

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R F.1247-2
(06/2009)

**Технические и эксплуатационные
характеристики систем фиксированной
службы для облегчения совместного
использования частот со службами
космических исследований, космической
эксплуатации и спутниковой службой
исследования Земли, работающими в
полосах частот 2025–2110 МГц и
2200–2290 МГц**

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 1 МСЭ-R. 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/publications/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	Подвижная спутниковая служба, спутниковая служба радиоопределения, любительская спутниковая 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 1 МСЭ-R.

Электронная публикация
Женева, 2010 г.

© ITU 2010

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.1247-2*

Технические и эксплуатационные характеристики систем фиксированной службы для облегчения совместного использования частот со службами космических исследований, космической эксплуатации и спутниковой службой исследования Земли, работающими в полосах частот 2025–2110 МГц и 2200–2290 МГц

(Вопросы МСЭ-R 118/7 и МСЭ-R 113/5)

(1997-2000-2009)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации приводятся эксплуатационные характеристики систем фиксированной службы для облегчения совместного использования частот с системами научных космических служб, которые работают в полосах частот 2025–2110 МГц и 2200–2290 МГц. В Рекомендации приводятся, в том числе, местоположения на орбите для спутников ГСО, в направлении которых должны быть ограничены излучения.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что полосы частот 2025–2110 МГц и 2200–2290 МГц распределены в Регламенте радиосвязи (РР) на первичной основе фиксированной и подвижной службам, службам космических исследований (СКИ), космической эксплуатации (СКЭ) и спутниковой службе исследования Земли (ССИЗ);
- b) что в диапазоне 1–3 ГГц работает большое число систем фиксированной службы (ФС) для связи пункта с пунктом и связи пункта со многими пунктами, и их описание приведено в Рекомендациях МСЭ-R F.758, МСЭ-R F.759 и МСЭ-R M.1143;
- c) что на Всемирной административной радиоконференции по распределению частот в определенных частях спектра (Малага-Торремолинос, 1992 г.) (ВАРК-92) частоты в диапазоне 1–3 ГГц были распределены другим службам, что создало условия, не позволяющие обеспечить совместное использование частот с ФС;
- d) что СКИ, СКЭ и ССИЗ в течение многих лет удовлетворительно работали в полосах частот 2025–2110 МГц и 2200–2290 МГц с ФС, но если будет вводиться большое число систем ФС, то важно определить предпочтительные технические и эксплуатационные характеристики ФС для обеспечения долгосрочной совместимости;
- e) что в дополнение к линиям Земля-космос и космос-Земля, соответственно, СКИ, СКЭ и ССИЗ в полосах частот 2025–2110 МГц и 2200–2290 МГц используют линии радиосвязи космос-космос;
- f) что эти линии, особенно линии космос-космос спутниковой сети ретрансляции данных (СРД), предназначены для работы с запасом порядка 2–4 дБ;
- g) что критерии защиты для линий Земля-космос и космос-Земля приведены в Рекомендациях МСЭ-R SA.363 и МСЭ-R SA.609, а критерии защиты для линий СРД – в Рекомендации МСЭ-R SA.1155;

* Настоящая Рекомендация была разработана совместно 7-й и 5-й Исследовательскими комиссиями радиосвязи, и ее будущий пересмотр должен также осуществляться совместно.

- h) что число систем ФС в этих полосах может возрасти до такой степени, что может оказаться необходимым применять практические критерии совместного использования частот, менее жесткие по сравнению с Рекомендацией МСЭ-R SA.1155, которые приведены в Рекомендации МСЭ-R SA.1274;
- j) что спутниковые линии восприимчивы к помехам, создаваемым излучениями систем фиксированной службы, в пределах зоны обслуживания, которая занимает большое географическое пространство;
- к) что ограниченное число сетей СРД, описанных в Рекомендации МСЭ-R SA.1018, либо уже действует, либо планируется для развертывания на позициях геостационарной орбиты, перечисленных в Рекомендации МСЭ-R SA.1275;
- l) что указание конкретных подлежащих защите местоположений на орбите, а не орбитальной дуги будет создавать меньше проблем для ФС в плане совместного использования частот, особенно для станций, расположенных на высоких широтах;
- m) что, как показали исследования, кратко описанные в Приложении 1, ФС может использовать технические средства для снижения вероятности неприемлемых помех службам космических исследований, космической эксплуатации и спутниковой службе исследования Земли,

рекомендует,

1 чтобы станции ФС в полосах частот 2025–2110 МГц и 2200–2290 МГц, когда это практически возможно, использовали:

- 1.1** автоматическое регулирование мощности передатчика (АРМП), так чтобы средняя мощность была минимум на 10 дБ ниже максимальной мощности передатчика;
- 1.2** наименьшую практически возможную спектральную плотность мощности передатчика;
- 1.3** передающие антенны с хорошими диаграммами направленности и с учетом Рекомендации МСЭ-R F.699;

2 чтобы, насколько это практически возможно, станции ФС для связи пункта с пунктом, работающие в полосе 2200–2290 МГц, избегали излучения со спектральной плотностью э.и.и.м., превышающей +8 дБ(Вт/МГц), в направлении местоположений геостационарных СРД, указанных в Рекомендации МСЭ-R SA.1275;

2.1 чтобы в качестве исключения из положений п.2 раздела *рекомендует* спектральная плотность э.и.и.м. станций ФС, в которых используется АРМП, могла быть более +8 дБ(Вт/МГц) в направлении указанного местоположения геостационарного СРД в течение менее 0,1% времени месяца (см. Примечания 7 и 8);

2.2 чтобы станции ФС, которые не могут соответствовать положениям п.2 раздела *рекомендует*, работали в нижней части полосы 2200–2290 МГц;

3 чтобы станции ФС для связи пункта со многими пунктами в полосах частот 2025–2110 МГц и 2200–2290 МГц, когда это практически осуществимо:

3.1 избегали излучения с плотностью э.и.и.м. на линию, превышающей 5 дБ(Вт/МГц) как для центральных, так и для удаленных станций систем большой мощности/низкой плотности в течение более 0,1% времени месяца с учетом АРМП (см. Примечание 7);

3.2 использовали на центральной станции всенаправленные передающие антенны с минимальным усилением в направлениях выше горизонтальной плоскости.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Положения п.2 раздела *рекомендует* применяются также к линиям связи пункта с пунктом, используемым между системами связи пункта со многими пунктами или в пределах таких систем.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Спектральная плотность э.и.и.м., излучаемая в направлении геостационарного СРД, должна вычисляться как произведение спектральной плотности передаваемой мощности и усиления антенны в направлении СРД. При отсутствии диаграммы направленности антенны ФС должна использоваться эталонная диаграмма направленности, приведенная в Рекомендации МСЭ-R F.699. При вычислениях необходимо

учитывать влияние рефракции в атмосфере и местного горизонта. Метод расчета углов разноса приведен в Приложении 2 к Рекомендации МСЭ-R F.1249.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Положения п. 2 раздела *рекомендует* применяются также к удаленным станциям систем для связи пункта со многими пунктами (Р-МР), в которых используются направленные антенны с максимальным усилением выше 14 дБи.

ПРИМЕЧАНИЕ 4. – В системе связи Р-МР большой мощности/низкой плотности, работающей в режимах прерывистой передачи, таких как МДВР, удаленные станции могут увеличивать уровни плотности своей э.и.и.м. на коэффициент, который соответствует числу абонентов, подключенных к удаленным станциям, принадлежащим к центральной станции, – максимум до 9 дБ(Вт/МГц) (см. п. 3.7 Приложения 1).

ПРИМЕЧАНИЕ 5. – Положения п. 3.1 раздела *рекомендует* применяются преимущественно к системам с низкой плотностью. Для систем с более высокой плотностью применяются более низкие уровни мощности. Например, параметры для системы малой мощности, используемой, по крайней мере, одной администрацией, включают типичные уровни плотности э.и.и.м. на линию (без замираний) порядка –5 дБ(Вт/МГц) для центральных станций и –14 дБ(Вт/МГц) для удаленных станций с учетом АРМП, когда это практически осуществимо.

ПРИМЕЧАНИЕ 6. – В соответствии с Рекомендацией МСЭ-R SA.1275-2 в настоящее время защиты требуют следующие местоположения на орбите:

16,4° в. д., 21,5° в. д., 47° в. д., 59° 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. и 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., 79° з. д., 139° з. д., 160° з. д., 170° з. д., 171° з. д. и 174° з. д.

ПРИМЕЧАНИЕ 7. – Следует отметить, что проценты времени, указанные в пп. 2.1 и 3.1 раздела *рекомендует*, непосредственно не связаны с процентом времени выполнения критериев совместного использования частот для системы СРД, приведенным в Рекомендации МСЭ-R SA.1274.

ПРИМЕЧАНИЕ 8. – Станции фиксированной службы, в которых используется АРМП и которые не могут соответствовать требованиям п. 2.1 раздела *рекомендует*, должны работать, когда это практически осуществимо, в нижней части полосы 2200–2290 МГц, предпочтительно – в полосе 2200–2245 МГц, а спектральная плотность э.и.и.м. (в направлении указанного местоположения геостационарного СРД) такой станции может превышать уровень +8 дБ(Вт/МГц) в течение менее 5% времени месяца, для того чтобы обеспечивалось восстановление качественных показателей во время неглубоких замираний, однако процент времени, в течение которого превышает уровень +11 дБ(Вт/МГц), должен быть менее 0,1%.

ПРИМЕЧАНИЕ 9. – В Приложении 2 представлен материал, предназначенный для облегчения применения настоящей Рекомендации при планировании и проектировании новых систем в полосах частот 2025–2110 МГц и 2200–2290 МГц.

Приложение 1

Технические характеристики систем фиксированной службы для облегчения совместного использования частот с космическими службами в полосах 2025–2110 МГц и 2200–2290 МГц

1 Введение

Исследования показали, что излучения систем ФС могут создавать помехи космическим сетям, работающим в СКИ, СКЭ и ССИЗ (космические научные службы) в полосах частот 2025–2110 МГц и 2200–2290 МГц (диапазон 2 ГГц). Космическая сеть состоит из линий космос-космос между спутником СРД на геостационарной орбите (ГСО) и спутником на низкой орбите. Спутник СРД ведет передачи в направлении спутника на низкой орбите в полосе частот 2025–2110 МГц и принимает передачи со спутника на низкой орбите в полосе частот 2200–2290 МГц. Таким образом, спутник на низкой орбите восприимчив к помехам от излучений в полосе 2025–2110 МГц, а спутники СРД на ГСО восприимчивы к помехам от излучений в полосе 2200–2290 МГц. Спутники на низкой орбите

могут также осуществлять связь с наземными станциями наземной сети, использующей линии Земля-космос. Эти линии, в которых полоса 2025–2110 МГц используется для передачи к спутнику на низкой орбите, а полоса 2200–2290 МГц – для приема передачи от спутника на низкой орбите, невосприимчивы к помехам, как и линии для спутников на низкой орбите, работающих в космической сети.

В разделе 2 приводится краткое описание помеховой обстановки, которая может наблюдаться спутниками на низкой орбите и спутниками СРД на ГСО в случае интенсивного использования диапазона 2 ГГц ФС. В разделе 3 описываются методы ослабления влияния помех, которые могут применяться ФС для снижения уровней возможных помех. В разделе 4 представлены данные об эффективности различных методов ослабления влияния помех для снижения уровня возможных помех спутникам, работающим в космической сети.

2 Возможные помехи спутникам, работающим в космической сети

Для определения помех системам космических научных служб от потенциально большого числа систем ФС использовалось моделирование по методу Монте-Карло. Предполагалось, что системы ФС представляют собой системы прямой видимости для связи пункта с пунктом, состоящие из 13 станций на секцию; в этих системах использовались методы цифровой модуляции и антенны с большим усилением.

Предполагалось, что развертывание систем ФС соответствует местоположениям примерно 1245 больших городов мира. Из этого списка были исключены города Соединенных Штатов Америки, поскольку там данные полосы широко используются для других применений. Эти допущения сводятся к развертыванию по всему миру более чем 16 000 станций систем для связи пункта с пунктом.

На трассу приходится 13 станций. Предполагается, что центры трасс находятся в каждом из больших городов. Устанавливается основное направление, равномерно распределенное между 0° и 360° . Исходя из этого, на каждой станции трассы строится вектор географического местоположения и вектор наведения антенны в предположении, что станции разнесены на 50 км. Угол азимута на каждой станции равен сумме угла основного направления и случайного угла, равномерно распределенного в секторе между $\pm 12,5^\circ$. На каждой другой станции, которая не является оконечной, предполагается, что имеются две передающие антенны на совпадающей частоте, одна из которых наводится на предыдущую станцию вдоль трассы, а другая – на последующую. Антенны на оконечных станциях наводятся на соседнюю станцию. Каждая антенна имеет угол места 0° , усиление по главной оси 33 дБи и диаграмму направленности вне оси, которая соответствует улучшенной диаграмме, приведенной в Рекомендации МСЭ-R F.699. Предполагается, что спектральная плотность мощности передатчика на каждой передающей станции составляет -35 дБ(Вт/кГц), что согласуется с цифровыми системами 64-QAM.

Влияние глобального развертывания этих секций из 13 станций в составе радиорелейных трасс на низкоорбитальные спутники, работающие в полосе 2025–2110 МГц, определяется путем расчета мощности совокупной помехи, принимаемой этими спутниками, как функции широты и долготы подспутниковой точки вектора положения спутника. Предполагается, что помеха поступает в приемную систему спутника на низкой орбите через боковые лепестки антенны, имеющие усиление 0 дБи.

На рис. 1 приведено контурное изображение результатов моделирования по методу Монте-Карло для спутника на высоте 300 км. Интенсивность принимаемых помех показана как функция широты и долготы спутника и достигает пикового значения $-151,7$ дБ(Вт/кГц). Из контурной схемы видно, что помехи испытываются над массивами суши и являются статическими, т. е. каждой подспутниковой точке соответствует свой постоянный уровень помех.

Аналогичное моделирование по методу Монте-Карло использовалось для определения помех спутникам СРД, осуществляющим прием в полосе 2200–2290 МГц. Использовались те же допущения относительно характеристик и развертывания радиорелейных систем для связи пункта с пунктом (Р-Р), применяющих антенны с большим усилением. Отправной точкой для анализа является использование геостационарной орбиты спутниками СРД и применение на СРД управляемых приемных антенн с большим усилением. При анализе независимыми переменными являются долгота подспутниковой точки геостационарного спутника СРД (предполагается, что наклонение орбиты равно нулю), а также углы крена и тангажа управляемых антенн. (Углы крена и тангажа определяются в сферической системе координат с центром на спутнике СРД. Ось x направлена к центру Земли, ось y указывает на направление вектора скорости спутника, а ось z параллельна оси вращения Земли. В определенной таким образом местной системе координат, вращение вокруг оси x называется рысканием, вращение вокруг оси y – креном, а вращение вокруг оси z – тангажем.)

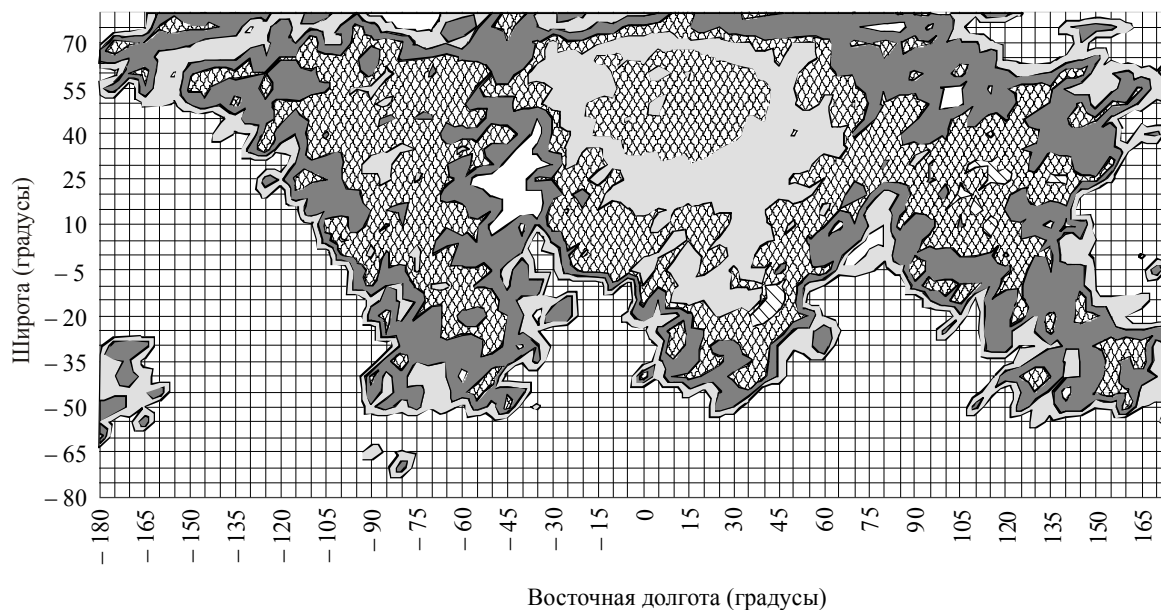
Сеть СРД, действующая в Соединенных Штатах Америки, состоит из нескольких рабочих и резервных спутников СРД, расположенных на орбитальных позициях 41° , 46° , 171° и 174° з. д. В этих спутниках применяются два типа следящих антенн с большим усилением: антенна многостанционного доступа (SMA) диапазона S с максимальным усилением по оси 28 дБи; и антенна единичного доступа (SSA) диапазона S с максимальным усилением по оси 36,8 дБи.

Предполагается, что антенны на спутнике СРД имеют диаграммы направленности вне основной оси, соответствующие диаграммам, приведенным в Рекомендации МСЭ-R S.672 для спутниковых антенн с круговой симметрией и уровнями первого бокового лепестка на 20 дБ ниже пикового усиления по оси.

Станции ФС развертываются таким же образом, как описано выше. Помехи антеннам SMA и SSA спутника СРД, расположенного на указанной орбитальной позиции, определяются для каждого угла наведения антенны в пределах диапазона $\pm 13^\circ$ при тангаже и $\pm 11^\circ$ при крене с шагом 1° . Совокупная помеха от излучений видимых радиорелейных станций вычисляется для каждой позиции луча антенн SMA или SSA. На рис. 2 приведен пример результатов вычисления для антенны SSA спутника СРД, находящегося на орбитальной позиции 41° з. д. На рисунке показано, что будет получен максимальный уровень помехи $-150,7$ дБ(Вт/кГц) и что помеха будет превышать -170 дБ(Вт/кГц) для относительно большей части углов сканирования. Еще раз отмечается, что временное распределение помехи является постоянным. Каждому углу наведения антенны соответствует свой конкретный уровень помех.

РИСУНОК 1

Контурное изображение географического распределения помех
спутникам на орбите высотой 300 км



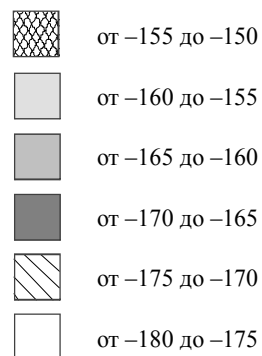
1247-01

Высота космического аппарата = 300 км

Усиление антенны ФС = 33,0 дБ

Спектральная плотность мощности передатчика ФС = -35 дБ(Вт/кГц)

Максимальная плотность мощности помех = -151,7 дБ(Вт/кГц)



3 Методы ослабления влияния помех

Была произведена оценка нескольких методов ослабления влияния помех, которые могли бы использоваться ФС. Методами, применимыми как к полосе 2025–2110 МГц, так и к полосе 2200–2290 МГц, являются:

- автоматическое регулирование мощности передатчика (АРМП),
- наименьшая практически возможная спектральная плотность передаваемой мощности,
- место установки передающей антенны,
- передающие антенны с хорошими диаграммами направленности.

Методами, применимыми к верхней полосе (т. е. 2200–2290 МГц), являются:

- предельный уровень спектральной плотности э.и.и.м., излучаемой в направлении местоположений спутников СРД на орбите,
- присвоение каналов для станций ФС большой мощности в нижней части полосы 2200–2290 МГц.

Приемлемые методы ослабления влияния помех для спутников СРД в настоящее время находятся в стадии изучения.

3.1 Автоматическое регулирование мощности передатчика

АРМП – один из наиболее эффективных способов улучшения помеховой обстановки, в которой находятся спутники, работающие в сети СРД. Каждый дБ уменьшения номинальной мощности передатчика, поступающей в антенну, дает дБ снижения уровня помех. Использование АРМП до 20 дБ всеми типами станций ФС, как оказалось, приводит в результате к существенному и требуемому улучшению помеховой обстановки.

3.2 Спектральная плотность передаваемой мощности

Приемные системы в сетях СРД особенно чувствительны к помехам, возникающим из-за малых запасов в линии (например, 2–4 дБ), используемых на линиях космос–космос. Малая спектральная плотность мощности передатчика является эффективным способом снижения уровня помех.

3.3 Место установки передающей антенны

В ряде случаев, в особенности в системах связи пункта со многими пунктами, станции ФС размещаются в низких местах, закрытых соседними зданиями или окруженных деревьями. Эти факторы приводят к появлению дополнительных потерь на трассе распространения радиосигналов при малых углах места. На основании одного из исследований был сделан вывод, что при угле места 0° возникает дополнительное ослабление 20 дБ, которое линейно уменьшается до 0 дБ при угле места 10° . Предполагается, что данный механизм применим только к удаленным станциям связи со многими пунктами, все другие линии которых располагаются на возвышенных или в незатененных местах.

Антенны с небольшим усилением, такие как плоскопластинчатые антенны, используемые в маломощных системах связи со многими пунктами, обычно устанавливаются на стенах зданий. Поэтому в одном из исследований предполагалось, что к источникам помех, расположенным за плоскостью антенны, применяются дополнительные потери, обусловленные затенением зданиями. Эта ситуация была смоделирована в виде дополнительных потерь 20 дБ при углах прихода, превышающих 90° относительно основной оси.

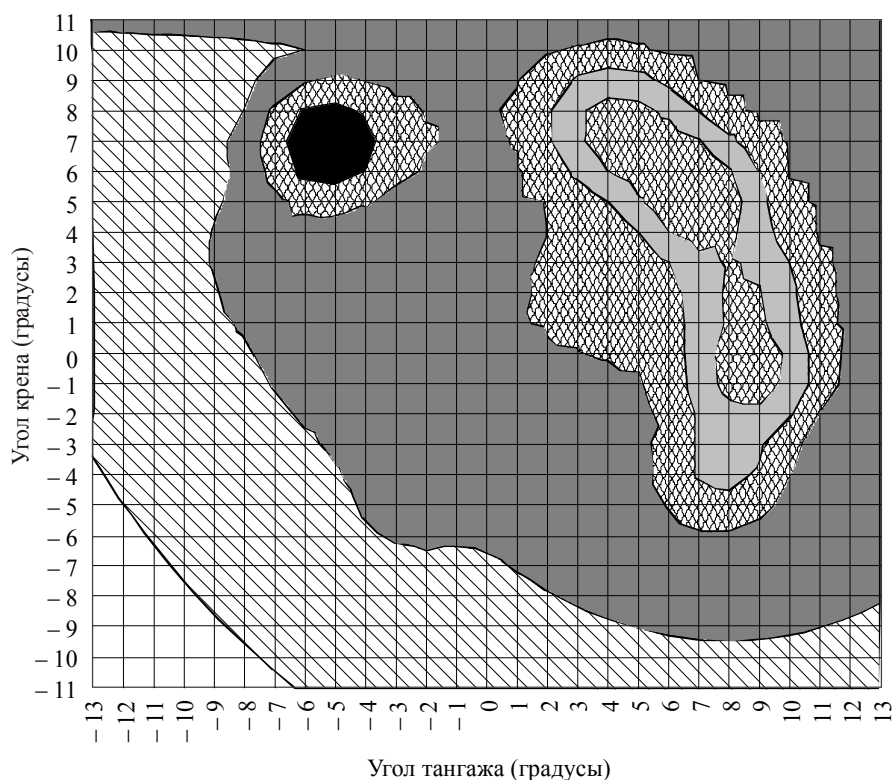
Если потери вследствие затенения зданиями или потери в листе наблюдаются одновременно, то дополнительная развязка будет ограничиваться явлениями рассеяния и дифракции. Для этого случая предполагалось, что общие потери, обусловленные обоими механизмами, ограничиваются величиной 30 дБ.

3.4 Диаграммы направленности передающих антенн

Диаграммы направленности передающих антенн станций ФС оказывают влияние на помеховую обстановку. Использование антенн, которые соответствуют приведенным в Рекомендации МСЭ-R F.699 показателям или превышают их, улучшает помеховую обстановку.

РИСУНОК 2

Контурное изображение помех, создаваемых спутниковой антенне СРД, в зависимости от угла крена и тангажа; СРД расположен на 41° з. д. и имеет антенну SSA



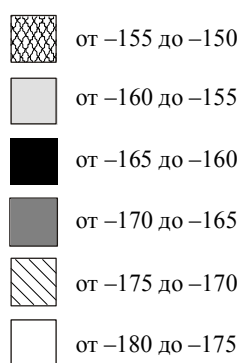
Долгота СРД = $-41,0^\circ$

Широта СРД = $0,0^\circ$

Усиление антенны ФС = 33,0 дБ

Максимальная помеха, создаваемая антенне SSA = $-150,7$ дБ(Вт/кГц)

1247-02



3.5 Спектральная плотность э.и.и.м., излучаемой в направлении местоположений спутников СРД на орбите

Спектральная плотность э.и.и.м. передающей станции ФС, излучаемой в направлении приемной антенны геостационарного спутника СРД, работающего в полосе 2200–2290 МГц, требует определения для обеспечения того, чтобы помеха не превышала критериев совместного использования частот по Рекомендации МСЭ-R SA.1274 (т. е. -147 дБ(Вт/МГц) в течение не более чем 0,1% времени). Соответствующую величину спектральной плотности э.и.и.м. можно определить следующим образом. Предположим, что зона обслуживания луча антенны СРД ограничивается

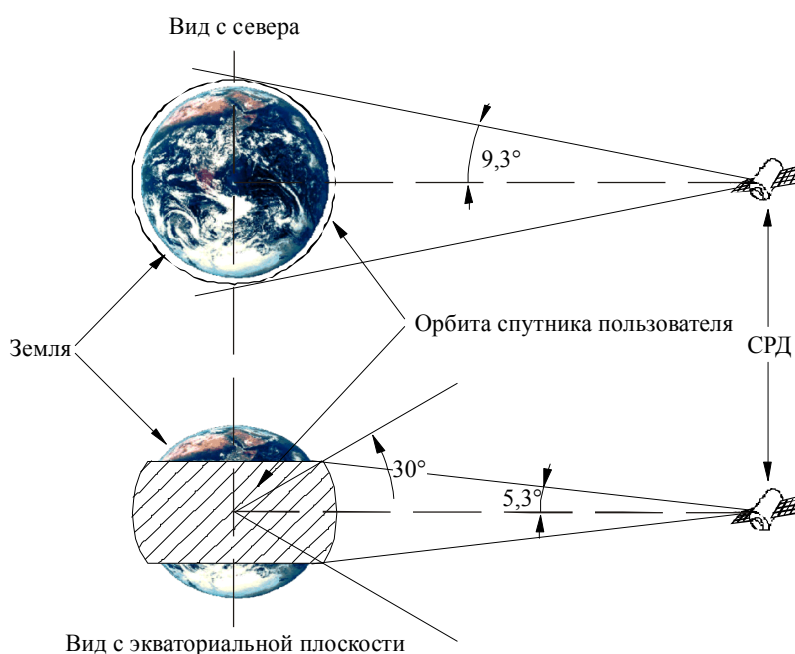
прямоугольником 20° в направлении восток–запад и 12° в направлении север–юг, как показано на рис. 3. Если допустить равномерно распределенную вероятность того, что спутник пользователя занимает любую позицию в пределах зоны обслуживания, то процент времени, когда антенна СРД будет направлена на конкретную станцию ФС, равен отношению площади пятна от луча антенны СРД к площади зоны обслуживания СРД. Вероятность помех 0,1% предполагает ширину луча антенны СРД $0,3^\circ$. Для антенны СРД с усилением 36 дБи усиление при отклонении от основной оси $0,3^\circ$ будет примерно таким же, что и усиление по основной оси. При применении этих допущений спектральная плотность э.и.и.м., излучаемой одиночной станцией ФС в направлении геостационарного спутника СРД, не должна превышать:

$$\text{э.и.и.м.} \leq -147 + 191 - 36 + 3 - 3 = +8 \text{ дБ(Вт/МГц)},$$

где -147 дБ(Вт/МГц) – критерии совместного использования частот, 191 дБ – потери в свободном пространстве, 36 дБи – усиление по основной оси антенны СРД и 3 дБ – допуск на избирательность за счет поляризации между СРД и антеннами ФС. Фоновая помеха от систем фиксированной и подвижной служб предполагалась равной наихудшему случаю единичной помехи, и учитывался коэффициент 3 дБ.

РИСУНОК 3

Зона обслуживания СРД для спутника пользователя при наклоне орбиты 30°



1247-03

3.6 Присвоения каналов станциям ФС в полосе 2200–2290 МГц

Системы СРД предназначены для размещения в полной ширине полосы 2200–2290 МГц. Большинство пользовательских космических аппаратов системы СРД работает в настоящее время в верхней части полосы, несколько – в середине полосы и, по крайней мере, один – в нижней части. Ожидается, что в течение следующих десяти лет большинству пользователей, которым не требуется линия многостанционного доступа, будут присваиваться частоты в средней части этой полосы. (Распределение частотных присвоений спутникам, работающим в наземной сети, абсолютно другое.)

Ожидается, что нижнюю часть полосы займут только несколько пользователей системы СРД. Это может обеспечить определенную гибкость при осуществлении частотных присвоений передатчикам ФС большой мощности, которые в противном случае несовместимы с критериями совместного использования частот со спутниками СРД в нижней части полосы.

3.7 Аспекты спектральной плотности э.и.и.м. для систем связи пункта со многими пунктами

Был получен ряд вкладов, касающихся характеристик передачи систем связи Р-МР. В одной из стран было построено, по меньшей мере, 400 систем, состоящих в общей сложности примерно из 10 000 станций, работающих при значениях спектральной плотности э.и.и.м. между 4 и 7 дБ(Вт/МГц) для центральных станций и между 11 и 19 дБ(Вт/МГц) для удаленных станций. Эти системы работают в полосах частот 1427–1530 МГц (25%), 2025–2300 МГц (5%) и 2300–2655 МГц (70%), и ожидается, что характеристики для новых систем в диапазоне 2 ГГц будут аналогичными. В других вкладах по характеристикам Р-МР указываются значения между –10 и 12 дБ(Вт/МГц) для центральных станций и между 8 и 12 дБ(Вт/МГц) для удаленных станций. Таким образом, без применения АРМП диапазон значений плотности э.и.и.м. для центральных станций находится между –10 и 12 дБ(Вт/МГц) и для удаленных станций – между 8 и 19 дБ(Вт/МГц). При минимальном уровне АРМП 10 дБ значения плотности э.и.и.м. около 5 дБ(Вт/МГц) будут, несомненно, удовлетворять требованиям к мощности передачи для центральных станций и в большой степени для удаленных станций.

Ожидается, что для систем МДВР большой мощности/низкой плотности средняя нагрузка на удаленных станциях составит порядка 40% емкости, что позволит увеличить максимальную плотность э.и.и.м. на удаленной станции примерно на 4–9 дБ(Вт/МГц). Для средней загрузки, превышающей 4%, допустимое увеличение может быть основано на отношении между фактическим числом абонентов на центральную станцию и максимальным числом абонентов.

4 Резюме

Основной интерес представляет совокупная помеховая обстановка, наблюдаемая с космического аппарата, с учетом определенных методов ослабления влияния помех. В таблице 1 приведен обзор ситуации совместного использования частот в полосе 2025–2110 МГц для орбитальной станции на высоте 300 км и указан эффект от применения различных методов ослабления влияния помех. Радиорелейные системы Р-Р имеют сходные уровни мощности, сравнимые с системами большой мощности Р-МР, и результаты будут приблизительно одинаковыми, в предложении примерно того же числа станций. При увеличении высоты орбиты помеховая ситуация становится менее критической.

ТАБЛИЦА 1

Сводные данные по эффективности методов ослабления влияния помех, применимых к низкоорбитальным спутникам, работающим в космической сети с высотой орбиты 300 км и ведущим прием в полосе 2025–2110 МГц

	Радиорелейные системы Р-Р	Системы большой мощности ⁽¹⁾ Р-МР	Системы малой мощности ⁽²⁾ Р-МР
Ожидаемое число установок в течение следующих 10 лет на МГц (по всему миру)	5 000	5 000	500 000
Совокупный средний уровень помех (дБ(Вт/МГц))	–139	–39	–132
Превышение относительно критериев совместного использования частот (–147 дБ(Вт/МГц))	8	8	15
Ожидаемый эффект от снижения средней мощности из-за АРМП (дБ)	10	10	10
Влияние увеличения ППМ спутника СРД в направлении спутника на низкой орбите (дБ)	6	6	6
Ожидаемое превышение относительно критериев совместного использования при применении указанных выше мер (дБ)	–8	–8	–1

⁽¹⁾ Низкая плотность.

⁽²⁾ Высокая плотность.

Автоматическое регулирование мощности станции ФС оказывает существенное положительное воздействие на совокупные уровни помех, создаваемых спутникам. Уменьшение помех практически пропорционально среднему уровню, на который снижается мощность на всех линиях. Поэтому настоятельно рекомендуется, чтобы по возможности применялось автоматическое регулирование мощности. Уровни мощности должны быть, в принципе, настолько малыми, насколько это реально возможно, поскольку оказывается непосредственное влияние на уровни помех.

Ослабление требований к защите спутников СРД на 4 дБ, очевидно, оказывает, одинаковое влияние на все типы систем ФС и вносит существенный вклад в создание приемлемых условий совместного использования частот.

В таблице 2 приведен обзор ситуации совместного использования частот для геостационарного спутника СРД и указан ожидаемый эффект от применения различных методов ослабления влияния помех. Радиорелейные системы Р-Р имеют сходные уровни мощности, сравнимые с системами большой мощности Р-МР, но их число значительно выше.

Автоматическое регулирование мощности станций ФС и в этом случае значительно уменьшает совокупные уровни помех спутникам и должно быть реализовано, когда это возможно. Уровни мощности должны быть, в принципе, настолько малыми, насколько это реально возможно, поскольку оказывается непосредственное влияние на уровни помех. Спектральная плотность мощности должна быть по возможности небольшой. С точки зрения помех предпочтение отдается передаче данных с высокой скоростью.

Ослабление требований к защите спутников СРД на 4 дБ опять же способствует повышению возможности совместного использования частот.

ТАБЛИЦА 2

Сводные данные по эффективности методов ослабления влияния помех, применимые к геостационарным спутникам СРД, ведущим прием в полосе 2200–2290 МГц

	Радиорелейные системы Р-Р	Системы большой мощности ⁽¹⁾ Р-МР	Системы малой мощности ⁽²⁾ Р-МР
Ожидаемое число установок в течение следующих 10 лет на МГц (по всему миру)	12 000	5 000	500 000
Совокупный средний уровень помех (дБ(Вт/МГц))	-132	-136	-129
Превышение относительно критериев совместного использования частот (-147 дБ(Вт/МГц))	15	11	18
Ожидаемый эффект от снижения средней мощности из-за АРМП (дБ)	10	10	10
Влияние увеличения ППМ спутника на низкой орбите в направлении спутника передачи данных (дБ)	3	3	3
Влияние отклонения в наведении антенны от геостационарной орбиты	3	2	1
Ожидаемое превышение относительно критериев совместного использования при применении указанных выше мер (дБ)	-1	-4	4

⁽¹⁾ Низкая плотность.

⁽²⁾ Высокая плотность.

Отклонение в наведении антенны может уменьшить уровень помех до 35 дБ для антенны диаметром 2,4 м. Угол отклонения в наведении, равный 4°, должен рассматриваться как минимальный, что приводит к ослаблению помехи на 12 дБ относительно максимального уровня. Таким образом, типовая станция системы Р-Р ФС с антенной диаметром 2,4 м избегает помех из-за основного луча. Дальнейшее отклонение в наведении, безусловно, также желательно, но дополнительное ослабление как функция угла отклонения в наведении значительно уменьшается. Представляется, однако, что отклонение в наведении оказывает только ограниченное действие, поскольку во многих случаях оно невозможно для реализации в системах связи пункта со многими пунктами. На центральных станциях часто используются антенны с всенаправленной диаграммой излучения, а удаленные

станции не имеют другого выбора, кроме наведения на центральную станцию, независимо от результирующей группировки спутников.

Наиболее критическим случаем является, по-видимому, система связи Р-МР малой мощности/высокой плотности. Следует отметить, что влияние ослабления вдоль трассы и места установки станций Р-МР (см. п. 3.3) на практике приведут к дальнейшему снижению помехового потенциала этих систем. Можно показать, что полоса 2200–2290 МГц более подвержена помехам, чем полоса 2025–2110 МГц.

Следует отметить, что указанные выше системы ФС оценивались на исключительной основе. При расчете общего уровня помех должно учитываться совокупное воздействие.

Приложение 2

Применение настоящей Рекомендации при планировании и проектировании новых систем в полосах частот 2025–2110 МГц и 2200–2290 МГц

1 Введение

В настоящем Приложении представлен материал, предназначенный для облегчения применения настоящей Рекомендации при планировании и проектировании новых систем в полосах частот 2025–2110 МГц и 2200–2290 МГц, используемых совместно со службами СКИ, СКЭ и ССИЗ (космические научные службы).

2 Общие требования

В п. 1 раздела *рекомендует* настоящей Рекомендации указаны общие требования к системам фиксированной службы, касающиеся АРМП, спектральной плотности мощности передатчика и диаграмм направленности передающих антенн. Эти требования отражают сложную ситуацию в области совместного использования частот фиксированной службой и космическими научными службами, работающими в полосах частот 2025–2110 МГц и 2200–2290 МГц.

2.1 АРМП

В передатчике системы фиксированной службы, когда это практически осуществимо, должна использоваться АРМП, так чтобы средняя мощность была минимум на 10 дБ ниже максимальной мощности передатчика.

Следует отметить, что п. 2.1 раздела *рекомендует* применяется к передатчикам, в которых используется АРМП, в качестве исключения из положений п. 2 раздела *рекомендует*.

2.2 Спектральная плотность мощности передатчика

В передатчике системы фиксированной службы должна использоваться наименьшая практически возможная спектральная плотность мощности. Это требование может применяться к любым передатчикам фиксированной службы, но оно является особенно важным в полосах частот 2025–2110 МГц и 2200–2290 МГц.

2.3 Диаграммы направленности антенн

В системе фиксированной службы, когда это практически возможно, должны использоваться передающие антенны с хорошими диаграммами направленности и с учетом Рекомендации МСЭ-R F.699.

В п. 2.1 раздела *рекомендует* приводится максимальное значение спектральной плотности э.и.и.м. для станций системы фиксированной службы для связи Р-Р в направлении определенных местоположений геостационарных СРД. Диаграммы направленности антенн являются ключевым моментом при определении такой спектральной плотности э.и.и.м.

3 Станции системы фиксированной службы для связи пункта с пунктом

В п. 2 раздела *рекомендует* приводятся предельные уровни применительно к станциям системы фиксированной службы для связи Р-Р, работающим в полосе 2200–2290 МГц, для того чтобы обеспечить защиту местоположений геостационарных СРД, которые указаны в Рекомендации МСЭ-R SA.1275 как местоположения для существующих или планируемых СРД.

Данное требование также применяется к линиям связи Р-Р между системами Р-МР или в пределах таких систем, а также к удаленным станциям систем Р-МР, в которых используются направленные антенны с максимальным усилением выше 14 дБи (см. Примечания 1 и 3 в основном тексте).

Следует отметить, что п. 2 раздела *рекомендует* не применяется к системе фиксированной службы, работающей в полосе 2025–2110 МГц, потому что для приема спутником СРД предусматривается использовать, главным образом, полосу 2200–2290 МГц (см. Рекомендацию МСЭ-R SA.1155).

3.1 Спектральная плотность э.и.и.м. в направлении местоположения геостационарного СРД

Станции системы фиксированной службы для связи Р-Р, работающие в полосе частот 2200–2290 МГц, насколько это практически возможно, должны не допускать излучения со спектральной плотностью э.и.и.м., превышающей +8 дБ(Вт/МГц) в направлении местоположений геостационарных СРД (см. п. 2 раздела *рекомендует*).

Спектральная плотность э.и.и.м., излучаемая в направлении местоположения геостационарного СРД, должна вычисляться как произведение спектральной плотности передаваемой мощности (на входе антенны) и усиления антенны в направлении местоположения СРД.

Для оценки такого усиления антенны необходимо вычислить углы разноса между лучами передающей антенны системы фиксированной службы и местоположениями геостационарных СРД, а также сделать предположение в отношении определенных диаграмм направленности антенн.

Метод расчета углов разноса приведен в Приложении 2 к Рекомендации МСЭ-R F.1249. В этом методе учитывается влияние рефракции в атмосфере и местного горизонта.

Для определения соответствующего усиления антенны следует использовать диаграмму направленности реальной антенны (на которой отображена огибающая пиковых уровней боковых лепестков), если она имеется. При отсутствии таких данных должна использоваться эталонная диаграмма направленности, приведенная в Рекомендации МСЭ-R F.699.

3.2 Передатчики, в которых используется АРМП

Спектральная плотность э.и.и.м. станций системы фиксированной службы, работающих в полосе 2200–2290 МГц, в которых используется АРМП, может превышать уровень +8 дБ(Вт/МГц) в направлении указанного местоположения геостационарного СРД в течение менее 0,1% времени месяца (см. п. 2.1 раздела *рекомендует*).

Однако в Примечании 8 основного текста признается, что в определенных системах, в которых включается АРМП, вызванное глубокими замираниями, могут возникнуть трудности с соблюдением качественных показателей в условиях неглубоких замираний. Это связано с тем, что для восстановления качественных показателей во время этих неглубоких замираний может потребоваться включение АРМП в течение процента времени, превышающего 0,1% времени месяца. В связи с этим в Примечании 8 приводится смягченное требование о том, что спектральная плотность э.и.и.м. (в направлении указанного местоположения геостационарного СРД) станций системы фиксированной службы, использующих АРМП и работающих в нижней части полосы 2200–2290 МГц, предпочтительно – в полосе 2200–2245 МГц, может превышать уровень +8 дБ(Вт/МГц) в течение менее 5% времени месяца, для того чтобы обеспечивалось восстановление качественных показателей во время неглубоких замираний, однако процент времени, в течение которого превышает уровень +11 дБ(Вт/МГц), должен быть менее 0,1%.

3.3 Исключительные случаи

Станции системы фиксированной службы, которые не могут соответствовать п. 2 раздела *рекомендует*, должны работать в нижней части полосы 2200–2290 МГц (см. п. 2.2 раздела *рекомендует*).

Это связано с тем, что использование полосы 2200–2290 МГц предусматривается главным образом для приема спутником СРД.

4 Станции системы фиксированной службы для связи Р-МР

4.1 Плотность э.и.и.м.

Станции системы фиксированной службы для Р-МР, работающие в полосах частот 2025–2110 МГц и 2200–2290 МГц, когда это практически осуществимо, должны не допускать излучения с плотностью э.и.и.м. на линию, превышающей 5 дБ(Вт/МГц), как для центральных, так и удаленных станций систем большой мощности/низкой плотности в течение более 0,1% времени месяца с учетом АРМП (см. п. 3.1 раздела *рекомендует*).

Следует отметить, что п. 2 раздела *рекомендует* применяется к линиям связи Р-Р между системами Р-МР или в пределах таких систем, а также к удаленным станциям систем Р-МР, в которых используются направленные антенны с максимальным усилением выше 14 дБи (см. Примечания 1 и 3 в основном тексте).

В Примечании 4 в основном тексте определяется, что в системе связи Р-МР большой мощности/низкой плотности, работающей в режимах прерывистой передачи, таких как МДВР, удаленные станции могут увеличивать уровни плотности своей э.и.и.м. на коэффициент, который соответствует числу абонентов, подключенных к удаленным станциям, принадлежащим к центральной станции, – максимум до 9 дБ(Вт/МГц) (см. п. 3.7 Приложения 1).

В Примечании 5 в основном тексте дается ссылка на системы малой мощности/высокой плотности.

4.2 Всенаправленные передающие антенны центральной станции

В системах связи Р-МР должны использоваться на центральной станции всенаправленные передающие антенны с минимальным усилением в направлениях выше горизонтальной плоскости (см. п. 3.2 раздела *рекомендует*).
