

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R М.2046
(12/2013)

Характеристики и критерии защиты негеостационарных систем подвижной спутниковой службы, работающих в полосе 399,9–400,05 МГц

Серия М

**Подвижная спутниковая служба, спутниковая
служба радиоопределения, любительская
спутниковая служба и относящиеся к ним
спутниковые службы**



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-Т/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-Т/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 | 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 МСЭ-R 1.

Электронная публикация
Женева, 2014 г.

© ITU 2014

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 М.2046

Характеристики и критерии защиты негеостационарных систем подвижной спутниковой службы, работающих в полосе 399,9–400,05 МГц

(2013)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации представлено описание одной системы подвижной спутниковой службы, использующей полосу частот 399,9–400,05 МГц (Земля-космос), а также относящиеся к ней критерии защиты по широкополосным шумовым и узкополосным помехам.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что полоса частот 399,9–400,05 МГц распределена подвижной спутниковой службе (ПСС);
- b) что использование полосы частот 399,9–400,05 МГц ПСС ограничено негеостационарными (НГСО) спутниковыми системами;
- c) что полоса частот 399,9–400,05 МГц распределена также радионавигационной спутниковой службе;
- d) что распределение полосы частот 399,9–400,05 МГц радионавигационной спутниковой службе должно действовать до 1 января 2015 года;
- e) что будущие системы ПСС могут быть развернуты в этой полосе;
- f) что необходимо соответствующее описание этих будущих систем;
- g) что критерии защиты должны отвечать желаемым показателям качества при наличии помех,

рекомендует,

1 чтобы анализ с целью определения воздействия на системы НГСО ПСС в полосе частот 399,9–400,05 МГц проводился на основе указанных ниже критериев защиты:

- максимальная допустимая суммарная спектральная плотность потока мощности (с.п.п.м.) на входе антенны системы НГСО ПСС ARGOS4 для широкополосных шумовых помех, равная $-197,9$ дБ(Вт/(м² · Гц)) (см. Приложение 1);
- максимальная п.п.м. в пределах ширины полосы по разрешению в 19 Гц на входе антенны системы НГСО ПСС ARGOS4 для каждой узкополосной помехи, равная $-165,4$ дБ(Вт/м²) (см. Приложение 1);

2 чтобы критерии защиты, определенные в пункте 1 раздела *рекомендует*, не превышались в течение более чем 1% времени в области видимости спутника ПСС.

Приложение 1

Система ARGOS4

1 Описание и характеристики системы ПСС ARGOS4

В системе сбора данных (DCS) ARGOS используется полоса 399,9–400,05 МГц на линии вверх для передачи фазоманипулированных (PSK) сигналов с расщеплением фазы, кодированных манчестерским кодом, через спутники на низкой околоземной орбите. Система работает со скоростью передачи данных, составляющей 400 бит/с. В платформе сбора данных (DCP), как правило, используется антенна с низким коэффициентом усиления (максимум 3 дБи при угле места в 40°).

Процессор спутниковой системы DCS осуществляет демодуляцию переданных по линии вверх данных DCS, мультиплексирование этих данных с другими телеметрическими данными полета и передачу соответствующих цифровых данных в направлении Земли в полосах 1670–1710 МГц, 7750–7850 МГц и 8025–8400 МГц. Кроме того, реализована одна линия вниз на частоте 465,9875 МГц для передачи специальных сообщений в направлении платформ DCP.

В связи с тем, что демодуляция данных DCS осуществляется на спутнике, при проведении анализа показателей работы линии вниз можно отделить от показателей работы линии вверх.

В системе ARGOS обеспечивается работа различных видов применений пользователей, при этом в разных платформах DCP используются различные выходные мощности и различные типы антенн (большую часть времени – штыревая антенна); в этих условиях мощность, принимаемая от одной DCP, будет отличаться от мощности, принимаемой от другой DCP, поскольку она зависит от среды и типа антенного устройства, которое фактически реализовано в этой платформе.

2 Критерии защиты системы НГСО ПСС ARGOS4 в полосе 399,9–400,05 МГц от излучений, создающих широкополосные шумовые помехи

2.1 Расчет порогового уровня с.п.п.м. помех

Добавление широкополосного шума, воздействующего на приемник ARGOS4, расположенный на борту спутника, ведет к возрастанию коэффициента ошибок по битам (BER) в системе и тем самым негативно влияет на требуемые показатели работы. В ходе данного анализа определяется максимальная допустимая п.п.м., обусловленная широкополосным шумом в канале линии вверх системы ПСС ARGOS4.

В таблице 1 приводится спецификация диаграммы направленности приемной антенны в соответствии с углом отклонения от надира:

ТАБЛИЦА 1

Диаграмма направленности приемной антенны

| | | | | | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Угол отклонения спутника от надира | 62 | 59 | 54 | 47 | 39 | 31 | 22 | 13 | 5 | 0 |
| Усиление при правосторонней круговой поляризации | 3,85 | 3,54 | 2,62 | 1,24 | -0,17 | -1,33 | -2,24 | -3,08 | -3,80 | -3,96 |
| Усиление при левосторонней круговой поляризации | -5,69 | -6,23 | -7,52 | -9,39 | -11,39 | -13,12 | -14,52 | -15,77 | -17,17 | -18,00 |
| Коэффициент эллиптичности (см. Примечание 1) | 6,02 | 5,85 | 5,59 | 5,26 | 4,90 | 4,57 | 4,31 | 4,11 | 3,78 | 3,49 |

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Коэффициент эллиптичности представляет собой отношение малой и большой осей эллипса поляризации.

Типовыми значениями для системы ARGOS4 являются: коэффициент шума = 3 дБ, фоновая шумовая температура для наихудшего случая = 1200 К (измеренное значение с учетом промышленного шума в Европе), ослабление между антенной и приемником ARGOS4 = 1,6 дБ. Таким образом, шумовая температура системы на входе приемника ARGOS4 равна 1214 К, и поэтому спектральная плотность шума равна $N_0 = -197,8$ дБ(Вт/Гц).

Согласно спецификации для наихудшего случая, система ARGOS4 разработана так, чтобы правильно работать при мощности принимаемого сигнала $C = -160$ дБВт (минимальный уровень принимаемого сигнала) на входе приемника, что обеспечивает фактическое отношение $E_b/N_0 = 8,3$ дБ в битовом детекторе ARGOS, если учесть форму колебаний сигнала радиомаяка и разнообразные потери.

Отсюда следует, что для достижения значения BER 2×10^{-4} , которое соответствует минимальному отношению $E_b/N_0 = 8$ дБ, максимальное приемлемое ухудшение должно составлять 0,3 дБ.

В данном случае вычисляется аддитивный шум, соответствующий ухудшению 0,3 дБ для отношения C/N_0 . Пусть I_0 представляет плотность мощности аддитивного шума. Соответственно, начальный шум N_0 становится равным $N_0 + I_0$. Отношение сигнал-шум C/N_0 становится равным $C/(N_0 + I_0)$. Ухудшение составляет 0,3 дБ = $10 \log((C/N_0)/(C/(N_0 + I_0)))$, таким образом, $I_0/N_0 = -11,5$ дБ, а $I_0 = -209,3$ дБ(Вт/Гц), что соответствует температуре 86 К и, следовательно, повышению шумовой температуры системы на входе приемника на 7%. Таким образом, максимальный допустимый уровень плотности шума $I_0 = -209,3$ дБ(Вт/Гц).

Как указано выше, плотность шума I_0 учитывает ослабление и усиление антенны. Поскольку требуется определить с.п.п.м., необходимо преобразовать этот коэффициент в дБ(Вт/(м² · Гц)). Эквивалентная площадь поверхности антенны с усилением G определяется по формуле:

$$S = G \frac{\lambda^2}{4\pi}.$$

С учетом максимального угла отклонения спутника от надира (62°), поверхность антенны равна 0,105 м² или -9,8 дБм². Тогда соответствующая с.п.п.м. равна $-209,3 + 1,6$ (потери) - $10 \log_{10} S = -197,9$ дБ(Вт/(м² · Гц)).

Для защиты системы ARGOS4 максимальный уровень широкополосных шумовых помех в полосе частот 399,9–400,05 МГц не должен превышать -197,9 дБ(Вт/(м² · Гц)).

Как правило, ширина полосы передачи системы ARGOS4 равна 1600 Гц. Поэтому соответствующий предел п.п.м. равен -165,8 дБ(Вт/м²).

2.2 Определение показателей качества

В Рекомендации МСЭ-R М.1475 "Методология определения показателей качества негеостационарных систем подвижных спутниковых служб, работающих в диапазоне 1–3 ГГц без разнесения спутников" приводится методика расчета допусков по времени неготовности как служебных линий, так и фидерных линий.

Для служебной линии предлагается, чтобы допуски по времени неготовности не превышали 0,9 X (%), при этом X представляет собой BER заданной линии НГСО ПСС в процентах (например, 0,1%, 1%, 10% и т. д.). Поскольку предлагаемый предел п.п.м. основан на значении BER, равном 2×10^{-4} , это означает, что допуски по времени неготовности не должны превышать $1,8 \times 10^{-2}\%$. Поэтому в пункте 2 раздела *рекомендует* указан менее строгий допуск по времени неготовности, равный 1%.

3 Критерии защиты системы HFCS ARGOS4 в полосе 399,9–400,05 МГц от излучений, создающих узкополосные помехи

3.1 Требование к защите от узкополосных излучений

Для лучшего понимания аргументации данной спецификации необходимо коротко напомнить о том, как работает приемник.

Передачи системы ПСС ARGOS4 начинаются с передачи в течение 160 мс немодулированной несущей, что позволяет использовать фазовую автоматическую подстройку частоты для более легкого захвата несущей. На рисунке 1 представлен формат сообщений системы ARGOS4.

РИСУНОК 1
Формат сообщений системы ПСС



М.2046-01

Анализатор спектра в приемнике непрерывно отслеживает всю ширину полосы покрытия в поисках той части сообщений ПСС, которая состоит из чистой несущей. Когда анализатор спектра обнаруживает такую линию, он считает, что это начало сообщения ПСС. Теория основана на определении волны чистой несущей (синусоиды) в среде белого, аддитивного и гауссовского шума. Спектральная плотность мощности принимаемого сигнала (чистая несущая + шум) вычисляется с использованием метода быстрого преобразования Фурье, а каждый сигнал, превышающий порог системы, обрабатывается так, как если бы это был сигнал от радиомаяка ПСС (см. рис. 2).



М.2046-02

Поэтому процессоры приемника ARGOS4 разработаны так, чтобы обнаруживать дискретные спектральные компоненты (немодулированную несущую радиомаяка), при этом соответствующая ширина полосы по разрешению составляет 19 Гц. Сигналы выше порогового уровня направляются на бортовой модуль восстановления данных (DRU) для дальнейшей обработки и передачи на Землю по каналу полетной телеметрии.

В целях обеспечения соответствия показателям вероятности обнаружения ARGOS4 для широкого круга применений пользователи приемник ARGOS4 разработан так, чтобы обнаруживать и обрабатывать крайне слабые сигналы. Его показатели работы таковы, что любой сигнал C_{min} , превышающий уровень плотности локального шума на 21 дБ(Гц) ($C_{min}/N_0 > 21$ дБ(Гц)), будет направлен на DRU для дополнительной обработки. Следовательно, узкополосные мешающие сигналы, соответствующие этим критериям, могут быть также направлены на DRU. В результате показатели работы системы ARGOS в части пропускной способности (например, число одновременных сообщений DCS, которые могут быть обработаны) существенно ухудшатся.

Типовыми значениями для ARGOS являются: коэффициент шума = 3 дБ (типовое значение для ARGOS4), фоновая шумовая температура для наихудшего случая = 1200 К, ослабление между антенной и приемником = 1,6 дБ. Таким образом, шумовая температура системы на входе приемника равна 1214 К, и поэтому спектральная плотность шума равна $N_0 = -197,8$ дБ(Вт/Гц).

Поскольку $C_{min}/N_0 = 21$ дБ(Гц), то $C_{min} = -176,8$ дБВт. Следовательно, любые узкополосные побочные излучения, превышающие $-176,8$ дБВт на входе приемника ARGOS4, вызовут ухудшение пропускной способности системы.

Далее необходимо вычислить максимальный допустимый уровень узкополосной помехи на входе антенны ARGOS4.

Спецификация для диаграммы направленности приемной антенны ARGOS4 приводится в таблице 1 (см. п. 2.1, выше) в соответствии с углом отклонения от надира.

Таким образом, максимальная допустимая мощность на участке в пределах приемника и до антенны равна $-176,8 + 1,6$ (потери) = $-175,2$ дБВт. Поскольку требуется определить п.п.м., необходимо преобразовать этот коэффициент в дБ(Вт/м²). Используя максимальный угол отклонения спутника от надира, получаем усиление антенны, равное 3,85 дБи, которое преобразуется в эквивалентную площадь поверхности антенны по формуле $S = G \frac{\lambda^2}{4\pi}$. Отсюда соответствующая п.п.м. равна $-175,2 - 10 \log_{10} S = -165,4$ дБ(Вт/м²).

3.2 Вывод

Исходя из приведенных выше вычислений делаются следующие выводы и рекомендации относительно воздействия излучений, создающих суммарный спектральный уровень узкополосных помех: такие уровни не должны превышать $-165,4$ дБ(Вт/м²) на входе антенны ARGOS4 в полосе частот 399,9–400,05 МГц в пределах ширины полосы по разрешению в 19 Гц.
