

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R SA.1155-2
(07/2017)

Критерии защиты, относящиеся к эксплуатации спутниковых систем ретрансляции данных

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.1155-2*

Критерии защиты, относящиеся к эксплуатации спутниковых систем ретрансляции данных

(1995-2013-2017)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации определены критерии защиты для спутниковых систем ретрансляции данных, которые представлены в виде значений I_0/N_0 , а также приведен вспомогательный анализ и текст, согласованные с критериями защиты и соответствующие им.

Ключевые слова

СРД, космос-Земля, Земля-космос, космос-космос, прямая фидерная линия, обратная фидерная линия

Соответствующие Рекомендации МСЭ-R

Рекомендации МСЭ-R SA.510, МСЭ-R SA.1018, МСЭ-R SA.1019, МСЭ-R SA.1274, МСЭ-R SA.1275, МСЭ-R SA.1276, МСЭ-R SA.1414

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что спутниковые системы ретрансляции данных работают или планируются в соответствии с гипотетической эталонной системой, описанной в Рекомендации МСЭ-R SA.1018;
- b) что эти спутниковые системы ретрансляции данных поддерживают линии со значительно различающимися характеристиками, как это описано в Рекомендации МСЭ-R SA.1414;
- c) что предпочтительные полосы частот для спутниковых систем ретрансляции данных были определены в Рекомендации МСЭ-R SA.1019;
- d) что совместное использование частот спутниковыми системами ретрансляции данных и другими космическими и наземными системами радиосвязи требуется во всех предпочтительных полосах частот, определенных в Рекомендации МСЭ-R SA.1019;
- e) что количество космических и наземных систем радиосвязи, совместно использующих полосы частот со спутниковыми системами ретрансляции данных, будет увеличиваться в будущем, тем самым увеличивая вероятность возникновения помех;
- f) что запас линий для прямого и обратного каналов спутниковой ретрансляции данных обычно составляет от 2 до 4 дБ, но в некоторых случаях может составлять порядка 1 дБ;
- g) что зачастую ограничивающим фактором является расчетный запас линии для канала космос-космос;
- h) что спутниковые системы ретрансляции данных будут передавать и принимать сигналы в службе космической эксплуатации, службе космических исследований, спутниковой службе исследования Земли, фиксированной спутниковой службе и межспутниковой службе;
- i) что подробная техническая информация, относящаяся к критериям защиты, содержится в Приложении,

* Настоящая Рекомендация должна быть доведена до сведения 4-й и 5-й Исследовательских комиссий по радиосвязи.

рекомендует,

1 чтобы критерии защиты, указанные в форме отношения максимального агрегированного уровня спектральной мощности к плотности мощности шума системы, от всех источников, не превышались более чем на 0,1% времени для различных линий спутниковых систем ретрансляции данных, как показано в таблице 1;

2 чтобы критерии защиты в таблице 1 использовались как основа для разработки критериев совместного использования в исследованиях с другими космическими и наземными системами.

ТАБЛИЦА 1
Критерии защиты

Спутниковая линия ретрансляции данных	Местонахождение приемника	I_0/N_0 (дБ)
Прямая межорбитальная линия	Пользовательский космический аппарат	
2025–2110 МГц 13,4–14,3 ГГц 22,55–23,55 ГГц		–10
Обратная межорбитальная линия	Спутник передачи данных	
2200–2290 МГц 14,5–15,35 ГГц 25,25–27,5 ГГц		–10
Прямая фидерная линия	Спутник передачи данных	
14,5–15,35 ГГц 27,5–31,0 ГГц		–6
Обратная фидерная линия	Земная станция	
13,4–14,05 ГГц 10,7–10,95 ГГц 17,7–21,2 ГГц 25,5–27 ГГц (см. Примечание)		–6

ПРИМЕЧАНИЕ. – В полосе частот 25,5–27 ГГц обратная фидерная линия передает сигналы службы космических исследований и спутниковой службы исследования Земли.

Приложение

Анализ чувствительности к помехам спутниковых линий ретрансляции данных

1 Введение

Значительная часть спектра, подходящего для космических исследований, также распределена одной или несколькими другим службам, и, следовательно, требуется совместное использование частот службами. В настоящей Рекомендации рассматриваются факторы, которые влияют на чувствительность к помехам линий к геостационарным космическим станциям, работающим как спутники ретрансляции данных, от низкоорбитального космического аппарата в службах космических исследований, космической эксплуатации и ССИЗ, а также от земных станций, работающих как в этих же службах, так и в ФСС. В настоящей Рекомендации указаны надлежащие критерии защиты для этих служб в полосах частот от 2 до 30 ГГц. Критерии защиты предназначаются для использования в целях координации и анализа помех при отсутствии фактических данных систем.

2 Общие соображения

Системы космических исследований, космической эксплуатации и исследования Земли в околоземной области всегда полагались на регулярные, помехоустойчивые двусторонние каналы связи между космическим аппаратом и центрами управления, а также другими установками на Земле. Развитие и распространение этих видов деятельности стало зависеть от спутников ретрансляции данных, которые описываются в Рекомендации МСЭ-R SA.1414.

Эти операции зависят от линий космос-космос, которые сложнее проектировать и развертывать, чем линии космос-Земля, поскольку как передающая, так и приемная системы ограничены по массе и мощности, а в большинстве случаев также налагаются ограничения в отношении дистанционного управления и возможности обслуживания находящихся в космосе систем.

Тенденция заключается в том, что системы этих типов используют эффективные по ширине полосы схемы модуляции, такие как 2-PSK и 4-PSK, дополняемые методами кодирования с упреждающей коррекцией ошибок, такими как сверточное кодирование и блочное кодирование, оба из которых повышают качество сигнала и уменьшают необходимую мощность сигнала. В некоторых системах применяются методы модуляции с расширением спектра для уменьшения плотности мощности сигнала, а методы псевдослучайной модуляции последовательности (аналогичные или идентичные методам модуляции с расширением спектра) используются для измерений дальности, с тем чтобы определить местонахождение космического аппарата. Цепь фазовой синхронизации также используется при последовательностях поиска, захвата и отслеживания.

3 Критерии защиты

Для линий космос-Земля и Земля-космос существует стимул свести к минимуму запас линий для экономии массы и мощности, снижения помех, а также в целях экономии. Для линий космос-космос этот стимул удваивается, поскольку оба конечных пункта линии расположены в космосе. Типовые полные запасы линий, которые рассматриваются в случае линии космос-космос спутников ретрансляции данных в тандеме с линией космос-Земля или Земля-космос (иногда называемой фидерной линией), обычно составляют около 2–4 дБ, но в ряде случаев могут быть порядка 1 дБ после допуска на необходимые запасы для компенсации воздействия погоды на фидерную линию. Расчетный запас линии для линии космос-космос зачастую является ограничительным фактором ввиду экстремальных ограничений при запуске как передающих, так и приемных систем в космос, в отличие от возможности увеличения антенны земной приемной станции.

При таких низких расчетных запасах уровни помех, вызывающие уменьшение запаса линии всего на 0,2 дБ, могут пагубно сказываться на линиях космос-космос.

Вместе с тем в большинстве случаев, в особенности на более высоких частотах, на этих линиях не будет постоянно сказываться единичный источник помех с Земли, поскольку геометрия линии постоянно меняется ввиду движения низкоорбитального космического аппарата. С другой стороны, схемы помех, которые повторяются при возникновении конкретной геометрии линии, будут создавать систематические проблемы при наблюдении поверхности Земли в режиме реального времени ниже низкоорбитального космического аппарата.

Уровни, вызывающие вредные помехи линиям Земля-космос, будут зависеть от распределения запасов в тандеме линий Земля-космос и космос-космос. Геометрия линии Земля-космос по отношению к спутнику ретрансляции данных не изменяется со временем.

В приведенном ниже анализе было принято эталонное значение снижения запаса линии 0,4 дБ в связи с единичной помехой, которое применялось в других аналогичных случаях. Это соответствует требуемому отношению мощности помехи и мощности шума системы (I/N) в пределах эталонной ширины полосы максимум –10 дБ.

3.1 Эталонная ширина полосы

Системы используют схемы прямой модуляции, поэтому эталонная ширина полосы, в которой должен указываться коэффициент защиты, зависит от наименьшей скорости передачи данных и ширины полосы используемого приемника. Для линий космос-космос, работающих на частотах в диапазоне

2 ГГц, минимальная скорость передачи данных, вероятно, будет составлять не менее 1 кбит/с, тогда как для более высоких полос частот она, вероятно, будет составлять не менее 1 Мбит/с. Таким образом, рекомендуемое значение для эталонной ширины полосы в диапазоне 2 ГГц составляет 1 кГц, а в более высоких диапазонах – 1 МГц.

3.2 Эталонный процент времени

Для пилотируемых экспедиций потеря связи более чем на 5 мин на критических этапах, таких как встреча или стыковка либо операции вне корабля, может оказать на экспедицию серьезное отрицательное воздействие.

Для пилотируемых и беспилотных экспедиций эталонное значение составляет 0,1% времени. Для линии космос-космос процент времени должен относиться к периоду, в котором пользовательский спутник находится в пределах видимости соответствующего спутника ретрансляции данных (СРД), поскольку он соответствует времени осуществления связи, а помехи, причиняемые, когда связь не осуществляется, не имеют значения.

3.3 Требуемые защитные уровни

При связи через спутник ретрансляции данных используются две линии – "прямая", являющаяся "фидерной" линией Земля-космос, в тандеме с "межорбитальной" линией космос-космос, или "обратная", являющаяся "фидерной" линией космос-Земля.

Для определения защитных уровней требуется рассмотрение как фидерной линии, так и межорбитальной линии.

3.3.1 Линии космос-космос

Полная шумовая температура типового приемника космической станции обычно составляет 600 К на 2 ГГц, увеличиваясь до 1200 К на 20 ГГц, когда антенна космического аппарата направлена на Землю (290 К). Эти значения шума следует использовать, когда отсутствуют фактические значения, для определения соблюдения требования $I/N = -10$ дБ.

Вклад шума прямой фидерной линии невелик в связи с отрицательным усилением передачи спутников ретрансляции данных и в связи с этим не рассматривается.

3.3.2 Линии СРД – Земля и Земля-СРД

В таблице 2 показаны некоторые примеры взаимодействия между двумя частями полной сквозной линии, как для обратных линий, так и для прямых линий, для нескольких полос частот. Запасы линий являются типовыми значениями типовых системных линий. Поскольку линии обычно представляют собой "прямую дыру", то есть на СРД не производится бортовой обработки, шум является аддитивным, и общий запас линии определяется каскадным сочетанием отдельных запасов линий. В некоторых случаях две линии имеют аналогичные запасы (например, обратная 15 ГГц/13 ГГц), и поэтому обе линии одинаково чувствительны к шуму. В других случаях у линии космос-космос запас значительно меньше, чем у фидерной линии (например, обратная 2 ГГц/13 ГГц, прямая 15 ГГц/13 ГГц), поэтому первая значительно чувствительнее к шуму. Это означает, что на фидерных линиях допускаются более существенные помехи, поэтому для этих линий критерий I/N ослабляется до –6 дБ.

ТАБЛИЦА 2

Помехи спутнику ретрансляции данных

Обратная линия	Полоса →	2/13		15/13	
Линия пользователь – СРД	Запас на СРД (дБ)	4,01	4,01	3,31	3,31
	Ухудшение (дБ)	0,40	0,00	0,40	0,00
	Запас на СРД – ухудшенный (дБ)	3,61	4,01	2,91	3,31
Линия СРД – Земля	Запас на Земле (дБ)	50,30	50,30	4,45	4,45
	Ухудшение (дБ)	0,00	1,00	0,00	1,00
	Запас на Земле – ухудшенный (дБ)	50,30	49,30	4,45	3,45
Сквозная линия	Запас – полный (дБ)	4,01	4,01	0,83	0,83
	Ухудшение (дБ)	0,40	0,00	0,23	0,46
	Запас полный – ухудшенный (дБ)	3,61	4,01	0,60	0,37

Прямая линия	Полоса →	15/2		15/13	
Линия Земля – СРД	Запас на СРД (дБ)	35,04	35,04	23,63	23,63
	Ухудшение (дБ)	0,00	1,00	0,00	1,00
	Запас на СРД – ухудшенный (дБ)	35,04	34,04	23,63	22,63
Линия СРД – пользователь	Запас пользователя (дБ)	3,90	3,90	3,50	3,50
	Ухудшение (дБ)	0,40	0,00	0,40	0,00
	Запас пользователя – ухудшенный (дБ)	3,50	3,90	3,10	3,50
Сквозная линия	Запас полный (дБ)	3,90	3,90	3,46	3,46
	Ухудшение (дБ)	0,40	0,00	0,40	0,01
	Запас полный – ухудшенный (дБ)	3,50	3,90	3,06	3,45