

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R SA.1862
(01/2010)

**Руководящие указания
для эффективного использования
полосы частот 25,5–27,0 ГГц
спутниковой службой исследования
Земли (космос-Земля) и службой
космических исследований
(космос-Земля)**

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 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/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	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.

© ITU 2010

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.1862

**Руководящие указания для эффективного использования
полосы частот 25,5–27,0 ГГц спутниковой службой исследования Земли
(космос-Земля) и службой космических исследований (космос-Земля)**

(2010)

Сфера применения

В данной Рекомендации содержатся руководящие указания для оптимального использования полосы частот 25,5–27,0 ГГц несколькими различными системами исследования космического пространства, например, околоземные исследовательские сети и исследовательские сети дальнего космоса, системы исследования Земли, геостационарные спутниковые системы и спутниковые сети передачи данных. Кроме того, в этой Рекомендации определены уменьшенные пределы плотности потока мощности для спутников на геостационарных орбитах для того, чтобы обеспечить лучшую защиту для программ космических исследований с чувствительными линиями связи космос-Земля. Также в ней определены пределы плотности потока мощности на ГСО для защиты спутниковых систем передачи данных.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что полоса частот 25,5–27,0 ГГц распределена спутниковой службе исследования Земли (ССИЗ) (космос-Земля) и службе космических исследований (СКИ) (космос-Земля), и что полоса частот 25,25–27,50 ГГц распределена межспутниковой службе¹ (МСС);
- b) что околоземные программы ССИЗ и СКИ в полосе 25,5–27,0 ГГц в определенных условиях могут быть совместимы;
- c) что плотность потока мощности (п.п.м.) на земной поверхности от программ СКИ очень мала для лунных программ и крайне мала для программ "точки Лагранжа на линии Солнце-Земля" и программ по исследованию дальнего космоса;
- d) что из-за низкой п.п.м. программы по исследованию дальнего космоса весьма уязвимы для помех и имеют жесткие критерии защиты;
- e) что многие администрации планируют запустить пилотируемые программы на орбиту Луны и далее;
- f) что пилотируемые программы имеют более жесткие критерии защиты, чем непилотируемые;
- g) что из-за ослабления в атмосфере, особенно ослабления из-за дождя, и пределов плотности потока мощности, определенных в Статье 21 Регламента радиосвязи (РР), может быть трудно достигнуть доступности линий связи более 99,9% в полосе 25,5–27,0 ГГц;
- h) что планируемое применение диапазона 25,5–27 ГГц в программах СКИ и ССИЗ, скорее всего, несовместимо с критериями защиты для пилотируемых программ СКИ, определенными в Рекомендации МСЭ-R SA.609;
- j) что полосу частот 25,5–27,0 ГГц планируется использовать в программах ССИЗ для разных программ по наблюдению Земли, исследованию Земли и наблюдением за климатом;
- k) что доступность полосы частот 25,5–27,0 ГГц крайне важна для околоземных программ СКИ и ССИЗ с требованиями высокоскоростной передачи данных;

¹ Использование полосы частот 25,25–27,5 ГГц межспутниковой службой ограничено применениями для космических исследований и спутникового исследования Земли.

l) что помехи от передающих спутников на геостационарной орбите способны существенно ухудшить запас на линии связи и даже обусловить потери на чувствительных линиях связи программ СКИ, если эти спутники работают вблизи от применяемых в настоящее время границ п.п.м. (см. Приложение 1);

m) что Статья 21 РР ограничивает плотность потока мощности на поверхности Земли до уровней от -115 до -105 дБ(Вт/(м² · МГц)), в зависимости от угла прихода;

n) что снижение пределов п.п.м. ниже указанных в Статье 21 РР пределов для спутников на геостационарной орбите даст необходимую защиту для программ СКИ – лунной и Лагранжа;

o) что линии связи космос-Земля типовых спутников НГСО всегда могут соответствовать ограничениям плотности потока мощности для защиты спутников ретрансляции данных (DRS), а спутникам НГСО с орбитами выше 1370 км может потребоваться допустимое превышение их в течение небольшого процента времени,

признавая,

a) что сбор глобальных данных о погоде и климате системами космического базирования для обеспечения работы Глобальной системы систем наблюдения Земли (GEOSS) становится все более важным для мирового сообщества;

b) что полоса частот 25,5–27,0 ГГц планируется для использования в пилотируемых программах СКИ для передачи данных, не включающих безопасность космонавтов и станции;

c) что спутники НГСО также должны соответствовать Рекомендации МСЭ-R SA.1155 – Критерии защиты, относящиеся к эксплуатации спутниковых систем передачи данных,

рекомендует,

1 что программы исследования дальнего космоса не должны использовать полосу частот СКИ 25,5–27,0 ГГц (космос-Земля), исключая случаи, когда требования программ не могут быть выполнены в других полосах, специально распределенных для работы в дальнем космосе;

2 что если, по неустранимой причине, программа исследования дальнего космоса требует использования полосы частот 25,5–27,0 ГГц, эта программа не должна требовать защиты от помех со стороны околоспутниковых программ, большей, чем критерии защиты из Рекомендации МСЭ-R SA.609, применимые к непилотируемым программам в полосе частот 25,5–27,0 ГГц;

3 что пилотируемые программы СКИ не должны требовать защиты от помех со стороны ССИЗ и непилотируемых программ СКИ, большей, чем критерии защиты из Рекомендации МСЭ-R SA.609, применимые к непилотируемым программам в полосе частот 25,5–27,0 ГГц;

4 что для того, чтобы лунным программам и программам Лагранжа СКИ предоставлялась дополнительная защита, программы ССИЗ и СКИ на геостационарных орбитах должны ограничить уровень их п.п.м. до значения -115 дБ(Вт/(м² · МГц)) в полосе частот 25,5–27,0 ГГц для всех углов прихода луча на поверхности Земли (см. Приложение 1);

5 что спутники ССИЗ и СКИ на негеостационарных орбитах с линиями связи космос-Земля не должны создавать п.п.м. больше -133 дБ(Вт/(м² · МГц)) при любой позиции спутника DRS на геостационарной орбите. Этот предел может быть превышен не более чем в течение 0,1% времени для систем НГСО с высотами более 1370 км (см. Приложение 2).

Приложение 1

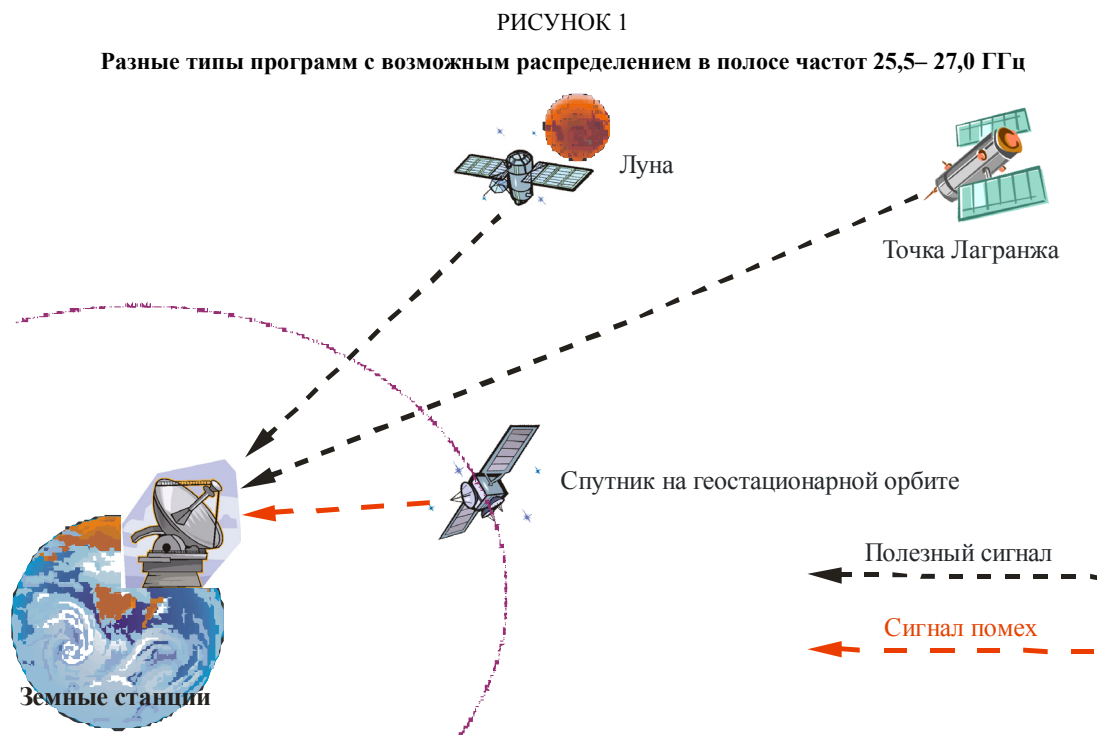
Возможное воздействие спутников на геостационарной орбите на чувствительные линии связи программ СКИ

1 Введение

Полоса частот 25,5–27,0 ГГц является важной полосой для ССИЗ и СКИ на линии связи космос-Земля. Эту полосу частот планируется использовать как для программ ССИЗ, так и для программ СКИ. Последние могут работать на любом расстоянии: от околоземной орбиты до точек Лагранжа на линии Земля-Солнце. В результате множества расширенных исследований, посвященных совместимости между разными типами программ, можно сделать вывод, что все возможные применения могут без проблем совместно использовать полосу частот 25,5–27,0 ГГц, исключая спутники на геостационарной орбите, работающие недалеко от пределов п.п.м., указанных в Статье 21 РР. В данном Приложении приведено краткое изложение результатов разных исследований и исходные данные для соответствующих пределов сниженной плотности потока мощности для спутников на геостационарной орбите.

2 Характеристики систем СКИ, которые возможно будут испытывать помехи

Программами СКИ с самой большой чувствительностью являются спутники, находящиеся вблизи точек Лагранжа L1/L2 и рядом с Луной. На рисунке 1 показаны такие научные применения и соответствующая группировка помех.



1862-01

В таблице 1 приведены характеристики лунных систем, проанализированные в одном из подробных исследований. Как видно из этой таблицы, запас на линии связи соответствует требуемому значению $C_0/N_0 - C_0/N_0$. Эта мощность рассчитана на основании системных данных с типовыми предположениями относительно скорости передачи данных, кодированию и доступности.

ТАБЛИЦА 1

Основные характеристики типичных систем СКИ, испытывающих помехи

Параметры	Типичные спутниковые системы, испытывающие помехи и работающие на частоте 26 ГГц	
	Lunar LRO	Cx Lunar, 50 МГц
Частота (МГц)	25 650	26 000
Наклонная дальность (км)	401 427	404 943
Мощность передатчика (дБ(Вт))	16,0	17,0
Разделение мощности передатчика (дБ)	-3,0	0,0
Усиление передатчика (дБи)	42,9	43,5
Максимальная п.п.м. на Земле (дБ(Вт/(м ² · МГц)))	-143,0	-141,4
Скорость передачи данных (Мбит/с)	50,0	25,0
Усиление приемника (дБи)	71,3	70,4
Потери на линии связи (дБ)	-7,5	-9,7
Потери из-за дождя/в атмосфере (дБ)	-1,25	-2,8
Температура (К)	510,0	446,7
C_0/N_0 (дБ)	10,3	13,6
Необходимая C_0/N_0 (дБ)	2,9	2,2
Мощность (дБ)	7,4	11,4

В другом подробном исследовании в качестве типичного примера программ Лагранжа использовался космический телескоп James Web (JWST). Рассматривались два разных потока данных со скоростями 14 и 56 Мбит/с. Регулируемая скорость передачи данных помогает поддерживать работу линии связи в случае сильных дождей. В таблице 2 приведено краткое содержание предположений для программ СКИ Лагранжа, испытывавших помехи.

ТАБЛИЦА 2

Основные характеристики систем СКИ Лагранжа, испытывающих помехи

	JWST-14	JWST-56
Высота орбиты спутника СКИ (км)	1 500 000	
Мощность спутника СКИ (дБВт)	13,1	
Полоса пропускания главного лепестка с QPSK (МГц)	14	56
Диаметр антенны спутника СКИ (м)	1,05	
Максимальное усиление антенны спутника СКИ (дБи)	46,2	
Диаметр антенны земной станции СКИ (м)	34,0	
Шумовая температура системы СКИ (К)	200	
Технические потери приемника и при наведении (дБ)	3,0	
Необходимая E_s/N_0 для QPSK с кодированием канала (дБ)	2,5	
Мощность для ослабления в атмосфере (дБ)	20,0	13,9

Для всех оценок в качестве основных критериев защиты выбраны те, что указаны в Рекомендации МСЭ-R SA.609. В ней определено, что уровень плотности помех -156 дБ(Вт/МГц) не должен превышать более чем в течение 0,1% времени.

3 Предполагаемые характеристики геостационарных систем, создающих помехи

В таблице 3 приведены требуемые характеристики бюджета линии для некоторых возможных геостационарных систем. ГСО-1 представляет программу Alpha-Sat с полосой пропускания канала 405 МГц. Устройство спутника основано на параболической антенне диаметром 0,7 м. В процессе моделирования предполагалось, что наихудшим случаем является земная станция в Мадриде. Ожидается, что ГСО-1 будет достаточно типичным примером нескольких типов геостационарных систем, которые планируется развернуть в этой полосе. ГСО-2 является гипотетической системой и может служить примером системы с малым углом места и высокой готовностью для выделенной земной станции. Предполагалось, что спутник находится в точке ГСО 48° в. д. Угол места в направлении центральной Испании равен 20° . ГСО-3 может быть примером системы высокой готовности с несколькими малыми земными станциями в пределах подобласти. Примером может быть система, ведущая прямую передачу данных на несколько приемных станций. Предполагалось, что ГСО-3 в точке 14° в. д. обслуживает малые земные станции в Испании. Даже с бортовой параболической антенной диаметром 1,4 м основной луч покрывает достаточно большую область, как показано на рисунке 2. Похожие ситуации встречаются для чувствительных земных станций СКИ в других местоположениях.

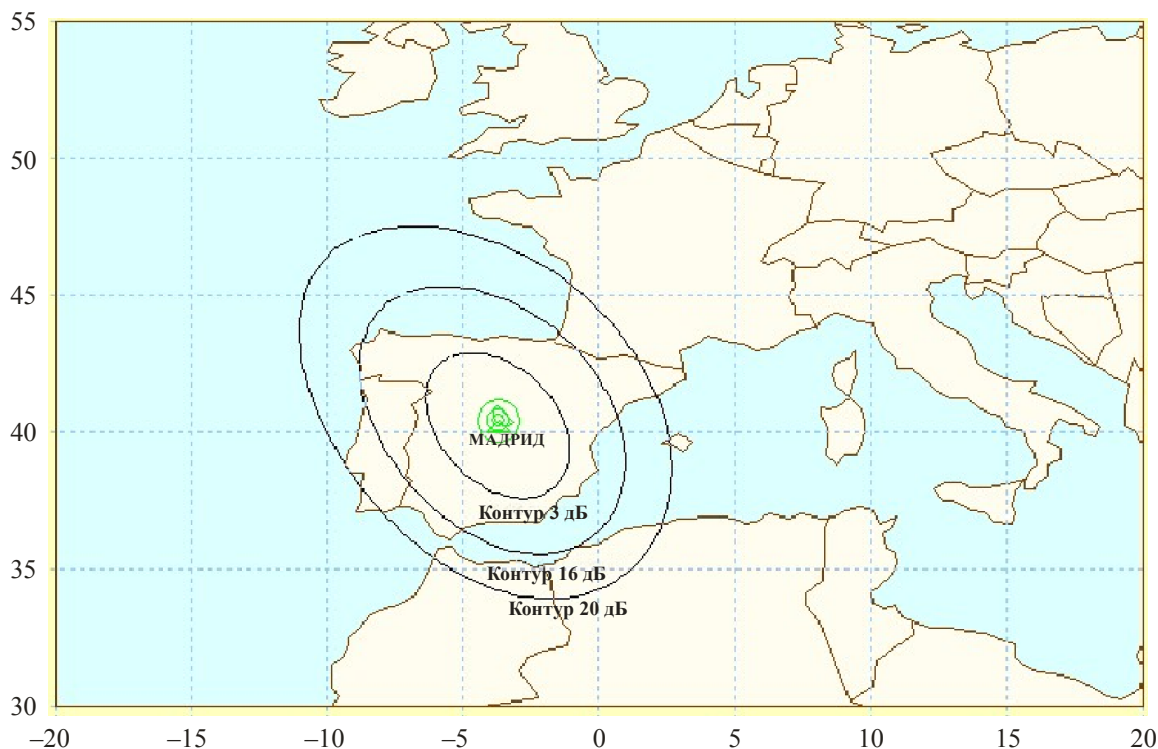
ТАБЛИЦА 3

Основные параметры для спутниковых геостационарных систем

	ГСО-1	ГСО-2	ГСО-3
Мощность передачи (дБВт)	14,0	20,0	23,0
Усиление антенны приемника (дБи)	43,1	46,2	49,7
Э.и.и.м. спутника (дБВт)	57,3	66,2	72,7
Полоса пропускания главного лепестка для 600 Мбит/с и QPSK (МГц)	600		
Максимальная п.п.м на принимающей станции (дБ(Вт/(м ² · МГц)))	-130,2	-121,5	-114,6
Предполагаемая доступность линии связи (%)	99,90	99,98	
Ослабление сигнала для предполагаемой доступности (дБ)	8,4	21,5	15,0
Диаметр антенны земной станции (м)	7,3	10,0	2,0

РИСУНОК 2

Контуры зоны обслуживания в направлении к Мадриду для спутника на геостационарной орбите в точке 14° в. д.



1862-02

4 Оценка помех программ СКИ

Для определения того, приведут ли межсистемные помехи к неприемлемым помехам любым доступным системам СКИ или ССИЗ, обычно используется подход на основе критерия I/N .

В соответствии с Рекомендацией МСЭ-R SA.609 уровни помех, принимаемые от всех источников, не должны превышать следующего суммарного уровня:

I_0/N_0 не должна превышать -6 дБ более чем на 0,1% времени.

Этот анализ вышел за рамки основного критерия помех I_0/N_0 и принимает во внимание относительно большие запасы линии связи, которые имеют многие системы СКИ и ССИЗ. Он рассматривает ухудшенный запас на линии связи, которую называет просто "запасом":

$$\text{Запас} = C_0/(N_0 + I_0)_{\text{измеренных}} - C_0/N_{\text{необходимые}}$$

Основной критерий для определения того, находятся ли помехи на приемлемом уровне, был таков:

Запас не должен быть ниже α дБ в течение более 0,1% времени,

где α – это значение, которое рассмотрено ниже. Возможное значение α может быть равно 0, так как это уровень, ниже которого линия связи не работать.

Однако было сочтено нецелесообразным допустить, чтобы весь запас линии связи был истрачен на помехи от других систем НГСО или ГСО, поэтому на самом деле α должно может быть выше 0. Следует обратить внимание, что использование этого типа критерия помех позволяет вывести исследование за рамки традиционного подхода к анализу помех I/N , с тем чтобы проанализировать ухудшение запаса на линии связи системы.

В соответствии с некоторыми основными предположениями, используемыми для моделирования, система, испытывающая помехи, и источники помех работают с одной и той же центральной

частотой. Более того, общая мощность источника помех усредняется по его полосе пропускания, и к ней добавляются еще 3 дБ для учета пиковой плотности, в предположении применения ИКМ модуляции. Диаграмма направленности спутниковой антенны с высоким усилением соответствует эталонной диаграмме направленности из Рекомендации МСЭ-R S.672. Диаграммы направленности антенны на каждой станции соответствуют диаграмме из Рекомендации МСЭ-R F.1245.

Робledo и Кебрерос – два места в центральной Испании, где выполняются чувствительные программы СКИ, например, касающиеся точек Лагранжа или, возможно, Луны. Из-за больших расстояний до точек L1 и L2, плотность потока мощности принимаемых сигналов достаточно мала, поэтому требуются большие земные станции с диаметром антенны до 35 м и с высоким значением G/T . Что касается статистических данных по помехам, все земные станции на подобных широтах будут показывать схожие результаты. Единственной существенной разницей будет ослабление в атмосфере, которое для разных возможных мест может в значительной степени различаться.

Что касается возможных помех программам СКИ в точках Лагранжа, создаваемых спутниками на геостационарных орбитах с характеристиками, приведенными в таблице 3, в некоторых исследованиях был сделан вывод, что стандартная реализация, например, AlphaSat, будет просто соответствовать критерию из Рекомендации МСЭ-R SA.609, учитывая, что ее земная станция будет расположена в центральной Испании. Для систем ГСО-2 и ГСО-3 будет наблюдаться превышение критерия из Рекомендации МСЭ-R SA.609 на величину от 8 до 15 дБ даже с пределами п.п.м., уменьшенными до -115 дБ(Вт/(м² · МГц)). Однако несоответствие Рекомендации МСЭ-R SA.609 необязательно означает, что будут наблюдаться вредные помехи. Линиям связи в районе 26 ГГц с углом места от 5° до 10° необходима значительная мощность, чтобы достичь готовности линии связи более 99%. Например, для Робledo и Кебрерос нужен запас примерно 10 дБ, чтобы создать линию, работающую в течение 99% времени, с углом места 5°. Для работы с углами до 10° потребуется запас в 5,4 дБ. Это приводит к практической ситуации, когда помехи, превышающие критерий, указанный в Рекомендации МСЭ-R SA.609, во многих случаях уменьшают запас, не вызывая потерь линии связи. Время простоя линии связи из-за ослабления в атмосфере гораздо больше, чем из-за помех. При рассмотрении фактических потерь данных из-за помех требуемое значение $E_s/(N_0 + I_0)$ может соблюдаться в течение 99,98% времени даже в том случае, когда спутники на геостационарной орбите работают с уменьшенным пределом п.п.м. -115 дБ(Вт/(м² · МГц)). Однако спутник на геостационарной орбите, работающий с пределами п.п.м., указанными в п. 21.16 РР, может создавать вредные помехи, что приведет к потере линии связи. Возможные помехи лунным программам СКИ, создаваемые теми же спутниками, имеют подобные значения.

В таблице 4 кратко представлены результаты других анализов, касающихся помех от гипотетической спутниковой программы ГСО нескольким программам, испытывающим помехи, похожие на приведенные в таблице 1. В таблице 4 приведена мощность без помех и уменьшенная мощность для программ СКИ из-за помех от программы ГСО в точке 107° з. д. и уровнями п.п.м. от -105 до -125 дБ(Вт/(м² · МГц)). ГСО-107 Вт передает WSC (White Sands) с углом места на земную станцию более 25°.

Гипотетическая программа ГСО, работающая с пределом п.п.м. -105 дБ(Вт/(м² · МГц)), может создавать помехи с уровнями, превышающими критерий помех, так как программа ГСО может всегда находиться в поле зрения земной станции, испытывающей помехи, а НГСО – не всегда. Однако такой высокий уровень п.п.м. может потребоваться только, если используются очень маленькие земные станции, например, с диаметром антенны 1 или 2 м, и если необходима высокая готовность.

На основе результатов, показанных в таблице 4, можно увидеть, что запас на уровне 0,1% отрицателен или значительно снижен для лунных программ LRO и Cx Lunar, если создающий помехи спутник ГСО использует плотность потока мощности, которая точно соответствует пределам, указанным в Статье 21 РР. Для помех LRO мощность снижена с 7,4 до $-0,1$ дБ, а для Cx Lunar она снижена с 11,4 до 3,0 дБ. В обоих этих случаях мощность снижена до значений, которые можно считать слишком маленькими. На рисунках 3 и 4 приведены соответствующие статистические данные по помехам для программ LRO и Lunar Cx.

Однако если п.п.м. ограничена максимальным значением -115 дБ(Вт/(м²·МГц)) для всех углов прихода, то ухудшение из-за помех значительно снижается. Дальнейшее снижение п.п.м. до максимального значения -125 дБ(Вт/(м²·МГц)) для всех углов прихода не даст большого дополнительного улучшения.

ТАБЛИЦА 4

Результаты помехозащищенности для одной записи случая ГСО на уровне 0,1%

Испытываемая помехи программа	Станция приема	Мощность C/N (дБ) без помех	Мощность на уровне 0,1%		
			ГСО 107 з. д.; п.п.м. = -105 @ 90 EL	ГСО 107 з. д.; п.п.м. = -115 @ 90 EL	ГСО 107 з. д.; п.п.м. = -125 @ 90 EL
LRO	WSC	7,4	-0,1	6,1	7,4
Cx Lunar, 50 МГц	WSC	11,4	3,0	9,7	11,4

РИСУНОК 3

Диаграмма помехозащищенности для ГСО-107W по направлению к LRO

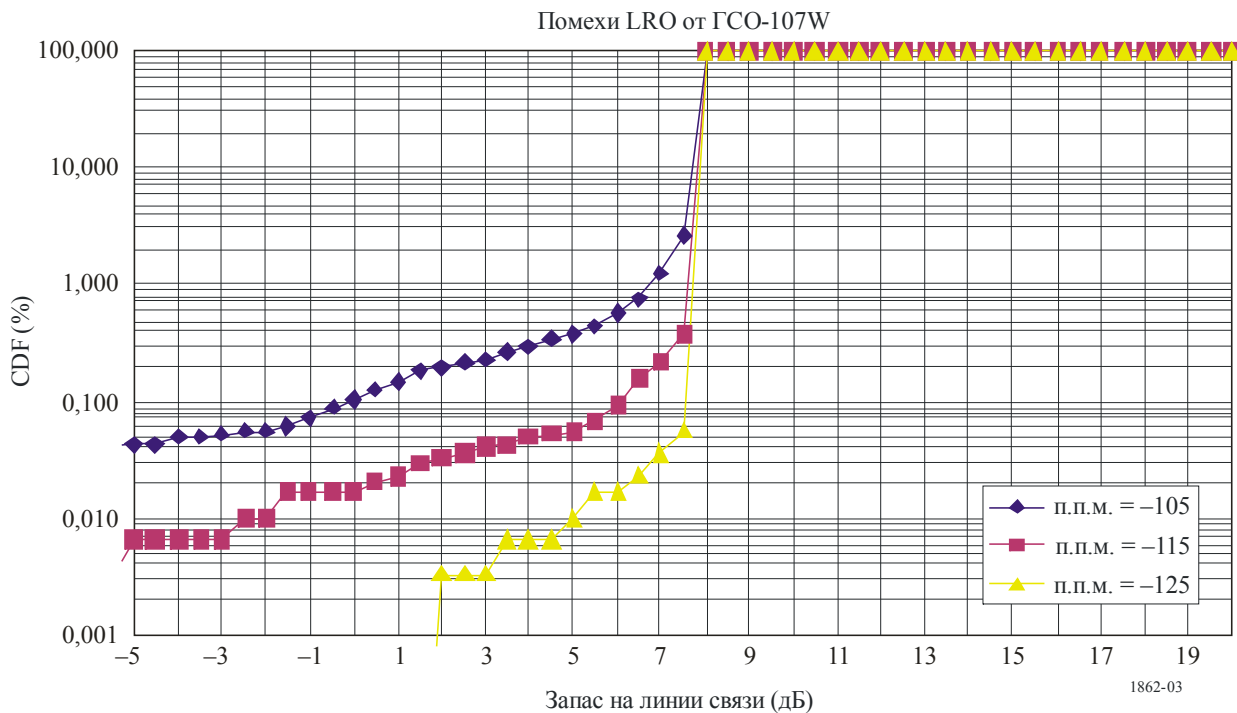
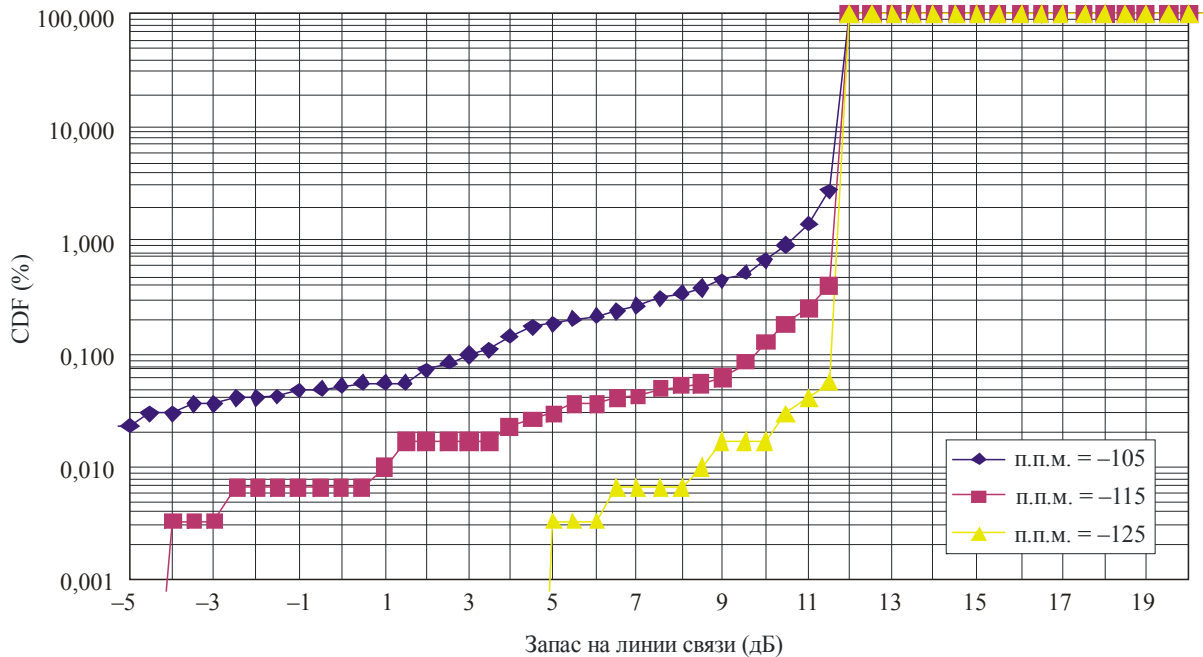


РИСУНОК 4

Диаграмма помехозащищенности для ГСО-107W по направлению к Сх Lunar

Помехи Сх Lunar от ГСО-107W



1862-04

В целом во всех исследованиях делается вывод, что помехи от спутников на геостационарной орбите, работающих с той же плотностью потока мощности, что и спутники наблюдения за Землей, создадут помехи с уровнями, которые, как минимум, на порядок выше критериев из Рекомендации МСЭ-R SA.609 и значительно выше критериев для НГСО программ ССИЗ из-за увеличенной видимости. Тем не менее превышение критериев плотности помех из Рекомендации МСЭ-R SA.609 не приведет к неприемлемым условиям $E_s/(N_0 + I_0)$, если спутники на геостационарной орбите работают ниже -115 дБ(Вт/(м² · МГц)). Однако спутник на геостационарной орбите, работающий в пределах п.п.м. из п. 21.16 РР, может вызвать значительные помехи. Во многих районах мира с небольшим или умеренным ослаблением из-за дождя системы на геостационарной орбите в целом могут развертываться без наложения излишних ограничений необходимости работы даже рядом с пределами п.п.м.

Поэтому, ограничение п.п.м. в пределах -115 дБ(Вт/(м² · МГц)) для геостационарных спутниковых систем для всех углов прихода обеспечит программам СКИ достаточную защиту без наложения чрезмерных ограничений на спутники на геостационарной орбите.

Приложение 2

Ограничения плотности потока мощности на геостационарной орбите для спутников НГСО

В Рекомендации МСЭ-R SA.1155 определено максимально допустимое значение спектральной плотности мощности помех, равное $P_{sd} = -178$ дБ(Вт/кГц), которое можно преобразовать в -148 дБ(Вт/МГц), учитывая очень широкую полосу пропускания приемника спутников DRS. Соответствующее значение п.п.м. можно рассчитать, учитывая эффективную площадь антенны:

$$PFD_{limit} = P_{sd} - 10 \log \left(\eta \pi \frac{D^2}{4} \right) = -148 + 1,05 - 10 \log(\eta D^2).$$

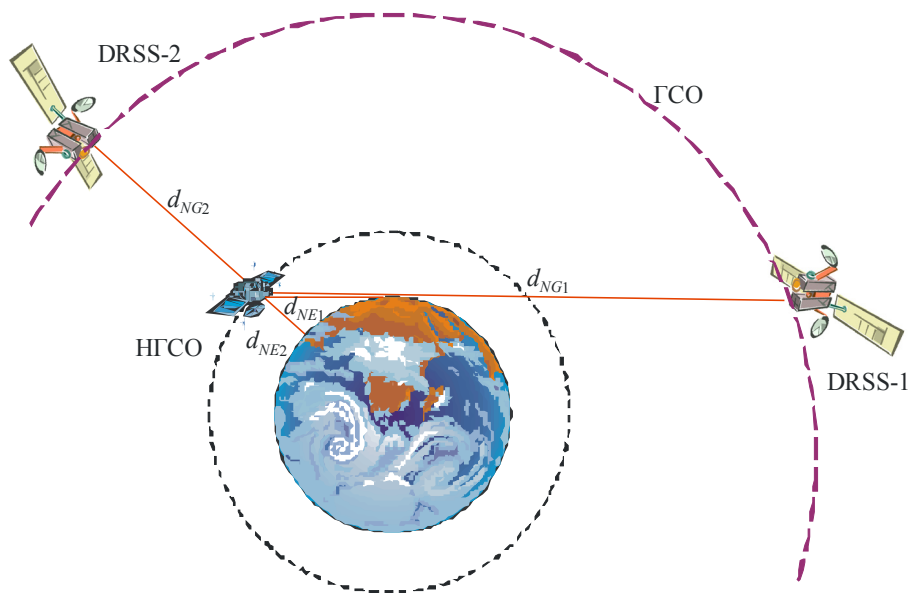
Самая большая антенна существующих спутников DRS имеет диаметр 4,9 м. Можно предположить, что эффективность η составляет 50%. Соответствующее значение п.п.м. будет равно

$-157,7$ дБ(Вт/(м²·МГц)). Допустимый процент времени, равный 0,1% и определенный в Рекомендации МСЭ-R SA.1155, не может применяться к пределам п.п.м., так как он не учитывает тот факт, что обе антенны движутся относительно друг друга, и что облучение местоположения DRS ГСО с определенными пределами п.п.м. приводит только к получению значения максимально допустимых помех для случая, когда антенна DRS направлена точно на спутник ССИЗ.

Предполагается, что процентное отношение превышения помех допустимо, что соответствует ширине полосы главного лепестка. Для антенны диаметром 4,9 м угол первого бокового лепестка составляет примерно $0,22^\circ$ (односторонний). Вероятность того, что другой спутник с асинхронными параметрами орбиты будет находиться в пределах ширины полосы главного лепестка, составляет примерно $3,7 \times 10^{-6}$, то есть существенно меньше 1×10^{-3} , как определено в Рекомендации МСЭ-R SA.1155. Считается, что усиление первого бокового лепестка будет примерно на 25 дБ ниже, в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R S.672. Это приведет к значению предела п.п.м., равному $-132,7$ дБ(Вт/(м²·МГц)). Для того чтобы определить подходящее расстояние d_{NE} , предполагается, что спутник НГСО работает с предельными значениями п.п.м. Следовательно, можно рассматривать следующие два случая, как показано на рисунке 5.

РИСУНОК 5

Помехи от НГСО спутника спутниковым системам передачи данных на ГСО



1862-05

Случай 1: подразумевает максимальную п.п.м., равную -115 дБ(Вт/(м²·МГц)) в направлении угла прихода 5° на поверхность Земли, а следовательно, максимальную п.п.м. в направлении DRSS-1. Обычно это характерно для параболических антенн или из-за экранирования самим спутником при использовании кардиоидных антенны. Для простоты предполагалось, что п.п.м. в направлении DRSS-1 равна п.п.м. в направлении угла прихода 5° . Фактически уровень будет более чем на 3 дБ ниже, из-за немного большего расстояния и экранирования Землей половины главного лепестка антенны.

Случай 2: подразумевает максимальную п.п.м., равную -105 дБ(Вт/(м²·МГц)) в направлении угла прихода на поверхность Земли 90° и максимальную п.п.м. в направлении DRSS-2 через задние лепестки антенны. Это может быть случаем передач при помощи ненаправленных антенн.

Соответствующие расстояния можно вычислить при помощи следующих уравнений:

$$PFD = \frac{EIRP}{4 \cdot \pi \cdot d^2},$$

$$EIRP = PFD_1 \cdot (4 \cdot \pi \cdot d_{NE}^2) = PFD_2 \cdot (4 \cdot \pi \cdot d_{NG}^2),$$

$$d_{NE} = \sqrt{\frac{PFD_2}{PFD_1}} \cdot d_{NG},$$

$$h_O = \sqrt{R^2 + d_{NE}^2} - R,$$

где:

d_{NE1} : расстояние от спутника НГСО до угла 0° места прибытия;

d_{NG1} : расстояние от спутника НГСО до DRSS-1 ($d_{NG1} = d_{NE1} + 41\,680$ км);

d_{NE2} : расстояние от спутника НГСО до его подспутниковой точки (угол прихода 90°);

d_{NG2} : расстояние от спутника НГСО до DRSS-2 ($d_{NG2} = 35\,787$ км – d_{NE2});

h_O : высота орбиты спутника НГСО;

R : радиус Земли (6378 км).

Для Случая 1, $П.П.М._1 = -115$ дБ(Вт/(м² · МГц)), $П.П.М._2 = -133$ дБ(Вт/(м² · МГц)), а соответствующая минимальная высота орбиты НГСО будет равна 2380 км.

Для Случая 2, $П.П.М._1 = -105$ дБ(Вт/(м² · МГц)), $П.П.М._2 = -133$ дБ(Вт/(м² · МГц)), а соответствующая минимальная высота орбиты НГСО будет равна 1370 км.

Так как минимальная высота орбиты, равная 1370 км, представляет худший случай, именно это расстояние и было взято за основу для этой Рекомендации.