

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R F.1509-3
(09/2015)

**Технические и эксплуатационные
требования, способствующие совместному
использованию частот системами связи
пункта со многими пунктами
в фиксированной службе и
межспутниковой службе
в полосе 25,25–27,5 ГГц**

Серия F
Фиксированная служба



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, 2016 г.

© ITU 2016

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 F.1509-3*

Технические и эксплуатационные требования, способствующие совместному использованию частот системами связи пункта со многими пунктами в фиксированной службе и межспутниковой службе в полосе 25,25–27,5 ГГц

(Вопрос МСЭ-R 118/7)

(2001-2009-2013-2015)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации описывается максимальная плотность э.и.и.м. передающей станции-концентратора и абонентской станции системы связи пункта со многими пунктами в фиксированной службе в направлении орбиты геостационарных спутников для обеспечения совместного использования частот в полосе 25,25–27,5 ГГц с межспутниковой службой. Эталонная плотность э.и.и.м. в настоящей Рекомендации учитывает необходимость вести передачу на минимальном необходимом уровне, а также учитывает использование автоматической регулировки мощности передатчика (АРМП) на станциях фиксированной службы (ФС) в условиях осадков.

Ключевые слова

Спутники ретрансляции данных, местоположения на орбите, э.и.и.м, спектральная плотность

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что полоса 25,25–27,5 ГГц распределена фиксированной, подвижной и межспутниковой службам на первичной основе;
- b) что в дополнение к системам связи пункта с пунктом фиксированной службы (ФС), планируется, что в полосе 25,25–27,5 ГГц будут работать системы связи пункта со многими пунктами ФС (П-МП);
- c) что в полосе 25,25–27,5 ГГц работают линии радиосвязи космос-космос в межспутниковой службе;
- d) что линии космос-космос создаются между низкоорбитальными спутниками пользователя и геостационарными спутниками ретрансляции данных (СРД), а также системами связи операций сближения (POCS) между пользователями вблизи низкоорбитальных космических станций;
- e) что данные линии, в частности линии космос-космос сети СРД, предназначены для работы с запасом порядка от 2 дБ до 4 дБ;
- f) что спутниковые линии подвержены воздействию помех от излучений систем фиксированной службы в пределах зоны видимости, которая имеет большую географическую протяженность;
- g) что определение конкретных орбитальных позиций, которые следует защищать, а не орбитальной дуги, будет накладывать меньше ограничений на фиксированную службу при совместном использовании полосы частот, в частности для тех станций, которые расположены на высоких широтах,

* Настоящая Рекомендация была разработана совместно 7-й Исследовательской комиссией и 5-й Исследовательской комиссией, и будущие пересмотры должны осуществляться совместно.

признавая,

- a) что защитный критерий для линий POCS содержится в Рекомендации МСЭ-R SA.609, и защитный критерий для линий СРД содержится в Рекомендации МСЭ-R SA.1155;
- b) что число сетей СРД, развернутых или находящихся на этапе реализации на геостационарной орбите ограничено, как описано в Рекомендации МСЭ-R SA.1018, а орбитальные позиции приведены в Рекомендации МСЭ-R SA.1276-4 (см. Примечание 1);
- c) что в Рекомендации МСЭ-R F.758 представлено множество различных параметров фиксированных беспроводных систем, обобщенных на основе репрезентативных систем для конкретных диапазонов частот,

рекомендует,

1 чтобы для каждого передатчика станции-концентратора сети П-МП ФС, работающего в полосе 25,25–27,5 ГГц (сведения о пределах э.и.и.м – см. Приложение 1):

1.1 спектральная плотность э.и.и.м. излучения в направлении любой позиции орбиты геостационарного спутника (ГСО), указанная в Рекомендации МСЭ-R SA.1276, не превышала следующих значений в любой полосе шириной 1 МГц для угла места θ выше локальной горизонтальной плоскости (см. Примечания 1, 2 и 3):

+8	дБВт	для $0^\circ \leq \theta \leq 20^\circ$
+14 – 10 log($\theta/5$)	дБВт	для $20^\circ < \theta \leq 90^\circ$

1.2 спектральная плотность э.и.и.м. излучения не превышала следующих значений в любой полосе шириной 1 МГц для угла места θ выше локальной горизонтальной плоскости:

+14	дБВт	для $0^\circ \leq \theta \leq 5^\circ$
+14 – 10 log($\theta/5$)	дБВт	для $5^\circ < \theta \leq 90^\circ$

1.3 в условиях, когда между передающей станцией-концентратором ФС и приемной станцией наблюдается ослабление в осадках, на передающей станции-концентраторе может использоваться автоматическое регулирование мощности передатчика (АРМП), для увеличения ее передаваемой мощности на величину, не превышающую ослабление в осадках, так чтобы ее спектральная плотность э.и.и.м. в направлении любой позиции ГСО, указанной в Рекомендации МСЭ-R SA.1276, не превышала +17 дБВт в любой полосе шириной 1 МГц;

2 чтобы спектральная плотность э.и.и.м. излучения каждой абонентской станции сети П-МП ФС, работающей в полосе 25,25–27,5 ГГц, соответствовала пп. 2 и 3 раздела *рекомендует* Рекомендации МСЭ-R F.1249;

3 считать нижеследующие Примечания 1, 2, 3 частью настоящей Рекомендации:

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – В Рекомендации МСЭ-R SA.1276-4 определены следующие положения СРД на геостационарной орбите: 10,6° в. д., 16,4° в. д., 16,8° в. д., 21,5° в. д., 47° в. д., 59° в. д., 77° в. д., 80° в. д., 85° в. д., 89° в. д., 90,75° в. д., 95° в. д., 113° в. д., 121° в. д., 133° в. д., 160° в. д., 167° в. д., 171° в. д., 176,8° в. д., 177,5° в. д., 12° з. д., 16° з. д., 32° з. д., 41° з. д., 44° з. д., 46° з. д., 49° з. д., 62° з. д., 139° з. д., 160° з. д., 164,2° з. д., 167,5° з. д., 170° з. д., 171° з. д. и 174° з. д.

При пересмотре Рекомендации МСЭ-R SA.1276 в целях добавления новых местоположений СРД на орбите, защита космических станций в этих новых орбитальных слотах в пересмотре данной Рекомендации применяется только к станциям ФС, установленным после даты вступления в силу пересмотренной Рекомендации МСЭ-R SA.1276.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Спектральная плотность э.и.и.м., излучаемая в направлении положения СРД на геостационарной орбите должна рассчитываться как произведение передаваемой спектральной плотности мощности и коэффициента усиления всенаправленной или секторной антенны в направлении на СРД. При отсутствии диаграммы направленности антенны станции-концентратора должна применяться эталонная диаграмма направленности из Рекомендации МСЭ-R F.1336. Расчет должен учитывать воздействие атмосферной рефракции и местного горизонта. Метод для расчета углов разноса приведен в Приложении 2.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – В том случае, когда станция-концентратор работает на основе временного разделения и использует для работы одну частоту, где одна и та же частота используется и для передачи, и для приема, предел спектральной плотности э.и.и.м. в п. 1.1 раздела *рекомендует* может быть уменьшен на $7 \log(1/\delta)$ дБ, где δ ($0 < \delta < 1$) – доля времени, в течение которого станция-концентратор передает сигналы. Однако данное уменьшение не должно превышать 3 дБ даже для малых δ .

Приложение 1

Оценка пространственного и временного распределения помех системам СРД и РОСС от излучения станций-концентраторов П-МП в ФС в полосе 25,25–27,5 ГГц

1 Введение

В данном Приложении приводится оценка, полученная при помощи компьютерного моделирования, пространственного и временного распределения помех системам СРД на определенных орбитальных позициях и системам РОСС от излучений глобально развертываемых станций-концентраторов систем П-МП ФС в полосе 25,25-27,5 ГГц. Данные системы П-МП ФС зачастую рассматриваются как местные системы распределения со многими пунктами (LMDS). Для данного анализа считается, что спектральная плотность э.и.и.м. в пике луча на каждой станции-концентраторе равна +8 дБ(Вт/МГц), что указано в Отчете МСЭ-R F.2108 в качестве типового значения для станций-концентраторов в системах связи пункта со многими пунктами. Одна передающая станция LMDS, работающая со спектральной плотностью э.и.и.м., равной +8 дБ(Вт/МГц), не превышает защитный уровень, указанный в Рекомендации МСЭ-R SA.1155, вне зависимости от ее географического положения с учетом орбитальной позиции СРД. Защитный уровень, равный –148 дБ(Вт/МГц), не должен превышать в течение времени более 0,1% орбитального периода. Однако совокупное воздействие множества передающих станций LMDS, работающих в одном канале в городском центре, может, в некоторых геометрических условиях, создавать помехи, превышающие защитный уровень СРД.

В разделе 2 описывается использованный подход и предположения, сделанные для оценки пространственного и временного распределения помех системам СРД. В данном Приложении представлены два исследования, Исследование А и Исследование В, в п. 3 и п. 4 соответственно. В Исследовании А рассматривалась спектральная плотность э.и.и.м., равная +8 дБ(Вт/МГц), в то время, как в Исследовании В использовалась спектральная плотность э.и.и.м., равная +14 дБ(Вт/МГц). В разделе 3 представлено пространственное распределение помех системам СРД на определенных орбитальных позициях. Оно показывает, что когда спектральная плотность э.и.и.м. излучений в локальной горизонтальной плоскости из области обслуживания, состоящей из 29 станций-концентраторов, видна системе СРД и работает с +8 дБ(Вт/МГц), помехи работе СРД могут превышать рекомендованный уровень помех на величину до 9 дБ. Также в п. 3 приведены результаты динамического моделирования для определения временных характеристик помех работе СРД, который отслеживает низкоорбитальный спутник пользователя с орбитальными характеристиками международной космической станции. Показано, что для небольшого количества орбит с восходящими узлами, которые приводят к тому, что спутники пользователя ориентированы на центры с городским населением, которые находятся на или около края Земного диска, длительность помех может превышать период времени, который больше 0,1% орбитального периода спутника пользователя. В разделе 4 представлены результаты Исследования В. В разделе 5 описываются простые способы расширения результатов до станций LMDS, которые используют более мелкие соты. В разделе 6 обсуждаются помехи системам РОСС. Результат показывает, что при спектральной плотности э.и.и.м., равной +14 дБ(Вт/МГц), совокупные помехи от станций-концентраторов LMDS антеннам приемников РОСС всегда намного ниже критерия защиты, равного –147 дБ(Вт/МГц). В разделе 7 приведены выводы из данного исследования и предложены характеристики для обеспечения возможности совместного использования частот службами космических исследований, системами межспутниковой службы и системами П-МП ФС.

2 Метод

Для расчета пространственного и временного распределения помех системам СРД от излучений потенциально большого количества систем П-МП ФС высокой плотности, которые, как предполагается, работают в полосе 25,25–27,5 ГГц, использовалось компьютерное моделирование. Основным методом, реализованным в моделировании, является развертывание нескольких станций-концентраторов LMDS в городских центрах, а затем – определение пространственных и временных помех, возникающих в результате такого развертывания. Для определения пространственного распределения, совокупные помехи СРД в определенной орбитальной позиции рассчитываются таким образом, как если бы приемная антенна СРД с большим усилением вела сканирование по оси y и по оси z . Данный метод описан в п. 2.1. Метод, используемый для определения временных характеристик помех, описан в п. 2.2. В обоих случаях модель учитывает: спектральную плотность э.и.и.м. и усиление передающей станции LMDS в направлении на СРД; поглощение в атмосфере; затухание на трассе передачи; усиление приемной антенны СРД в направлении станции LMDS, создающей помехи.

2.1 Пространственное распределение

Ожидается, что станции LMDS будут развертываться по сотовой конфигурации в городских центрах для обслуживания коммерческих предприятий, правительства и домохозяйств, использующих интерактивные или радиовещательные услуги цифровой связи с пропускной способностью от умеренной до высокой. Эти услуги могут включать в себя доступ в интернет, услуги передачи голоса, передачи данных и видео. Для целей данного анализа предполагается, что совокупные излучения в одном канале от области обслуживания LMDS можно моделировать в виде отдельной станции, которая использует передатчик со спектральной плотностью мощности, равной сумме спектральных плотностей мощности на входе каждой станции-концентратора LMDS в области обслуживания, и что одна передающая антенна обеспечивает приемлемое представление о распределении спектральной плотности э.и.и.м. выше локальной горизонтальной плоскости.

Для данного моделирования предполагалось, что спектральная плотность э.и.и.м. излучений каждой станции-концентратора равна +8 дБ(Вт/МГц)¹, и что совокупное излучение LMDS из одной области обслуживания пропорционально количеству станций-концентраторов в городском центре.

Для моделирования используется следующая определенная модель. Мощность, принимаемая от удаленной передающей станции, может быть выражена как:

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r}{l_1 l_2 l_3}, \quad (1)$$

где:

- P_r : принимаемая спектральная плотность мощности на выходе антенны в определенной полосе частот (определенная, как спектральная плотность мощности для целей данного анализа (Вт/МГц));
- P_t : передаваемая мощность на входе антенны в той же полосе частот, определенной для принимаемой мощности (определенная, как спектральная плотность для целей данного анализа (Вт/МГц));

¹ Для данного анализа считается, что пик луча излучения концентратора, равный +8 дБ(Вт/МГц) достигается при угле места 0° при всех углах азимута от концентратора. Также считается, что соседние секторы антенны работают на одной и той же частоте, используя ортогональную линейную поляризацию.

- G_t : усиление передающей антенны в направлении приемной станции, относительно изотропного излучателя (число);
- G_r : усиление приемной антенны в направлении передающей станции, относительно изотропного излучателя (число);
- l_1 : потери при распространении в свободном пространстве (число);
- l_2 : дополнительные потери в свободном пространстве из-за нескольких стационарных и зависящих от времени атмосферных явлений (число);
- l_3 : переходное затухание из-за поляризации (число), равно единице, если передающая и приемная антенны имеют одинаковую поляризацию².

Потери при распространении в свободном пространстве равны:

$$l_1 = \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2, \quad (2)$$

где:

- d : расстояние между передающей и приемной станциями (м);
- λ : длина волны (м).

Каждая станция, передающая на одной частоте, создает линию радиосвязи с приемником. Принимаемая мощность от каждой из n линий, в которых, как считается, передаются некоррелированные сигналы, добавляется, формируя совокупную принимаемую мощность, рассчитанную по формуле:

$$P_r = \sum_{i=1}^n \frac{P_{ti} G_{ti} G_{ri}}{l_{1i} l_{2i} l_{3i}}, \quad (3)$$

где множители определены выше, а добавленный подиндекс i указывает каждую линию.

Совокупные помехи являются суммой помех от каждой передающей станции. Помехи от каждой станции определяются на основе усиления передающей и приемной антенн, принимая во внимание внеосевой угол соответствующих антенн.

Для повышения скорости вычислений и учитывая, что некоторые множители практически неизменны в отдельной области развертывания, уравнение (3) уточняется и принимает вид:

$$P_r = \sum_{i=1}^m \frac{G_{ti} G_{ri} \sum_{j=1}^q P_{ij}}{l_{1i} l_{2i} l_{3i}}, \quad (4)$$

где:

- q : количество концентраторов в определенной области развертывания;
- m : количество областей развертывания.

Последующий анализ показал, что для моделируемых помеховых сценариев ошибка, появляющаяся из-за упрощения в уравнении (4), составляет менее 1 дБ.

² Для регулировки главного луча между линейно поляризованной передающей антенной (которая обычно используется в ФС) и приемными антеннами с круговой поляризацией, считается, что l_3 равно 2.

Предполагается, что развертывание систем LMDS должно соответствовать местоположениям 431 городского центра, в которых, по оценкам Организации Объединенных Наций, население к 2015 году превысит 750 000 человек (см. Городские агломерации, 1950-2015 (редакция 1996 года), Подразделение ООН по вопросам народонаселения, Нью-Йорк, Соединенные Штаты Америки, 1996 год (доступно на дискете)).

Эмпирическая связь между радиусом R_p (км) эквивалентной круговой области, содержащей общее число населения P , выражается при помощи уравнения:

$$R_p = \alpha \times P^\beta \quad (5)$$

Было обнаружено, что для Соединенных Штатов Америки в целях получения удовлетворительных результатов, $\alpha = 0,035$ и $\beta = 0,44$. Для других районов мира было обнаружено, что для получения удовлетворительной оценки $\alpha = 0,0155$ и $\beta = 0,44$.

Уравнение (5) использовалось для оценки количества станций-концентраторов, необходимых для обслуживания области, охватывающей все население в городских агломерациях. Учитывая, что каждый концентратор обслуживает круговую область радиуса R_h , количество концентраторов N составит:

$$N = \text{Int} \left(\eta \left(\frac{R_p}{R_h} \right)^2 + 0,5 \right), \quad (6)$$

где:

- N : количество концентраторов для предполагаемого радиуса соты;
- $\text{Int}()$: определяет целое значение аргумента;
- R_p : эквивалентный радиус городской территории (км);
- R_h : радиус обычной соты LMDS (км);
- η : фактор распределения ($0 < \eta \leq 1$).

Для моделирования предполагалось, что радиус соты равен 5 км, и что фактор развертывания равен 0,30. Это значение фактора развертывания учитывает экономические, демографические и географические факторы, а также и то, что некоторые администрации могут принимать правила, в соответствии с которыми соответствующий диапазон не должен использоваться для систем П-МП ФС. Самое большое рассчитанное количество станций-концентраторов, полученное при помощи базы данных населения ООН и уравнений (5) и (6), равно 35 для Нью-Йорка, Соединенные Штаты Америки и 11 для Токио, Япония. Методика дает результат, согласно которому в мире должно быть развернуто 944 станций-концентраторов, работающих на одной частоте. Следует отметить, что в данном Приложении рассматривается всемирное развертывание только концентраторов, работающих на одной частоте.

Эталонная диаграмма направленности для антенн станций-концентраторов основана на Рекомендации МСЭ-R F.1336. Всенаправленная диаграмма получена при помощи четырех секторных антенн, каждая с усилением 15 дБи и шириной луча в горизонтальной плоскости на уровне 3 дБ, равной 90°. Дополнительно предполагалось, что развязка по поляризации величиной 3 дБ учитывает линейно поляризованную передающую антенну станции-концентратора и приемную антенну СРД с круговой поляризацией для связи осевое направление – на – осевое направление. Эталонная диаграмма направленности передающей антенны, не учитывающая никаких наклонов вниз, соответствует следующей диаграмме в вертикальной плоскости:

$$G(\theta) = G_0 - 12 \left(\frac{\theta}{\varphi_3} \right)^2 \quad \text{для } |\theta| \leq \varphi_3, \quad (7a)$$

$$G(\theta) = G_0 - 12 - 10 \log \left(\frac{\theta}{\varphi_3} \right) \quad \text{для } |\theta| > \varphi_3, \quad (7b)$$

где:

- $G(\theta)$: усиление относительно изотропной антенны (дБи);
 G_0 : максимальное усиление в горизонтальной плоскости (дБи);
 θ : угол места, измеренный в вертикальной плоскости (градусы);
 φ_3 : ширина диаграммы в вертикальной плоскости по уровню 3 дБ (градусы).

$$\varphi_3 = \frac{31000 \times 10^{-0,1G_0}}{90}. \quad (7c)$$

Поглощение в атмосфере в тракте LMDS-СРД было учтено при помощи следующих уравнений, которые применяются на частоте 27,5 ГГц в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R F.1404:

$$A_{LowLat} = 22,73 / \left[1 + 0,9463 \theta + 0,03455 \theta^2 + h(0,3232 + 0,4519 \theta) + h^2(0,2486 + 0,1317 \theta) \right] \quad (8a)$$

$$A_{MidLat} = 11,96 / \left[1 + 0,8121 \theta + 0,03055 \theta^2 + h(0,2619 + 0,4728 \theta) + 1409 h^2 \right] \quad (8b)$$

$$A_{HiLat} = 8,77 / \left[1 + 0,8259 \theta + h(0,2163 + 0,3037 \theta) + 0,1067 h \right], \quad (8c)$$

где:

- A_{LowLat} : поглощение в атмосфере для территорий на низких широтах (между $\pm 22,5^\circ$) (дБ);
 A_{MidLat} : поглощение в атмосфере для территорий на средних широтах (между $22,5^\circ$ и 45°) (дБ);
 A_{HiLat} : поглощение в атмосфере для территорий на высоких широтах (более 45°) (дБ);
 θ : угол места (градусы), $0 \leq \theta \leq 90^\circ$;
 h : высота передающей антенны над средним уровнем моря (amsl) (км), $h \leq 3$ км.

Считалось, что высота передающей антенны для каждой станции LMDS равна 0,50 км над средним уровнем моря.

Спутники СРД используют управляемые приемные антенны с высоким усилением для слежения за спутниками пользователя на низких орбитах. Для пространственного анализа независимыми переменными являются орбитальные позиции геостационарных СРД (подразумевается, что наклонение орбиты равно нулю) и продольные и поперечные углы управляемых антенн. Продольные и поперечные углы определяются в сферической системе координат с центром в СРД. Ось x направлена к центру Земли, ось y указывает в направлении вектора скорости спутника, а ось z параллельна оси вращения Земли. При определении локальной системы координат вращение вокруг оси x называется рысканьем, вращение вокруг оси y называется креном, а вращение вокруг оси z называется тангажом.

Пространственное распределение помеховых условий определяется продольным и поперечным сканированием приемной антенны СРД с приращением $0,2^\circ$. В каждой точке наведения антенны СРД совокупные помехи от излучений каждой станции LMDS в пределах видимости СРД рассчитываются с учетом угла места в направлении на СРД, спектральной плотности э.и.и.м. излучений LMDS в направлении СРД, поглощения в атмосфере, расстояния и усиления приемной антенны СРД в направлении на станцию LMDS. Считается, что усиление приемной антенны в направлении на осевое излучение СРД равно 58 дБи при диаграмме направленности, соответствующей эталонной диаграмме направленности, указанной в Рекомендации МСЭ-R S.672 для антенны с круговой симметрией и равно -20 дБ на уровне первого бокового лепестка.

$$G(\varphi) = G_0 - 12 \left(\frac{\varphi}{\varphi_3} \right)^2 \quad \text{для} \quad 0 \leq \varphi \leq 1,29 \varphi_3, \quad (9a)$$

$$G(\varphi) = G_0 - 20 \quad \text{для} \quad 1,29 \varphi_3 < \varphi \leq 3,16 \varphi_3, \quad (9b)$$

$$G(\varphi) = G_0 - 20 - 25 \log \left(\frac{\varphi}{3,16 \varphi_3} \right) \quad \text{для} \quad 3,16 \varphi_3 < \varphi \text{ и } G(\varphi) \geq 0, \quad (9c)$$

$$G(\varphi) = 0 \quad \text{в других обстоятельствах,} \quad (9d)$$

где:

G_0 : максимальное осевое усиление (дБи);

$G(\varphi)$: внеосевое усиление (дБи);

φ : внеосевой угол (градусы);

φ_3 : 3 дБ ширина диаграммы (градусы);

$$\varphi_3 = \sqrt{27\,000 \times 10^{-0,1G_0}}. \quad (9e)$$

2.2 Временное распределение

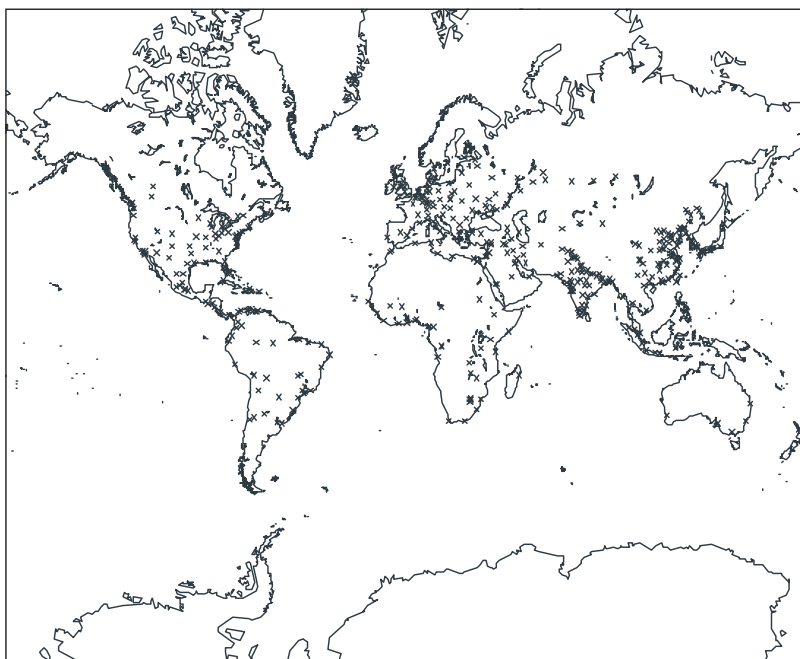
Временные характеристики помех приемной системе СРД также определяются компьютерным моделированием, но в данном случае используется динамическое моделирование. Технические и эксплуатационные характеристики станций-концентраторов LMDS и их предполагаемое развертывание совпадают с описанными в п. 2.1. Считается, что спутник СРД с характеристиками приемной системы, описанными в п. 2.1, расположен в предписанной геостационарной орбитальной позиции и должен следить за спутником на низкой орбите, который передает сигналы на СРД. Низкой спутниковой орбитой является орбита на высоте 400 км, отклоненная на $51,6^\circ$ от плоскости экватора – характеристики орбиты типичны для международной космической станции. В п. 4 также будет рассмотрена орбита спутника наблюдения за поверхностью Земли (EOS) с высотой 800 км и углом наклона $98,6^\circ$. Предполагается, что приемная антенна СРД отслеживает без ошибок движение низкоорбитального спутника по его орбите с шагом в 1 с. В каждой точке орбиты определяются помехи приемной системе СРД от совокупного излучения всех станций-концентраторов LMDS в пределах поля зрения для каждого орбитального периода на протяжении 10 дней. Орбитальный период определяется как время работы между последовательным пересечением плоскости экватора в направлении с юга на север.

3 Результаты Исследования А

На рисунке 1 показано всемирное распределение 431 областей развертывания. Результаты пространственного распределения были получены для двух наборов орбитальных позиций СРД и приведены в п. 3.1. Временные характеристики помех приведены в п. 3.2.

РИСУНОК 1

Предполагаемые местоположения систем LMDS



F.1509-01

3.1 Пространственное распределение

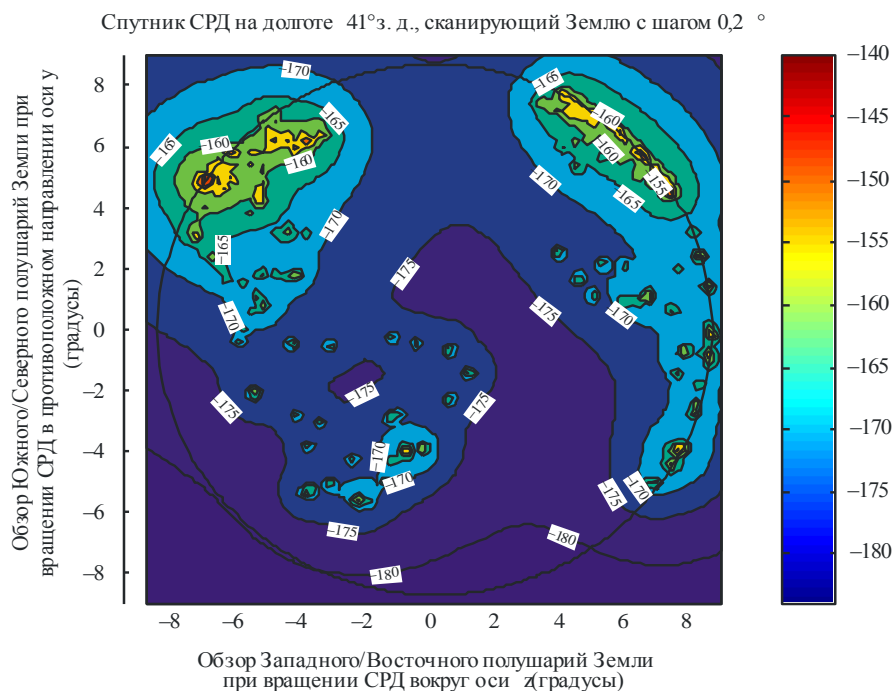
Было определено два множества. Первое множество содержит орбитальные позиции спутников СРД для работы под управлением Соединенных Штатов Америки. Пространственное распределение помех работе СРД, расположенным на этих орбитальных позициях, определено с приращением в $0,2^\circ$ на осях x и y . Второе множество содержит все орбитальные позиции СРД, указанные в Рекомендации МСЭ-R SA.1276 как орбитальные позиции, которые должны защищаться от излучений систем ФС.

3.1.1 Орбитальные позиции СРД на долготе 41° з. д., 174° з. д. и 85° в. д.

На рисунке 2 приведен контурный план пространственного распределения помех спутнику СРД на геостационарной орбите в точке 41° з. д. План основан на спектральной плотности э.и.и.м., равной $+8$ дБ(Вт/МГц) в локальной горизонтальной плоскости от каждой станции-концентратора LMDS в зоне видимости спутника СРД. Увеличение в спектральной плотности э.и.и.м. всех станций-концентраторов на 1 дБ приведет к увеличению помех СРД на 1 дБ. Максимальный уровень помех -139 дБ(Вт/МГц) наблюдается при угле наведения антенны СРД 5° по оси x и $-7,2^\circ$ по оси y , минимальный уровень помех менее -180 дБ(Вт/МГц) наблюдается, когда приемная антенна СРД наведена на Южный полюс. Эти уровни лежат в диапазоне от величины на 9 дБ выше и до величины на 32 дБ меньше уровня защиты, приведенного в Рекомендации МСЭ-R SA.1155. Если предположить, что спектральная плотность э.и.и.м. всех станций-концентраторов равна $+8$ дБ(Вт/МГц), то помехи системе СРД, прежде всего, будут наблюдаться при слежении за низкоорбитальными спутниками около края Земного диска в северном полушарии. Следует отметить, что область, выходящая за пределы уровня защиты СРД, относительно мала, и что в большинстве позиций считывания защитный уровень СРД обеспечивается.

РИСУНОК 2

Пространственное распределение помех (дБ(Вт/МГц)) спутнику СРД, расположенному на долготе 41° з. д., создаваемых от 431 города во всем мире, принимая во внимание работу 944 концентраторов с +8 (дБ(Вт/МГц)). Большой круг – это диск Земли. Отмечены две области в Северной Америке и одна область в Европе, помехи от которых превышают уровень защиты СРД



F.1509-02

На рисунках 3 и 4 показано пространственное распределение помех орбитальным позициям СРД 174° з. д. и 85° в. д. соответственно. Они похожи на результаты для 41° з. д. Для орбитальной позиции СРД 174° з. д. суммарные пиковые помехи равны $-144,9$ дБ(Вт/МГц). Для орбитальной позиции СРД 85° в. д. максимальные помехи равны $-146,0$ дБ(Вт/МГц). Как и в случае с орбитальной позицией СРД 41° з. д. максимальные уровни помех наблюдаются, когда приемная антенна СРД направлена на городские центры, которые находятся на или рядом с краем Земного диска.

РИСУНОК 3

Пространственное распределение помех (дБ(Вт/МГц)) спутнику СРД, расположенному на долготе 174° з. д., создаваемых от 431 города во всем мире, принимая во внимание работу 944 концентраторов с э.и.и.м. +8 (дБ(Вт/МГц)). Большой круг – это диск Земли

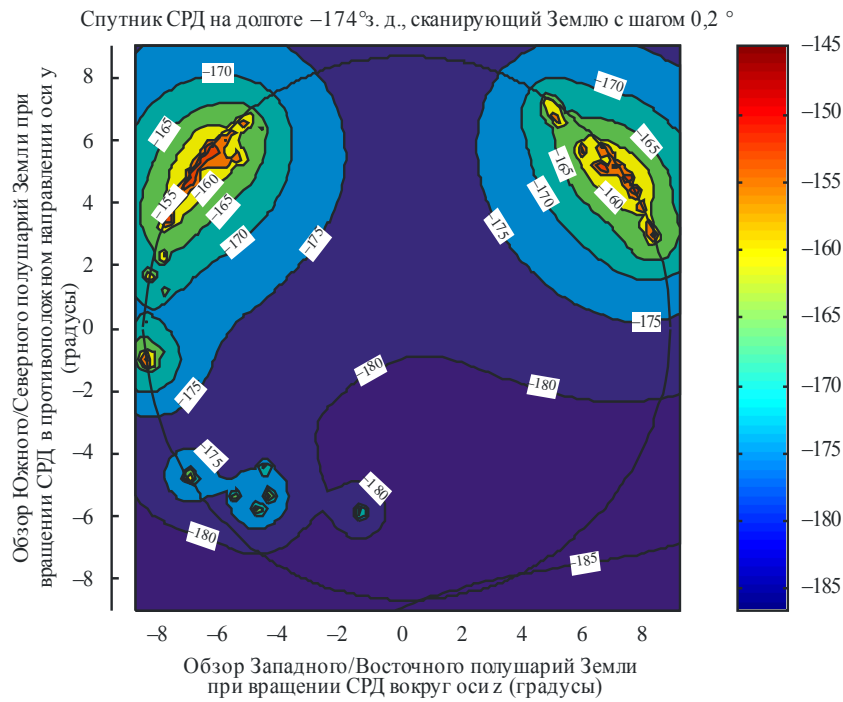
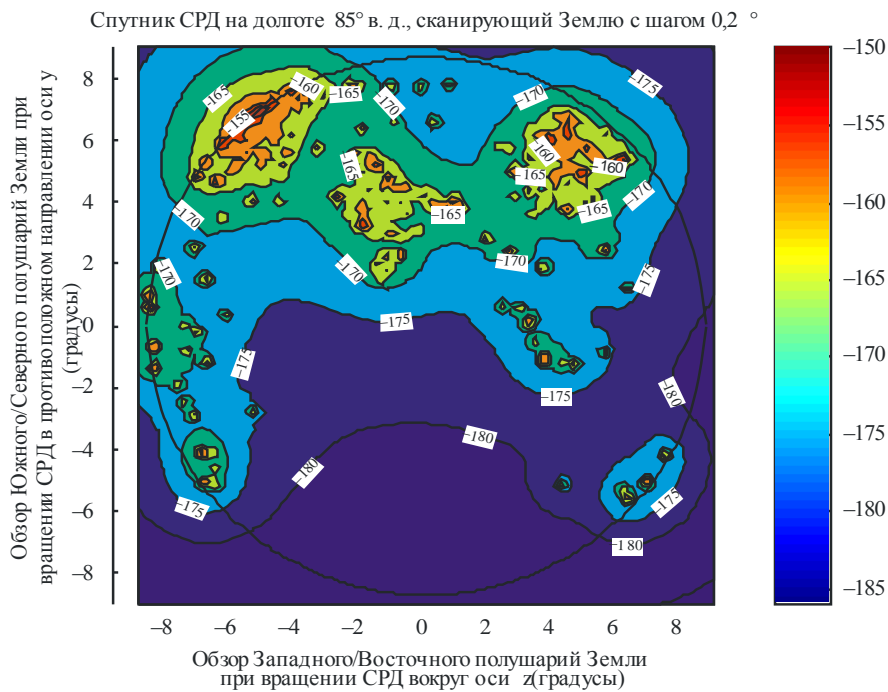


РИСУНОК 4

Пример помех (дБ(Вт/МГц)) спутнику СРД, расположенному на долготе 85° в. д. от 431 города во всем мире, принимая во внимание работу 944 концентраторов с э.и.и.м. +8 (дБ(Вт/МГц)). Большой круг – это диск Земли



3.1.2 Орбитальные позиции СРД, указанные в Рекомендации МСЭ-R SA.1276

В Рекомендации МСЭ-R SA.1276 перечислено 23 орбитальных позиций СРД, которые должны защищаться по мере возможности (Рекомендация МСЭ-R F.1249), от помех, превышающих защитный уровень СРД, от систем ФС, работающих в полосе 25,25–27,5 ГГц. В таблице 1 обобщены результаты моделирования пиковых помех для каждой орбитальной позиции, определенной в Рекомендации МСЭ-R SA.1276. Использовалась частота развертки, равная $0,2^\circ$ по осям x и y . В таблице 1 также указаны изменения пиковых уровней помех, как они измерены со стандартным отклонением, менее 4 дБ со всех орбитальных позиций. Данное наблюдение предполагает, что изменения пиковых помех от орбитальной позиции к орбитальной позиции относительно невелики.

В таблице 1 приведен краткий обзор пиковых помех от направления сканирования для каждой орбитальной позиции. Суммарное пиковое значение в среднем составляет $-144,3$ дБ(Вт/МГц). Максимальные суммарные помехи, получаемые в любой орбитальной позиции и любом направлении сканирования, были равны -139 дБ(Вт/МГц). Также приведена доля помех от области развертывания, влияющей больше всего на суммарные пиковые помехи.

Результаты моделирования показывают, что пиковые помехи от широкомасштабного развертывания систем LMDS примерно на 3 дБ больше помех, создаваемых одной областью развертывания. В таблице 1 также показан совокупный коэффициент усиления, определенный здесь как разница в дБ между суммарными пиковыми помехами и помехами от основного источника. Средний совокупный коэффициент усиления равен 2,5 дБ. Моделирование предполагает, что в среднем суммарные пиковые совокупные помехи находятся в пределах 2,5 дБ от помех, создаваемых городским центром, являющимся источником большей части помех. В итоге решено, что совокупная э.и.и.м. городского центра, т. е. сумма э.и.и.м. отдельных концентраторов в направлении определенной орбитальной позиции СРД может использоваться для предсказания пиковых помех, которые, скорее всего, будут наблюдаться на большинстве позиций СРД, если к совокупной э.и.и.м. города добавить 2,5 дБ.

Из данных в таблице 1 видно, что средний угол места по направлению к спутнику основного источника помех равен примерно 7° . Никогда не наблюдались пиковые помехи, вызванные областью развертывания, видимой под углом места менее $1,5^\circ$.

Из данных в таблице 1 также можно сделать вывод, что если передающая антенна станции-концентратора LMDS показывает дополнительное затухание для угла места больше 5° , то суммарные помехи, принимаемые в нескольких орбитальных позициях, будут снижены примерно на значение дополнительных потерь в антенне. Таким образом, регулирование формы плоскости места передающей антенны LMDS может являться полезным подходом, для некоторых областей развертывания с целью уменьшения помех в направлении определенных орбитальных позиций СРД.

В таблицу 1 также включены дождевые климатические зоны (зоны дождей), указанные в Рекомендации МСЭ-R P.837, являющиеся основным источником помех. Ожидается, что эксплуатационная мощность станции-концентратора будет зависеть от параметров доступности канала, протяженности линии связи и дождевой климатической зоны, в которой находится система. В Рекомендации МСЭ-R F.758 содержатся особые замечания для оборудования в полосе 25,25–27,5 ГГц. В таблице 17 Рекомендации МСЭ-R F.758 в Примечании 8 указывается, что системы, работающие с расстояниями до 5 км и со спектральной плотностью э.и.и.м., равной $+8$ дБ(Вт/МГц) на концентратор, обеспечивают энергетический запас линии в 37 дБ. В Рекомендации МСЭ-R. F.755, и в частности, в таблице 8, указывается, что энергетический запас 37 дБ на линии длиной 5 км достаточен для поддержания 0,9999 готовности канала в дождевой климатической зоне К. Энергетический запас линии в 37 дБ недостаточен для 0,9999 доступности канала в дождевых климатических зонах, которые имеют плотность дождя больше, чем в дождевой климатической зоне К. Это позволяет сделать предварительный вывод о том, что системы LMDS в дождевых климатических зонах с плотностью дождя меньше, чем в дождевой климатической зоне К, могут работать на расстоянии 5 км с э.и.и.м. концентратора меньше 8 дБ(Вт/МГц), и что можно снизить помехи СРД. Также делается вывод, что системы в дождевых климатических зонах с плотностью дождя больше, чем в дождевой климатической зоне К, могут иметь ограничения в работе, для некоторых зон развертывания, если плотность э.и.и.м. концентратора ограничена значением 8 дБ(Вт/МГц) с целью упрощения совместного использования с СРД.

ТАБЛИЦА 1

Обобщение пиковых помех в зоне видимости СРД на орбитальных позициях СРД, указанных в Рекомендации МСЭ-R SA.1279, в предположении, что в 431 городе по всему миру работает 944 станции-концентратора с +8 дБ(Вт/МГц)

В. д. орбитальной позиции спутника (градусы)	С. ш. основного источника помех (градусы)	В. д. основного источника помех (градусы)	Дождевая климатическая зона основного источника помех/концентратора		Э.и.и.м. области основного источника помех в направлении СРД (дБ(Вт/МГц))	Основной источник помех виден под углом места в направлении СРД (градусы)	Помехи от основного источника помех (дБ(Вт/МГц))	Суммарные пиковые помехи при направлении на основной источник помех (дБ(Вт/МГц))	Суммарное усиление (дБ)
-174	32,833	-96,833	10	М	17,7	2,4	-144,6	-144,3	0,3
-171	32,833	-96,833	10	М	16,8	4,8	-143,0	-142,8	0,2
-170	39,133	117,200	5	Н	13,8	4,8	-146,0	-142,0	4,0
-160	41,830	-87,750	16	К	18,9	4,6	-143,1	-141,1	2,0
-139	40,750	-74,000	35	К	17,9	10,2	-143,1	-140,9	2,2
-62	51,467	6,983	3	Е	11,7	4,4	-148,3	-142,7	5,6
-49	34,000	-118,167	29	Е	18,6	8,6	-140,2	-139,3	0,9
-46	34,000	-118,167	29	Е	20,6	6,2	-140,3	-139,0	1,3
-44	34,000	-118,167	29	Е	21,5	4,6	-140,2	-139,3	0,9
-41	34,000	-118,167	29	Е	22,4	2,2	-140,3	-139,0	1,3
-32	40,750	-74,000	35	К	13,0	26,5	-145,7	-145,4	0,3
-16	42,330	-83,080	10	К	14,4	8,2	-145,7	-140,8	4,9
16,4	23,700	90,367	7	Н	14,4	6,1	-146,6	-145,0	1,6
21,5	23,700	90,367	7	Н	10,2	10,8	-149,3	-147,7	1,6
47	31,250	121,500	7	М	15,3	4,7	-145,6	-143,4	2,2
59	34,400	135,270	4	М	13,6	2,9	-151,1	-145,6	5,5
85	48,130	16,220	1	К	6,4	5,5	-153,9	-146,7	7,3
90	52,250	18,983	2	Н	10,3	3,6	-150,2	-147,8	2,4
95	41,033	28,950	5	К	10,3	9,3	-151,6	-149,3	2,3
113	36,200	44,017	2	К	7,3	8,3	-154,9	-150,1	4,8
121	36,200	44,017	2	К	10,8	2,1	-151,4	-148,4	3,0
160	37,750	-122,500	10	Д	17,9	1,5	-145,3	-143,8	1,5
177,5	34,000	-118,167	29	Е	14,2	12,6	-146,4	-145,3	1,1
Максимум					14,2	26,5	-140,2	-139,0	7,2
В среднем					14,7	6,7	-146,4	-144,3	2,5
Ст. уст-во					4,4	5,3	4,4	3,4	1,9
Минимум					6,4	1,5	-154,9	-150,1	0,2

3.2 Временное распределение

Временные характеристики помех СРД при отслеживании спутника пользователя на низкой орбите были рассчитаны для орбитальных позиций СРД, перечисленных в Рекомендации МСЭ-R SA.1276, т. е. 41° з. д., 174° з. д. и 85° в. д. Международная космическая станция является рассматриваемым спутником пользователя на низкоорбитальной орбите, который действует на высоте 400 км, с отклонением $51,6^\circ$ от плоскости экватора.

Динамическое моделирование проводилось для 10 дней орбитального времени с шагом в 1 с. В каждом интервале совокупные помехи от излучений всех станций-концентраторов LMDS в пределах зоны видимости рассчитывались и использовались для определения кумулятивной функции распределения (CDF) помех для данного конкретного орбитального периода. Так как в течение 10 дней наблюдалось 145 оборотов по орбите, в результате всех динамических моделирований было получено 145 функций CDF. На рисунке 5 приведено семейство кривых вероятности превышения уровня помех для отдельных, последовательных оборотов низкоорбитального спутника пользователя для СРД, расположенного в точке 41° з. д. Графики соответствуют уровням помех, превышенным в течение 99%, 20% и 0,1% орбитального периода. Это семейство вероятностей превышения уровня нанесено на график, где уровень помех отложен по абсциссе, а время начала периода, когда спутник виден спутнику СРД, отложено на оси ординат. Также на этом рисунке показана вертикальная черта, соответствующая уровню помех -148 дБ(Вт/МГц). На рисунке видно, что существует 11 орбит, которые будут испытывать помехи с уровнем, превышающим уровень -148 дБ(Вт/МГц). Дополнительно на этом рисунке указано, что время между орбитами, когда помехи превышают уровень -148 дБ(Вт/МГц), варьируется от минимального, равного 7,7 час, до максимального – 71 час. На рисунке 6 показаны отдельные временные ряды помех для периода времени, когда уровень помех превышает -148 дБ(Вт/МГц). Как показано на этом рисунке, длительность помех, превышающих защитный уровень, варьируется от менее 10 с до менее 60 с.

РИСУНОК 5

Временные характеристики для спутника СРД, расположенного на 41° з. д. при отслеживании низкоорбитального спутника пользователя на орбите типа орбиты международной космической станции

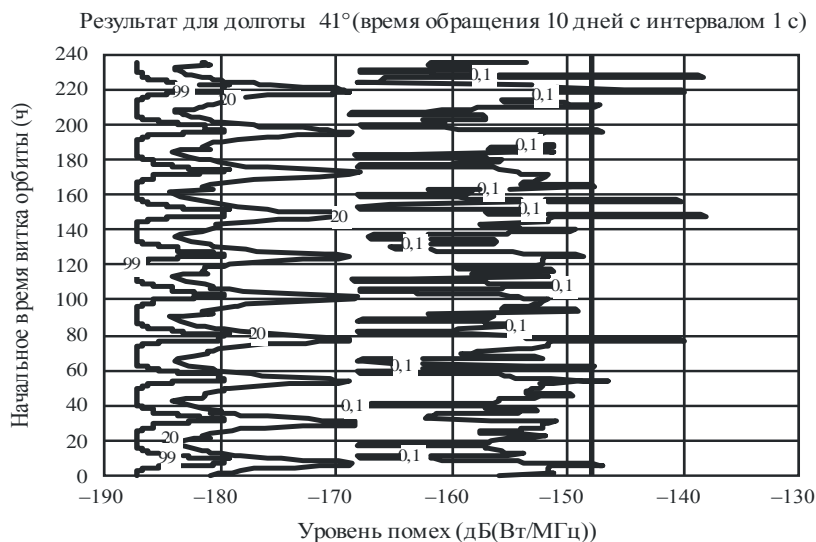
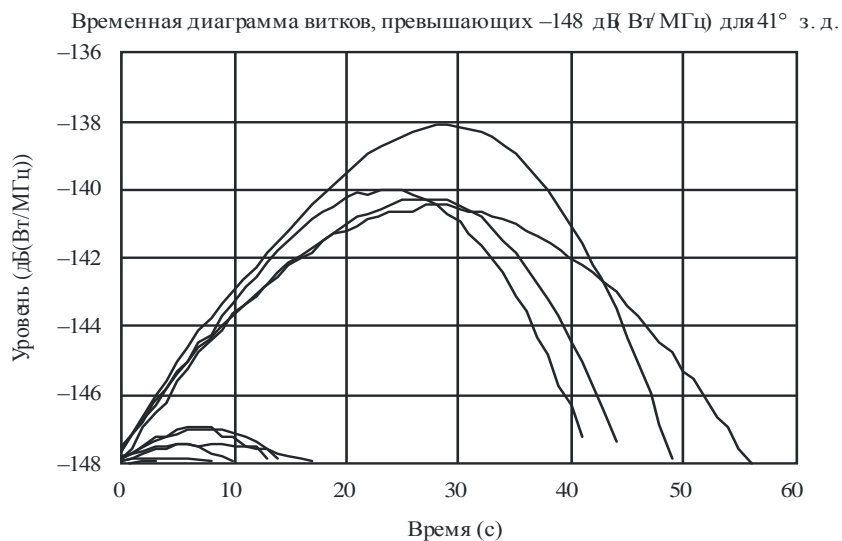


РИСУНОК 6

Примеры помех для спутника СРД, расположенного на 41° з. д. при отслеживании низкоорбитального спутника пользователя на орбите типа орбиты международной космической станции (см. п. 3.2)

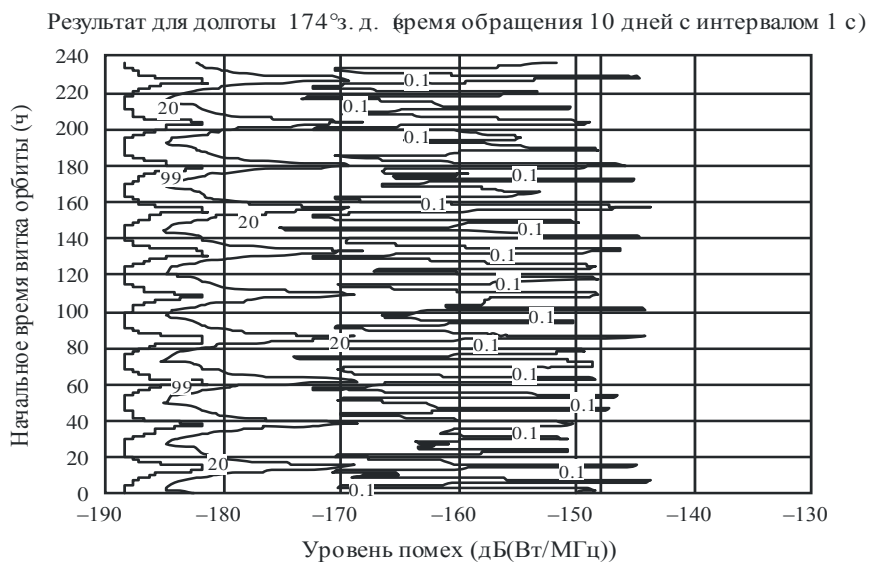


F.1509-06

На рисунке 7 приведены сравнимые результаты для орбитальной позиции СРД 174° з. д. Для данной позиции существует 12 орбит, которые будут испытывать помехи, превышающие защитный уровень в течение более чем 0,1% орбитального периода. Дополнительно, на этом рисунке указывается, что время между орбитами, когда помехи превышают -148 дБ(Вт/МГц), варьируется от минимального, равного 6,1 час, до максимального – 30,9 час. На рисунке 8 приведен временной ряд каждого периода помех. Для данной орбитальной позиции длительность помех, превышающих защитный уровень -148 дБ(Вт/МГц), варьируется от примерно 5 с до 50 с.

РИСУНОК 7

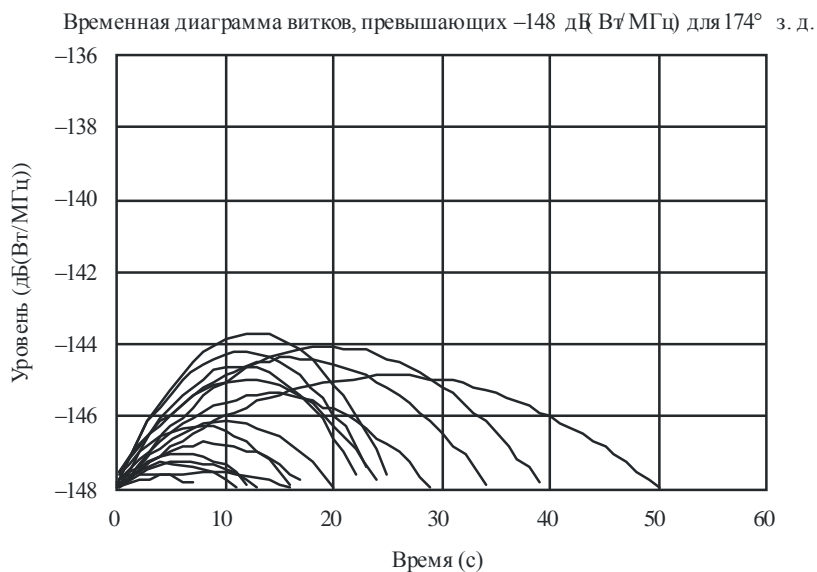
Временные характеристики для спутника СРД, расположенного на 174° з. д. при отслеживании низкоорбитального спутника пользователя на орбите типа орбиты международной космической станции



F.1509-07

РИСУНОК 8

Примеры помех для спутника СРД, расположенного на 174° з. д. при отслеживании низкоорбитального спутника пользователя на орбите типа орбиты международной космической станции (см. п. 3.2)



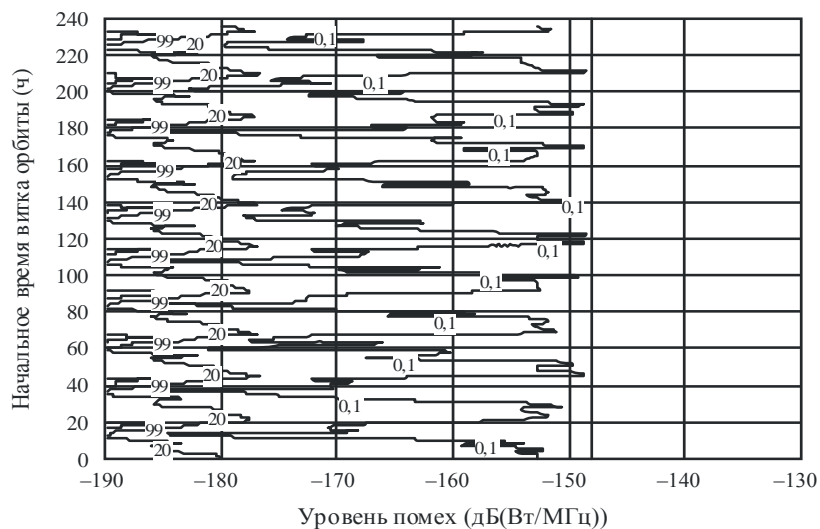
F.1509-08

На рисунке 9 приведены временные характеристики помех для орбитальной позиции СРД 85° в. д. На рисунке показано, что критерии защиты из Рекомендации МСЭ-R SA.1155 выполняются для каждой орбиты спутника, находящегося на орбите, аналогичной орбите международной космической станции.

РИСУНОК 9

Временные характеристики для спутника СРД, расположенного на 85° з. д. при отслеживании низкоорбитального спутника пользователя на орбите типа орбиты международной космической станции

Результат для долготы 85° в. д. (время обращения 10 дней с интервалом 1 с)



F.1509-09

В таблице 2 обобщены временные результаты.

ТАБЛИЦА 2

Краткое изложение временных помех, I , результаты

Орбитальная позиция СРД	Общее количество орбит спутника (~1,6 час/орбита)	Длительность между орбитами, когда $I < -148$ дБ(Вт/МГц) (ч)	Количество орбит спутника, когда $I > -148$ дБ(Вт/МГц)	Для орбит, на которых $I > -148$ дБ(Вт/МГц)		
				Длительность $I > -148$ дБ(Вт/МГц) (с)	Процент орбиты $I > -148$ дБ(Вт/МГц)	Пиковое $I^{(1)}$ (дБ(Вт/МГц))
174° з. д.	145	от 6,1 до 30,9	12	от 5 до 50	от 0,1 до 0,8	-143,8
41° з. д.	145	от 7,7 до 71	11	от 10 до 60	от 0,2 до 1,0	-137,8
85° в. д.	145	н/д	0	н/д	н/д	-148,3

⁽¹⁾ Небольшая разница в пиковых уровнях, полученных при временном и пространственном анализе, обусловлена эффектами выборок между пространственным и временным анализом, небольшими различиями моделей в ширине диаграммы направленности антенны концентратора по углу места по уровню 3 дБ, различиями источников получения верхней точки боковых лепестков, рабочей частоты и включения в пространственную модель влияния изгиба в атмосфере (Рекомендация МСЭ-R F.1333).

В заключении можно сказать, что на протяжении нескольких орбит, в которых уровень помех превышает -148 дБ(Вт/МГц), защитный уровень превышаетя немногим более, чем на 0,1% для худшего случая в течение примерно 1% времени для СРД, расположенных в точках 41° з. д. и 174° з. д. Для СРД, расположенного в точке 85° в. д. защитные критерии из Рекомендации МСЭ-R SA.1155 выполняются.

4 Результаты Исследования В

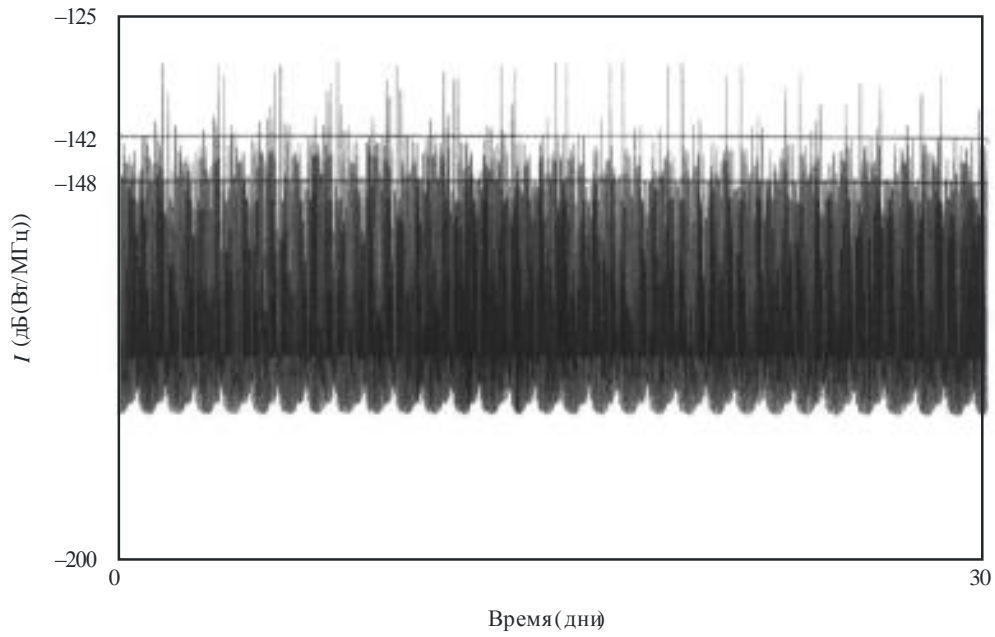
В следующих разделах представлены результаты временного и пространственного анализа на основе других исследований. В данном исследовании будет рассматриваться спектральная плотность э.и.и.м. на станцию-концентратор, равная +14 дБ(Вт/МГц), с учетом того, что определенные системы требуют, чтобы плотность э.и.и.м. была больше +8 дБ(Вт/МГц). Будут рассматриваться два спутника пользователя: международная космическая станция (высота орбиты 400 км и угол наклона 51,6°) и EOS (высота орбиты 800 км и угол наклона 98,6°). Вместо критерия защиты -148 дБ(Вт/МГц) будет использоваться критерий совместного использования -142 дБ(Вт/МГц).

4.1 Результаты – временной анализ

Для целей данного анализа представлен сценарий наихудшего случая помех, которым является СРД в точке 41° з. д. На рисунке 10 показаны совокупные излучения от концентраторов LMDS, полученных СРД во время слежения за международной космической станцией в течение 30 дней с шагом в 5 с. На рисунке 11 представлен такой же график для СРД, следящим за EOS.

РИСУНОК 10

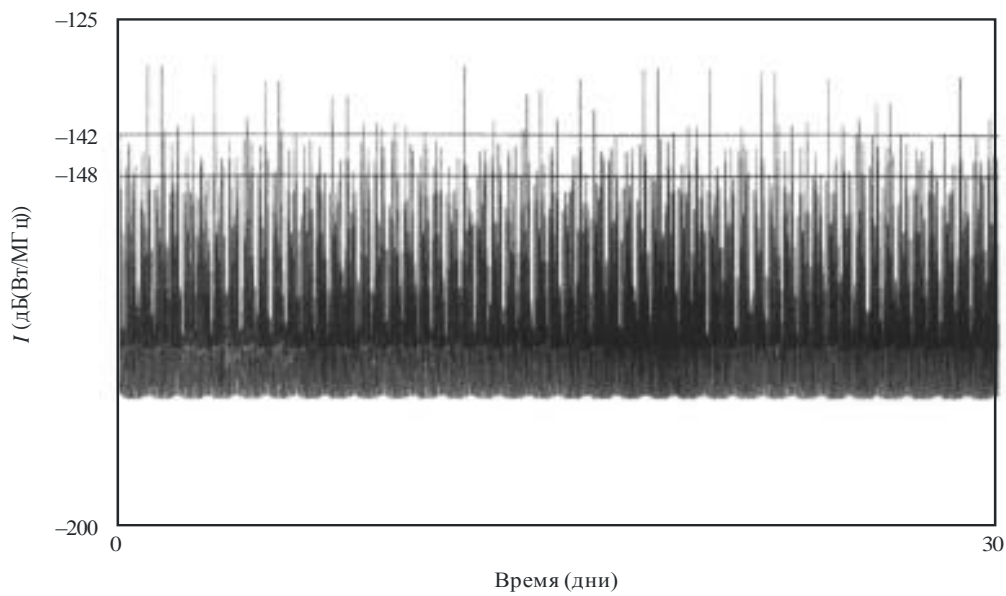
Помехи СРД, расположенному на 41° з. д., во время слежения за международной космической станцией



F.1509-10

РИСУНОК 11

Помехи СРД, расположенному на 41° з. д., при отслеживании EOS



F.1509-11

Как показано на обоих рисунках, излучения от развернутых станций LMDS, работающих с э.и.и.м. +14 дБ(Вт/МГц) на одну станцию-концентратор, в основном, оказываются ниже критерия совместного использования -142 дБ(Вт/МГц). Для СРД, следящего за международной космической станцией, суммарные излучения, превышающие значения критерия совместного использования, наблюдаются только в течение примерно 0,1% времени за весь 30-дневный период. Это показано на рисунке 12. Как показано на рисунке 13, суммарные излучения, принимаемые системой СРД, следящей за EOS, превышают критерий совместного использования примерно в течение 0,06% времени. Следует отметить, что эти события наблюдаются на известных прогнозируемых позициях на Земле, которые легко могут быть определены при помощи моделирования.

РИСУНОК 12

Интегральная помеха в СРД, расположенного на 41° з. д., во время слежения за международной космической станцией в течение 30 дней

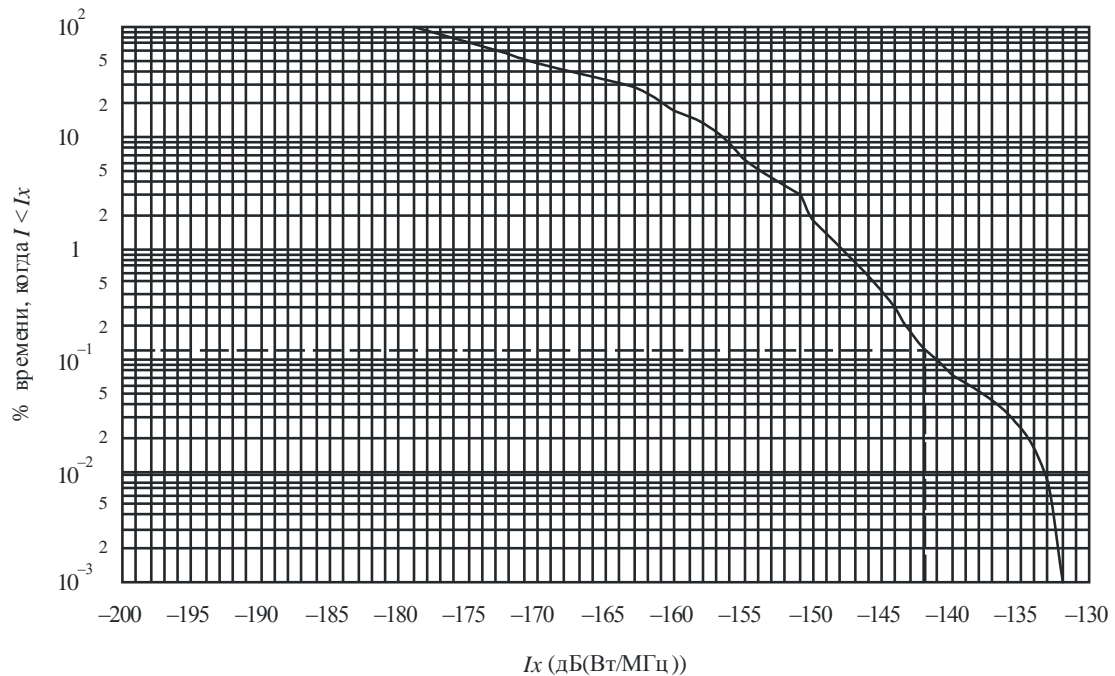
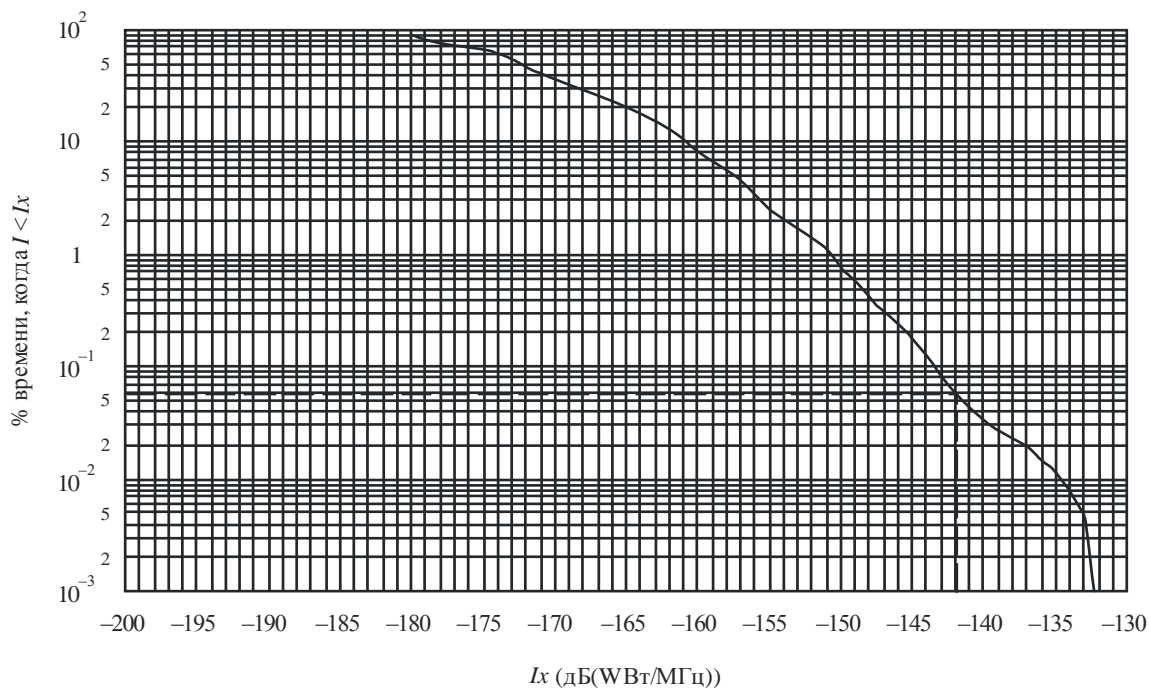


РИСУНОК 13

Интегральная помеха в СРД, расположенного на 41° з. д.,
при отслеживании EOS в течение 30 дней



F.1509-13

Приведенные выше результаты соответствуют итогам пространственного анализа, рассмотренного ниже.

4.2 Результаты – пространственный анализ

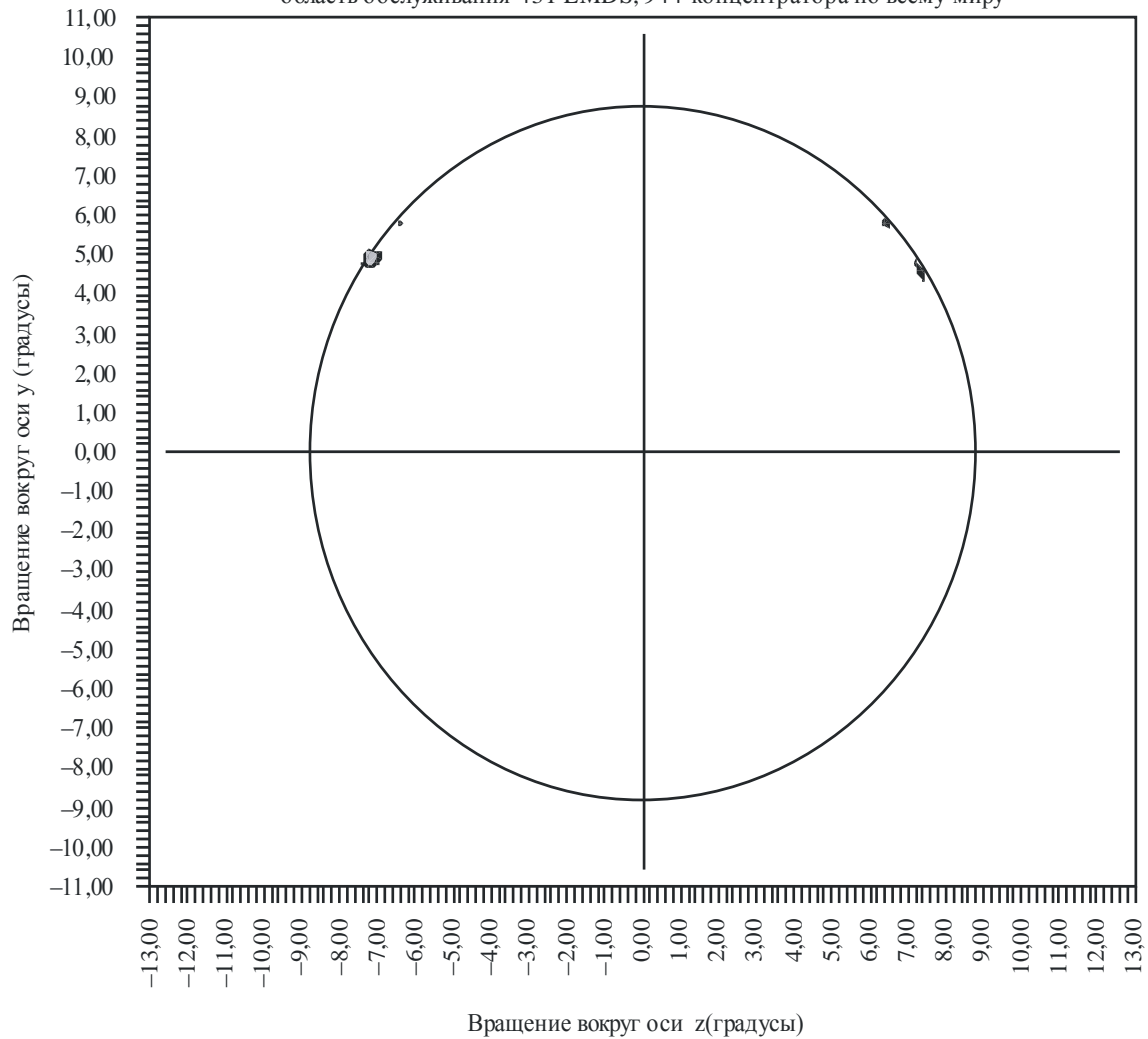
Результаты пространственного анализа приведены для трех орбитальных позиций СРД, включая 41° з. д., 174° з. д. и 85° в. д. Точки 41° з. д. и 174° з. д. представляют собой сценарий наихудшего случая, а точка 85° в. д. – типовой случай существования помех. Следует отметить, что для многих точек орбиты критерий совместного использования никогда не превышает.

На рисунке 14 показан пространственный профиль помехи, создаваемой излучениями системы LMDS и воздействующей на спутник СРД, расположенный в точке 41° з. д. Как показано, те излучения, которые превышают критерий совместного использования -142 дБ(Вт/МГц) сосредоточены вокруг определенных прогнозируемых местоположений. На рисунках 15 и 16 изображены аналогичные графики для орбитальных позиций 174° з. д. и 85° в. д.

РИСУНОК 14

Профиль пространственной помехи для СРД, расположенного на 41° з. д.

Геостационарный СРД на долготе 41° з. д., $k = 0,2$, шаг = 0,2, 8 дБ(Вт/МГц),
область обслуживания 431 LMDS, 944 концентратора по всему миру



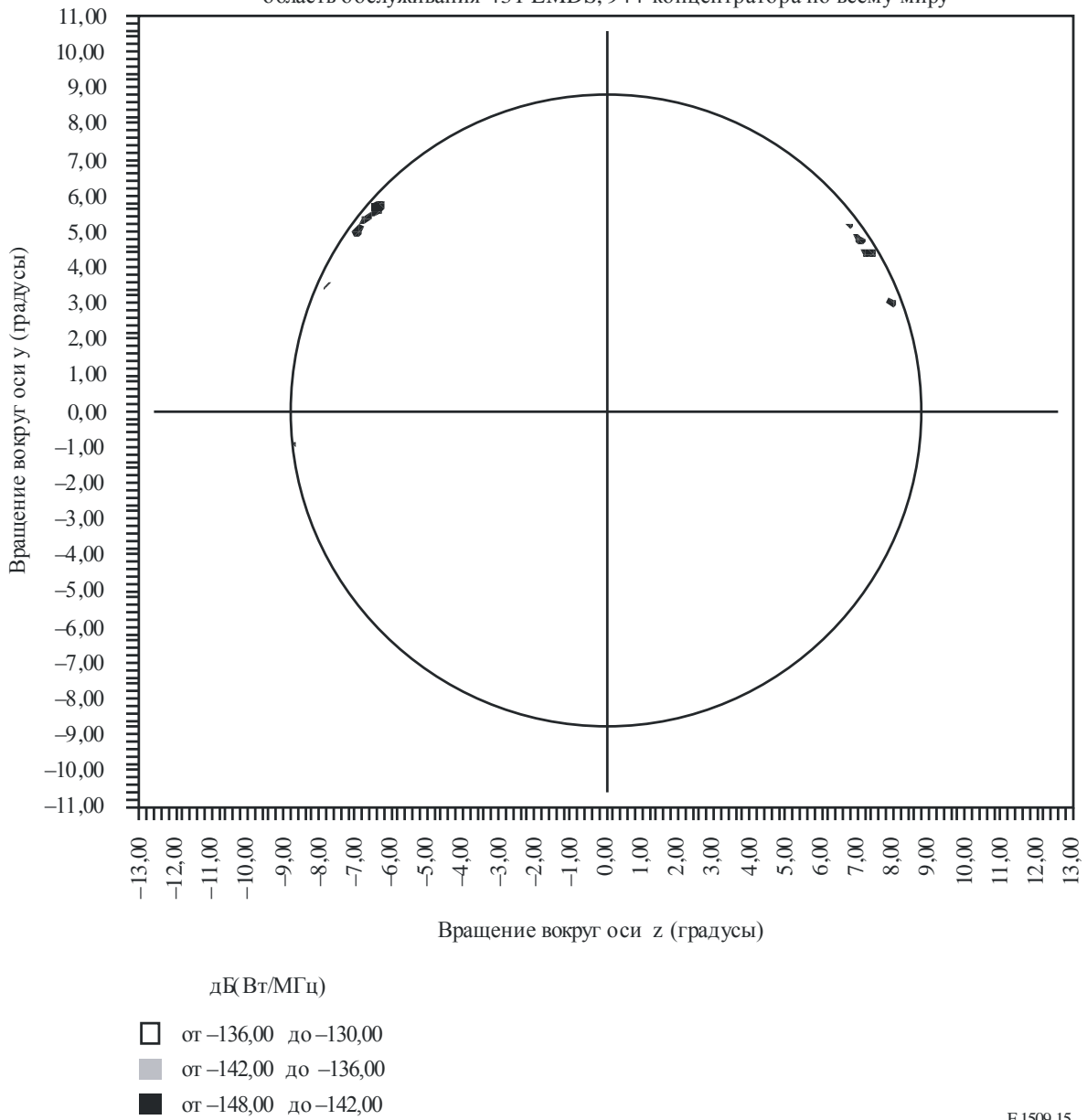
дБ(Вт/МГц)

- от -136,00 до -130,00
- от -142,00 до -136,00
- от -148,00 до -142,00

РИСУНОК 15

Профиль пространственной помехи для СРД, расположенного на 174° з. д.

Геостационарный СРД на долготе 174° з. д., $k = 0$, шаг = 0,2, 8 дБ(Вт/МГц),
область обслуживания 431 LMDS, 944 концентратора по всему миру

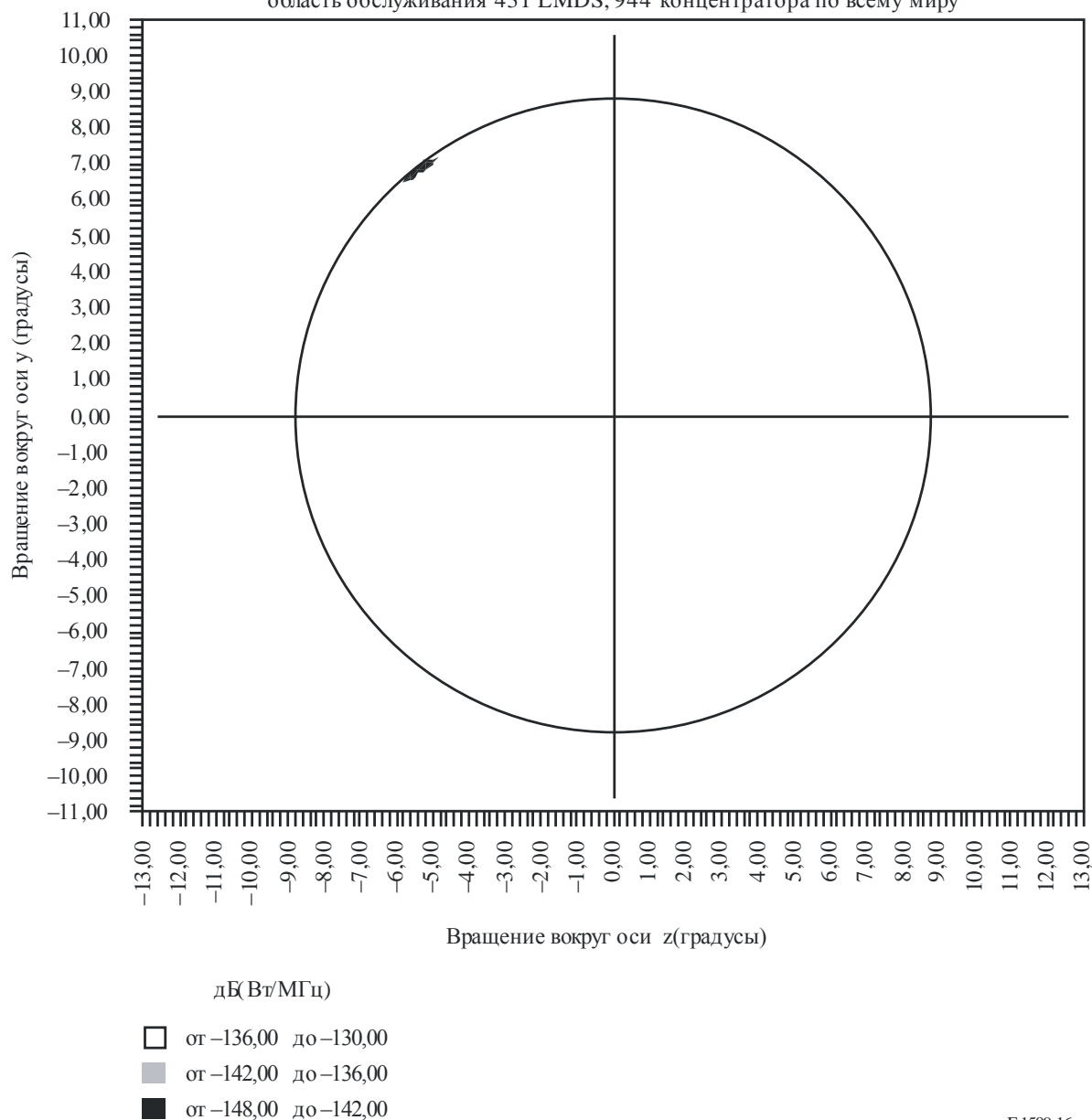


F.1509-15

РИСУНОК 16

Профиль пространственной помехи для СРД, расположенного на 85° в. д.

Геостационарный СРД на долготе 85° в. д., $k = 0$, шаг = 0,2, 8 дБ(Вт/МГц),
область обслуживания 431 LMDS, 944 концентратора по всему миру



F.1509-16

Следует отметить, что вышеуказанные графики основаны на сеансах моделирования, использующих $k = 0$ для диаграммы направленности антенны, указанной в Рекомендации МСЭ-R F.1336. Сеансы моделирования выполнялись также при $k = 1$ (более выраженные боковые лепестки), и было замечено, что общий профиль помехи остается относительно постоянным, что предполагает, что вклад боковых лепестков является незначительным.

4.3 Обсуждение результатов (п. 4)

Как указано в вышеприведенном анализе, критерий совместного использования, равный величине -142 дБ(Вт/МГц), позволяет двум службам совместно использовать частоты без существенного ограничения одной из услуг. Критерий совместного использования, в отличие от критерия защиты, должен учитывать природу конкретных служб в полосе частот и отразить необходимость обеспечить работу этих служб. В случае совместного использования полосы частот 25,25–27,5 ГГц системами СРД и системами П-МП ФС существует ряд смягчающих факторов, которые будут поддерживать критерий совместного использования -142 дБ(Вт/МГц), например:

- Как уже обсуждалось, использование систем с секторными антеннами с наклоном вниз будет общепринято для развертывания систем П-МП. В системах потребуется применять высокий уровень секторизации с целью управления внутрисистемной помехой и достижения уровней повторного использования частот, которые были бы выгодными для бизнеса.
- Излучения, которые превышают критерий совместного использования, создаются в прогнозируемых местоположениях на Земле, что позволяет *заранее* принять необходимые меры во избежание влияния помех.
- Использование полосы 25,25–27,5 ГГц фиксированной службой меняется от администрации к администрации. В некоторых странах операторы имеют право использовать системы связи пункта со многими пунктами, в других странах операторы используют сочетание систем связи пункта с пунктом и системы П-МП (некоторые операторы широкополосной связи используют несколько систем связи пункта с пунктом от центральной станции). Кроме того, сегодняшние частотные планы поддерживают целый ряд систем связи пункта с пунктом и систем П-МП. Следовательно, уровень совокупного излучения от систем связи пункта со многими пунктами в системы СРД, вероятно, будет намного меньше, чем описанный в настоящем исследовании.

5 Получение дополнительных результатов для других развертываний систем LMDS

Результаты, описанные в пп. 3 и 4, основаны на определенных предположениях относительно радиуса соты LMDS. В настоящем разделе описываются простые способы получения дополнительных результатов для вариантов развертывания систем LMDS, в которых используются соты меньшего размера.

Как правило, в городских центрах малые размеры сот приводят к большему числу сот в зрелой системе LMDS. Вследствие маленького размера соты, э.и.и.м. станции-концентратора, необходимая для предоставления такого же запаса в канале для самого удаленного абонента, будет уменьшаться пропорционально квадрату расстояния, при условии прямой видимости. Таким образом, относительное уменьшение спектральной плотности э.и.и.м. для меньшего размера сот по сравнению с эталонной сотой, определяется по формуле:

$$\Gamma_i = 20 \log \left(\frac{r_i}{r_0} \right), \quad (10)$$

где:

- Γ_i : коэффициент уменьшения спектральной плотности э.и.и.м. для i -й соты (дБ);
- r_i : радиус i -й соты (км);
- r_0 : радиус эталонной соты, т. е. 5 км.

Применяется коэффициент снижения просто. Например, предположим, что спектральная плотность э.и.и.м. составляет +8 дБ(Вт/МГц) при использовании эталонной соты радиусом 5 км; тогда уменьшение размера соты до 2,5 км приведет к снижению спектральной плотности до +2 дБ(Вт/МГц).

Следует отметить, что применение данного метода будет ограничивать совокупную спектральную плотность э.и.и.м. от любого городского центра до уровня, который не зависит от размера соты.

Отметим, что для развертывания нескольких фиксированных служб цель развертывания будет состоять в том, чтобы в отличие от постоянного запаса в канале, сохранить постоянную готовность линии, поскольку изменяется расстояние до наиболее удаленного абонента. Используя методики Рекомендации МСЭ-R P.530 для заданной готовности линии, с уменьшением протяженности линии необходимый запас в канале уменьшается. Таким образом, уравнение (10) дает осторожную оценку уменьшения спектральной плотности э.и.и.м. в зависимости от сокращения размера соты.

6 Помехи в POCS

Помеховый сценарий для POCS подобен помеховому сценарию для СРД, в котором излучения LMDS в одном канале поступают на приемные антенны POCS, поскольку спутник вращается вокруг Земли.

6.1 Характеристики систем LMDS

Некоторые характеристики LMDS, описанные в п. 2.1, были приняты для анализа POCS.

Однако было принято значение спектральной плотности э.и.и.м. +14 дБ(Вт/МГц).

6.2 Характеристики POCS

В рамках данного анализа были рассмотрены два пользователя POCS: международная космическая станция и многоразовый орбитальный космический аппарат. Предполагается, что каждая POCS имеет две антенны: с высоким и низким усилением. В таблице 3 кратко приводятся характеристики систем POCS.

ТАБЛИЦА 3
Характеристики POCS

Пользователь	Орбита		Приемная антенна	
	Высота (км)	Угол наклона (градусы)	Усиление (дБи)	Направление
Международная космическая станция	400	51,6	3,5 23,5	Надир Вдоль вектора скорости
Многоразовый орбитальный космический аппарат	530	57	3,5 23,5	Надир Вдоль вектора скорости

Для варианта с низким усилением было принято, что наихудшим сценарием является всенаправленная антенна, в отличие от полного конического угла 244° главного лепестка по уровню половинной мощности (HPBW). Для варианта с высоким усилением использовалась фиксированная приемная антенна шириной 8° HPBW, эталонная диаграмма направленности которой приведена в Рекомендации МСЭ-R S.672 ($L_S = -20$ дБ). Для POCS была принята круговая поляризация.

Критерий защиты приемника составляет -147 дБ(Вт/МГц) в течение не более чем 0,1% времени, как указано в Рекомендации МСЭ-R SA.609.

6.3 Методика

Для POCS в течение 30-дневного периода моделирования проводился только временной анализ. Данные собирались каждые 5 с.

По аналогии с анализом СРД, поглощение в атмосфере рассчитывалось на основании Рекомендации МСЭ-R P.676. Кроме того, учитывались потери 3 дБ, вызванные разницей поляризации.

6.4 Результаты

На следующем рисунке показаны уровни излучения в двух приемных антеннах обоих POCS от систем LMDS за 30-дневный период.

РИСУНОК 17

Интегральная помеха в POCS на международной космической станции в течение 30 дней

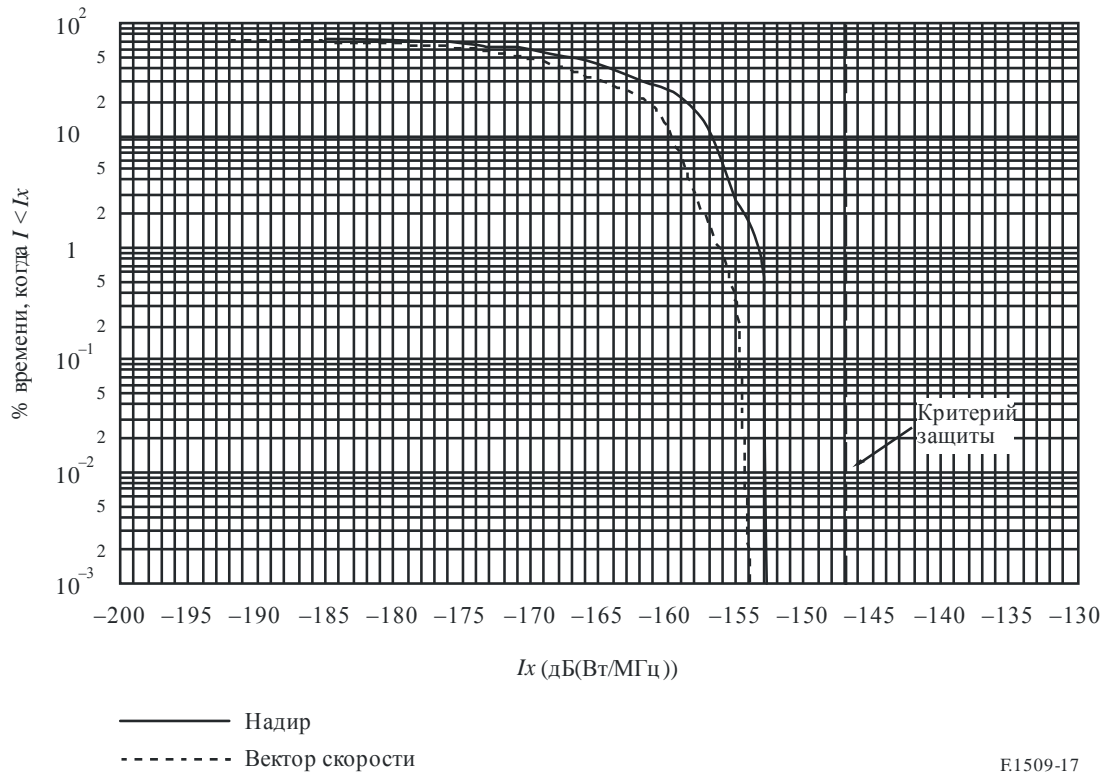
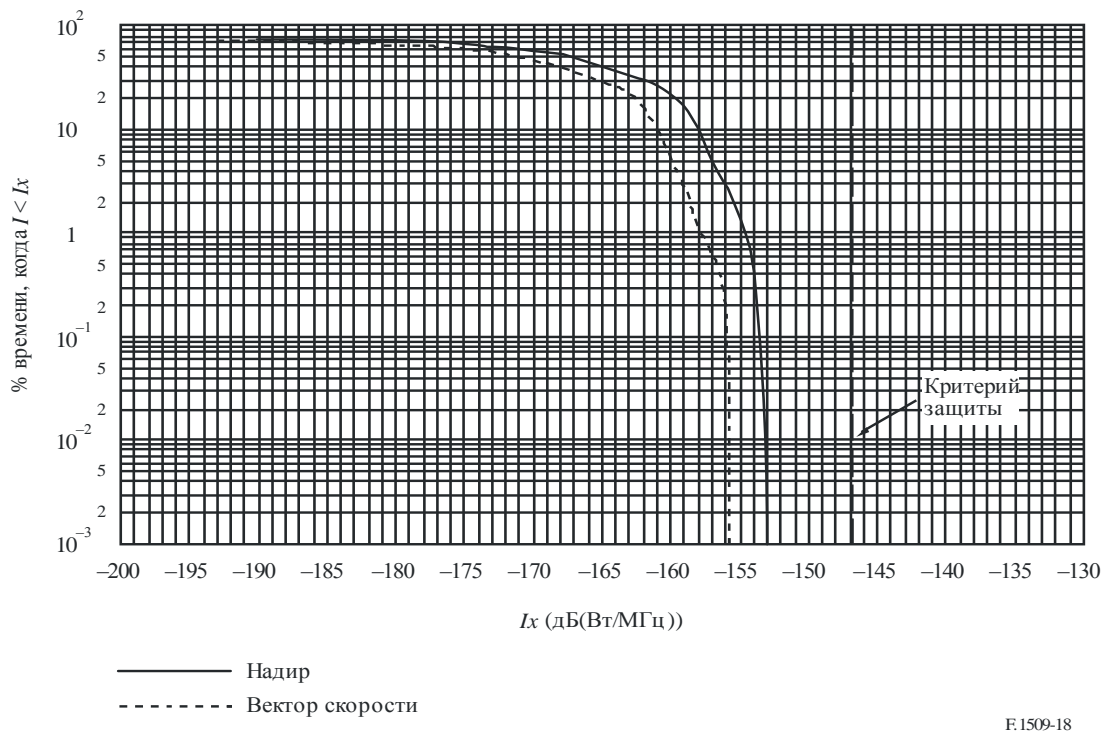


РИСУНОК 18

Интегральная помеха в POCS на многоразовом орбитальном космическом аппарате в течение 30 дней



Как показано, в течение всего времени уровень излучения в любой из приемных антенн POCS намного ниже критерия защиты в -147 дБ(Вт/МГц).

7 Резюме и выводы из Приложения 1

По результатам Исследования А в п. 3 прогнозируется, что большинство СРД, расположенных на орбитальных позициях, перечисленных в Рекомендации МСЭ-R SA.1276, будут испытывать пиковую суммарную помеху, которая превышает защитный уровень, приведенный в Рекомендации МСЭ-R SA.1155 в среднем примерно на 4 дБ в нескольких областях развертывания LMDS. Этот результат основан на предположении о том, что спектральная плотность э.и.и.м. каждой станции-концентратора составляет +8 дБ(Вт/МГц) и что радиус области обслуживания концентратора составляет 5 км. Пиковая суммарная помеха для всех орбитальных позиций составила -139 дБ(Вт/МГц).

На временной основе защитный уровень, приведенный в Рекомендации МСЭ-R SA.1155, выполняется для большинства орбит. Для некоторых орбит, для которых превышался защитный уровень, превышение составило от чуть более 0,1% периода обращения до примерно 1% периода обращения в наихудшем случае для спутников СРД, расположенных в точках 41° з. д. и 174° з. д. Более того, для этих орбитальных позиций время между периодами обращения, когда уровень помехи превышает значение -148 дБ(Вт/МГц), варьируется от 6,1 ч до 71 ч. Для СРД, расположенного в точке 85° в. д., помеха такова, что критерий защиты, приведенный в Рекомендации МСЭ-R SA.1155, выполняется для всех спутниковых орбит, аналогичных по типу орбите международной космической станции.

Для определения предельных значений спектральной плотности э.и.и.м. для сот, размеры которых меньше рекомендуемого размера соты, то есть 5 км в случае данного исследования, был введен понижающий коэффициент (см. формулу (10)), предполагающий постоянный энергетический запас линии.

Как показано в п. 3 и на рисунках 2–4, основными источниками помех для СРД являются городские центры с несколькими станциями-концентраторами, работающими на одном канале, которые находятся на или вблизи края диска Земли. Однако при ожидаемых будущих количествах развертывания станций-концентраторов LMDS систем П-МП, полученных с использованием методики, описанной в п. 3, и работающих со спектральной плотностью э.и.и.м. +8 дБ(Вт/МГц) на сектор концентратора, защитный уровень превышает лишь в нескольких географических районах и разумно применять совместное использование частот.

Результаты Исследования В в п. 4 показывают, что предположительно спектральная плотность э.и.и.м. станции-концентратора составит +14 дБ(Вт/МГц), что на 6 дБ выше, чем получено в Исследовании А, уровень помех также примерно на 6 дБ выше, чем результаты Исследования А. Таким образом, два исследования дали почти эквивалентные результаты.

Приложение 2

Метод расчета углов разноса между лучами антенны станции-концентратора и направлениями на СРД на геостационарной орбите

В Приложении 2 к Рекомендации МСЭ-R F.1249 представлен метод расчета углов разноса между лучами передающей антенны ФС из пункта в пункт и направлениями на геостационарные СРД, расположенные в точках, указанных в Примечании 1 к основному тексту этой Рекомендации, учитывающий влияние атмосферной рефракции и местного горизонта. Станция-концентратор в сети П-МП оборудована всенаправленной или секторной антенной. В этом случае усиление антенны должно рассматриваться вне зависимости от азимута направления на СРД. В Приложении 2 к Рекомендации МСЭ-R F.1249, ε_r – это угол места максимального усиления (в угломестной плоскости) антенны станции-концентратора (следует отметить, что $\varepsilon_r = 0^\circ$, если нет наклона луча, и ε_r имеет отрицательное значение, если луч наклонен вниз).

Угол места СРД ε_s определяется формулами (8a), (8b) и (8c) Приложения 2 к Рекомендации МСЭ-R F.1249. Когда СРД находится в зоне видимости, абсолютное значение $\varepsilon_s - \varepsilon_r$ является углом разноса между лучом антенны станции-концентратора и направлением на орбитальную позицию геостационарного СРД.
