

## РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R SA.609-2\*

**Критерии защиты для линий радиосвязи пилотируемых и непилотируемых исследовательских спутников\*\*, работающих на околоземной орбите\*\*\***

(1986-1992-2006)

**Сфера применения**

В настоящей Рекомендации устанавливаются защитные критерии, необходимые для успешного контроля за пилотируемыми и непилотируемыми исследовательскими спутниками, управления ими и их эксплуатации.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

*учитывая,*

- a) что критерии пределов помех для каналов радиосвязи околоземных космических исследований определены техническими соображениями, исследованными в Приложении 1;
- b) что на основе прошлого опыта ожидается, что до 100 или более активных околоземных космических кораблей космических исследований может одновременно находиться на орбите;
- c) что увеличивается использование околоземного пространства как пилотируемыми, так и непилотируемыми экспедициями космических исследований;
- d) что требуется двусторонняя радиосвязь для многих околоземных экспедиций, и она жизненно важна для пилотируемых экспедиций;
- e) что типичные рабочие шумовые температуры земных станций могут быть равны 70 К (эквивалент  $-210$  дБ(Вт/Гц)) в частотном диапазоне 1–30 ГГц;
- f) что типичные рабочие шумовые температуры космических станций равны около 600 К (эквивалент  $-171$  дБ(Вт/кГц)) в частотном диапазоне ниже приблизительно 30 ГГц;
- g) что пороги связи для типичных каналов связи космос-Земля или космос-космос – небольшие и обычно находятся между 3 и 6 дБ;
- h) что увеличение на 1 дБ шума системы в целом из-за помехи рассматривается как мешающее;
- j) что отношение шума к помехе, приблизительно равное 6 дБ, приводит к увеличению на 1 дБ рабочих температур системы в целом;
- k) что технические ограничения могут ограничивать увеличение мощности космического корабля как средства уменьшения помехи;
- l) что могут ожидать трудности при совместном использовании частот космическим кораблем на околоземной орбите в службе космических исследований и станциями других служб,

\* Настоящая Рекомендация должна быть доведена до сведения 1-й, 4-й, 6-й, 8-й и 9-й Исследовательских комиссий по радиосвязи.

\*\* Защитные критерии для космических исследований (глубокий космос) можно найти в Рекомендации МСЭ-R SA.1157.

\*\*\* Околоземная орбита – это пространство вокруг Земли на расстоянии до  $2 \times 10^6$  км.

*рекомендует,*

**1** что критерии защиты для земных станций службы космического исследования (см. Приложение 1) должны быть установлены следующим образом:

**1.1** –216 дБ(Вт/Гц) на входе приемника в частотном диапазоне 1–20 ГГц и –156 дБ(Вт/МГц) в частотном диапазоне 20–30 ГГц. Для частот ниже 1 ГГц допустимая помеха может увеличиваться на 20 дБ при уменьшении частоты в десять раз;

**1.2** что вычисление помехи, которая может вызываться атмосферой и влиянием осадков, должно быть основано на погодной статистике для 0,001% времени для пилотируемых экспедиций и для 0,1% времени для непилотируемых экспедиций<sup>1</sup>;

**2** что критерий защиты для околоземных (см. Приложение 1) исследовательских космических станций должен быть установлен следующим образом: –177 дБ(Вт/кГц) на входе приемника для 0,1% времени для пилотируемого и непилотируемого космического корабля в диапазоне 100 МГц – 30 ГГц;

**3** что совместное использование частот должно быть выполнено в максимально возможной степени среди околоземных космических кораблей в службе космического исследования;

**4** что должно быть обращено внимание на возможные трудности, которые нужно ожидать при совместном использовании частот космическим кораблем на околоземной орбите в службе космических исследований и некоторыми типами станций в других службах;

**5** что должно быть обращено внимание на возможные трудности, которые нужно ожидать при совместном использовании частот околоземными станциями и станциями глубокого космоса службы космических исследований.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

### **Защитные критерии, относящиеся к околоземным системам космических исследований**

#### **1 Введение**

Большая часть спектра, подходящего для космических исследований, также распределена одной или большему числу других служб и, следовательно, требуется совместное использование частот разными службами. В данном Приложении обсуждаются факторы, которые затрагивают чувствительность систем службы космических исследований к помехе и определяются соответствующие критерии защиты для службы в полосах частот до приблизительно 30 ГГц. Критерии защиты предназначены для использования в исследовании помех, когда фактические данные системы недоступны.

#### **2 Общие положения**

Радиосвязь в космических исследованиях необходима для выполнения четырех типов функций: дистанционного управления, эксплуатационной телеметрии, передачи накопленных научных данных и научных данных в реальном масштабе времени.

---

<sup>1</sup> В случае импульсной передачи, рабочий цикл передатчика не должен учитываться при расчете процента времени превышения уровня помехи.

В отношении функции дистанционного управления основным принципом конструкции большинства исследовательских космических кораблей является то, что никакая ложная команда не должна привести к полному прекращению экспедиции и что неизменное состояние должно быть достигнуто в результате любой команды. Так как обычно имеется неизбежная неблагоприятная зависимость от системы дистанционного управления космическим кораблем в течение критических фаз экспедиции, например во время запуска и инжекционных последовательностей или во время чрезвычайных ситуаций, то помеха в течение этих критических периодов может ставить под угрозу продолжение работы экспедиции.

Данные эксплуатационной телеметрии могут сохраняться или отбираться и передаваться в режиме реального времени. Кроме критических периодов, например во время запуска, инжекционных последовательностей, во время чрезвычайных ситуаций или во время передачи биомедицинских данных людей, эксплуатационная система телеметрии довольно терпима к прерываниям и помехам. Конечно, в течение критических периодов считывание данных должно быть высоконадежным. Диагностическое использование этих данных ясно определяет, что в критические периоды в экспедиции могут иметься длительные интервалы (несколько часов), во время которых эксплуатационная телеметрия должна быть защищена от мешающих помех. Однако в течение других периодов экспедиции этот класс функций может допускать ограниченное прерывание без серьезного эффекта.

Сохраненные научные данные могут обычно воспроизводиться многократно с целью обнаружения ошибок. Вероятно, это класс данных, который является наиболее терпимым к помехе ограниченной продолжительности.

Несохраненные данные в реальном масштабе времени наиболее восприимчивы к помехе, так как передача происходит только один раз и не повторяется. Наибольшая ценность дорогого космического корабля может состоять в таких данных, так что обязательно этот класс должен быть защищен против прерывания или ухудшения. Обычно время приема интересных несохраненных данных известно заранее за несколько часов.

Многие системы космического исследования используют методы модуляции ИКМ-ФИМ-ФМ и цепь фазовой синхронизации для демодуляции несущих и поднесущих систем. Высокие передачи скорости передачи данных обычно основаны на модуляции ФИМ-2 или ФИМ-4. Цепь фазовой синхронизации также используется во время поиска, захвата и отслеживания последовательностей как в наземных, так и в бортовых приемниках.

### **3 Критерии защиты**

В линии связи допустимое отношение помехи к шуму системы может быть определено частью расчетного запаса, относящегося к внешней помехе. В линиях связи космос-космос и космос-Земля цель состоит в минимизации порогов связи, чтобы обеспечить минимальный вес и мощность, соблюдать пределы по мощности излучения, а также сэкономить средства. Типичные конструктивные запасы в каналах связи для учета влияния неидеальных условий обычно находятся в пределах от 3 дБ до 6 дБ для космического корабля, работающего на частотах ниже приблизительно 10 ГГц. Для космического корабля, работающего на частотах выше приблизительно 10 ГГц, обычно требуются большие запасы в каналах связи, чтобы ослабить влияние погодных условий.

С учетом этих низких запасов в линиях помеха может быть вредна для типичных систем космических исследований, если порог качества линий уменьшен больше чем на 1 дБ. Это соответствует требуемому отношению ( $N/I$ ) спектральной плотности шума системы к спектральной плотности помехи, равному приблизительно 6 дБ.

#### **3.1 Эталонная ширина полосы**

Эталонная ширина полосы, в которой должен быть определен уровень защиты, зависит от минимальной возможно используемой ширины полосы. Для приемников земной станции цепи фазовой синхронизации могут использовать ширину полосы в несколько герц для полос частот ниже 20 ГГц. Для полос частот выше 20 ГГц предусматривается высокая скорость передачи данных на основе четырехкратной ФМН с шириной полосы порядка 1 МГц. Ширина полосы обнаружения на космической станции обычно больше (1 кГц или больше) из-за потребности в быстром автоматическом обнаружении сигналов с Земли.

Таким образом, рекомендуемые значения для эталонной ширины полос для приемников космических исследований равны:

- приемники земной станции: 1 Гц для полос частот ниже 20 ГГц  
1 МГц для полос частот выше 20 ГГц
- приемники космической станции: 1 кГц.

### 3.2 Эталонный процент времени

При рассмотрении помехи земным станциям космических исследований необходимо обратить внимание на то, что спорадическая помеха от искусственных источников может возникать вследствие загоризонтного распространения, изменения погодных условий и изменяющегося усиления в линии между мешающей станцией и приемной станцией из-за относительного движения антенн и т. д. Поэтому любой установленный критерий помехи должен быть достаточно строгим, чтобы минимизировать возможность этого типа помехи.

Далее, поскольку данные о распространении радиоволн обычно представляются в форме процента от времени, когда превышены некоторые условия, необходимо связать время простоя с данными о распространении. Для пилотируемых космических экспедиций потеря радиосвязи больше чем на 5 минут в течение критических периодов может серьезно повлиять на экспедицию. Однако обычно условия распространения являются такими, что самое низкое затухание передачи между двумя станциями сохраняется в течение намного более длинных интервалов, чем 5 минут. Поэтому, чтобы обеспечить защиту, которая предотвратит помеху на интервале большем, чем 5 минут в день, необходимо не только рассмотреть самый плохой час в году, но также самые плохие 5 минут в пределах этого часа. Это составляет приблизительно 0,001% времени. Для непилотируемых экспедиций, где безопасность жизни – не главный фактор, эталонный процент равен 0,1%.

### 3.3 Требуемые уровни защиты

#### 3.3.1 Приемники земной станции

В области 1–30 ГГц полная шумовая температура приема на земных станциях обычно приблизительно равна 70 К или больше в зависимости от влияния антенны. Это влияние является функцией частот, угла места антенны, существующих метеорологических условий и грунта, а также наземного и теплового излучения в сторону боковых и задних лепестков антенны. Ниже приблизительно 1 ГГц космический шум увеличивает рабочую шумовую температуру системы приблизительно на 20 дБ на декаду уменьшения частоты. Поэтому базирующийся на требуемом отношении  $N/I$ , равном 6 дБ, установленном в п. 3 и соответствующем шумовой температуре 70 К, нижеследующий критерий больше всего соответствует защите земных станций.

В частотном диапазоне 1–20 ГГц помехи могут возникать, если полное время, в течение которого плотность мощности шумоподобной помехи или полная мощность непрерывной помехи в любом отдельном диапазоне или во всех наборах диапазонов шириной 1 Гц на входе приемников больше чем  $-216$  дБ(Вт/Гц), составляет интервал, превышающий 0,001% времени для пилотируемых экспедиций и 0,1% времени для всех других экспедиций околоземных космических исследований. В частотном диапазоне 20–30 ГГц вышеупомянутый критерий должен быть трансформирован для эталонной полосы в 1 МГц, составляя  $-156$  дБ(Вт/МГц). Для частот ниже приблизительно 1 ГГц допустимая помеха может быть увеличена на 20 дБ при уменьшении частоты на порядок. Эти критерии помех применяются ко всем трем функциям связи на линии вниз, обсуждаемых в п. 2.

#### 3.3.2 Приемники космических станций

Общие шумовые температуры типичного приемника космической станции обычно равны 600 К или больше. Эти уровни частично обусловлены требованием направленности антенны космического корабля на Землю (290 К). Базирующийся на требуемом  $N/I$ , равном 6 дБ, следующий критерий более всего соответствует защите космических станций.

В частотном диапазоне 100 МГц – 30 ГГц помехи могут возникать, если плотность мощности шумоподобной помехи или полная мощность непрерывной помехи в любом отдельном диапазоне или во всех наборах диапазонов шириной 1 кГц на входе приемника больше чем  $-177$  дБ(Вт/Гц).

Из-за движения низкоорбитального космического корабля, который может быть восприимчив к этому уровню помехи, объем времени воздействия помехи ограничен 0,1% времени для и пилотируемых и непилотируемых экспедиций.

---