

# МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

**Рекомендация МСЭ-R SA.1016-1**  
(08/2019)

## **Рассмотрение вопросов совместного использования частот со службой космических исследований (дальний космос)**

**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
<b>SA</b>	<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, 2020 г.

© ITU 2020

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.1016-1

**Рассмотрение вопросов совместного использования частот со службой космических исследований (дальний космос)**

(1994-2019)

**Сфера применения**

В настоящей Рекомендации рассматриваются вопросы совместного использования частот, касающиеся службы космических исследований (дальний космос) в диапазонах 2 ГГц, 7 ГГц и 34 ГГц.

**Ключевые слова**

Совместное использование частот, дальний космос, земные станции СКИ, космические станции СКИ.

**Соответствующие Рекомендации и Отчеты МСЭ-R**

Рекомендации МСЭ-R SA.509, МСЭ-R SA.684, МСЭ-R SA.1014, МСЭ-R SA.1015, МСЭ-R SA.1157

Отчет МСЭ-R SA.2066

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

*учитывая,*

- a) что в Приложении 1 и Приложении 2 рассматривается возможность совместного использования частот станциями службы космических исследований (дальний космос) и станциями других служб;
- b) что земные станции службы космических исследований (дальний космос) могут создавать вредные помехи приемным станциям воздушной подвижной службы, приемным космическим станциям и приемным станциям с микроволновыми датчиками, когда эти станции находятся в пределах прямой видимости;
- c) что земные станции службы космических исследований (дальний космос) могут создавать вредные помехи недостаточно разнесенным приемным подвижным станциям;
- d) что передачи наземных станций с использованием большой мощности могут создавать помехи космическим станциям службы космических исследований (дальний космос), особенно во время околосредних операций космических станций;
- e) что земные станции службы космических исследований (дальний космос) могут принимать вредные помехи, создаваемые передающими станциями воздушной подвижной службы, передающими космическими станциями и действующими станциями с микроволновыми датчиками, когда указанные станции находятся в пределах прямой видимости;
- f) что земные станции службы космических исследований (дальний космос) могут принимать вредные помехи, создаваемые недостаточно разнесенными передающими подвижными станциями;
- g) что космические станции службы космических исследований (дальний космос) могут оказывать неблагоприятное воздействие на станции радиоастрономической службы,

*рекомендует,*

**1** чтобы при успешной оперативной координации служба космических исследований (дальний космос) имела возможность совместно использовать полосы частот в направлении Земля-космос со станциями служб, которым эти полосы уже распределены, за исключением следующих станций, для которых совместное использование частот практически неосуществимо:

- приемные станции воздушной подвижной службы, приемные космические станции и спутники с микроволновыми датчиками на борту, когда любые из этих станций или спутников могут попадать в зону прямой видимости;



- приемные подвижные станции, находящиеся в пределах территориального разнеса, необходимого для защиты от помех;
- передающие наземные станции со средней э.и.и.м., превышающей 82 дБВт, в полосах частот около 2 ГГц, 85 дБВт в полосах около 7 ГГц и 84 дБВт в полосах около 34 ГГц (см. Примечание 1);

**2** чтобы при успешной оперативной координации служба космических исследований (дальний космос) имела возможность совместно использовать полосы частот в направлении космос-Земля со станциями служб, которым эти полосы уже распределены, за исключением следующих станций, для которых совместное использование частот практически невозможно:

- передающие станции воздушной подвижной службы, передающие космические станции и действующие спутники с микроволновыми датчиками на борту, когда любые из этих станций или спутников могут попадать в зону прямой видимости;
- передающие подвижные станции, находящиеся в пределах территориального разнеса, необходимого для защиты от помех;
- радиоастрономическая служба;

**3** считать следующее Примечание частью настоящей Рекомендации.

**ПРИМЕЧАНИЕ 1.** – В Статье **21** Регламента радиосвязи МСЭ установлены гораздо более низкие предельно допустимые значения э.и.и.м. для передатчиков фиксированной и подвижной служб.

## Приложение 1

### Рассмотрение вопросов совместного использования частот со службой космических исследований (дальний космос)

#### **1 Рассмотрение вопросов совместного использования полос частот, распределенных службе космических исследований (дальний космос), в направлении Земля-космос**

В Регламенте радиосвязи (РР) МСЭ определены полосы частот 2110–2120 МГц, 7145–7190 МГц и 34,2–34,7 ГГц для использования службой космических исследований (дальний космос) в направлении Земля-космос. Кроме того, определена полоса частот 16,6–17,1 ГГц в качестве распределения на вторичной основе для использования службой космических исследований (дальний космос). В таблице 1 и следующих подразделах рассматривается возможность создания помех службе космических исследований (дальний космос) в этих полосах частот.

ТАБЛИЦА 1

#### Потенциальные помехи в полосах частот в направлении Земля-космос

Источник	Приемник
Земная станция дальнего космоса	Наземная или земная станция
Земная станция дальнего космоса	Спутник на околоземной орбите
Наземная или земная станция	Станция дальнего космоса
Околоземная станция	Станция дальнего космоса

#### **1.1 Потенциальные помехи наземным приемникам/приемникам воздушных судов или приемникам земных станций от передатчиков земных станций дальнего космоса**

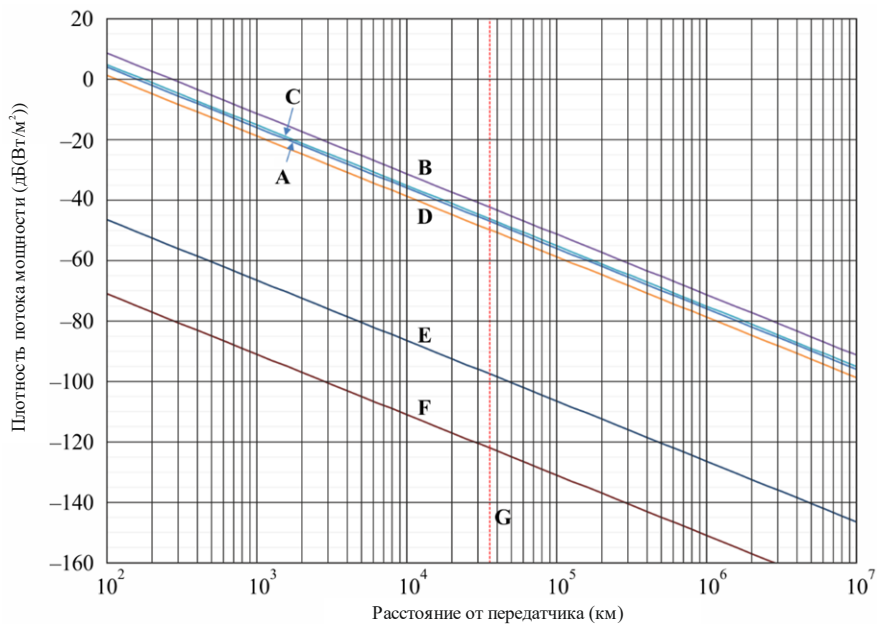
Обычная полная передаваемая мощность существующих земных станций дальнего космоса составляет 43 дБВт в диапазонах 2 ГГц и 7 ГГц и 30 дБВт в диапазоне 34 ГГц (см. Рекомендацию МСЭ-R

SA.1014). Для минимального угла места  $10^\circ$  э.и.и.м. по направлению к горизонту не превышает  $50 \text{ дБ(Вт/4 кГц)}$  в диапазонах  $2 \text{ ГГц}$  и  $7 \text{ ГГц}$  и  $37 \text{ дБ(Вт/4 кГц)}$  в диапазоне  $34 \text{ ГГц}$  в предположении, что используется эталонная диаграмма направленности антенны земной станции из Рекомендации МСЭ-R SA.509. Таким образом э.и.и.м. в направлении горизонта соответствует требованиям пунктов **21.10** и **21.11** РР. Для более высоких уровней передаваемой мощности земной станции СКИ необходимо соответственно увеличить углы места, так чтобы удовлетворялись указанные в Регламенте радиосвязи пределы э.и.и.м. в направлении горизонта.

На рисунке 1 показаны уровни общей плотности потока мощности земной станции дальнего космоса, которые могут воздействовать на станции воздушных судов, находящиеся в пределах прямой видимости. Для воздушного судна на высоте  $12 \text{ км}$  максимальное расстояние прямой видимости до земной станции составляет  $391 \text{ км}$ . В этом случае в предположении, что передаваемая мощность земной станции составляет  $100 \text{ кВт}$ , а усиление передающей антенны равно  $-10 \text{ дБи}$  (Рекомендация МСЭ-R SA.509), уровень общей плотности потока мощности (п.п.м.), воздействующий на самолет, не может быть ниже  $-83 \text{ дБ(Вт/м}^2\text{)}$ . При изменении расстояния разноса и направления антенны земной станции на станцию воздушного судна могут воздействовать гораздо более высокие уровни п.п.м. и уровни помех. Поэтому координация с бортовыми станциями, как правило, практически невозможна.

РИСУНОК 1

Плотность потока мощности в зависимости от расстояния до земной станции СКИ



SA.1016-01

Передатчик – земная станция дальнего космоса, антенна диаметром  $70 \text{ м}$

A – основной луч,  $34,5 \text{ ГГц}$ ,  $1 \text{ кВт}$

B – основной луч,  $17 \text{ ГГц}$ ,  $10 \text{ кВт}$

C – основной луч,  $7170 \text{ МГц}$ ,  $20 \text{ кВт}$

D – основной луч,  $2115 \text{ МГц}$ ,  $100 \text{ кВт}$

E –  $5^\circ$  от оси (усиление  $14,5 \text{ дБи}$ , Рек. МСЭ-R SA.509),  $2115 \text{ МГц}$ ,  $100 \text{ кВт}$

F –  $> 48^\circ$  от оси (усиление  $-10 \text{ дБи}$ , Рек. МСЭ-R SA.509),  $2115 \text{ МГц}$ ,  $100 \text{ кВт}$

G – высота геостационарной орбиты  $35\,800 \text{ км}$

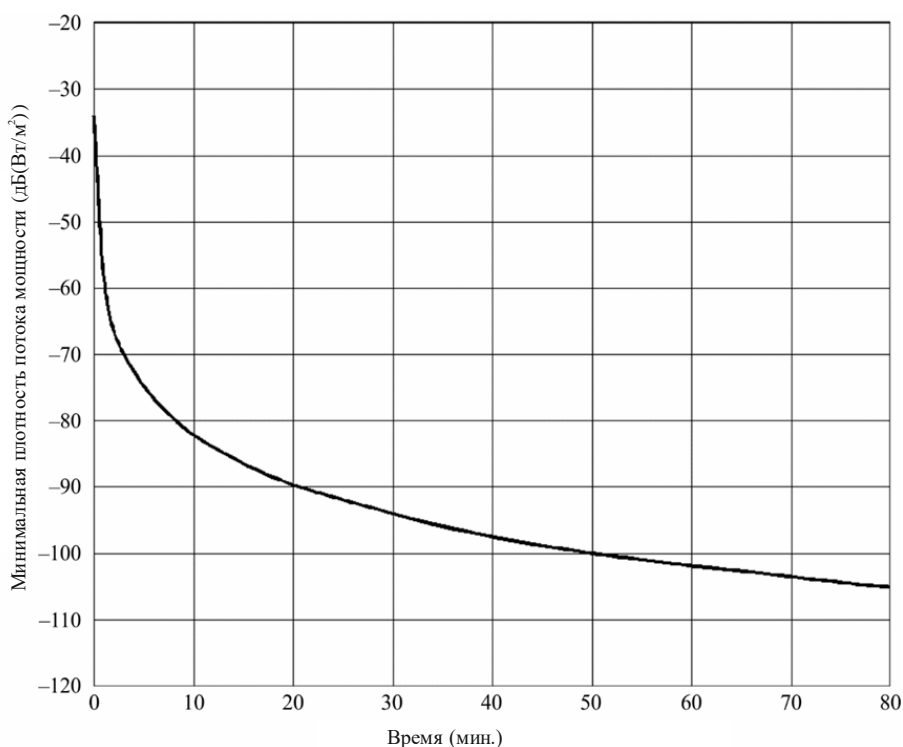
Кроме того, в силу механизмов распространения, таких как сверхрефракция, волноводное распространение и рассеяние в осадках, излучения от передатчиков земных станций дальнего космоса могут попадать в наземные приемники и приемники других земных станций. Однако координация для этих случаев, за исключением бортовых наземных приемников, как правило, практически осуществима. См. в пункте 2.3 рассмотрение вопросов помех, создаваемых бортовыми передатчиками, и в пункте 3 рассмотрение вопросов координации.

## 1.2 Потенциальные помехи спутниковым приемникам от передатчиков земных станций дальнего космоса

На спутники, попавшие в луч земной станции дальнего космоса, воздействует тот или иной уровень п.п.м., как показано на рисунке 1. Когда земная станция отслеживает космический аппарат, направление на который таково, что луч антенны проходит через геостационарную спутниковую орбиту (ГСО), п.п.м. в этой точке на орбите изменяется со временем, как показано на рисунке 2. Например, в течение 32 минут общая п.п.м. будет равна  $-95$  дБ(Вт/м<sup>2</sup>) или выше. На рисунке предполагается, что мощность передатчика земной станции составляет 50 дБВт и используется 70-метровая антенна с эталонной диаграммой направленности согласно Рекомендации МСЭ-R SA.509. Важное замечание: независимо от направления наведения антенны земной станции дальнего космоса минимальная п.п.м. на ГСО в пределах прямой видимости составляет по меньшей мере  $-122$  дБ(Вт/м<sup>2</sup>).

РИСУНОК 2

Время, в течение которого п.п.м. в точке на геостационарной спутниковой орбите может превышать минимальную п.п.м.



SA.1016-02

Передатчик – земная станция дальнего космоса, 100 кВт, антенна диаметром 70 м, 34,5 ГГц

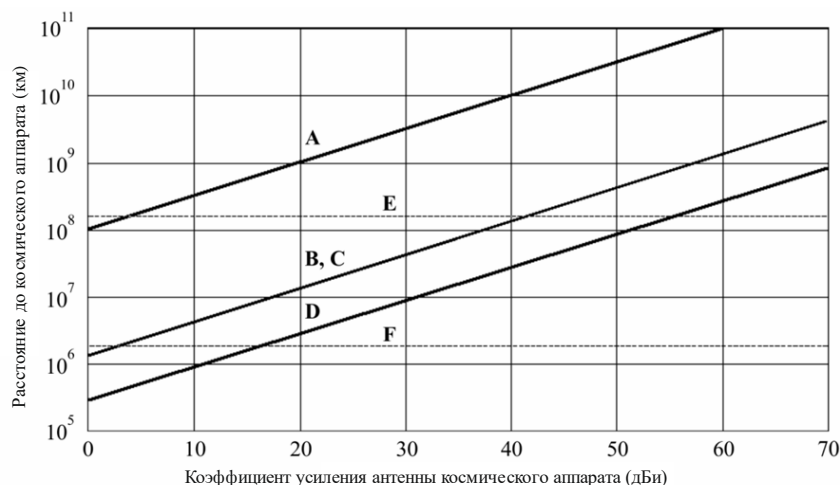
Кроме того, длительность и величина сигналов от передатчиков земных станций дальнего космоса, которые могут создавать помехи спутникам на негеостационарных орбитах, зависит от этих орбит и направления ориентации антенны земной станции.

## 1.3 Потенциальные помехи приемникам на станциях дальнего космоса от наземных передатчиков или передатчиков земных станций

Наземные передатчики или передатчики земных станций, находящиеся в пределах прямой видимости от станций дальнего космоса, являются потенциальными источниками помех. На рисунке 3 показано расстояние до космической станции, на котором плотность мощности помех от такого передатчика равна плотности мощности шума приемника.

РИСУНОК 3

Расстояние от космического аппарата до наземного передатчика, при котором мощность помех равна мощности шума приемника



SA.1016-03

- A – трансгоризонтный передатчик: э.и.и.м. на частоте 2115 МГц 93 дБ(Вт/10 кГц), мощность шума приемника –191 дБ(Вт/20 Гц)  
 B – радиолокационный передатчик: э.и.и.м. на частоте 34,5 ГГц 48,8 дБ(Вт/кГц), мощность шума приемника –182,6 дБ(Вт/20 Гц)  
 C – радиолокационный передатчик: э.и.и.м. на частоте 17 ГГц 40,9 дБ(Вт/Гц), мощность шума приемника –186 дБ(Вт/20 Гц)  
 D – радиорелейный передатчик: э.и.и.м. на частоте 7170 МГц 55 дБ(Вт/10 кГц), мощность шума приемника –189 дБ(Вт/20 кГц)  
 E – 1 AU =  $1,5 \times 10^8$  км  
 F – внутренняя граница дальнего космоса  $2 \times 10^6$  км

Например, трансгоризонтная станция с э.и.и.м. 93 дБ(Вт/10 кГц) в диапазоне 2,1 ГГц может создавать помехи приемнику космической станции на расстояниях до  $4,1 \times 10^9$  км (шумовая температура 600 К, антенна космического аппарата диаметром 3,7 м). Возможность создания помех на таком большом расстоянии представляет угрозу для космических полетов к таким далеким планетам, как Уран. Станции с более низкой э.и.и.м. или антеннами, направленными в сторону от плоскости эклиптики, являются потенциальным источником меньшего уровня помех.

#### 1.4 Потенциальные помехи приемникам на станциях дальнего космоса от передатчиков на спутниках околоземной орбиты

Антенны спутников на околоземной орбите обычно направлены на Землю или на другие спутники. Помехи приемникам на станциях дальнего космоса могут возникать в течение тех коротких периодов времени, когда спутниковая антенна направлена так, что допустима связь по основному лучу. Сигналы, принимаемые станциями дальнего космоса от спутников, почти всегда слабее, чем от земных станций.

## 2 Рассмотрение вопросов совместного использования частот: полосы частот в направлении космос-Земля

В Регламенте радиосвязи для службы космических исследований (дальний космос) в направлении космос-Земля определены полосы частот 2190–2300 МГц, 8400–8450 МГц и 31,8–32,3 ГГц. Кроме того, определена полоса частот 37–38 ГГц для использования службой космических исследований без ограничения ее дальним космосом или околоземным пространством и полоса 12,75–13,25 ГГц – в качестве распределения на вторичной основе для службы космических исследований (дальний космос). В таблице 2 и следующих подразделах рассматривается возможность создания помех службе космических исследований (дальний космос) в этих полосах частот.

ТАБЛИЦА 2

## Потенциальные помехи в полосах частот космос-Земля

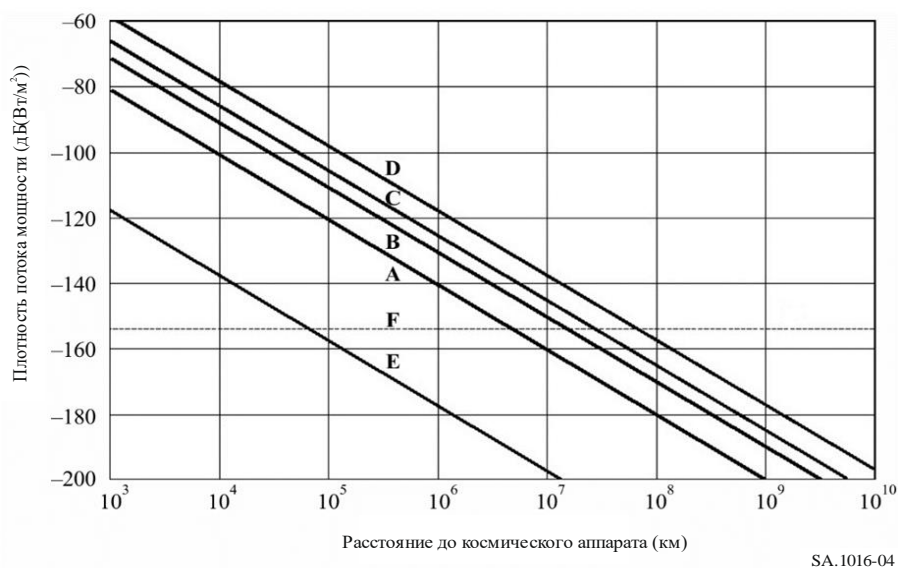
Источник	Приемник
Станция дальнего космоса	Наземная или земная станция
Станция дальнего космоса	Спутник на околоземной орбите
Наземная или земная станция	Земная станция дальнего космоса
Спутник на околоземной орбите	Земная станция дальнего космоса

### 2.1 Потенциальные помехи приемникам наземных или земных станций от передатчиков на станциях дальнего космоса

На рисунке 4 показан уровень п.п.м. на поверхности Земли, вызванный типовыми станциями дальнего космоса. Находясь вблизи Земли, эти станции часто используют антенны с широким лучом и низким усилением. Таким образом в течение шести часов после запуска они обычно удаляются на расстояние, достаточное для того, чтобы уровень п.п.м. на поверхности Земли был меньше максимально допустимого Регламентом радиосвязи уровня для защиты радиорелейных систем в пределах прямой видимости.

РИСУНОК 4

Плотность потока мощности на поверхности Земли в зависимости от расстояния до космического аппарата



SA.1016-04

- A – передатчик 13 дБВт, усиление антенны 37 дБи, 2295 МГц
- B – передатчик 13 дБВт, усиление антенны 48 дБи, 8425 МГц
- C – передатчик 13 дБВт, усиление антенны 52 дБи, 13 ГГц
- D – передатчик 13 дБВт, усиление антенны 60 дБи, 32 ГГц
- E – передатчик 13 дБВт, усиление антенны 0 дБи
- F – плотность потока мощности  $-154$  дБ(Вт/м<sup>2</sup>), диапазон 2 ГГц, пункт 21.16 РР (таблица 21-4)

ПРИМЕЧАНИЕ. – В соответствии с таблицей 21-4 РР предельные значения п.п.м. составляют  $-154$  дБ(Вт/м<sup>2</sup>) в полосе 2,2–2,3 ГГц,  $-150$  дБ(Вт/м<sup>2</sup>) в полосе 8,4–8,5 ГГц,  $-120$  дБ(Вт/м<sup>2</sup>) в полосе 31,8–32,5 ГГц и полосе 37–38 ГГц для спутников космических исследований НГСО и  $-125$  дБ(Вт/м<sup>2</sup>) в полосе 37–38 ГГц для спутников космических исследований ГСО.

Когда передающая космическая станция использует направленную антенну с более высоким усилением, существует вероятность помех для чувствительных наземных приемников, если их антенны направлены так, что допустима связь по основному лучу. Космическая станция, работающая на частоте 2,3 ГГц с э.и.и.м. 51 дБВт на расстоянии  $5 \times 10^8$  км, может создавать входную мощность  $-168$  дБВт на входе трансгоризонтного приемника (27-метровая антенна, основной луч). Из-за вращения Земли продолжительность таких помех будет составлять порядка нескольких минут один раз в сутки.



## 2.2 Потенциальные помехи приемникам на спутниках околоземной орбиты от передатчиков дальнего космоса

Рассмотрение этих помех аналогично рассмотрению случая помех от космической станции наземному приемнику в пункте 2.1, за исключением геометрии трассы. В зависимости от изменяющихся условий этой геометрии возможны случайные кратковременные помехи.

## 2.3 Потенциальные помехи приемникам земных станций дальнего космоса от наземных передатчиков или передатчиков земных станций

Помехи приемникам земных станций дальнего космоса могут создавать наземные или земные станции на трассах прямой видимости вследствие тропосферных явлений или рассеяния в дожде. Соображения по поводу координации см. в пункте 3.

Потенциальными источниками помех являются наземные службы, использующие мощные передатчики и антенны с высоким усилением. Передатчики земных станций являются менее вероятными источниками помех в зависимости от э.и.и.м. в направлении земной станции дальнего космоса. Координация должна обеспечивать адекватную защиту от радиорелейных станций.

Передатчики воздушных судов в пределах прямой видимости земной станции дальнего космоса могут причинять вредные помехи. Например, в таблице 3 показаны уровни, на которых принимаемые помехи превышают максимальные уровни спектральной плотности мощности (PSD), разрешенные для эталонной земной станции дальнего космоса. При расчетах для этой таблицы предполагается, что воздушное судно летит на высоте 12 км с максимальным расстоянием прямой видимости 391 км и излучает э.и.и.м.  $-26$  дБ(Вт/Гц), вычисленную с использованием э.и.и.м. передатчика  $10$  дБ(Вт/4 кГц) и усилением антенны  $0$  дБи. В этих расчетах предполагается, что усиление эталонной антенны земной станции составляет  $-10$  дБи и учитываются только потери в свободном пространстве.

ТАБЛИЦА 3

### Помехи от предполагаемого передатчика воздушного судна

Частота (ГГц)	Максимально допустимая PSD помех (дБ(Вт/Гц))	Принимаемая PSD помех от самолета (дБ(Вт/Гц))	Величина превышения максимально допустимого уровня PSD помех <sup>(1)</sup> (дБ)
2,3	-222	-187,5	334,5
8,4	-221	-198,8	222,2
13	-220	-202,6	117,4
32	-217	-210,4	66,6
37	-217	-211,7	5,3

<sup>(1)</sup> Уровень PSD помех от воздушного судна за вычетом предельного уровня PSD помех для земной станции дальнего космоса.

Конкретным примером потенциальных источников вредных помех для приемников земных станций дальнего космоса служат бортовые радионавигационные передатчики, способные работать в области спектра 32 ГГц. Передатчики этого класса характеризуются широким спектром характеристик, например выходная мощность, поддержка CW/импульсной/внутриимпульсной ЛЧМ-модуляции и фиксированные/сканирующие антенны с узкой или широкой формой луча. Вероятность и степень помех от отдельного передатчика определяется индивидуально. Однако в целом верно, что если бортовой радионавигационный передатчик находится в зоне прямой видимости приемника земной станции дальнего космоса, то максимально допустимый уровень помех может превышаться в течение времени, достаточного для ухудшения качества обслуживания или, что еще хуже, прерывания обслуживания.

Поэтому координация с бортовыми станциями, как правило, практически неосуществима.

#### 2.4 Потенциальные помехи приемникам земных станций дальнего космоса от передатчиков на спутниках околоземной орбиты

В Приложении 2 приведен анализ потенциальных помех в полосе частот 2290–2300 МГц от спутников на высокоэксцентрических орбитах. По итогам этого анализа сделан вывод, что совместное использование частот невозможно. Этот вывод также справедлив для спутников на круговых и умеренно эксцентрических орбитах.

#### 2.5 Потенциальные помехи приемникам земных станций дальнего космоса от спутников на околоземных орбитах, ведущих передачи на геостационарные спутники-ретрансляторы

В таблице 4 представлены параметры линии связи между космическим аппаратом пользователя и геостационарным спутником ретрансляции данных (DRS), который проходит вдоль поверхности Земли вблизи местоположения земной станции дальнего космоса. Предполагается, что основной луч диаграммы направленности антенны земной станции направлен под разными углами места и спутник пользователя пересекает основной луч.

ТАБЛИЦА 4

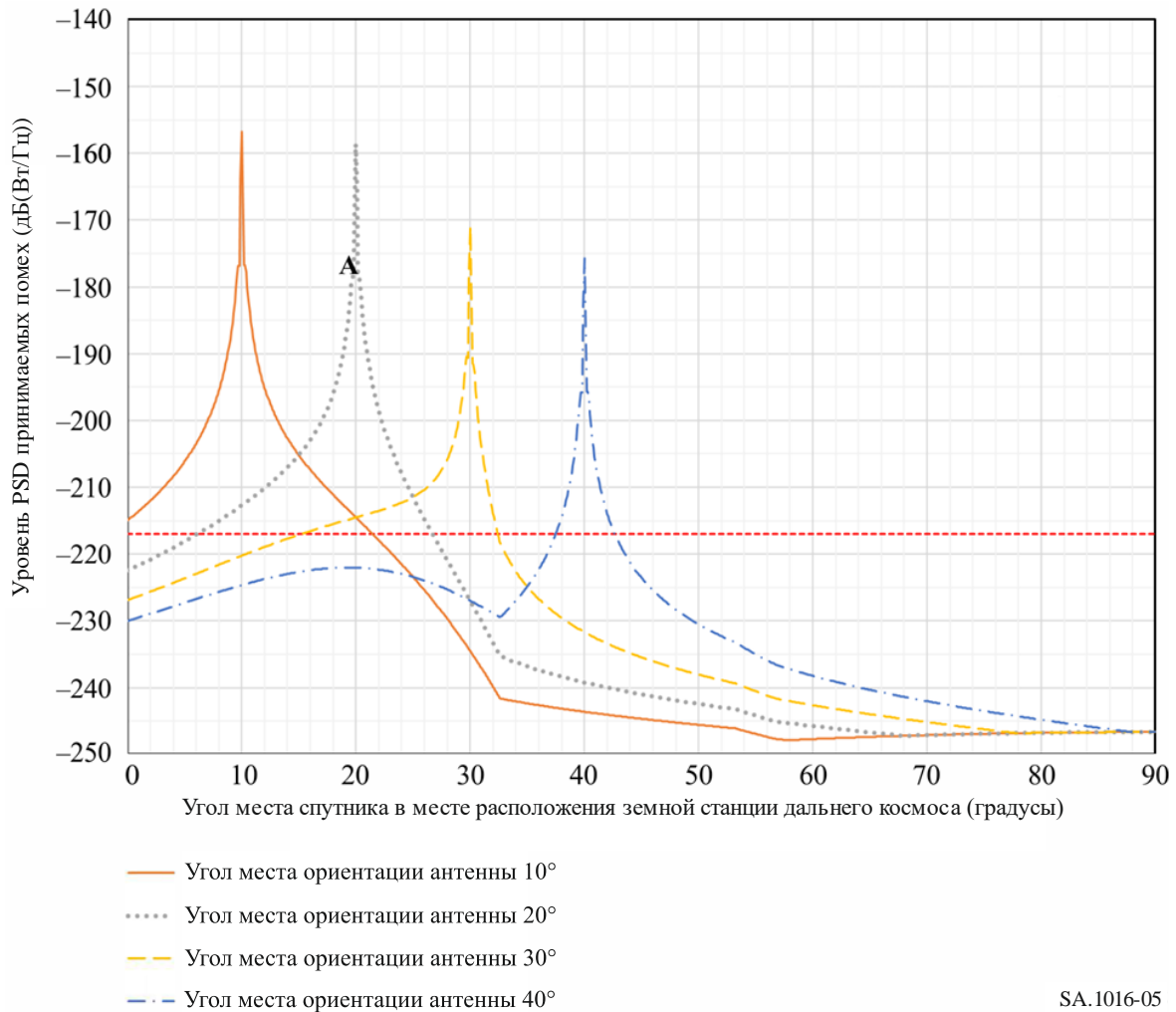
##### Параметры линии связи спутника-ретранслятора с земной станцией дальнего космоса (2290 МГц)

Высота спутника пользователя DRS (км)	1 000
Мощность передачи (дБВт)	1–7,0
Ширина полосы передатчика (МГц)	10
Диаметр антенны передатчика (м)	1
Усиление антенны передатчика	Рек. МСЭ-R S.672
Диаметр антенны земной станции (м)	70
Усиление антенны земной станции	Рек. МСЭ-R SA.509
Критерий вредных помех (дБ(Вт/Гц))	–217

На рисунке 5 показан уровень PSD принимаемых помех для антенны земной станции дальнего космоса, направленной под разными углами места. На рисунке видно, что во всех случаях существуют диапазоны углов места спутника, когда принимаемые помехи превышают критерий защиты для приемника земной станции.

РИСУНОК 5

Уровень PSD помех, принимаемых антенной земной станции дальнего космоса, направленной под углами места  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$  и  $40^\circ$



Для того чтобы понизить уровень PSD помех ниже уровня защиты приемника земной станции дальнего космоса, пользовательский спутник DRS должен оставаться на позиции не менее чем в  $2,6^\circ$  от оси основного луча антенны земной станции с учетом того, что фактический требуемый угол разнеса зависит от угла места ориентации антенны земной станции дальнего космоса. Например, если земная станция дальнего космоса отслеживает космический аппарат на Марсе, то пользовательский спутник DRS с параметрами, указанными в таблице 4, будет проходить через луч менее чем в  $2,6^\circ$  от оси луча с частотой от двух раз в сутки до одного раза за трое суток. В этом случае орбитальный период спутника составляет 105 минут, и такой спутник может создавать помехи, превышающие уровень защиты земной станции, в течение периода времени от 0,6 до 4,6 минуты. Частота и длительность помех зависят от параметров орбиты спутника.

Притом что для некоторых радиослужб помехи длительностью менее 1 минуты относительно не опасны, в случае службы космических исследований они могут привести к невозможной потере научных данных в течение нескольких минут (см. пункт 1.1).

В представленном выше анализе рассматривается только один пользовательский спутник и одна земная станция дальнего космоса. При большем количестве спутников вероятность помех возрастает. Вывод заключается в том, что совместное использование полос частот службой космических исследований (дальний космос) и линиями связи между пользовательским космическим аппаратом и геостационарными спутниками ретрансляции не представляется возможным.

### 3 Обсуждение

#### 3.1 Пересечение спутниковых орбит и антенных лучей от земных станций службы исследования дальнего космоса

Вероятность того, что спутник будет находиться в главном луче антенны земной станции дальнего космоса, существенно влияет на возможность совместного использования полос частот рассматриваемыми линиями связи.

Были проанализированы статистические данные об ориентации антенн для широкого набора программ исследования дальнего космоса. Оказалось, что усиление антенны земной станции в направлении геостационарной спутниковой орбиты составляет 10 дБи и более в течение 20% времени.

Негеостационарные спутники могут проходить через один или несколько лучей слежения за дальним космосом каждые сутки. Подробная информация по статистике видимости и времени пребывания в лучах для низкоорбитальных спутников содержится в Отчете МСЭ-R SA.2066.

#### 3.2 Координация и совместное использование частот

Очень высокий уровень э.и.и.м. и чрезвычайная чувствительность земных станций дальнего космоса обычно приводят к исключительно большим зонам координации.

Совместное использование частот со станциями, находящимися в пределах прямой видимости (LoS) земных станций дальнего космоса, не представляется возможным. Станции, расположенные в пределах LoS, будут создавать вредные помехи приемникам земных станций дальнего космоса или будут подвергаться вредным помехам от передатчиков этих станций. Отметим, что станции воздушной подвижной службы и спутники на околоземной орбите часто попадают в зону LoS земных станций дальнего космоса.

Совместное использование полос частот в направлении Земля-космос службы исследования дальнего космоса со станциями, использующими высокий средний уровень э.и.и.м., невозможно ввиду потенциальных помех для станций дальнего космоса. В настоящее время считается, что станции с уровнем э.и.и.м. более чем на 30 дБ ниже реализованного или запланированного уровня э.и.и.м. для земных станций службы космических исследований не составляют существенной проблемы. Как правило, это означает, что средняя э.и.и.м. не превышает 82 дБВт в диапазоне 2 ГГц, 85 дБВт в диапазоне 7 ГГц и 84 дБВт в диапазоне 34 ГГц, поскольку э.и.и.м. передачи земной станции СКИ составляет 112 дБВт в диапазоне 2 ГГц, 115 дБВт в диапазоне 7 ГГц и 114 дБВт в диапазоне 34 ГГц (см. Рекомендацию МСЭ-R SA.1014).

### 4 Заключение

Критерии и соображения, представленные в настоящем Приложении, позволяют сделать следующие выводы.

#### 4.1 Совместное использование полос частот в направлении Земля-космос

При успешной координации служба космических исследований (дальний космос) должна иметь возможность совместно использовать полосы частот в направлении Земля-космос со станциями служб, которым эти полосы уже распределены, за исключением следующих станций, для которых совместное использование практически невозможно:

- приемные станции воздушной подвижной службы, приемные космические станции и спутники с микроволновыми датчиками, когда эти станции или спутники могут попадать в зону прямой видимости;
- приемные подвижные станции, которые могут оказаться в пределах территориального разнеса, необходимого для защиты от помех;
- передающие наземные станции со средним уровнем э.и.и.м., превышающим 82 дБВт в полосах частот около 2 ГГц, 85 дБВт в полосах около 7 ГГц и 84 дБВт в полосах около 34 ГГц.

Следует отметить, что в Статье 21 Регламента радиосвязи МСЭ определяются гораздо более низкие предельные уровни э.и.и.м. для передатчиков фиксированной и подвижной служб.

#### 4.2 Совместное использование полос частот в направлении космос-Земля

При успешной координации служба космических исследований (дальний космос) должна иметь возможность совместно использовать полосы частот в направлении космос-Земля со станциями служб, которым эти полосы уже распределены, за исключением следующих станций, для которых совместное использование практически невозможно:

- передающие станции воздушной подвижной службы, передающие космические станции и действующие спутники с микроволновыми датчиками, когда эти станции или спутники могут попадать в зону прямой видимости;
- передающие подвижные станции, которые могут оказаться в пределах территориального разноса, необходимого для защиты от помех;
- радиоастрономическая служба.

## Приложение 2

### **Возможность совместного использования частот спутниками космических исследований на эксцентрических орбитах и земными станциями службы космических исследований (дальний космос)**

#### 1 Введение

Цель настоящего Приложения состоит в описании возможных ситуаций помех между космическими аппаратами, работающими на высокоэллиптических орбитах, и земными станциями СКИ при совместном использовании полосы 2290–2300 МГц.

Полный список мест размещения земных станций СКИ и соответствующие характеристики систем для этих станций приведены в Рекомендации МСЭ-R SA.1014. Эти земные станции СКИ обеспечивают двустороннюю связь между Землей и космическими аппаратами, находящимися на лунных или планетарных расстояниях. Это требование связи включает отслеживание, телеметрию, передачу команд, контроль и управление операциями.

В таблице 5 указаны места размещения трех основных земных станций сети исследования дальнего космоса (DSN), которые используются в качестве примеров в данном исследовании. Для обеспечения непрерывной радиосвязи с конкретным космическим аппаратом эти три земные станции службы исследования дальнего космоса разнесены друг от друга на расстояние приблизительно  $120^\circ$  по долготе, обеспечивая таким образом постоянное нахождение космического аппарата в поле зрения по крайней мере одной станции. Кроме того, поскольку большинство космических аппаратов в программах исследования дальнего космоса следуют по орбитам в пределах  $30^\circ$  от плоскости экватора, эти три основные станции DSN располагаются в пределах  $45^\circ$  к северу или к югу от экватора.



ТАБЛИЦА 5

**Места размещения основных станций сети исследования дальнего космоса (DSN)**

Местонахождение	Диаметр антенного отражателя (м)	Геоцентрический радиус (км)	Геоцентрическая широта (градусы)	Геоцентрическая долгота (градусы)
США (Голдстоун)	70	6 371,993	35,24435	243,11408
Австралия (Канберра)	70	6 371,709	-35,22123	148,98128
Испания (Мадрид)	70	6 370,019	40,24099	355,15119

Вследствие того, что большие расстояния в условиях связи с дальним космосом приводят к ослаблению сигнала на 200–300 дБ, для успешной работы DSN необходима способность принимать и усиливать сигналы с очень низкой напряженностью поля. Это достигается путем использования высокочувствительных приемников, характеризующихся низкими шумовыми температурами, высокой стабильностью, а также возможностью как узко-, так и широкополосного приема.

Эксплуатационные требования сети DSN делают ее более восприимчивой к помехам по сравнению с большинством других систем связи. Возможные помехи, причиняемые сети DSN, которые обсуждаются в этом Приложении, ограничиваются ситуацией совместного использования полосы частот между DSN и космическими аппаратами на высокоэллиптических орбитах в полосе частот космических исследований 2290–2300 МГц.

## 2 Критерий помех

Станции DSN, используемые для исследования помех, – это три 70-метровые антенны, расположенные в Голдстоуне, Мадриде и Канберре. Что касается помех для этих станций, то любой широкополосный спектр сигнала или шума может ухудшить отношение сигнал/шум приемника и повлиять как на контур фазовой автоподстройки частоты несущей, так и на каналы передачи данных. В этом случае спектральная плотность мешающего сигнала должна быть как минимум на 6 дБ ниже спектральной плотности шума системы приемника, чтобы не ухудшить характеристику приемника более чем на 1 дБ (см. Рекомендацию МСЭ-R SA.1157). При шумовой температуре системы на частоте 2 ГГц, равной 16 К, соответствующая спектральная плотность шума приемника определяется величиной  $kT$ :

$$10 \log k + 10 \log T = -216,6 \text{ дБ(Вт/Гц)} \quad \text{на частоте 2 ГГц.}$$

Используя критерий мешающего сигнала в 6 дБ, получим максимально допустимую спектральную плотность помех на входе приемника не более -222,6 дБ(Вт/Гц) при частоте 2 ГГц.

В связи с характером работы антенн DSN (обычно это отслеживание в плоскости эклиптики от горизонта до горизонта) и нелинейной функцией относительной скорости космического аппарата во времени любая статистическая модель, направленная на описание внеосевой связи между антеннами космического аппарата и DSN, будет перегружена количеством вариаций параметров. По этой причине в настоящем анализе предполагается, что усиление антенны DSN представлено изотропной характеристикой 0 дБ. Это предположение представляет собой компромисс между усилением, превышающим 0 дБ для внеосевых углов от 0° до 19°, и усилением менее 0 дБ для внеосевых углов, превышающих 19° (см. Рекомендацию МСЭ-R SA.509).

Используя это предположение, можно определить эффективную площадь изотропной антенны DSN с усилением 0 дБ:

$$A_r = \lambda^2/4\pi \quad \text{или} \quad A_r = 0,08 \lambda^2, \quad (1)$$

где  $\lambda$  – это рассматриваемая длина волны.

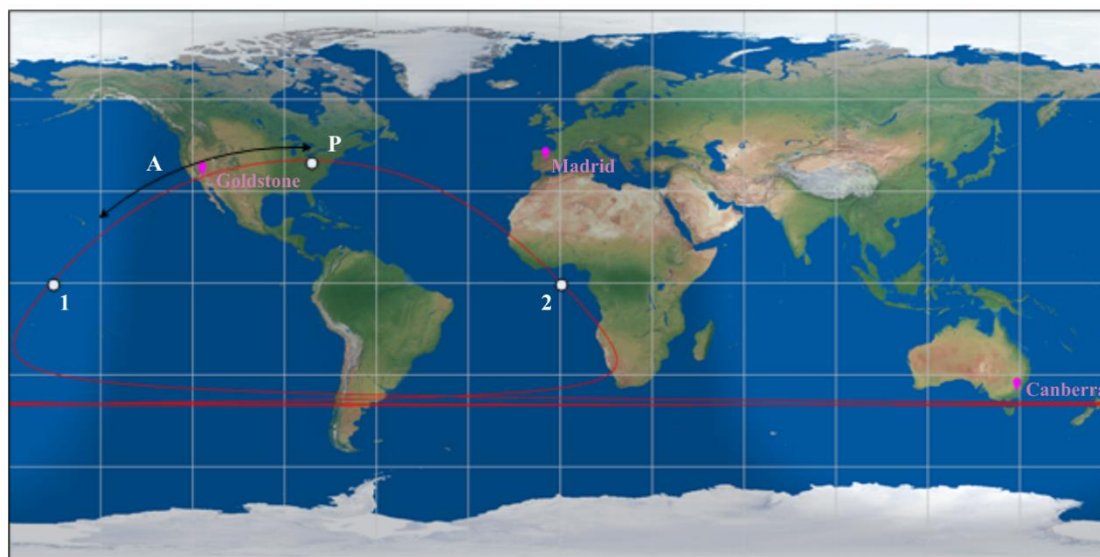
Для частоты 2,3 ГГц (длина волны, равная 13 см) это соответствует эффективной площади антенны  $-28,6 \text{ дБ(м}^2\text{)}$  или, при использовании вместе с критерием спектральной плотности помех на входе приемника, равной  $-222,6 \text{ дБ(Вт/Гц)}$ , дает максимальную п.п.м. около  $-194 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot \text{Гц))}$ .

### 3 Характеристики орбиты и передатчика космического аппарата

Для целей настоящего исследования предполагалось, что высокоэллиптическая орбита космического аппарата синхронна четырем суточным циклам Земли; то есть каждые четверо звездных суток космический аппарат проходит через одну и ту же точку. Для этого предполагается, что орбита космического аппарата будет иметь апогей 199 445 км и перигей 300 км. Кроме того, использовалось наклонение орбиты  $40^\circ$ . Чтобы наглядно представить орбиту относительно Земли, на рисунке 6 показано положение космического аппарата, спроецированное на Землю, для одного конкретного восходящего узла  $65^\circ$  и аргумента перигея  $90^\circ$ . В качестве примера рассматриваемой наземной станции был выбран Голдстоун (помечен знаком \*). На рисунке 6 показаны положения космического аппарата, в которых имеет место прямая видимость между космическим аппаратом и станцией. Для демонстрации относительных скоростей на этой высокоэллиптической орбите на рисунке 6 показаны две точки по обе стороны от перигея P. Время, необходимое для прохождения от точки 1 до точки 2, составляет приблизительно 54 минуты. Время, необходимое для прохождения остальной части орбиты, составляет около 5690 минут, так что доля времени, проведенного выше экватора, составит менее 1%.

РИСУНОК 6

Наземная траектория орбиты и видимость станции в Голдстоуне  
(аргумент перигея  $90^\circ$ , восходящий узел  $65^\circ$ )



SA.1016-06

P – перигей, A – видимость.

Предполагались следующие характеристики излучения космического аппарата: мощность передатчика 6 Вт, усиление антенны  $-2 \text{ дБ}$ , спектр излучения 100 кГц и фактор неравномерности спектра 10 дБ. Кроме того, предполагалось, что космический аппарат ведет непрерывную передачу (то есть программа рассчитывает только те моменты времени, в которые если бы космический аппарат вел передачи с усилением  $-2 \text{ дБ}$  во всех направлениях, то п.п.м. на поверхности Земли превышала бы пороговые уровни помех DSN).

Характеристики орбиты и передатчика космического аппарата, которые использовались в вышеупомянутом исследовании, приведены в таблице 7.

ТАБЛИЦА 7

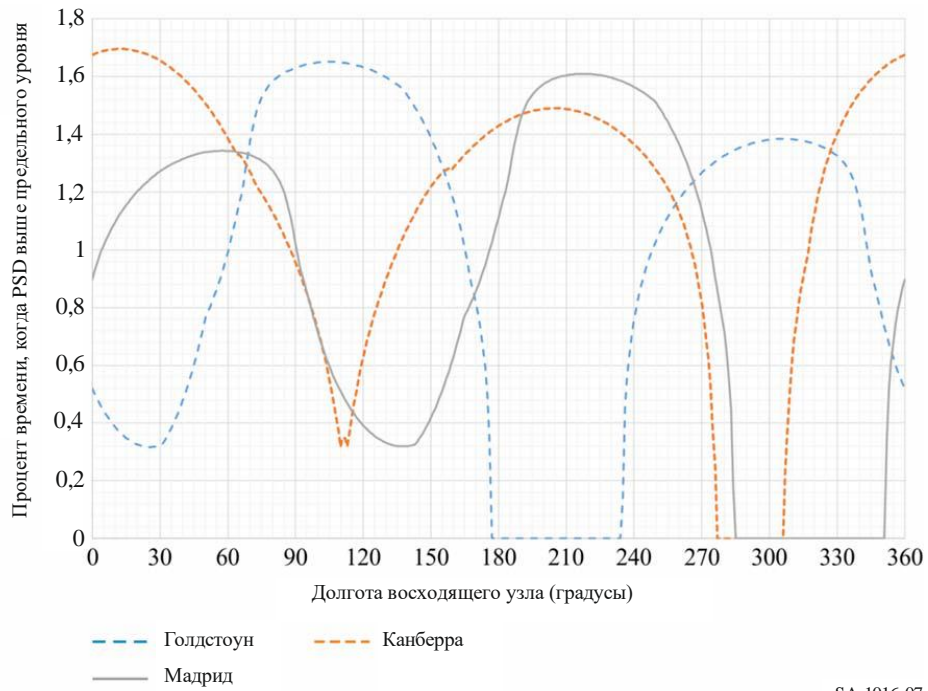
**Параметры орбиты и передатчика космического аппарата**

Апогей	199 455 км
Перигей	300 км
Наклонение	40°
Аргумент перигея	90° и 270° (северный и южный перигей)
Долгота восходящего узла	От -180° до 180°
<b>Космический аппарат</b>	
Мощность	6 Вт
Усиление	-2 дБ (всенаправленная)
Ширина полосы	100 кГц
Фактор неравномерности спектра	10 дБ

**4 Результаты и выводы**

На рисунке 7 представлены результаты для орбиты космического аппарата с аргументом перигея 90° (северный перигей); а на рисунке 8 – результаты для аргумента перигея 270° (южный перигей). На обоих рисунках показан процент времени, в течение которого критерий PSD помех -222,6 дБ(Вт/Гц) на входе приемника DSN превышаетя в зависимости от долготы орбиты восходящего узла. Эти значения варьируются от отсутствия помех для некоторых станций в конкретных восходящих узлах до орбитальных значений около 1,6%.

Конкретный вывод, который следует сделать из этих данных, заключается в том, что для угла наклона 40° не существует восходящих узлов, в которых космический аппарат может быть выведен на орбиту и которые не будут создавать помех по крайней мере для одной из станций DSN. На самом деле большинство восходящих узлов будут причинять избыточные уровни помех для всех трех наземных станций DSN. Основываясь на этом наблюдении, с учетом параметров орбиты и космического аппарата, предполагаемых в этом анализе, совместное использование частот DSN и космическим аппаратом, работающим в полосе космических исследований 2290–2300 МГц на высокоэллиптических орбитах, не представляется возможным.

РИСУНОК 7  
Уровни помех для аргумента перигея 90°РИСУНОК 8  
Уровни помех для аргумента перигея 270°