

Международный союз электросвязи

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R RA.1031-3
(12/2021)

**Защита радиоастрономической службы
в полосах частот, используемых
совместно с активными службами**

Серия RA
Радиоастрономия



Международный
союз
электросвязи

Предисловие

Роль Сектора радиосвязи заключается в обеспечении рационального, справедливого, эффективного и экономичного использования радиочастотного спектра всеми службами радиосвязи, включая спутниковые службы, и проведении в неограниченном частотном диапазоне исследований, на основании которых принимаются Рекомендации.

Всемирные и региональные конференции радиосвязи и ассамблеи радиосвязи при поддержке исследовательских комиссий выполняют регламентарную и политическую функции Сектора радиосвязи.

Политика в области прав интеллектуальной собственности (ПИС)

Политика МСЭ-R в области ПИС излагается в общей патентной политике МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК, упоминаемой в Резолюции МСЭ-R 1. Формы, которые владельцам патентов следует использовать для представления патентных заявлений и деклараций о лицензировании, представлены по адресу: <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>, где также содержатся Руководящие принципы по выполнению общей патентной политики МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК и база данных патентной информации МСЭ-R.

Серии Рекомендаций МСЭ-R

(Представлены также в онлайн-форме по адресу: <http://www.itu.int/publ/R-REC/en>.)

Серия	Название
BO	Спутниковое радиовещание
BR	Запись для производства, архивирования и воспроизведения; пленки для телевидения
BS	Радиовещательная служба (звуковая)
BT	Радиовещательная служба (телевизионная)
F	Фиксированная служба
M	Подвижные службы, служба радиоопределения, любительская служба и относящиеся к ним спутниковые службы
P	Распространение радиоволн
RA	Радиоастрономия
RS	Системы дистанционного зондирования
S	Фиксированная спутниковая служба
SA	Космические применения и метеорология
SF	Совместное использование частот и координация между системами фиксированной спутниковой службы и фиксированной службы
SM	Управление использованием спектра
AND	Спутниковый сбор новостей
TO	Передача сигналов времени и эталонных частот
V	Словарь и связанные с ним вопросы

Примечание. – Настоящая Рекомендация МСЭ-R утверждена на английском языке в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции МСЭ-R 1.

Электронная публикация
Женева, 2022 г.

© ITU 2022

Все права сохранены. Ни одна из частей данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких бы то ни было средств без предварительного письменного разрешения МСЭ.

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R RA.1031-3

**Защита радиоастрономической службы в полосах частот,
используемых совместно с активными службами**

(Вопрос МСЭ-R 145/7)

(1994-1995-2007-2021)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации содержится практическое руководство для случая, когда в ходе переговоров одна или несколько администраций устанавливают зоны координации вокруг радиоастрономических станций для защиты радиоастрономической службы от помех, создаваемых наземными службами радиосвязи или передающими земным станциям, применяемыми для космических служб радиосвязи, которые совместно используют полосы частот с радиоастрономической службой.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a)* что радиоастрономическая служба основана на приеме естественных излучений с уровнями мощности, которые много меньше, чем обычно используемые другими радиослужбами, и что, таким образом, радиоастрономическая служба особенно подвержена помехам со стороны передатчиков, работающих в тех же полосах частот;
- b)* что многие полосы частот, распределенные радиоастрономической службе, распределены другим службам, ведущим передачи в этих же полосах;
- c)* что защита от помех необходима для развития радиоастрономической службы и что в Рекомендации МСЭ-R RA.314 приведены предпочтительные полосы частот для радиоастрономии;
- d)* что в соответствующих Рекомендациях МСЭ-R серии RA приведены пороговые уровни помех, вредных для радиоастрономической службы, и уровни критерия потери данных;
- e)* что при разработке критериев совместного использования частот может потребоваться учет подробных характеристик помех и конкретного вида радиоастрономических измерений;
- f)* что места расположения радиоастрономических станций тщательно подобраны и что характеристики местоположения могут сильно влиять на расчеты совместного использования частот;
- g)* что совместное использование частот обычно невозможно для передатчиков, расположенных в пределах прямой видимости радиоастрономической антенны,

рекомендует,

1 чтобы при присвоении частот службам, которые используют полосы частот совместно с радиоастрономической службой, администрации предпринимали все необходимые меры для избежания помех, вредных для радиоастрономической службы;

2 чтобы принималась во внимание защита месторасположения радиоастрономических станций от помех со стороны передатчиков, используемых для наземной радиосвязи, или со стороны передающих земных станций, применяемых для космической радиосвязи, в совместно используемых на равных правах с радиоастрономической службой полосах частот путем установления координационных зон вокруг мест расположения радиоастрономических станций;

3 чтобы размеры координационной зоны рассчитывались с учетом методики, приведенной в Приложении 1.

Приложение I

Вопросы координации

1 Общие сведения

Места расположения радиоастрономических станций специально выбираются так, чтобы свести к минимуму помехи от расположенных на Земле передатчиков. Эти местоположения обычно находятся на значительном удалении от главных неподвижных источников наземных помех и могут экранироваться возвышенностями окружающего рельефа.

Многие типы радиоастрономических измерений могут осуществляться при уровнях помех со стороны служб, использующих те же полосы частот, которые превышают эти пороги в течение 2% времени проведения измерений, в предположении отсутствия другого механизма потерь данных. Однако некоторые другие виды измерений, такие как наблюдения быстропеременных явлений, а также измерения, зависящие от одновременных наблюдений сразу из многих точек Земли, могут быть сильно искажены помехами, появившимися в неподходящие моменты времени.

2 Пространственный разнос, требуемый для совместного использования частот

Для того чтобы совместное использование географического расположения было успешным, создающий помехи передатчик и подверженный помехам приемник должны быть разделены расстоянием, при котором помехи перестают считаться вредными. Приложение 7 Регламента радиосвязи определяет основные потери передачи $L_b(p)$ как:

$$L_b(p) = P_t + G_t + G_r - P_r(p), \quad (1)$$

где:

- $L_b(p)$: минимальные допустимые основные потери при передаче в течение $p\%$ времени; реальные потери при передаче не должны превышать эту величину в течение $p\%$ времени (дБ);
- P_t : уровень мощности передачи в эталонной полосе частот на входе антенны (дБВт);
- G_t : коэффициент усиления передающей антенны в направлении радиоастрономической антенны (дБи);
- G_r : коэффициент усиления приемной радиоастрономической антенны в направлении передатчика (дБи);
- $P_r(p)$: максимальный допустимый уровень мощности мешающего сигнала в эталонной полосе частот, который на входе приемника не должен превышать более чем в течение $p\%$ времени (дБВт).

Однако в случае радиоастрономической обсерватории мощность принимаемых сигналов интегрируется за период T в целях достижения лучшей чувствительности. В следующих пунктах результат этого интегрирования называется наблюдением.

Мощность сигнала источника помех, принимаемого в ходе наблюдения, может быть выражена следующим образом:

$$I = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{P_t(i) \cdot G_t(i) \cdot G_r(i)}{L_p(i)}, \quad (2)$$

где величины ниже выражены в линейной форме:

- $L_p(i)$: потери при распространении в момент i ;
- $P_t(i)$: уровень мощности передаваемого сигнала в пределах ширины полосы радиоастрономической службы на входе антенны в момент i (W);

- $G_t(i)$: коэффициент усиления передающей антенны в направлении антенны радиоастрономической службы в момент i ;
- $G_r(i)$: коэффициент усиления антенны радиоастрономической службы в направлении передатчика в момент i ;
- N : число выборок за время интегрирования T ;
- I : мощность помех в эталонной ширине полосы на входе приемника, усредненная за период наблюдения T (W).

Обычно расчет выполняется за период интегрирования T , равный 2000 секунд. В течение этого периода времени некоторые параметры могут изменяться. Например, если в передатчике используется управление мощностью или если передатчик не работает в течение всего периода наблюдения (включается от голоса), P_t может изменяться.

Если передатчиком является земная станция, следящая за спутником, то G_t может также изменяться. Радиоастрономическая станция может отслеживать тот или иной небесный объект, и поэтому G_r может также изменяться. В течение данного периода времени L_p может также изменяться под влиянием атмосферных условий, таких как дождь.

Наблюдения, выполненные за данное время интегрирования, считаются потерянными, если мощность принимаемых сигналов помех I , усредненная за T , превышает величину, заданную в Рекомендации МСЭ-R RA.769.

Затем необходимо произвести расчет по нескольким периодам времени, чтобы убедиться, что процент потерянных исследований не превышает критерия 2%, указанного в Рекомендации МСЭ-R RA.1513.

2.1 Одиночный источник помех с постоянной э.и.м. при постоянных потерях при распространении

Если э.и.м. передатчика, вызывающего помехи, является постоянной (т. е. P_t и G_t постоянные), частота достаточно низкой, а передатчик фиксированным (так чтобы мы могли считать L_p постоянной величиной), то единственной переменной по всем наблюдениям является G_r . В целях упрощения расчета считаем радиоастрономическую антенну фиксированной в течение наблюдения.

Затем можно применить методику, приведенную в Рекомендации МСЭ-R M.1583, для получения статистических данных о коэффициенте усиления антенны радиоастрономической станции.

Кривые, представленные на рисунке 1, были получены для частоты 1,4 ГГц с использованием диаграммы направленности большой антенны, приведенной в Рекомендации МСЭ-R SA.509, и антенны диаметром 100 м. Угол места передатчика, наблюдаемый с места расположения радиотелескопа, был принят равным 0 градусов. Эти кривые не изменяются при рассмотрении других полос частот или диаметров антенны.

РИСУНОК 1

Коэффициент усиления антенны радиоастрономической службы
в направлении передатчика при угле места 0°

(Единичная помеха (Рек. МСЭ-R SA.509))

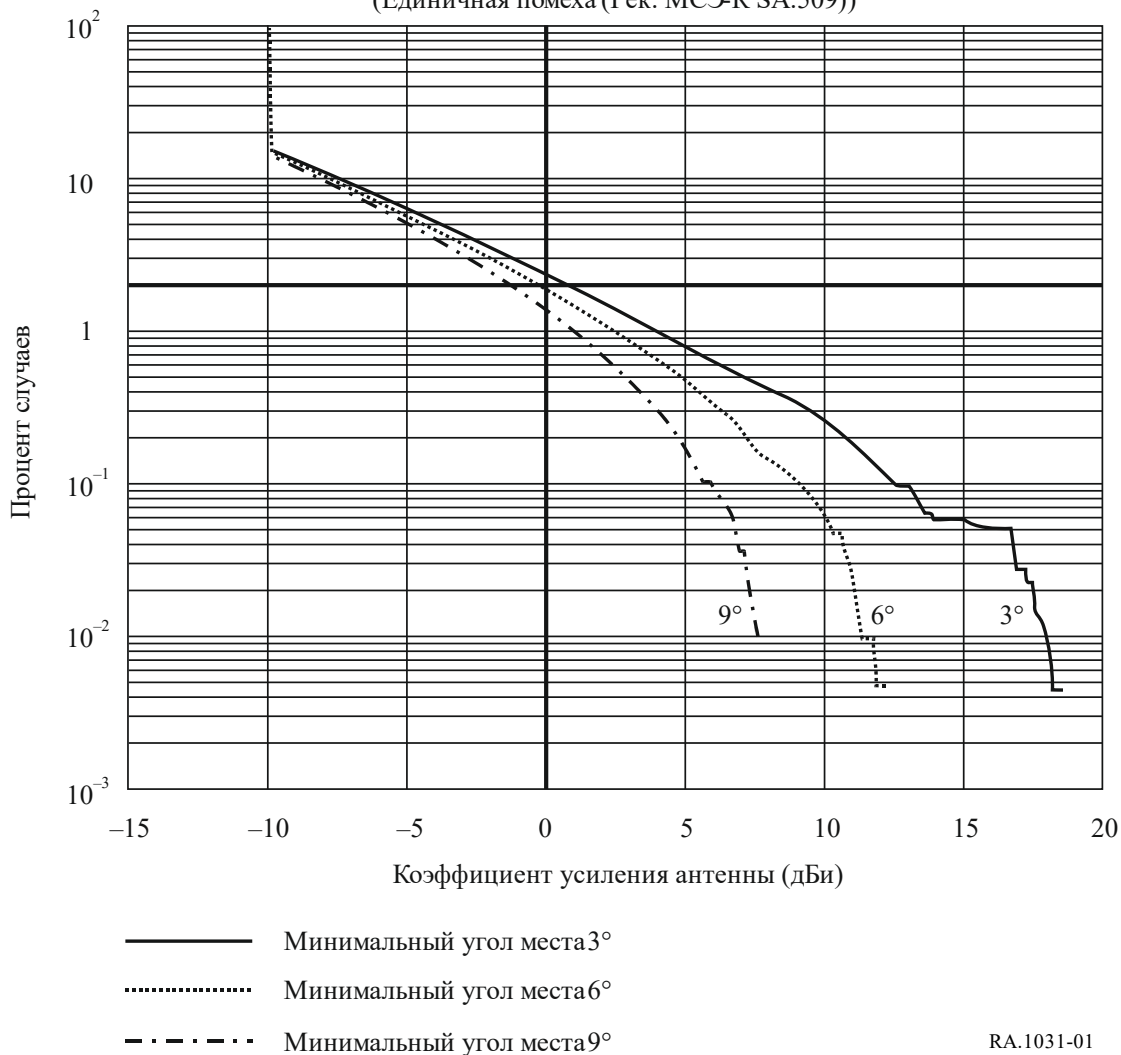


Рисунок 1 показывает, что допустимо считать значение коэффициента усиления антенны, соответствующее 2% потерь данных, равным 0 дБи. Неизбежные потери при распространении задаются тогда уравнением (3):

$$L = EIRP - \Delta P_H, \quad (3)$$

где:

$EIRP$: э.и.м. передатчика (дБВт);

ΔP_H : уровень по Рекомендации МСЭ-R RA.769 (дБВт).

2.2 Другие случаи

Для охвата других случаев, например изменяющихся потерь при распространении или изменяющейся мощности передатчика или изменяющегося коэффициента усиления антенны в направлении радиоастрономической станции, может быть необходимо использовать средства моделирования, например метод Монте-Карло.

3 Совместное использование частот в пределах прямой видимости

Для источника помех, осуществляющего передачу в пределах прямой видимости в той же полосе частот, в которой ведет наблюдение радиоастрономическая станция, L_p имеет простую аналитическую форму, и уравнение (3) может быть записано как:

$$20 \log(4\pi d) = 20 \log \lambda + EIRP - \Delta P_H, \quad (4)$$

где:

d : расстояние между передатчиком и приемником (м);

λ : длина волны (м);

ΔP_H : пороговый уровень, определенный в Рекомендации МСЭ-R RA.769 (дБВт).

В радиоастрономии вряд ли возможно успешное совмещение полос частот с любыми активными службами, передатчики которых находятся в пределах прямой видимости радиоастрономической антенны. Рисунок 2 иллюстрирует этот факт. Максимальная э.и.и.м., которая не наносит ущерба радиоастрономической службе при воздействии помех, была вычислена с использованием уравнений (3) и (4) для двух расстояний. Первое расстояние соответствует наземному передатчику, расположенному на большом расстоянии в пределах прямой видимости, а именно передатчику на борту воздушного судна на высоте 20 км по горизонту. Второе расстояние соответствует расстоянию до геостационарной орбиты и, таким образом, представляет собой максимальное расстояние до большинства передатчиков на борту космических станций, кроме используемых в программах исследования дальнего космоса. В случае наземного передатчика были использованы уровни помех, приведенные в таблице 1 Рекомендации МСЭ-R RA.769. В случае передатчика на геостационарной орбите для проведения наблюдений в пределах 5° от находящегося на этой орбите спутника требуется дополнительная защита в 15 дБ. Кривые применимы для чистой сухой атмосферы.

Из рисунка 2 видно, что совместное использование полосы частот с наземным передатчиком, находящимся в пределах прямой видимости, вряд ли возможно на частотах ниже 10 ГГц из-за строгих ограничений, которые совместное использование частот налагало бы в этом случае на э.и.и.м. передатчика. Даже на частотах выше 40 ГГц для возможности совместного использования частот либо мощность передатчика должна быть порядка нескольких милливатт, либо передающая антенна должна обеспечивать высокую избирательность в направлении радиоастрономической антенны.

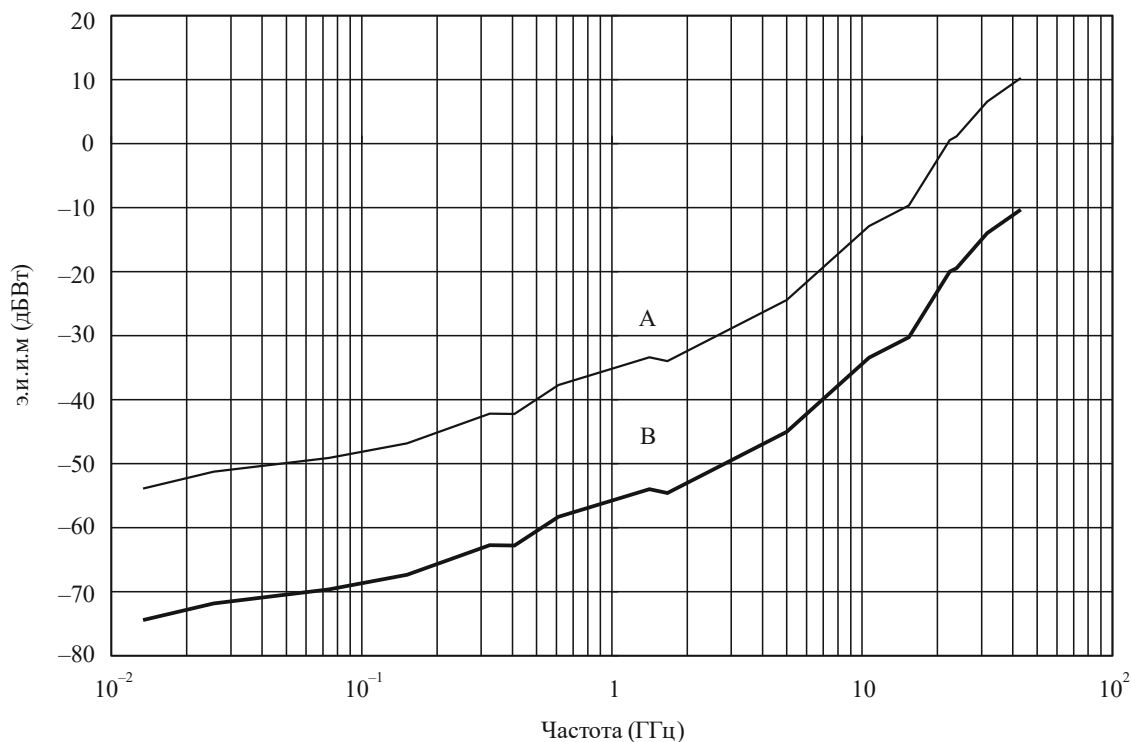
4 Совместное использование частот за пределами прямой видимости с использованием координационных зон

Установление координационных зон вокруг радиоастрономических объектов представляет собой метод, позволяющий избежать действия помех, создаваемых передатчиками, применяемыми в наземной радиосвязи или на земных станциях космической радиосвязи, при совместном использовании частот за пределами прямой видимости.

Координационная зона вокруг радиоастрономической станции определяется как область, внутри которой суммарное излучение находящихся за ее пределами передатчиков удовлетворяет уровням критериев потери данных, приведенных в Рекомендации МСЭ-R RA.1513.

Размер координационной зоны зависит от ряда факторов. Тип радиотелескопа (однозеркальная антенна или интерферометрия со сверхдлинной базой (VLBI) определяет соответствующие пороги помех, приведенные в Рекомендации МСЭ-R RA.769. Количество и распределение передатчиков вне зоны, э.и.и.м. передачи в направлении радиоастрономической станции, доля времени, в течение которого они работают, а также характеристики прохождения определяют плотность потока мощности помех в месте расположения радиоастрономической станции. Характеристики прохождения зависят от таких факторов, как профиль местности, наличие деревьев и атмосферные условия. Должны использоваться самые новые модели распространения, такие как содержащиеся в Рекомендациях МСЭ-R P.452, P.526 и P.617.

РИСУНОК 2
Э.и.и.м. как функция частоты



RA.1031-02

Примечание к рисунку 2. — Э.и.и.м., при превышении которой невозможно совместное использование частот радиоастрономической службой и активными службами с передатчиками в пределах прямой видимости радиоастрономической антенны, показана для двух случаев. Эталонные значения полосы частот для э.и.и.м. передатчика и радиоастрономического приемника соответствуют значениям ширины полосы, распределенным радиоастрономической службе. Кривая А представляет результаты для передатчика, находящегося на геостационарной орбите; кривая В показывает результаты для наземного передатчика, расположенного в пределах прямой видимости на расстоянии 600 км.

Вследствие влияния ряда факторов границы координационных зон должны устанавливаться индивидуально для каждой радиоастрономической станции, для которой требуется такая зона. Следует иметь в виду, что координационное расстояние в некоторых случаях должно составлять 100 км и более. Для некоторых небольших стран требуемая координационная зона может простирается за пределы национальных границ в страны, где распределение частот может быть другим. Следовательно, может оказаться необходимым применение специальных условий при определении координационных зон для защиты радиоастрономической службы.

Координационная зона определяет область вокруг радиоастрономической обсерватории, за пределами которой пользователи активной службы могут свободно осуществлять передачу, не вызывая помех, наносящих ущерб радиоастрономическим наблюдениям. Для пользователей внутри координационной зоны должны быть найдены технические средства, позволяющие избежать таких помех.

В принципе, координационные зоны могут быть установлены также для защиты радиоастрономических станций от подвижных передатчиков. В этом случае подвижный передатчик должен быть оснащен некоторыми средствами определения факта его вхождения в координационную зону и некоторыми средствами для уменьшения мощности сигнала, принимаемого в месте расположения радиоастрономической станции, до уровня ниже порога вредных помех.

В случае подвижных передатчиков, находящихся на воздушном судне, размеры координационных зон должны быть намного большими, чем для расположенных на земной поверхности передатчиков, так как область распространения сигналов в пределах прямой видимости простирается при этом на значительно большие расстояния и растет с увеличением высоты нахождения воздушного судна.