	
Скорость передачи данных	2,11 Мбит/с	
Требуемое значение C/N_0	75,9 дБ.Гц	КОБ = 1×10^{-6} Потери реализации 1,9 дБ
Запас	1,4 дБ	

ТАБЛИЦА 3 (окончание)

Параметр линии		Значение	Примечания
Усиление приемной антенны линии вверх		9,5 дБи	
Плотность шума в линии вверх		-201,6 дБ (Вт/Гц)	$T = 500 \text{ К}$
Критерий помех линии вверх (2025–2110 МГц)	Долговременных	-136,7 дБ (Вт/2,11 МГц)	$q = 1/3$
	Кратковременных	-133,4 дБ (Вт/2,11 МГц)	$q = 1$
Усиление приемной антенны линии вниз		39,5 дБи	
Плотность шума в линии вниз		-204,3 дБ (Вт/Гц)	$T = 269 \text{ К}$
Критерий помех линии вниз (1670–1710 МГц)	Долговременных	-153,4 дБ (Вт/2,11 МГц)	$q = 1/3$
	Кратковременных	-148,1 дБ (Вт/2,11 МГц)	$q = 1$

3 Заключение

3.1 Полоса частот 1670–1710 МГц

Вышеприведенный анализ дает два набора критериев помех: для передачи необработанных данных измерений по линии вниз на основные земные приемные станции и для распространения данных на пользовательские станции.

Предполагается, что передача необработанных данных измерений по линии вниз на основные приемные земные станции наилучшим образом характеризует системы, работающие в данной полосе частот. Для упрощения предлагается привести эти критерии к полосе шириной 1 МГц, что дает следующие значения:

- долговременные помехи: -158,0 дБВт/МГц;
- кратковременные помехи: -152,8 дБВт/МГц.

3.2 Полоса частот 2025–2110 МГц

Приведенный выше анализ обеспечивает единственный набор критериев помех для систем распространения данных. Для упрощения предлагается привести эти критерии к полосе шириной 1 МГц, что дает следующие значения:

- долговременные помехи: -139,9 дБВт/МГц;
- кратковременные помехи: -136,6 дБВт/МГц.

3.3 Полоса частот 25,5–27 ГГц

Вышеприведенный анализ обеспечивает единственный набор критериев помех для передачи необработанных данных измерений по линии вниз на основные приемные станции, представляющие собой системы нового поколения, работающие в полосе частот 25,5–27 ГГц, и дает следующие значения:

- долговременные помехи: -144,6 дБВт/10 МГц;
- кратковременные помехи: -133,0 дБВт/10 МГц.