

# МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

**Рекомендация МСЭ-R SA.2141-0**

(12/2021)

## **Характеристики систем службы космических исследований в полосе частот 14,8–15,35 ГГц**

**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 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	<b>Космические применения и метеорология</b>
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, 2022 г.

© ITU 2022

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.2141-0

**Характеристики систем службы космических исследований  
в полосе частот 14,8–15,35 ГГц**

(2021)

**Сфера применения**

В настоящей Рекомендации представлены технические и эксплуатационные характеристики систем службы космических исследований в полосе 14,8–15,35 ГГц. Эти характеристики следует учитывать при проведении исследований совместного использования частот и совместимости.

**Ключевые слова**

Характеристики систем, служба космических исследований (СКИ), космос-Земля, Земля-космос, космос-космос, прямая фидерная линия, спутники ретрансляции данных (СРД)

**Соответствующие Рекомендации и Отчеты МСЭ-R**

Рекомендация МСЭ-R SA.364-6 – Предпочтительные частоты и ширина полос для пилотируемых и беспилотных околоземных спутников службы космических исследований

Рекомендация МСЭ-R SA.510-3 – Возможность совместного использования частот службой космических исследований и другими службами в полосах около 14 и 15 ГГц. Потенциальная помеха от спутниковых систем ретрансляции данных

Рекомендация МСЭ-R SA.609-2 – Критерии защиты для линий радиосвязи пилотируемых и непилотируемых исследовательских спутников, работающих на околоземной орбите

Рекомендация МСЭ-R SA.1018-1 – Гипотетическая эталонная система для сетей/систем, включающих спутники ретрансляции данных на геостационарной орбите и космические аппараты их пользователей на низких околоземных орбитах

Рекомендация МСЭ-R SA.1019-1 – Полосы частот и направления передачи для спутниковых сетей/систем ретрансляции данных

Рекомендация МСЭ-R SA.1155-2 – Критерии защиты, относящиеся к эксплуатации спутниковых систем ретрансляции данных

Рекомендация МСЭ-R SA.1414-2 – Характеристики спутниковых систем ретрансляции данных

Рекомендация МСЭ-R SA.1626-1 – Возможность совместного использования частот службой космических исследований (космос-Земля) и фиксированной и подвижной службами в полосе частот 14,8–15,35 ГГц

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

*учитывая,*

*a)* что полоса частот 14,8–15,35 ГГц распределена фиксированной и подвижной спутниковым службам на первичной основе, а службе космических исследований (СКИ) – на вторичной основе без уточнения направления передачи;

*b)* что полоса частот 15,20–15,35 ГГц распределена СКИ (пассивной) и спутниковой службе исследования Земли (ССИЗ) (пассивной) на вторичной основе согласно пункту **5.339** Регламента радиосвязи (РР);

*c)* что полоса частот 15,35–15,4 ГГц распределена СКИ (пассивной), ССИЗ (пассивной) и радиоастрономической службе на первичной основе в соответствии с пунктами **5.340** и **5.511** РР;

*d)* что спутниковые системы ретрансляции данных, эксплуатируемые несколькими администрациями, используют полосу частот 14,8–15,35 ГГц как для межорбитальных пользовательских линий (космос-космос), так и для фидерных линий вверх (Земля-космос);

e) что существуют требования к СКИ по ширине полосы для линий вниз в целях обеспечения высокоскоростной передачи научных данных в будущем;

f) что в пункте 1.13 повестки дня ВКР-23 предлагается рассмотреть возможность повышения статуса распределения СКИ в этой полосе частот со вторичного до первичного,

*признавая,*

a) что полоса частот 14,8–15,35 ГГц в настоящее время используется спутниками ретрансляции данных для межспутниковых линий, что позволяет устанавливать связь со спутниками на негеостационарных орбитах (НГСО), в том числе в ходе пилотируемых полетов в рамках СКИ;

b) что полоса частот 14,8–15,35 ГГц также используется для существующих линий с высокой скоростью передачи данных от спутников НГСО в СКИ и планируется к использованию в будущих системах;

c) что эти спутники необходимы для работы телескопов и/или других пассивных инструментов для измерения таких явлений, как изменения в магнитосфере Земли и солнечные вспышки,

*рекомендует*

учитывать технические и эксплуатационные характеристики систем службы космических исследований в полосе частот 14,8–15,35 ГГц, подробно описанные в Приложении 1, при проведении исследований совместного использования частот и совместимости.

## Приложение 1

### Технические и эксплуатационные характеристики систем службы космических исследований в полосе частот 14,8–15,35 ГГц

#### 1 Введение

Системы службы космических исследований (СКИ) используют полосу частот 14,8–15,35 ГГц для следующих применений:

- линии вниз для прямой передачи данных со спутников СКИ (использующих разные типы орбит) на земные станции, расположенные по всему миру;
- фидерные линии вверх Земля-космос от земных станций спутниковой системы ретрансляции данных (СРД) к спутникам системы ретрансляции данных ГСО;
- межорбитальные линии связи космос-космос от пользовательских космических аппаратов (КА) к спутникам СРД ГСО.

Характеристики каждого из этих применений обсуждаются ниже.

#### 2 Характеристики линий вниз для прямой передачи данных в полосе частот 14,8–15,35 ГГц

Ожидается, что количество программ СКИ, в которых используются линии вниз для прямой передачи данных в этой полосе частот, будет ограничено: по оценкам, всего в мире будет запускаться от трех до пяти спутников в год. Как правило, они будут работать на низкой околоземной орбите с полярным или экваториальным наклоном, причем некоторые из них будут находиться на геостационарных высотах, а другие – на НЕО или в точках либрации L1 или L2, а также на лунных орбитах или на поверхности Луны. Для большинства программ СКИ на орбитах этих типов характеристики спутников СКИ, осуществляющих прямую передачу данных по линии вниз, отражены в приведенных в таблице 1 бюджетах линий. Для КА СКИ на лунных орбитах или на поверхности Луны параметры бюджета

линии связи будут различаться в зависимости от эксплуатационных потребностей и доступных передовых методов модуляции и кодирования; однако значение п.п.м. на поверхности Земли не должно превышать уровней, указанных в Рекомендации МСЭ-R SA.1626.

В большинстве случаев предполагалось, что линии связи поддерживают скорость передачи данных 400 Мбит/с в направлении космос-Земля, хотя некоторые линии поддерживают скорость до 1,2 Гбит/с. Спектральная плотность э.и.и.м. скорректирована так, чтобы при всех углах места соблюдались пределы п.п.м., указанные в Рекомендации МСЭ-R SA.1626. Предполагается, что диаграмма направленности приемной антенны земной станции СКИ соответствует Рекомендации МСЭ-R SA.509. Оценка возможности совместного использования частот проводилась на основе критериев защиты, указанных в Рекомендации МСЭ-R SA.609.

ТАБЛИЦА 1

## Примеры бюджетов линий вниз высокоскоростной прямой передачи данных в программах СКИ

Ситуация	НГСО Высота 800 км, угол места антенны ЗС 5°	НГСО Высота 800 км, угол места антенны ЗС 10°	НГСО Высота 800 км, угол места антенны ЗС 90°	ГСО Угол места антенны ЗС 10°	НЕО	НЕО	L1/L2	L1/L2
Частота (ГГц)	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15; 15,2
Длина волны (м)	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020		0,020	
Поляризация	Правосторонняя круговая или левосторонняя круговая							
Апогей спутника (км)	800	800	800	35 785	300 000	300 000	1 500 000	1 500 000
Перигей спутника (км)	800	800	800	35 785	500	500	1 500 000	1 500 000
Скорость передачи данных (Мбит/с)	400	400	400	400	400	320	100	600 на канал
Метод модуляции	QPSK без кодирования						QPSK без кодирования	8PSK
Мощность передатчика КА (дБВт)	5	5	5	13	13	11,8	13	23
Фильтр передатчика КА, потери в кабеле (дБВт)	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5
Диаметр передающей антенны КА (м)	0,38	0,38	0,38	0,86	1,5	1,5	1,5	2,3
Эффективность передающей антенны КА	0,55	0,55	0,55	0,55	0,6	0,6	0,6	0,6
Усиление передающей антенны КА (дБи)	32,9	32,9	32,9	40,0	45,2	45	45,2	49
э.и.и.м. передачи КА (дБВт)	37,4	37,4	37,4	52,5	57,7	55,8	57,7	71,5
Пиковое значение плотности э.и.и.м. КА (дБВт/МГц)	14,4	14,4	14,4	29,5	34,7	35,8	40,7	48,5
Длина пути (км)	2 784	2 367	800	40 585	20 000	20 000	1 505 257	1 505 257
Потери при распространении в свободном пространстве (дБ)	184,9	183,5	174,0	208,1	225,5	225,5	239,5	239,5

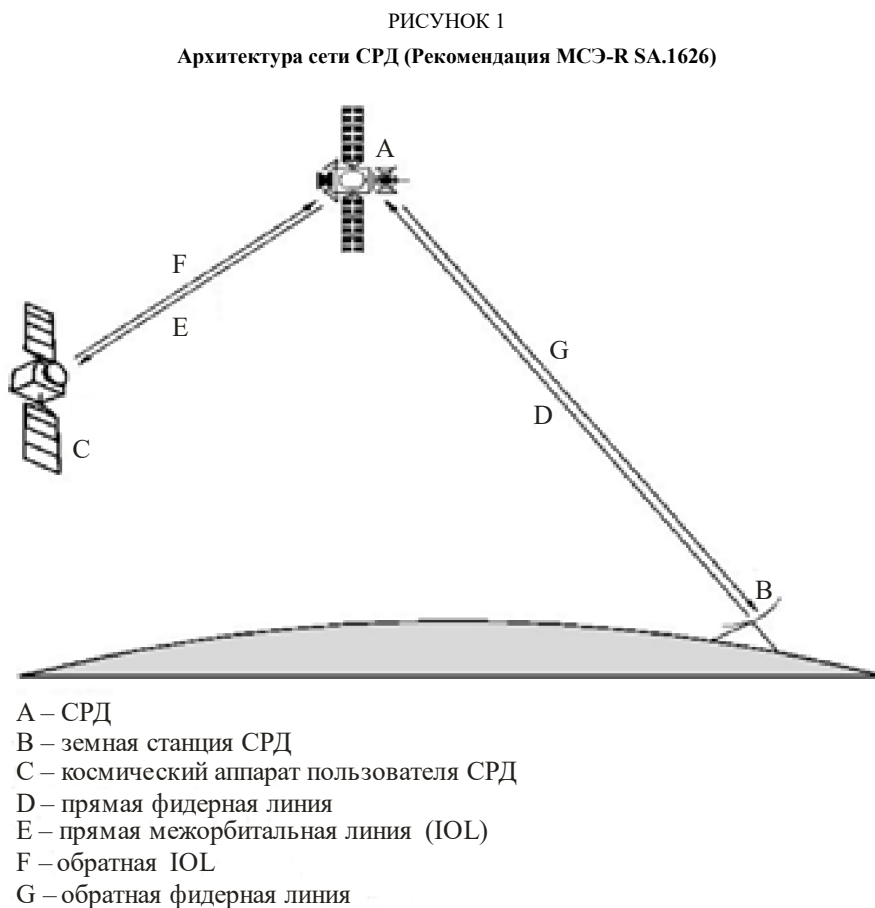
ТАБЛИЦА 1 (окончание)

Ситуация	НГСО Высота 800 км, угол места антенны ЗС 5°	НГСО Высота 800 км, угол места антенны ЗС 10°	НГСО Высота 800 км, угол места антенны ЗС 90°	ГСО Угол места антенны ЗС 10°	НЕО	НЕО	L1/L2	L1/L2
$10 \cdot \log(4 \cdot \pi \cdot d^2)$	139,9	138,5	129,1	163,2	157,0	157,0	194,5	194,5
Угол места приемной ЗС (град.)	5,0	10,0	90,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Предельное значение п.п.м. (дБВт/м <sup>2</sup> МГц)	-124	-121,5	-114	-123,5	-121,5	-121,5	-121,5	-121,5
п.п.м. на поверхности Земли (дБВт/м <sup>2</sup> МГц)	-125,5	-124,1	-114,7	-133,7	-122,3	-161,7	-153,8	-147,3
Диаметр приемной антенны ЗС	1,35	1,35	1,35	4,25	17,0	12,0	34,0	32,0
Эффективность приемной антенны ЗС	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Усиление приемной антенны ЗС (дБи)	45,0	45,0	45,0	54,9	67,0	64,0	73,0	72,5
Допуск по границе луча, затухание в атмосфере и в дожде (дБ)	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-4,0	-4,0	-4,0	-4,0
Шумовая температура приемной системы ЗС (К)	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	150	150,0	150
N <sub>0</sub> (дБВт/Гц)	-206,8	-206,8	-206,8	-206,8	-206,8	-206,8	-206,8	-206,8
Потери в приемнике (дБ)	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0
Полученное значение E <sub>b</sub> /N <sub>0</sub> (дБ)	13,9	15,3	24,7	15,6	14,5	17,7	12,5	18,5
Теоретическое значение E <sub>b</sub> /N <sub>0</sub> (BER 1E-6) (дБ)	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	15
Требуемое значение E <sub>b</sub> /N <sub>0</sub> (BER 1E-6) (дБ)	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	16
Запас E <sub>b</sub> /N <sub>0</sub> (дБ)	2,4	3,8	13,2	4,1	3,0	6,2	1,0	2,5

ПРИМЕЧАНИЕ. – Для КА СКИ на высоких околоземных орбитах (НЕО) запас п.п.м. рассчитывается при предполагаемой минимальной высоте передачи 20 000 км, а запас на линии – при максимальной дальности 300 000 км.

### 3 Спутниковые системы ретрансляции данных

Как показано на рисунке 1, ниже, сеть СРД состоит из нескольких спутников ГСО, используемых для ретрансляции сигналов между центральными земными станциями и пользовательскими низкоорбитальными спутниками. В некоторых существующих сетях СРД сегмент полосы 14,8–15,35 ГГц используется как для прямой фидерной линии (от земной станции СРД до спутника ГСО СРД), которая на рисунке 1 помечена как линия D, так и для обратной межорбитальной линии СРД (от спутника пользователя к спутнику ГСО СРД), помеченной на рисунке 1 как линия F.



SA.2141-01

#### 3.1 Характеристики прямых фидерных линий спутников ретрансляции данных СКИ

Характеристики прямых фидерных линий СРД (см. линию D на рисунке 1), работающих в полосе частот 14,8–15,35 ГГц, приведены в таблице 2.



ТАБЛИЦА 2

## Характеристики прямой фидерной линии Земля-СРД в диапазоне Ку

Передающая земная станция		
Сеть	Российская Федерация	Соединенные Штаты Америки
Местоположение	Российская Федерация <sup>(1)</sup>	Соединенные Штаты Америки <sup>(1)</sup>
Диапазон частот (ГГц)	14,5–15,34 выбираемый	14,6–15,25 выбираемый
Описание линии	Прямые фидерные линии <sup>(3)</sup>	Составная <sup>(2)</sup>
Скорость передачи	≤ 105 Мбит/с	≤ 25 Мбит/с
Модуляция	QPSK/SSM <sup>(4)</sup> , QPSK	PSK
Поляризация	Левосторонняя круговая	Линейная
Размер антенны (м)	13,1; 3,7; 3,0; 0,9	18,3
Усиление передающей антенны (дБи)	63,3; 50,8; 49,8; 40,5	66,4
Диаграмма направленности передающей антенны	Рек. МСЭ-R S.580	Дополнение III к Приложению 8 PP
Необходимая ширина полосы (МГц)	≤ 80 на канал	650 (составная)
Максимальная спектральная плотность мощности (дБ(Вт/Гц))	-47	-58
Максимальная спектральная плотность э.и.и.м. (дБ(Вт/Гц))	10,5	8,8
Приемный СРД		
Орбитальные позиции	Рек. МСЭ-R SA.1275 или Рек. МСЭ-R SA.1276 и 31° в. д. (для Европы)	
Размер антенны (м)	0,6	1,8
Усиление приемной антенны (дБи)	36	47,0
Диаграмма направленности приемной антенны	Рек. МСЭ-R S.672	Рек. МСЭ-R S.672
Шумовая температура системы (К)	550	977
Готовность линии (%)	99,9	99,9
Критерий помех	Рек. МСЭ-R SA.1155	

(1) Земные станции сети Российской Федерации расположены на территории Российской Федерации. Земные станции сети Соединенных Штатов Америки расположены в Уайт-Сендс (Нью-Мексико), Блоссом-Пойнт (Мэриленд) и на Гуаме. Координаты станций: 32,5° с. ш., 106,60° з. д. (Уайт-Сендс); 38,43° с. ш., 77,08° з. д. (Блоссом-Пойнт); и 13,62° с. ш., 144,86° в. д. (Гуам).

(2) Составная линия сети Соединенных Штатов Америки состоит из линии одностанционного доступа диапазона Ku (14/11 ГГц).

(3) В СРД Российской Федерации используется несколько независимых каналов прямой фидерной линии диапазона Ku, а также линии одностанционного доступа (Ku-SA) диапазона Ku и линии системы дифференциальной коррекции и контроля, которые дополнены для системы ГЛОНАСС (ГЛОНАСС/SDCM).

(4) SSM – модуляция с расширением спектра.

### 3.2 Характеристики обратных межорбитальных линий спутниковой системы ретрансляции данных СКИ

Характеристики обратных межорбитальных линий СРД (см. линию F на рисунке 1), работающих в полосе частот 14,8–15,35 ГГц, приведены в таблице 3.

ТАБЛИЦА 3

## Характеристики обратной линии связи космический аппарат – СРД

<b>Передающий космический аппарат</b>		
Сеть	Российская Федерация	Соединенные Штаты Америки
Орбитальные позиции	В основном низкая околоземная орбита	
Диапазон частот (ГГц)	14,76–15,34	14,891–15,116
Описание линии	Линии одностанционного доступа (Ku-SA)	
Скорость передачи	≤ 105 Мбит/с	≤ 300 Мбит/с
Модуляция	8PSK, QPSK	PSK
Поляризация	RHC	Круговая
Размер антенны (м)	≤ 1,2	≤ 1,5
Усиление передающей антенны (дБи)	≤ 42,2	≤ 43
Диаграмма направленности передающей антенны	Рек. МСЭ-R S.672	
Необходимая ширина полосы (МГц)	≤ 80 на канал	≤ 225
Максимальная спектральная плотность мощности (дБ(Вт/Гц))	-71,5	-73,5
Максимальная спектральная плотность э.и.и.м. (дБ(Вт/Гц))	-29,3	-30,5
<b>Приемный СРД</b>		
Сеть	Российская Федерация	Соединенные Штаты Америки
Орбитальные позиции	Рек. МСЭ-R SA.1275 или Рек. МСЭ-R SA.1276	
Диапазон частот (ГГц)	14,76–15,34	14,891–15,116
Размер антенны (м)	4	4,9
Усиление приемной антенны (дБи)	52,6	52,6
Диаграмма направленности приемной антенны	Рек. МСЭ-R S.672	
Шумовая температура системы (К)	550	661
Надежность линии (%)	99,9	99,9
Критерий помех	Рек. МСЭ-R SA.1155	