

Рекомендация МСЭ-R SA.2079-1 (12/2023)

Серия SA: Космические применения и метеорология

**Совместное использование частот
системами службы космических
исследований и фиксированной
спутниковой службы (космос-Земля)
в полосе 37,5–38 ГГц**



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 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/ru>, 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: <https://www.itu.int/publ/R-REC/ru>.)

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, 2024 г.

© ITU 2024

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.2079-1

Совместное использование частот системами службы космических исследований и фиксированной спутниковой службы (космос-Земля) в полосе 37,5–38 ГГц

(Вопрос МСЭ-R 45/6)

(2015-2023)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации рассматривается совместное использование частот службой космических исследований (СКИ) и фиксированной спутниковой службой (ФСС) в полосе 37,5–38 ГГц (космос-Земля). В ней приводятся пределы э.и.и.м. и п.п.м. для систем космической VLBI (SVLBI) и лунных систем СКИ, а также систем с геостационарной орбитой (ГСО) и систем с высокоэллиптической орбитой (ВЭО) ФСС. В Рекомендации также представлены методы ослабления влияния помех, охватывающие все типы систем НГСО ФСС, включая группировки на низкой околоземной орбите (LEO) и на средневысотной орбите (MEO).

Ключевые слова

Системы СКИ, работающие в околоземном пространстве, системы ГСО и ВЭО ФСС, пределы э.и.и.м. и п.п.м., совместное использование частот, полоса 37,5–38 ГГц.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a)* что служба космических исследований (СКИ) (космос-Земля) имеет первичное распределение в полосе 37–38 ГГц, фиксированная спутниковая служба (ФСС) (космос-Земля) имеет первичное распределение в полосе 37,5–42,5 ГГц, и эти распределения перекрываются по частоте в полосе 37,5–38 ГГц;
- b)* что критерии защиты линий вниз СКИ в полосе 37–38 ГГц приведены в Рекомендации МСЭ-R SA.1396;
- c)* что расчет помех земным станциям СКИ, которые могут быть вызваны влиянием атмосферы и осадков, следует осуществлять на основе статистических данных прогноза погоды для 0,001% времени пилотируемых полетов и 0,1% времени непилотируемых полетов;
- d)* что на линиях вниз СКИ, работающих в дальнем космосе, нередко передаются данные уникальных научных явлений, которые не повторяются;
- e)* что излучения линий вниз, работающих в дальнем космосе, как правило, имеют гораздо меньшую плотность потока мощности (п.п.м.) у поверхности Земли, чем любой другой спутниковый сигнал, и поэтому они являются чрезвычайно уязвимыми для помех от спутников, работающих в той же самой полосе частот;
- f)* что критерии помех линий вниз СКИ, используемых для космической интерферометрии со сверхдлинной базой (SVLBI), приведены в Отчете МСЭ-R SA.2065 и что эти линии могут выдерживать более высокие уровни помех, чем указано в Рекомендации МСЭ-R SA.1396;
- g)* что вопрос защиты систем СКИ и ФСС, совместно использующих полосу 37,5–38 ГГц, изучен в Отчете МСЭ-R SA.2307, а приведенные в нем результаты кратко изложены в Приложении;
- h)* что передачи систем SVLBI и лунных систем СКИ, уровни э.и.и.м. которых находятся ниже пределов, приведенных в Отчете МСЭ-R SA.2307, удовлетворяют критериям защиты систем ГСО и ВЭО ФСС;

- i)* что передачи систем ГСО и ВЭО ФСС, уровни э.и.и.м. которых находятся ниже пределов, приведенных в Рекомендации МСЭ-R S.1328, удовлетворяют критериям защиты систем SVLBI и непилотируемых лунных систем СКИ, однако для удовлетворения критерию защиты пилотируемых полетов на Луну в рамках СКИ необходим более низкий предел э.и.и.м. передач систем ГСО ФСС;
- j)* что передачи систем ВЭО ФСС, которые работают с пределами п.п.м., приведенными в Таблице 21-4 Статьи 21 Регламента радиосвязи МСЭ, удовлетворяют критериям защиты SVLBI и полетов на Луну в рамках СКИ;
- k)* что ожидается, что группировки LEO и МЕО ФСС, работающие в этой полосе частот, будут использовать управляемые лучи для удовлетворения спроса на трафик;
- l)* что другие системы СКИ для работы в околоземном пространстве, не являющиеся системами SVLBI, например, для полетов к точкам Лагранжа L1/L2, которые имеют низкую шумовую температуру (порядка 60 К), могут быть примерно на 8 дБ более чувствительными к помехам, чем лунные системы с фоновой шумовой температурой, обусловленной влиянием Луны (порядка 353 К);
- m)* что в случае серьезного ухудшения условий распространения в диапазоне 37 ГГц, обусловленного замираниями, спутниковые системы этого диапазона могут увеличивать спектральную плотность своей э.и.и.м. в течение малого процента времени, чтобы преодолеть условия замирания,

признавая,

- a)* что спутниковые системы ФСС могут использовать полосу 37,5–38 ГГц для применений терминалов с очень малой апертурой (режим VSAT), или для применений станций сопряжения, которые используют большие антенны (режим станции сопряжения);
- b)* что системы ФСС, работающие в режиме VSAT, могут использовать полосу 37,5–38 ГГц при работе в районах, удаленных от земных станций СКИ, и другую полосу частот выше 38 ГГц при работе в районах, расположенных поблизости от земных станций СКИ;
- c)* что в случае систем ФСС, использующих режим станции сопряжения, станции сопряжения могут быть размещены на удалении от земных станций СКИ,

рекомендует,

- 1 чтобы для полетов в дальний космос СКИ, по возможности, использовалась полоса 37–37,5 ГГц для обеспечения полной защиты в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R SA.1396;
- 2 чтобы для пилотируемых полетов на Луну в полосе 37,5–38 ГГц использовался критерий защиты от систем ФСС с вероятностью превышения 0,1%, а не 0,001%;
- 3 чтобы для удовлетворения критерию защиты ФСС системы SVLBI и лунные системы СКИ, осуществляющие передачи в полосе 37,5–38 ГГц, работали с уровнями ниже уровней максимальной спектральной плотности э.и.и.м. или ниже уровней п.п.м. у земных станций ФСС в условиях ясного неба, которые указаны в приведенной ниже таблице (Примечание 1);

Системы СКИ	Максимальная спектральная плотность э.и.и.м. (дБВт/МГц)	Предел п.п.м. у поверхности Земли (дБВт/МГц/м ²)
SVLBI	32	-127
Лунные	56	-128

- 4 чтобы для удовлетворения критериям помех систем SVLBI и полетов на Луну в рамках СКИ системы ГСО и ВЭО ФСС в полосе 37,5–38 ГГц работали с уровнями ниже уровней максимальной спектральной плотности э.и.и.м. или ниже уровней п.п.м. у земных станций СКИ в условиях ясного неба, которые указаны в приведенной ниже таблице (Примечание 1);

Системы ФСС	Максимальная спектральная плотность э.и.и.м. (дБВт/МГц)	Предел п.п.м. у поверхности Земли (дБВт/МГц/м ²)
ГСО	42	-121
ВЭО	48	-105 (предел из Таблицы 21-4 РР)

5 чтобы для удовлетворения критериям помех систем SVLBI и полетов на Луну в рамках СКИ спутники LEO и МЕО ФСС не направляли свои лучи излучения, работающие в полосе 37,5–38 ГГц, в сторону мест расположения земных станций СКИ;

6 чтобы земные станции LEO и МЕО ФСС и системы ГСО и ВЭО ФСС, работающие в режиме VSAT, использовали полосы частот выше 38 ГГц в географических районах вблизи земных станций СКИ (см. Приложение 1);

7 чтобы у поверхности Земли п.п.м. систем СКИ и ФСС, осуществляющих передачу в полосе 37,5–38 ГГц, не превышала уровня(уровней), необходимого(ых) для удовлетворения показателей готовности и качества работы рассматриваемых применений;

8 чтобы, как и в случае лунных систем СКИ, при проектировании других систем СКИ для работы в околоземном пространстве, например для полетов к точкам Лагранжа L1/L2, учитывался дополнительный энергетический запас на линии вниз, составляющий порядка 8 дБ, для обеспечения совместимости с системами ФСС.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – В условиях очень сильных замираний спектральная плотность э.и.и.м., указанная в приведенных выше таблицах, может быть превышена на величину, необходимую для поддержания готовности линии при соблюдении пределов п.п.м.

Приложение

Совместное использование частот системами СКИ, работающими в околоземном пространстве, и системами ФСС в полосе 37,5–38 ГГц

1 Введение

В данном Приложении кратко излагаются результаты анализа совместного использования частот системами SVLBI и лунными системами СКИ, а также системами ФСС, приведенные в Отчете МСЭ-R SA.2307. Помехи между системами ГСО и ВЭО ФСС и СКИ моделируются для двух случаев. В случае 1 предусматривается, что эти системы работают с параметрами и уровнями плотности э.и.и.м., которые приведены в следующих ниже разделах. В случае 2 предусматривается, что эти системы работают с более высокими значениями мощности передачи, создавая уровни максимальной спектральной плотности п.п.м. у поверхности Земли, которые приведены в Таблице 21-4 Статьи 21 Регламента радиосвязи. Проводятся дополнительные исследования группировок LEO и МЕО ФСС и земных станций СКИ.

2 Системы СКИ

Плановые параметры систем SVLBI и лунных систем СКИ приведены в таблице 1. Данные параметры использованы при расчете уровней помех, возникающих между этими системами СКИ и системами ГСО и ВЭО ФСС в случае 1.

ТАБЛИЦА 1

Плановые параметры системы SVLBI и лунной системы СКИ (случай 1)

Параметры	SVLBI	Лунная система
Параметры космической станции		
Наклонение орбиты (градусы)	20, 31, 65	Лунная
Мощность передачи (дБВт)	3	14,5
Усиление антенны (дБи)	48,1	64
Скорость передачи данных (Мбит/с)	500	250
Макс. плотность э.и.и.м. передачи (дБВт/МГц)	24,1	54,5
Параметры земной станции		
Диаметр антенны (м)	15, 34	6
Диаграмма направленности усиления	Пр 8-10 РР	Пр 8-10 РР
Минимальный угол места (градусы)	10	10
Шумовая температура (К)	150	353
Критерий защиты Io/No (дБ)	-6	-6
Критерий помех (дБВт/МГц)	-153	-149,1
Процент превышения	2%	0,1% (непилотируемая) 0,001% (пилотируемая)

3 Системы ФСС

Плановые параметры систем ГСО и ВЭО ФСС приведены в таблице 2. Данные параметры использованы при расчете уровней помех, возникающих между этими системами ФСС, а также системами SVLBI и лунными системами СКИ в случае 1.

ТАБЛИЦА 2

Плановые параметры систем ГСО и ВЭО ФСС (случай 1)

Параметры	ГСО	ВЭО
Параметры космической станции		
Количество спутников	2	3
Мощность передачи (дБВт)	11	11
Усиление антенны (дБи)	53	53
Занимаемая полоса частот (МГц)	500	500
Макс. плотность э.и.и.м. передачи (дБВт/МГц)	37	37
Параметры земной станции		
Усиление антенны (дБ)	58,9	58,9
Диаграмма направленности усиления	Рекомендация МСЭ-R S.465	Рекомендация МСЭ-R S.465
Минимальный угол места (градусы)	10	10
Шумовая температура (К)	343	340
Критерий защиты Io/No (дБ)	0	0
Критерий помех (дБВт/МГц)	-143	-143
Процент превышения	0,005%	0,005%

В случае 2 предполагается, что передачи систем ГСО и ВЭО ФСС удовлетворяют пределам п.п.м. у поверхности Земли в полосе 37,5–38 ГГц, указанным в Таблице 21-4 РР.

ТАБЛИЦА 3

Плановые орбитальные характеристики систем ЛЕО и МЕО ФСС

Группировка	Наклонение (градусы)	Высота (км)	Количество плоскостей	Количество спутников в плоскости	Общее количество спутников
#1 (ЛЕО на высоте 1200 км)	87,9	1 200	36 (распределены по дуге 180°)	49	1 764
	55	1 200	32 (распределены по дуге 360°)	50	1 600
	40	1 200	32 (распределены по дуге 360°)	50	1 600
#2 (ЛЕО на высоте ~ 600 км)	51,9	630	34 (распределены по дуге 360°)	34	1 156
	42	610	36 (распределены по дуге 360°)	36	1 296
	33	590	28 (распределены по дуге 360°)	28	784
#3 (МЕО)	0	8 062	1	48	48
	70	8 062	4 (распределены по дуге 360°)	12	48
	90	8 062	4 (распределены по дуге 180°)	12	48

ТАБЛИЦА 4

Плановые параметры излучений ЛЕО и МЕО ФСС

Группировка	(#1) ЛЕО	(#2) ЛЕО	(#3) МЕО
Спутник			
Усиление антенны (дБи)	34,1; 42,6; 50,6	47,8; 51,9; 55,5	25; 35; 45
Диаграмма направленности антенны	Рек. МСЭ-R S.1528 $L_s = -25$	Рек. МСЭ-R S.1528 $L_s = -25$	Рек. МСЭ-R S.1528 ($L_s = -25$)
Пиковая плотность мощности (дБВт/Гц)	-67	-67,6	-62,1
э.и.и.м. (дБВт)	54,1; 62,6; 70,6	54; 60,7	46,9; 56,9; 66,9
Земная станция			
Усиление антенны (дБи)	36,6; 42,6; 48,6; 55,7; 61,9	47,8; 51,9; 55,5	31,6; 41,1; 51,6; 56,7; 59,2; 63; 64,7; 68,9; 71,6
Диаграмма направленности антенны	Приложение 8 РР	Приложение 8 РР	Приложение 8 РР
Шумовая температура (К)	150	251	120
Линия			
Центральная частота (МГц)	37 750	37 750	37 625; 37 875
Максимальная ширина полосы (МГц)	500	475	250
Количество лучей на одной и той же частоте (N_{co})	10	4	1

4 Результаты для систем ГСО и ВЭО ФСС

В таблице 5 приведены данные о превышении уровней помех, наблюдаемом на земных станциях СКИ и ФСС в случае 1.

ТАБЛИЦА 5

Превышение критериев защиты систем СКИ и ФСС при использовании плановых уровней плотности э.и.и.м. в полосе 37,5–38 ГГц (случай 1)

Случай 1: э.и.и.м. Системы, создающие помехи		(Системы, испытывающие помехи) Превышение критериев защиты (дБ)					Макс. превышение (дБ)
		СКИ			ФСС		
		SVLBI-20 SVLBI-31 SVLBI-65	Лунная (непилотируемая)	Лунная (пилотируемая)	ГСО	ВЭО	
СКИ	SVLBI-20 SVLBI-31 SVLBI-65	<<	-17 -16 -22	<<	-8 -10 -14	-36 -34 -8	-8
	Лунная	-22 -19 -29	<<	<<	-2	-41	-2
ФСС	ГСО	-16 -18 -20	-5	25	<<	-46	-5 (непилотируемая лунная) 25 (пилотируемая лунная)
	ВЭО	-31 -28 -11	-29	-27	-41	<<	-11

Следует отметить, что уровни помех, создаваемых системами СКИ (SVLBI и непилотируемой лунной) и ФСС (ГСО и ВЭО) при использовании плановых параметров систем, удовлетворяют критериям защиты этих систем. Вместе с тем помехи, причиняемые системами ГСО ФСС пилотируемым лунным системам СКИ, превышают уровень защиты СКИ на 25 дБ. Таким образом, совместное использование частот системами СКИ (SVLBI и непилотируемой лунной) и ФСС (ГСО и ВЭО) в полосе 37,5–38 ГГц является возможным. Совместное использование частот возможно даже в том случае, если системы СКИ (SVLBI и непилотируемая лунная) и ФСС (ГСО и ВЭО) увеличат плотности своей э.и.и.м. на величину, равную уровням максимального превышения. Данные системы могут работать при этих уровнях плотности э.и.и.м. в течении 100% времени, не причиняя вредных помех другим системам. Для совместного использования частот системами ГСО ФСС и пилотируемой лунной системой СКИ необходимы методы ослабления влияния помех, с тем чтобы уменьшить помехи до приемлемых уровней.

В случае 2, когда системы СКИ и ФСС работают с уровнем максимальной спектральной плотности п.п.м. у поверхности Земли, составляющим -105 дБ(Вт/(м² · МГц)), помехи другим системам будут превышать их критерии защиты при использовании потерь в атмосфере при ясной погоде. Уровни превышения показаны в таблице 6.

ТАБЛИЦА 6

Превышение критериев защиты для систем СКИ и ФСС при использовании пределов спектральной плотности п.п.м. в полосе 37,5–38 ГГц (случай 2)

Случай 2: п.п.м. Системы создающие помехи		Системы, испытывающие помехи: Превышение критериев защиты (дБ)					Макс. превышение (дБ)
		СКИ			ФСС		
		SVLBI-20 SVLBI-31 SVLBI-65	Лунная (непилотируемая)	Лунная (пилотируемая)	ГСО	ВЭО	
СКИ	SVLBI-20 SVLBI-31 SVLBI-65	××	12 13 1	×	21 22 9	-35 -31 11	22
	Лунная	5 6 2	×	×	23	-32	23
ФСС	ГСО	4 2 1	16	44	×	-25	16 (непилотируемая лунная) 44 (пилотируемая лунная)
	ВЭО	-28 -25 -6	-27	-26	-25	×	-6

Вместе с тем следует отметить, что системы СКИ и ФСС не рассчитаны на использование таких высоких уровней плотности э.и.и.м. в течение 100% времени, а только при плохих погодных условиях и чрезмерном ослаблении в атмосфере. В этом случае, если земные станции СКИ и ФСС расположены поблизости друг от друга, в результате чего они находятся в одинаковых погодных условиях, то помехи будут гораздо меньше ожидаемых вследствие потерь в атмосфере и, вероятно, будут ниже критериев защиты. Однако если земные станции СКИ и ФСС разнесены на большое расстояние, они могут находиться в разных погодных условиях. Если помехи распространяются при ясном небе, ослабление в атмосфере может быть небольшим. Вместе с тем в этом случае передающая антенна будет иметь меньшее внеосевое усиление, и спектральная плотность э.и.и.м. в направлении земной станции, испытывающей помехи, уменьшится. Например, для системы ГСО ФСС, при разнесении земных станций СКИ и ФСС на 100 км плотность э.и.и.м. помех, которые видны с земной станции, испытывающей помехи, уменьшится на 3 дБ, а при разнесении на 200 км это уменьшение составит 10 дБ.

Если системы ФСС не могут удовлетворить указанным пределам спектральной плотности п.п.м., то при работе вблизи мест расположения земных станций СКИ для них следует выбрать полосу частот выше 38 ГГц и использовать полосу 37,5–38 ГГц только при работе на удалении от земных станций СКИ. Данное условие должно без проблем выполняться системами ФСС, имеющими узконаправленные лучи. Системы СКИ, не имеющие узконаправленных лучей, должны будут работать с указанными уровнями плотности э.и.и.м., чтобы избежать помех с ФСС.

Из приведенных выше результатов следует, что в полосе 37,5–38 ГГц совместное использование частот системами СКИ (SVLBI и непилотируемой лунной) и ФСС (ГСО и ВЭО) практически осуществимо при применении плановых параметров систем. На случай помех, превышающий критерии защиты систем СКИ или ФСС, существуют методы ослабления влияния помех, позволяющие уменьшить их до приемлемого уровня.

5 Результаты для группировок МЕО и LEO ФСС

Исходя из предположения, что спутники группировок LEO и МЕО используют узконаправленные лучи в полосе частот 37,5–38 ГГц, в указанном Отчете показано, что ограничение мощности излучений спутников ФСС не потребуется при условии обеспечения расстояния разноса между земными станциями ФСС и земными станциями СКИ. Это расстояние разноса зависит от характеристик и режимов работы группировки LEO или МЕО и будет составлять от 35 до 70 км для станций сопряжения и от 40 до 70 км для станций пользователей.

Учитывая небольшое количество земных станций СКИ, работающих в настоящее время в полосе 37,5–38 ГГц по всему миру, а также то, что они, как правило, расположены в отдаленных районах, сосуществование могло бы быть вполне возможным. При других условиях эксплуатации вопрос о сосуществовании следует рассматривать в каждом конкретном случае.

Земные станции ФСС, работающие на расстоянии менее 40–70 км от приемных земных станций СКИ, могут по-прежнему использовать частоты выше 38 ГГц.

Стоит отметить, что необходимо обеспечить определенную уверенность в том, что вышеуказанное предположение подтвердится.
