

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R RA.611-4*, **

Защита радиоастрономической службы от побочных излучений

(Вопрос МСЭ-R 145/7)

(1986-1990-1992-2003-2006)

Сфера применения

В данной Рекомендации содержится руководство для администраций и/или операторов по защите радиоастрономической службы от помех, создаваемых побочными излучениями, которые могут быть вызваны активными службами с распределениями в полосах частот, смежных или соседних с полосой частот радиоастрономической службы (РАС).

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что радиоастрономия продолжает находиться на передовой линии развития научных знаний;
- b) что радиоастрономической службе (РАС) требуются полосы частот, свободные от помех, для того чтобы выполнять астрономические наблюдения;
- c) что возрастающее использование спектра радиочастот, особенно в космосе, увеличивает вероятность помех, вредных для радиоастрономической службы (РАС), создаваемых побочными излучениями (см. Приложение 1 к данной Рекомендации);
- d) что использование определенных методов модуляции с недостаточной фильтрацией побочных составляющих может влиять на радиоастрономические полосы частот, значительно удаленные от полезной полосы излучения;
- e) что в Приложении 3 к Регламенту радиосвязи (РР) установлены максимальные разрешенные уровни побочного излучения и предложены на рассмотрение более строгие уровни побочного излучения для достаточной защиты станций в РАС;
- f) что в отношении радио систем, использующих цифровой метод модуляции, уровни побочного излучения, указанные в Приложении 3 к РР, не могут применяться, но могут использоваться как руководство. Можно отметить, что защита РАС от побочных излучений, возникающих при применении широкополосной цифровой модуляции, рассмотрена в Рекомендации МСЭ-R RA.1237;
- g) что радиоастрономические наблюдения проводятся в полосах частот до 1000 ГГц;
- h) что пороговые уровни помех, вредных для РАС, приведены в Приложении 1 к Рекомендации МСЭ-R RA.769;
- j) что в Рекомендации МСЭ-R RA.1513 представлены допустимые уровни потерь данных для радиоастрономических наблюдений и процентно-временной критерий, возникающий при ухудшении от помех для полос частот, распределенных для РАС на первичной основе;

* Примечание. – Уровни вредных помех для РАС, на которые дается ссылка в Приложении 1 Рекомендации МСЭ-R RA.769, не приняты арабскими администрациями, как являющиеся нереалистичными, что было подтверждено на предыдущих Конференциях радиосвязи в 1995, 1997 и 2000 гг., занимавшихся Рекомендацией 66 РР.

** В 2017 году 7-я Исследовательская комиссия по радиосвязи внесла редакционные поправки в настоящую Рекомендацию в соответствии с Резолюцией МСЭ-R 1.

к) что технические критерии для случая помех, вредных для радиоастрономической службы из-за побочного излучения от передатчиков на космических станциях на ГСО (геостационарной орбите) должны, в отношении РАС, совпадать с критериями, изложенными в Приложении 1 к Рекомендации МСЭ-R RA.769, давая возможность проводить радиоастрономические наблюдения в пределах 5° или более от ГСО;

l) что достигнуты успехи по учету требований РАС без вредного воздействия на другие службы;

m) что продолжают осуществляться усовершенствования в конструкциях антенн и методах для фильтрации побочного излучения,

рекомендует,

1 чтобы радиоастрономические обсерватории продолжали размещаться в местах, где имеется хорошая естественная защита от помех, которые могут быть вредными для РАС;

2 чтобы все возможные усилия направлялись на минимизацию коэффициента усиления боковых лепестков радиоастрономических антенн;

3 чтобы при вводе в эксплуатацию станций администрации учитывали, в максимальной возможной степени, помехи для радиоастрономических наблюдений из-за побочных излучений от наземных станций большой мощности или от космических станций;

4 чтобы в отношении космических станций на ГСО администрации учитывали, в максимальной возможной степени, что целью РАС является освобождение от помех, вредных для РАС (см. Рекомендацию МСЭ-R RA.769), создаваемых побочными излучениями при наблюдении в пределах 5° или более от ГСО.

Приложение 1

Помехи в радиоастрономических службах от побочных излучений

1 Критерии защиты для РАС

Предел чувствительности большинства радиоастрономических наблюдений находится на уровне п.п.м. (плотности потока мощности), который ниже используемого для приема сигналов радиосвязи. В Приложении 1 к Рекомендации МСЭ-R RA.769 обсуждаются пороговые уровни помех и критерии защиты для совместного использования частот РАС и другими службами; в таблицах 1, 2 и 3 приведены пределы чувствительности для разных частот. Однако помехи, вредные для РАС, могут также возникать от передатчиков которые не используют ту же самую полосу частот, которая может быть классифицирована как помеха смежной полосы (см. Рекомендацию МСЭ-R RA.517) и помеха от побочного излучения передатчиков в других полосах частот. Если все прочие параметры идентичны, эффект от побочного излучения из-за широкополосной цифровой модуляции, использующей методы расширения спектра в передатчике, будет более жестким и рассмотрен в Рекомендации МСЭ-R RA.1237.

2 Гармонические и интермодуляционные помехи

Помехи от гармонического излучения или от интермодуляции двух или более сигналов могут быть вызваны передатчиками, хорошо разнесенными по частоте от радиоастрономической полосы частот. Аналогично, помехи от недостаточно отфильтрованных сигналов с цифровой модуляцией (например, с широким диапазоном) могут оказывать влияние на радиоастрономические полосы, удаленные от несущей частоты.

Гармонические помехи могут возникать в любой полосе частот и главным образом создаются на стадиях выходного усилителя мощности передатчиков. Вторая и третья гармоники несущей частоты могут приходиться на довольно высокий уровень, но передатчики обычно снабжены фильтрами

(настроенными фильтрами или фильтрами нижних частот), которые ослабляют все гармоники на выходе передатчика не менее чем до 60 дБ ниже пиковой мощности. Интермодуляция несущей будет также возникать, когда часть сигнала от одного передатчика пробивает объединяющие фильтры на выходной цепи другого передатчика, питающего общую антенну. Относительно простые дополнительные фильтры ослабили бы данные нежелательные результаты, полагая, что они не находятся слишком близко по частоте к передатчику.

Уровни, описанные в предыдущем абзаце, применяются к помехам, создаваемым на выходных стадиях передатчиков. Кроме того, гармонические и интермодуляционные результаты могут создаваться нелинейностью в системах передатчиков¹.

3 Нежелательное излучение от широкополосной модуляции

В некоторых видах направленных передач, часто связанных с данными в цифровой форме, спектральные боковые полосы создаются на гораздо более широкой полосе частот, чем полоса частот, используемая при приеме таких сигналов. В частности, метод модуляции двухфазной фазовой манипуляции (2-PSK) создает спектр мощности формы $(\sin x/x)^2$ с периодической вспомогательной максимумой за пределами желаемой ширины полосы, которая уменьшается медленно только с частотой. При отсутствии фильтрации боковые полосы, возникающие приблизительно на расстоянии около десяти ширин полосы (3 дБ) от несущей частоты, уменьшаются в спектральной плотности мощности всего лишь до значения приблизительно 36 дБ ниже уровня мощности в центре полосы. Если, кроме того, частота манипуляции данной передачи 2-PSK составляет 10–20 МГц, тогда эти десять ширин полосы пропускания охватывают несколько сотен мегагерц из присвоенной частоты. Например, представим простой передатчик 2-PSK с частотой манипуляции 10 МГц, с центром в 1615 МГц, с мощностью 40 Вт и изотропной передающей антенной, установленной на воздушном летательном аппарате в пределах прямой видимости на расстоянии 400 км, что является расстоянием до горизонта при полете аппарата на высоте около 10 000 м. Нежелательное излучение от этого передатчика приведет к уровню п.п.м. в полосе 1400–1427 МГц на стороне приемника, что на 40 дБ выше пороговых уровней помех, вредных для РАС, приведенных в таблице 1 Приложения 1 к Рекомендации МСЭ-R RA.769. Излучение в полосе 1660–1670 МГц, также распределенной для радиоастрономии, будет, разумеется, на значительно более высоком уровне. Передатчики данного типа, расположенные на борту космического корабля, могут быть даже более мешающим источником помех для радиоастрономии. Важно тщательно осуществлять проектирование данных типов передатчиков, для того чтобы обеспечивалось достаточное подавление нежелательного излучения.

2-PSK с частотой модуляции порядка нескольких мегагерц используется в некоторых видах модуляции с расширением спектра. Отличительной особенностью общих методов расширения спектра является широкополосный сигнал с низкой плотностью мощности, который напоминает случайный шум. Данная особенность, как правило, снижает вероятность того, что данные системы с расширенным спектром причинят помехи стандартным узкополосным системам связи, но не РАС. В радиоастрономии космические сигналы имеют форму случайного шума и часто используются широкие полосы пропускания. При низких уровнях сигналов, которые представляют интерес для радиоастрономов, как правило, обычно не существует практического способа различить сигналы с расширенным спектром и космические сигналы. Вредные пороговые уровни п.п.м. для искусственных сигналов, попадающих в пределы радиоастрономической полосы частот, приведенные в Приложении 1 к Рекомендации МСЭ-R RA.769, применяются как для нежелательного, так и намеренного излучения, а также для всех типов модуляции, включая описанный выше. Существующие технологии позволяют разработать новое поколение таких передатчиков, которые обеспечивают необходимое подавление нежелательного внеполосного излучения. Такие передатчики могли бы хорошо работать без значительных излучений в боковую полосу, если фаза несущей частоты резко не меняется на 180°, в схеме модуляции 2-PSK, а гораздо более плавно, чтобы создавать спектр мощности формы $(\sin x/x)^n$, где $n > 2$.

¹ Дополнительная техническая информация по данному вопросу находится на веб-сайте РГ 7D МСЭ-R.

4 Помехи от спутниковых передач

Спутниковые передачи потенциально могут вызывать серьезные помехи для РАС. Поскольку источники наземных помех обычно находятся далеко в области боковых долей антенны радиотелескопа и, возможно, еще более ослабляются за счет рельефа окрестностей радиообсерватории, помехи от спутниковых передатчиков, возможно, будут приняты с помощью главного лепестка и внутренних боковых лепестков, со значительно большим усилением. Характер помех зависит от типа передатчика и услуг, предоставляемых системой, находятся ли спутники на ГСО или не на ГСО, а также числа спутников в рассматриваемой системе, которые выше уровня горизонта радиообсерватории.

4.1 Геостационарные спутники

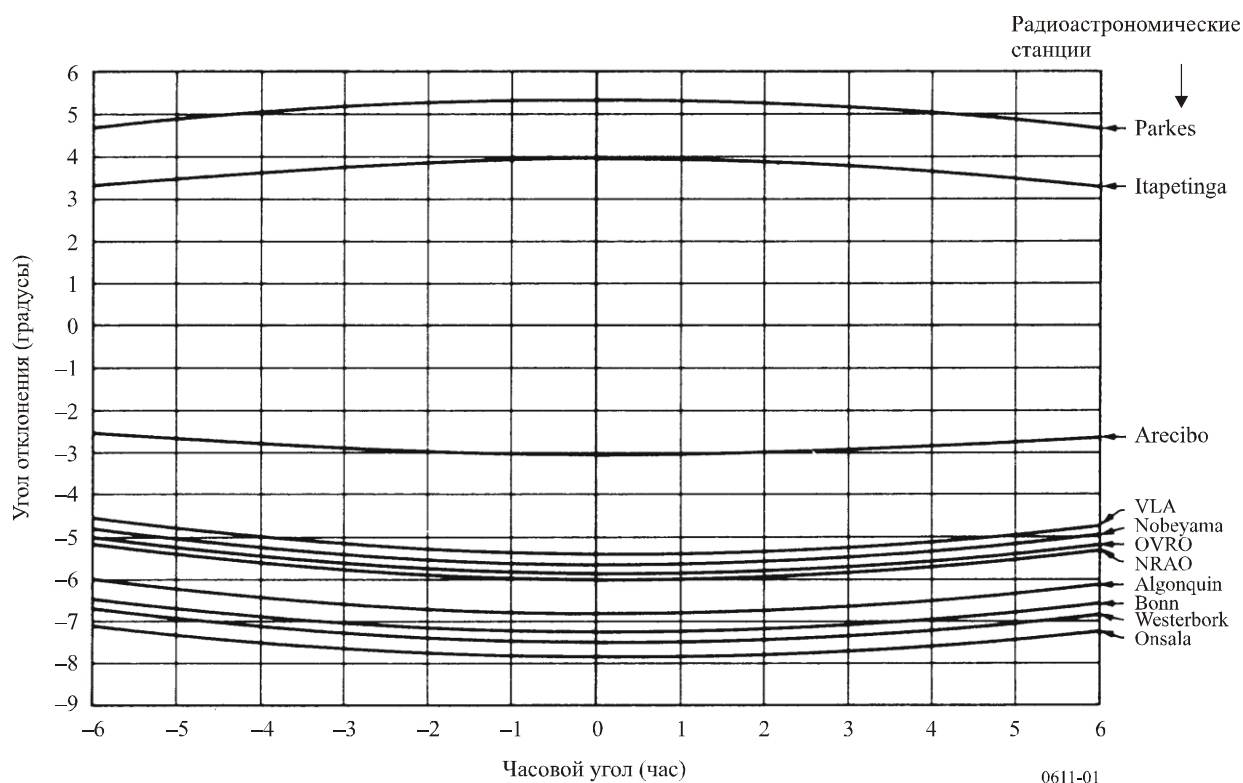
Многочисленные геостационарные спутники видны практически всеми радиотелескопами, работающими в настоящее время, и занимают более или менее постоянную область по азимуту и возвышению. Поэтому они могут быть мешающими источниками помех для радиоастрономических наблюдений. Радиус ГСО приблизительно равен 6,6 радиусов Земли. На таком радиальном расстоянии один спутник может облучать треть поверхности Земли и, следовательно, множество радиотелескопов с сигналами в прямой видимости. На рисунке 1 показано положение пояса геостационарных спутников в астрономических координатах, как их можно видеть с широты некоторых крупных радиоастрономических обсерваторий. Планы развития некоторых активных служб свидетельствуют о необходимости большего числа геостационарных спутников. Такой набор возможных источников помех, которые могут быть приняты через ближайшие боковые лепестки диаграммы направленности антенны радиотелескопа, представляет собой исключительную проблему для радиоастрономов.

Пороговые уровни побочных помех, которые могут быть вредными для радиоастрономии, приведен в Приложении 1 к Рекомендации МСЭ-R RA.769. Для каждой радиоастрономической полосы частот в нем представлен уровень мощности в приемнике, достаточный, чтобы вызывать помехи, которые будут вредными для работы. Также приведены значения эквивалентной п.п.м. ($\text{дБ}(\text{Вт}/\text{м}^2)$), соответствующей данной помехе, которая рассчитывается при допущении, что усиление радиотелескопа равно 0 дБи в направлении источника помех. Такое усиление уместно для рассмотрения для наземных источников помех, находящихся вблизи горизонта. В случае с геостационарными спутниками ситуация меняется.

Если мы предположим, что радиоастрономическая антенна имеет характеристики боковых лепестков, предложенные в Рекомендации МСЭ-R SA.509, усиление боковых лепестков упадет до 0 дБи на 19° от оси главного лепестка. Для такой антенны уровень помех, вредных для РАС, будет превышен, если главный лепесток наведен в пределах 19° спутника, который в пределах радиоастрономической ширины полосы производит п.п.м. у радиообсерваторий, равный вредному порогу, приведенному в Приложении 1 к Рекомендации МСЭ-R RA.769. Ряд спутников, расположенных с интервалами приблизительно 30° вдоль ГСО, излучающих помехи на этом уровне, приведет к созданию области с шириной приблизительно 38° с центром на орбите, в которой радиоастрономические наблюдения, свободные от вредных помех, были бы исключены. Ширина этой исключаяющей области будет возрастать с числом мешающих спутников на орбите и может, в принципе, охватить все небо. Эффективное число мешающих спутников будет зависеть от того, являются ли сигналы помехи сфокусированными лучами от спутниковых передающих антенн или более широко излучаются. Похоже, что побочные излучения, нешироко разнесенные от частоты спутниковых передатчиков, направляются антеннами способом, похожим на полезные сигналы.

РИСУНОК 1

Проекция орбит геостационарных спутников на небесной сфере



0611-01

4.2 Негеостационарные спутники

Возможность помех, вредных для РАС, от спутников на негеостационарной низкой околоземной орбите обусловлена их большим количеством, что делает возможным для многих из них одновременно находиться выше горизонта радиообсерватории, а также в пределах прямой видимости антенны радиотелескопа. Данный фактор приводит к ситуации, когда антенна радиотелескопа может принимать нежелательное излучение от этих видимых негеостационарных низких околоземных спутников через множество близких и отдаленных боковых лепестков луча антенны и также через главный лепесток. Проблема помех усложняется непрерывно меняющимися направлениями прибытия сигналов помехи, а также необходимостью для антенны радиотелескопа отслеживать наблюдаемый небесный источник. Многократный ввод устойчивого сигнала может перегружать рабочую точку приемника в нелинейной области, в результате образуются интермодуляционные составляющие.

Воздействие нежелательных излучений, создаваемых в радиоастрономических установках группировкой спутников на (низких) негеостационарных орбитах, может быть определено при использовании методики э.п.п.м., описанной в Рекомендации МСЭ-R S.1586 – "Расчет уровней нежелательного излучения, создаваемого негеостационарной системой фиксированной спутниковой службы на радиоастрономических установках", или в Рекомендации МСЭ-R M.1583 – "Расчет помех между негеостационарными подвижными спутниковыми службами или системами радионавигационных спутниковых служб и радиоастрономическими телескопными установками", а также коэффициентов усиления антенны, приведенных в Рекомендации МСЭ-R RA.1631.

Данные Рекомендации могут быть использованы для определения процента потери данных во время проведения наблюдения конкретными радиоастрономическими установками из-за помех, вызванных данной спутниковой системой. Допустимый процент потери данных приведен в Рекомендации МСЭ-R RA.1513.