

**МСЭ-R**  
Сектор радиосвязи МСЭ

**Рекомендация МСЭ-R SA.1626-1**  
(12/2013)

**Возможность совместного использования  
частот службой космических  
исследований (космос-Земля) и  
фиксированной и подвижной службами  
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 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
<b>BO</b>	Спутниковое радиовещание
<b>BR</b>	Запись для производства, архивирования и воспроизведения; пленки для телевидения
<b>BS</b>	Радиовещательная служба (звуковая)
<b>BT</b>	Радиовещательная служба (телевизионная)
<b>F</b>	Фиксированная служба
<b>M</b>	Подвижная спутниковая служба, спутниковая служба радиоопределения, любительская спутниковая служба и относящиеся к ним спутниковые службы
<b>P</b>	Распространение радиоволн
<b>RA</b>	Радиоастрономия
<b>RS</b>	Системы дистанционного зондирования
<b>S</b>	Фиксированная спутниковая служба
<b>SA</b>	<b>Космические применения и метеорология</b>
<b>SF</b>	Совместное использование частот и координация между системами фиксированной спутниковой службы и фиксированной службы
<b>SM</b>	Управление использованием спектра
<b>SNG</b>	Спутниковый сбор новостей
<b>TF</b>	Передача сигналов времени и эталонных частот
<b>V</b>	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, 2014 г.

© ITU 2014

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.1626-1\*

**Возможность совместного использования частот службой космических исследований (космос-Земля) и фиксированной и подвижной службами в полосе частот 14,8–15,35 ГГц**

(2003-2013)

**Сфера применения**

В настоящей Рекомендации представлены характеристики систем космических исследований и результаты анализа возможности 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;
- b) что полоса частот 15,20–15,35 ГГц распределена СКИ (пассивной) и спутниковой службе исследования Земли (ССИЗ) (пассивной) на вторичной основе согласно п. **5.339** Регламента радиосвязи (РР), издание 2012 года;
- c) что существуют требования к СКИ по ширине полосы для линий вниз в целях обеспечения высокоскоростной передачи научных данных в будущем;
- d) что при благоприятных условиях требуемые расстояния разноса между приемными земными станциями СКИ и передающими фиксированными станциями относительно невелики (до 30 км), а при менее благоприятных условиях они могут быть относительно большими (до 200 км);
- e) что расстояния разноса могут существенно уменьшаться благодаря таким факторам, как размещение частот радиостолов, естественное экранирование местностью, отражение от земной поверхности и другие явления, связанные с особенностями рельефа,

*отмечая,*

- a) что вследствие небольшого количества земных станций СКИ, которые, как ожидается, будут развернуты во всем мире (10–40 станций), координация между системами фиксированной и сухопутной подвижной служб и станциями СКИ не будет создавать чрезмерных ограничений для работы любой из этих служб,

*рекомендует,*

- 1** что совместное использование частот спутниками ГСО СКИ, осуществляющими передачу в направлении космос-Земля и осуществляющими прием спутниками ретрансляции данных (СРД), работающими на ГСО на частоте около 15 ГГц, возможно, если спутники будут находиться на расстоянии не менее 12 км друг от друга (эквивалентно орбитальному разному 0,02°);
- 2** что при проектировании систем СКИ следует учитывать вероятность приема кратковременных помех со стороны пользовательских спутников СРД. Эти помехи должны существовать в течение менее 0,1% времени;
- 3** что в предполагаемых условиях распространения в свободном пространстве в полосе частот 14,8–15,35 ГГц системы ГСО СКИ должны соблюдать следующие пределы п.п.м. у поверхности Земли:

---

\* Настоящую Рекомендацию следует довести до сведения 5-й Исследовательской комиссии по радиосвязи.



Предел (дБ(Вт/м <sup>2</sup> )) в полосе 1 МГц для угла прихода, $\delta$ , над горизонтальной плоскостью		
0°–5°	5°–25°	25°–90°
–126	$-126 + 0,5(\delta - 5)$	–116

4 что в предполагаемых условиях распространения в свободном пространстве в полосе частот 14,8–15,35 ГГц системы НГСО СКИ должны соблюдать следующие пределы п.п.м. у поверхности Земли:

Предел (дБ(Вт/м <sup>2</sup> )) в полосе 1 МГц для угла прихода, $\delta$ , над горизонтальной плоскостью		
0°–5°	5°–25°	25°–90°
–124	$-124 + 0,5(\delta - 5)$	–114

5 что расстояния разноса, необходимые для приемных земных станций СКИ в целях защиты от фиксированных и подвижных передающих станций, можно рассчитать с использованием метода, описанного в Приложении 1, и критерия защиты для линий СКИ космос-Земля, приведенного в Рекомендации МСЭ-R SA.609;

6 что может оказаться необходимым определить соответствующие меры, связанные с развертыванием земных станций СКИ, чтобы не ограничивать использование полосы частот 14,8–15,35 ГГц фиксированной службой.

## Приложение 1

### Возможность совместного использования частот службой космических исследований (космос-Земля) и фиксированной и подвижной службами в полосе частот 14,8–15,35 ГГц

#### 1 Введение

Международные космические агентства в настоящее время планируют осуществление программ космических исследований с высокой скоростью передачи данных, для которых требуется ширина полосы до 400 МГц. Спутники для этих программ будут оснащены телескопами и/или другими пассивными приборами для измерения таких явлений, как магнитосфера Земли и солнечные вспышки. В Регламенте радиосвязи, издание 2012 г., полоса 8450–8500 МГц является единственной полосой частот ниже 37–38 ГГц, которая может использоваться в рамках СКИ на первичной основе для передачи данных с умеренной или высокой скоростью непосредственно со спутников на околоземной орбите земным станциям. Поскольку эта полоса не соответствует потребностям будущих программ космических исследований с высокой скоростью передачи данных, необходимо новое распределение на первичной основе.

Имеющиеся на данный момент распределения в полосе частот 14,8–15,35 ГГц (Регламент радиосвязи, издание 2012 г.) представлены в таблице 1. Сюда входят распределения фиксированной и подвижной службам на первичной основе и распределение службе космических исследований на вторичной основе. Кроме того, согласно п. 5.339 РР в рамках этой полосы частот СКИ (пассивной) и ССИЗ (пассивной) распределен участок 15,20–15,35 ГГц на вторичной основе.

ТАБЛИЦА 1

**Распределения в полосе частот 14,8–15,35 ГГц  
(из Регламента радиосвязи, издание 2012 г.)**

Распределение по службам		
Район 1	Район 2	Район 3
14,8–15,35	ФИКСИРОВАННАЯ ПОДВИЖНАЯ Служба космических исследований 5.339	

**5.339** Полосы 1370–1400 МГц, 2640–2655 МГц, 4950–4990 МГц и 15,20–15,35 ГГц распределены также службе космических исследований (пассивной) и спутниковой службе исследования Земли (пассивной) на вторичной основе.

Исходя из этих распределений установления нового распределения в данной полосе для СКИ на первичной основе требует учета различных сценариев помех, которые детализированы в таблице 2. Был проведен анализ этих помеховых факторов, способствующий определению надлежащих условий совместного использования частот, который описан в данном документе. В разделе 2 содержится информация о характеристиках систем СКИ, которые были использованы для этого анализа. В разделе 3 приведен пример характеристик систем фиксированной службы для полосы частот 14,8–15,35 ГГц. В разделе 4 представлены основные характеристики системы СРД, работающей в этой полосе частот. Критерии защиты станций фиксированной или подвижной службы от излучений СКИ изложены в разделе 5. Раздел 6 посвящен помехам, создаваемым приемным земным станциям СКИ передачами фиксированной или подвижной службы. В разделе 7 описано определение условий совместного использования частот для СКИ (космос-Земля) и приемной системы СРД. Защита линий СКИ (пассивной) и ССИЗ (пассивной) в данный момент не рассматривается, поскольку сведений о наличии в этой полосе частот какой-либо из этих систем нет.

ТАБЛИЦА 2

**Применимые сценарии помех**

Источник помех	Объект, испытывающий помехи	Комментарии
СКИ (космос-Земля) Низкоорбитальный спутник Спутник ГСО	Приемная станция фиксированной/подвижной службы	Предполагается распространение в пределах прямой видимости
Передающая станция фиксированной/подвижной службы	Приемная земная станция СКИ	Расстояния разноса определяются с использованием методов, приведенных в Рекомендации МСЭ-R SM.1448, в предположении распространения вида (1) по трассе над сушей по дуге большого круга (зона A2)
СКИ (космос-Земля) Низкоорбитальный спутник Спутник ГСО	Принимающий СРД Вблизи Находящийся в близкой к противоположной позиции	Предполагается распространение в пределах прямой видимости
СКИ (космос-Земля) Низкоорбитальный спутник Спутник ГСО	СКИ/ССИЗ (пассивная)	Сведений об использовании полосы 15,20–15,35 ГГц согласно положениям п. 5.339 PP нет

## 2 Характеристики будущих программ СКИ с высокоскоростной передачей данных

Число этих программ будет ограниченным – предполагается запуск 3–5 спутников в год во всем мире, которые, как правило, будут находиться на низкой полярной орбите или на экваториальной орбите, одни – на геостационарных высотах, другие – в точках либрации L1 или L2. Характеристики геостационарных и низкоорбитальных спутников СКИ, осуществляющих передачу в направлении космос-Земля, отражены в бюджетах линий, приведенных в таблице 3. Предполагается, что линии поддерживают передачу данных со скоростью 400 Мбит/с в направлении космос-Земля. Спектральная плотность э.и.и.м. скорректирована так, чтобы при низких углах места соблюдались пределы п.п.м., указанные в Рекомендации МСЭ-R SA.510. 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 3

### Пример бюджетов линий для программ СКИ с высокоскоростной передачей данных

Частота (ГГц)	15		15
Высота спутника (км)	800	35 785	300 000 <sup>(1)</sup>
Скорость передачи данных (Мбит/с)	400		
Метод модуляции	QPSK		
Мощность передатчика (Вт) (дБВт)	5,0	20,0	
	7,0	13,0	
Фильтр, потери в кабеле (дБ)	–0,5		
Диаметр передающей антенны (м)	0,38	0,86	1,5
Коэффициент усиления передающей антенны (дБи)	33,0	40,0	45,2
Ширина луча антенны по уровню 3 дБ	3,68	1,64	1,06
э.и.и.м. (дБВт)	39,5	52,5	57,7
Допуск по границе луча (дБ)	–3,0		–4,0 <sup>(3)</sup>
Затухание в атмосфере и в дожде (дБ)	–		
Потери на трассе (дБ)	–183,4	–208,1	–225,65
Спектральная п.п.м. (дБ(Вт/(м <sup>2</sup> · 4 кГц)))	–146,0	–157,6	< –146,0 <sup>(2)</sup>
Коэффициент усиления принимающей антенны (дБи)	45,0	55,0	67,0
Шумовая температура приемника (К)	100,0		
Угол места (градусы)	10,0		
Шумовая температура антенны (К)	50,0		
Температура приемной системы (К)	150,0		
Потери в модуляционном фильтре (дБ)	–0,5		
Потери в демодуляторе (дБ)	–0,5		
Среднее полученное значение $E_b/N_0$ (дБ)	18,9	17,2	14,8
Теоретическое значение $E_b/N_0$ (BER = $1 \times 10^{-6}$ ) (дБ)	10,5		
Требуемое значение $E_b/N_0$ (BER = $1 \times 10^{-6}$ ) (дБ)	11,5		
Запас (дБ)	7,4	5,7	3,3

<sup>(1)</sup> Высокая околоземная орбита (ВОО) – апогей 300 000 км, перигей 500 км, минимальное расстояние для передачи данных 15 000 км.

<sup>(2)</sup> На минимальном расстоянии передачи данных.

<sup>(3)</sup> Сумма допуска по границе луча (дБ) и затухания в атмосфере и в дожде (дБ).

### 3 Характеристики систем фиксированной службы в полосе частот 14,8–15,35 ГГц

Примеры типичных характеристик систем фиксированной службы в полосе частот 14,8–15,35 ГГц представлены в таблице 4. Значения параметров для систем А и В взяты из Рекомендации МСЭ-R F.758. Параметры систем С и D типичны для многих других систем фиксированной службы, развернутых в настоящее время.

ТАБЛИЦА 4

#### Пример характеристик фиксированной службы для полосы частот 14,8–15,35 ГГц

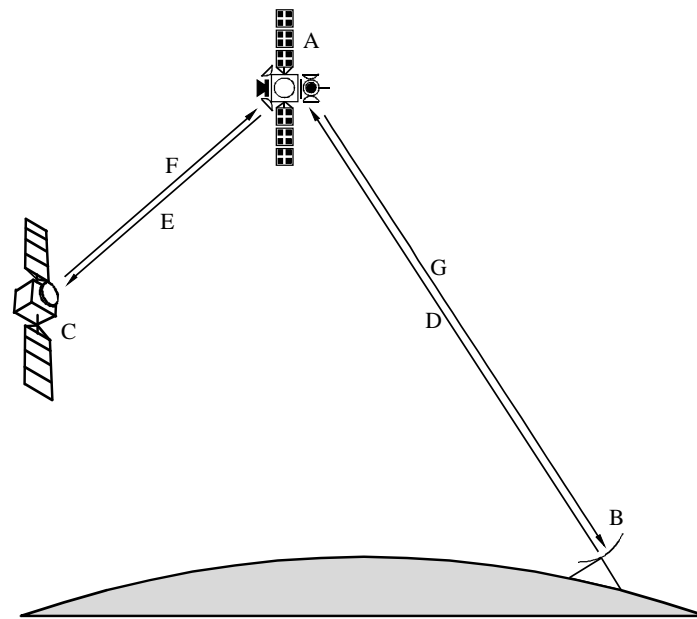
Модуляция	Полоса частот 14,8–15,35 ГГц			
	64-QAM (A)	QPSK (B)	4-FSK (C)	4-FSK (D)
Пропускная способность (Мбит/с)	140	4	6,3	12,6
Разнос каналов (МГц)	28	10,5	5	10
Диаметр антенны (м)	2,4	1,8	0,6	1,2
Коэффициент усиления антенны (максимальный) (дБи)	49,0	45,0	36,5	42,5
Потери в фидере/мультиплексоре (минимальные) (дБ)	2	0	2	2
Полоса пропускания приемника по ПЧ (МГц)	40	3,5	5	10
Коэффициент шума приемника (дБ)	4	4	5	7
Тепловой шум приемника (дБВт)	-124	-136	-132	-129
Номинальный уровень долговременной помехи (дБВт)	-134	-146	-142	-139
Спектральная плотность (дБ (Вт/МГц))	-150,0	-149,8	-149,0	-149,0
Максимальная п.п.м. <sup>(1)</sup> единичной помехи при низком угле прихода, (дБ(Вт/(м <sup>2</sup> /МГц)))	-149,0	-147,0	-136,0	-142,0

<sup>(1)</sup> п.п.м. – спектральная плотность помехи + потери в фидере – коэффициент усиления антенны – усиление на 1 м<sup>2</sup> + избирательность по линейной/круговой поляризации до 3 дБ.

### 4 Характеристики системы СРД, работающей в полосе частот 14,8–15,35 ГГц

Сеть СРД состоит из нескольких спутников ГСО, используемых для ретрансляции сигналов между центральными земными станциями и пользовательскими низкоорбитальными спутниками. Сеть СРД использует распределенные СКИ частоты в диапазоне 2 ГГц и 13–15 ГГц и распределенные межспутниковой службе полосы в диапазонах 23/26 ГГц. Частотный план для полосы 14,8–15,35 ГГц представлен на рисунке 2. Как показано на этом рисунке, СРД принимает сигналы в этой полосе частот. Передачи в направлении Земля-космос включают передачу контрольной частоты, сигнала многостанционного доступа (МА) для ретрансляции в полосе 2025–2110 МГц, а также сигнала одностанционного доступа (KSA2) для передачи в полосе, центральная частота которой равна 13,775 ГГц. Сигналы, передаваемые в направлении Земля-космос, генерируются земными станциями, которые расположены в Соединенных Штатах и на острове Гуам. На рисунке 2 также показано, что СРД принимает сигналы, передаваемые в направлении космос-космос низкоорбитальными спутниками. Передача этих сигналов сосредоточена вокруг частоты 15 ГГц и осуществляется в полосе шириной до 225 МГц.

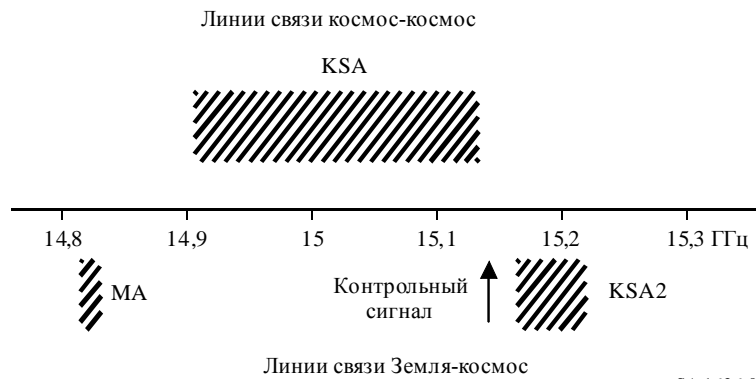
РИСУНОК 1  
Архитектура сети СРД (Рекомендация МСЭ-R SA.1018)



- A: СРД  
 B: земная станция СРД  
 C: космический аппарат пользователя СРД  
 D: прямая фидерная линия  
 E: прямая межорбитальная линия (IOL)  
 F: обратная IOL  
 G: обратная фидерная линия

SA.1626-01

РИСУНОК 2  
Использование частот в полосе 14,8–15,35 ГГц сетью СРД





## 5 Защита станций фиксированной/подвижной службы от помех, создаваемых космическими станциями СКИ

Критерий помех для защиты фиксированной службы от изменяющихся во времени суммарных помех, создаваемых спутниками НГСО СКИ, взят из Рекомендации МСЭ-R F.1494. Эта Рекомендация относится к полосе частот 10,7–12,7 ГГц; однако применения фиксированной службы в полосе 14,8–15,35 ГГц имеют аналогичные характеристики. Таким образом, эту Рекомендацию можно применять и в данном случае. Следовательно, критерии помех для систем НГСО определяются следующим образом:

- краткосрочные – отношение  $I/N$  (помехи/шум) не должно превышать +20 дБ (жесткий предел);
- долгосрочные – частичное ухудшение качественных показателей (FDP) не должно превышать 10%.

В отношении спутников ГСО применяются следующие критерии помех:

- FDP трассы не должно превышать 10% на более чем 10% трасс фиксированной службы; а
- отношение  $I/N$  станции не должно превышать –10 дБ на более чем 10% приемных станций фиксированной службы.

Результаты моделирования вероятностных помех цифровым системам связи пункта с пунктом в фиксированной службе со стороны СКИ, исходя из предполагаемого развертывания 24 спутников на орбите ГСО, показывают, что пределы п.п.м. в полосе 10,7–11,7 ГГц необходимы для защиты фиксированной службы в полосе 14,8–15,35 ГГц. Эти пределы определяются следующим образом:

$$\begin{array}{ll} -126 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot \text{МГц))} & \text{при } 0^\circ < \delta \leq 5^\circ; \\ -126 + 0,5(\delta - 5) \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot \text{МГц))} & \text{при } 5^\circ < \delta \leq 25^\circ; \\ -116 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot \text{МГц))} & \text{при } 25^\circ < \delta \leq 90^\circ, \end{array}$$

где  $\delta$  – угол прихода антенны над горизонтальной плоскостью (в градусах).

Эти пределы п.п.м. должны обеспечивать возможность работы линий космос-Земля СКИ (скорость передачи данных 400 Мбит/с) в соответствии с установленными требованиями. Однако на ограниченное число существующих линий фиксированной службы может быть оказано негативное воздействие, в случае если антенны этих станций будут ориентированы на орбитальные позиции конкретных спутников ГСО СКИ с излучениями в совмещенном канале.

Результаты исследований с использованием моделирования помех, которые могут быть созданы спутниковыми системами НГСО СКИ системам связи пункта с пунктом в фиксированной службе, свидетельствуют о возможности совместного использования частот этими службами в полосе 14,8–15,35 ГГц при применении пределов п.п.м., которые на 2 дБ выше значений, используемых в полосе 10,7–11,7 ГГц, а именно:

$$\begin{array}{ll} -124 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot \text{МГц))} & \text{при } 0^\circ \leq \delta \leq 5^\circ; \\ -124 + 0,5(\delta - 5) \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot \text{МГц))} & \text{при } 5^\circ < \delta \leq 25^\circ; \\ -114 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot \text{МГц))} & \text{при } 25^\circ < \delta \leq 90^\circ, \end{array}$$

где  $\delta$  – угол прихода антенны над горизонтальной плоскостью (в градусах).

## 6 Защита приемных земных станций СКИ от излучений станций фиксированной и подвижной служб

Дополнительные характеристики систем фиксированной службы в этой полосе частот, приведенные в таблице 5, используются для определения расстояний разнеса, необходимых для соблюдения критериев защиты земных станций СКИ на основе Рекомендации МСЭ-R SA.609, т. е. помехи не должны превышать  $-216$  дБ(Вт/Гц) для более чем 0,1% времени в рамках беспилотных программ. В связи с относительно высокой скоростью передачи данных на линиях космос-Земля используется эталонная полоса частот 4 кГц. Результирующий критерий уровня мощности помех составляет  $-180$  дБ(Вт/4 кГц).

Для оценки диапазона расстояний разнеса, требуемых для защиты приемной земной станции СКИ, применялась следующая методика:

- определить спектральную плотность э.и.и.м. в худшей полосе частот 4 кГц для передающих станций фиксированной службы, перечисленных в таблице 4;
- определить максимальное усиление приемной антенны земной станции СКИ в направлении передающей станции фиксированной службы с использованием Рекомендации МСЭ-R SA.509;
- рассчитать минимальные допустимые основные потери передачи для максимальных излучений и для изотропных излучений станций фиксированной службы в направлении земной станции СКИ; и
- используя процедуры, описанные в Рекомендации МСЭ-R SM.1448, рассчитать расстояния разнеса, необходимые для достижения минимальных допустимых основных потерь передачи, в предположении распространения вида (1) по трассе над сушей (в упомянутой Рекомендации классифицируется как зона A2).

### 6.1 Спектральная плотность э.и.и.м. передающих станций фиксированной службы

Спектральная плотность мощности (psd) несущей M-PSK и несущей M-QAM, модулированных случайным потоком данных, является максимальной на частоте, близкой к несущей частоте, и при большой скорости передачи символов относительно эталонной полосы частот определяется следующим образом:

$$\text{psd} = P_{avg} T_s b_{ref}; \quad (1a)$$

$$T_s = \frac{\log_2 M}{R_b}, \quad (1b)$$

где:

- psd: спектральная плотность мощности в эталонной полосе частот,  $b_{ref}$ , на входе передающей антенны (Вт/ $b_{ref}$ );
- $P_{avg}$ : средняя мощность на выходе передатчика (Вт);
- $T_s$ : длительность одного символа (с);
- $M$ : количество дискретных состояний пространства передаваемого сигнала (числовое значение);
- $R_b$ : комбинированная скорость передачи информации и кодирования передаваемого сигнала (бит/с).

## 6.2 Типичные расстояния разноса

Минимальные допустимые основные потери передачи определяются следующим выражением:

$$L_B = \text{psd} + G_T(\theta_{FS}) + G_R(\theta_{Rmin}) - I_{PC}, \quad (2)$$

где:

- $L_B$ : минимальные допустимые основные потери передачи (дБ);
- $I_{PC}$ : критерии защиты (дБВт/ $b_{ref}$ );
- $\text{psd}$ : спектральная плотность мощности передатчика на входе передающей антенны (дБВт/ $b_{ref}$ );
- $b_{ref}$ : эталонная полоса частот (4 кГц);
- $G_T(\theta_{FS})$ : усиление передающей антенны фиксированной службы в направлении приемной станции СКИ (дБ);
- $G_R(\theta_{Rmin})$ : максимальное усиление приемной антенны СКИ в направлении станции фиксированной службы (дБ).

Приемная антенна СКИ, которая соответствует эталонной диаграмме направленности, описанной в Рекомендации МСЭ-R SA.509, имеет максимальное усиление +7 дБи в направлении горизонта при минимальном угле места  $10^\circ$ .

Минимальные допустимые основные потери передачи определяются с использованием процедур, описанных в Рекомендации МСЭ-R SM.1448, при следующих условиях:

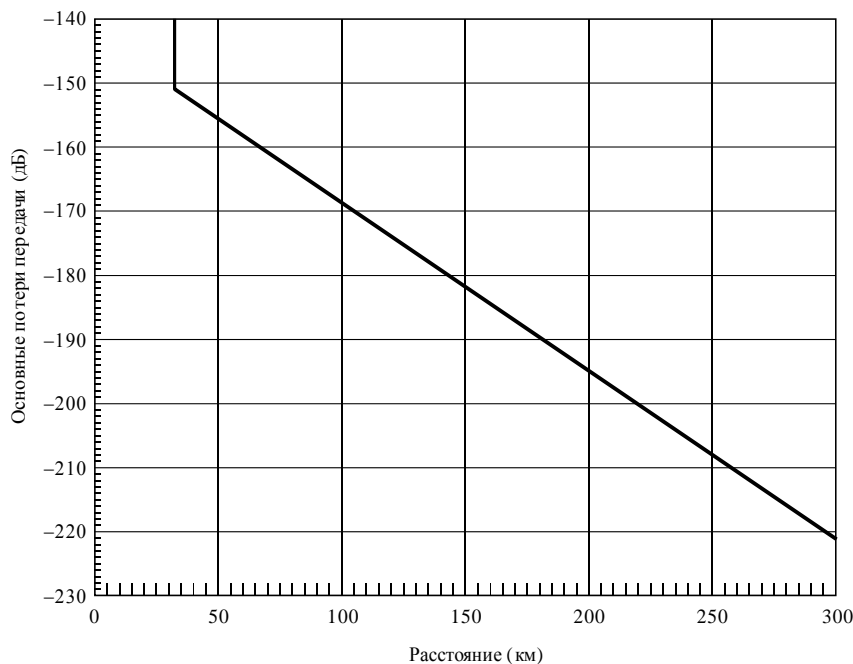
- рабочая частота 15 ГГц;
- распространение над гладкой поверхностью Земли по трассе над сушей (зона A2);
- распространение вида (1), минимальные допустимые потери передачи, превышаемые для более чем 0,1% времени;
- приемная антенна земной станции СКИ находится на расстоянии 10 м над поверхностью Земли;
- передающая антенна станции фиксированной службы находится на расстоянии 30 м над поверхностью Земли.

Полученные с использованием приведенных выше допущений и процедур, описанных в Рекомендации МСЭ-R SM.1448, основные потери передачи при распространении вида (1) как функция расстояния разноса соответствуют показанным на рисунке 3.

Сводная информация по расчетам для определения расстояний разноса представлена в таблице 5. Защиту приемных земных станций СКИ от излучений систем фиксированной службы с характеристиками, которые указаны в Рекомендации МСЭ-R F.758, можно обеспечить при расстояниях разноса 18–30 км в благоприятных условиях и расстояниях разноса до 200 км – в менее благоприятных условиях. Эти расстояния были определены для распространения вида (1) по трассе над сушей по дуге большого круга над гладкой поверхностью Земли (зона A2) с использованием методики, описанной в Рекомендации МСЭ-R SM.1448. Предполагается, что эти расстояния разноса могут уменьшаться при учете таких факторов, как планы размещения частот радиостволов, естественное экранирование местностью, отражение от земной поверхности и других явлений, связанных с особенностями рельефа.

РИСУНОК 3

Основные потери передачи, не превышаемые в течение более чем 0,1% времени при распространении вида (1) по трассе над сушей над гладкой поверхностью Земли:  
 $f = 15$  ГГц;  $h_1 = 10$  м;  $h_2 = 30$  м



$f = 15$  ГГц  
 Высота антенны передатчика = 10 м  
 Высота антенны приемника = 30 м  
 Потери передачи, не превышаемые в течение более чем 0,1% времени  
 Климатическая зона А2

SA.1626-03

ТАБЛИЦА 5

Типичные расстояния разноса между приемной земной станцией СКИ и передающими станциями фиксированной службы, требуемые для соблюдения критериев защиты из Рекомендации МСЭ-R SA.609: высота приемной антенны СКИ 10 м над гладкой поверхностью Земли, а передающей антенны фиксированной службы – 30 м

Модуляция	64-QAM	8-PSK
Пропускная способность (Мбит/с)	140	156
Максимальная выходная мощность передатчика (дБВт)	5	0
Отношение пиковой мощности к средней (дБ)	-3,7	0
Потери выходной мощности (дБ)	-1,3	0
Потери в фидере/мультиплексоре (дБ)	-2	-5
Спектральная плотность мощности (дБ(Вт/4 кГц))	-39,7	-46

ТАБЛИЦА 5 (окончание)

Модуляция	64-QAM		8-PSK	
	Усиление антенны в направлении земной станции СКИ (дБ)	0	49	0
Спектральная плотность э.и.м. в направлении земной станции СКИ (дБ(Вт/4 кГц))	-39,7	+9,3	-46	+6
Максимальное усиление антенны земной станции СКИ в направлении станции фиксированной службы (дБи)	+7		+7	
Максимальные помехи (дБ(Вт/4 кГц))	-180			
Минимальные допустимые основные потери передачи (дБ)	-147,3	-196,3	-141	-193
Расстояние разноса (км)	30 <sup>(1)</sup>	200	18 <sup>(1)</sup>	190

<sup>(1)</sup> Это расстояние находится в пределах прямой видимости.

## 7 Защита системы СРД от излучений космической станции СКИ

Различают три основных случая, в которых ГСО СРД принимает помехи, создаваемые излучениями спутника СКИ:

- случай 1:* если передающий спутник ГСО СКИ находится вблизи принимающего ГСО СРД;
- случай 2:* если передающий спутник ГСО СКИ находится в близкой к противоположной позиции относительно принимающего ГСО СРД; и
- случай 3:* если передающий низкоорбитальный спутник СКИ проходит в пределах видимости принимающего ГСО СРД.

Для этих трех случаев рассчитываются условия, необходимые для соблюдения критериев защиты согласно Рекомендации МСЭ-R SA.1155. Исходя из приведенных в таблице 1 в качестве примера характеристик спектральная плотность мощности (psd) на входе передающей антенны спутника ГСО СКИ для случаев 1 и 2 составляет -40,5 дБ(Вт/кГц). Исходя из тех же характеристик psd на входе передающей антенны спутника СКИ на орбитальной высоте 800 км для случая 3 составляет -46,5 дБ(Вт/кГц). Для всех трех случаев предполагается распространение в свободном пространстве.

psd принимаемых помех и соответствующий запас сверх критериев защиты определяются следующим выражением:

$$I_R = \text{psd} + G_T(\theta_T) + G_R(\theta_R) - L_{bf}; \quad (3a)$$

$$M = I_{PC} - I_R, \quad (3b)$$

где:

- $I_R$ : psd принимаемых помех (дБ(Вт/кГц));
- $I_{PC}$ : критерии защиты СРД из Рекомендации МСЭ-R SA.1155 (дБ(Вт/кГц));
- $M$ : запас сверх критерия помех (дБ);
- $L_{bf}$ : основные потери передачи в свободном пространстве (дБ);
- psd: спектральная плотность мощности на входе передающей антенны (дБ(Вт/кГц));
- $G_T(\theta_T)$ : усиление передающей антенны спутника СКИ в направлении СРД (дБи);

- $G_R(\theta_R)$ : усиление приемной антенны СРД в направлении спутника СКИ (дБи);  
 $\theta_T$ : угол между опорным направлением передающей антенны и СРД (градусы);  
 $\theta_R$ : угол между опорным направлением приемной антенны СРД и спутником СКИ (градусы).

Основные результаты для указанных выше трех случаев, полученные с помощью оценочного уравнения (3), представлены в таблице 6.

ТАБЛИЦА 6

**Уровень помех и рабочий запас сверх критериев защиты из Рекомендации МСЭ-R SA.1155 для ГСО СРД, принимающего помехи, создаваемые излучениями спутников СКИ в направлении космос-Земля**

	Случай 1	Случай 2		Случай 3
psd (дБ(Вт/кГц))	-40,5	-40,5		-46,5
$G_T(\theta_T)$	0	0		0
$G_R(\theta_R)$	0	0	53,3 <sup>(1)</sup>	53,3 <sup>(1)</sup>
Диапазон (км)	11,9	83 360		34 985 <sup>(2)</sup>
Основные потери передачи (дБ)	137,5	214,4		206,8
$I_R$ (дБ(Вт/кГц))	-178	-254,9	-201,6	-200
$I_{PC}$ (дБ(Вт/кГц))	-178 <sup>(3)</sup>	-178 <sup>(3)</sup>		-178 <sup>(3)</sup>
Запас (дБ)	0	+76,9	+23,6	+22,0

<sup>(1)</sup> См. Рекомендацию МСЭ-R SA.1414.

<sup>(2)</sup> Спутник на высоте 800 км, расположенный в экваториальной плоскости непосредственно под СРД.

<sup>(3)</sup> Критерии защиты из Рекомендации МСЭ-R SA.1155.

Данный анализ показывает, что существующая сеть СРД будет защищена от излучений взятых для примера низкоорбитальных спутников и спутников ГСО. Было установлено, что расстояние разноса между принимающим спутником ГСО СРД и передающим спутником ГСО СКИ может составлять 12 км (эквивалентно орбитальному разносу менее 0,02°). Также было установлено, что минимальный запас по защите для случая с излучениями находящегося в близкой к противоположной позиции спутника ГСО СКИ в направлении принимающего СРД составляет +23 дБ. Аналогичные результаты были получены для случая с низкоорбитальным спутником СКИ, осуществляющие передачу в направлении космос-Земля, который находится в пределах основного луча приемной антенны СРД. Для этого случая запас по помехам в отношении критериев защиты, указанных в Рекомендации МСЭ-R SA.1155, составляет +22 дБ.

## 8 Выводы

Результаты моделирования вероятностных помех цифровым системам связи пункта с пунктом в фиксированной службе со стороны СКИ, исходя из предполагаемого развертывания 24 спутников ГСО, показывают, что пределы п.п.м. в полосе 10,7–11,7 ГГц необходимы для защиты фиксированной службы в полосе 14,8–15,35 ГГц.



Эти пределы определяются следующим образом:

$-126 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot \text{МГц))}$	при	$0^\circ < \delta \leq 5^\circ;$
$-126 + 0,5(\delta - 5) \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot \text{МГц))}$	при	$5^\circ < \delta \leq 25^\circ;$
$-116 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot \text{МГц))}$	при	$25^\circ < \delta \leq 90^\circ,$

где  $\delta$  – угол прихода антенны над горизонтальной плоскостью (в градусах).

Эти пределы п.п.м. должны обеспечивать возможность работы линий космос-Земля СКИ (скорость передачи 400 Мбит/с) в соответствии с установленными требованиями. Однако на ограниченное число существующих линий фиксированной службы может быть оказано негативное воздействие, в случае если антенны этих станций будут ориентированы на орбитальные позиции конкретных спутников ГСО СКИ с излучениями в совмещенном канале.

Результаты исследований с использованием моделирования помех, которые могут быть созданы спутниковыми системами НГСО СКИ системам связи пункта с пунктом в фиксированной службе, свидетельствуют о возможности совместного использования частот этими службами в полосе 14,8–15,35 ГГц при применении пределов п.п.м., которые на 2 дБ выше значений, используемых в полосе 10,7–11,7 ГГц, а именно:

$-12 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot \text{МГц))}$	при	$0^\circ < \delta \leq 5^\circ;$
$-12 + 0,5(\delta - 5) \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot \text{МГц))}$	при	$5^\circ < \delta \leq 25^\circ;$
$-114 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot \text{МГц))}$	при	$25^\circ < \delta \leq 90^\circ,$

где  $\delta$  – угол прихода антенны над горизонтальной плоскостью (в градусах).

Защиту приемных земных станций СКИ от излучений систем фиксированной службы с характеристиками, указанными в Рекомендации МСЭ-R F.758, можно обеспечить при расстояниях разноса 18–30 км в благоприятных условиях и расстояниях разноса до 200 км – в менее благоприятных условиях. Эти расстояния были определены для распространения вида (1) по трассе над сушей по дуге большого круга над гладкой поверхностью Земли (зона А2) с использованием методики, описанной в Рекомендации МСЭ-R SM.1448. Предполагается, что эти расстояния разноса могут уменьшаться при учете таких факторов, как план размещения частот радиостволов, естественное экранирование местностью, отражение от земной поверхности и других явлений, связанных с особенностями рельефа.

Данное исследование показало, что существующая сеть СРД будет защищена от излучений взятых для примера низкоорбитальных спутников и спутников ГСО. Было установлено, что расстояние разноса между принимающим спутником ГСО СРД и передающим спутником ГСО СКИ может составлять 12 км (эквивалентно орбитальному разносу менее  $0,02^\circ$ ). Также было установлено, что минимальный запас по защите для случая с излучениями находящегося в близкой к противоположной позиции спутника ГСО СКИ в направлении принимающего СРД составляет +23 дБ. Аналогичные результаты были получены для случая с низкоорбитальным спутником СКИ, осуществляющими передачу в направлении космос-Земля, который находится в пределах основного луча приемной антенны СРД. Для этого случая запас по помехам в отношении критериев защиты, указанных в Рекомендации МСЭ-R SA.1155, составляет +22 дБ.