

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R М.1478-3
(09/2014)

Критерии защиты оборудования поиска и спасания системы Коспас-Сарсат в полосе частот 406–406,1 МГц

Серия М

Подвижные службы, служба радиоопределения, любительская 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-T/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-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
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, 2015 г.

© ITU 2015

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.1478-3

Критерии защиты оборудования поиска и спасания системы Коспас-Сарсат в полосе частот 406–406,1 МГц

(2000-2004-2011-2014)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации приводятся критерии защиты оборудования поиска и спасания системы Коспас-Сарсат, которое находится на борту спутников на геостационарной, средневысотной и низкой околоземной орбитах и принимает сигналы радиомаяков – указателей места бедствия (EPIRB) и других маяков, передающих сигналы бедствия и работающих в полосе частот 406–406,1 МГц.

Ключевые слова

Коспас-Сарсат; критерии защиты; оборудование поиска и спасания; полоса 406–406,1 МГц.

Сокращения/Глоссарий

EPIRB	Emergency position indicating radio beacons	Радиомаяки – указатели места бедствия
DRU	Data recovery unit	Модуль восстановления данных
GOES	Geostationary operational and environmental satellites	Геостационарные рабочие спутники исследования среды
MSG	METEOSAT second generation	Метеорологические спутники второго поколения
SARP	Search and rescue processor	Процессор поиска и спасания
SARR	Search and rescue repeaters	Ретрансляторы поиска и спасания

Соответствующие Рекомендации и Отчеты МСЭ

Рекомендация МСЭ-R М.1731-2	Критерии защиты для терминалов местных пользователей системы Коспас-Сарсат в полосе 1544–1545 МГц
Рекомендация МСЭ-R М.1787-2	Описание систем и сетей радионавигационной спутниковой службы (космос-Земля и космос-космос) и технические характеристики передающих космических станций, работающих в полосах частот 1164–1215 МГц, 1215–1300 МГц и 1559–1610 МГц

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что глобальная спутниковая система поиска и спасания Коспас-Сарсат работает в полосе частот 406–406,1 МГц, распределенной исключительно этой системе;
- b) приведенный в Приложении 1 анализ, касающийся требований к максимальной допустимой спектральной плотности потока мощности (с.п.п.м.) процессора поиска и спасания Сарсат (SARP) для защиты от широкополосных внеполосных излучений и верхнего предела доплеровского сдвига частоты, связанного с передачами ПСС, принимаемыми оборудованием Сарсат;
- c) приведенный в Приложении 2 анализ, касающийся требований к максимальной допустимой плотности потока мощности (п.п.м.) для защиты SARP Сарсат от узкополосных побочных излучений;
- d) что в Приложении 3 приводятся руководящие указания по использованию требований к защите полосы 406–406,1 МГц для оборудования SARP Сарсат (бортовое спутниковое оборудование);

- e) что в Приложении 4 приводятся руководящие указания по защите первичных служб безопасности, которым распределена полоса 406–406,1 МГц (система Коспас-Сарсат), от излучений ниже 406 МГц линии вниз систем НГСО подвижной спутниковой службы (ПСС);
- f) что в Приложениях 5, 6 и 7 приводятся руководящие указания по защите ретрансляторов поиска и спасания (SARR) в полосе 406–406,1 МГц, находящихся на низкоорбитальных спутниках Сарсат, на геостационарных рабочих спутниках исследования среды (GOES) и метеорологических спутниках второго поколения (MSQ) соответственно;
- g) что в Приложениях 8 и 9 приводятся руководящие указания по защите ретрансляторов поиска и спасания (SARR) в полосе 406–406,1 МГц, находящихся на геостационарных спутниках (Электро) и навигационных спутниках (ГЛОНАСС) соответственно;
- h) что в Приложении 10 приводятся руководящие указания по защите ретрансляторов поиска и спасания (SARR) в полосе 406–406,1 МГц, находящихся на навигационных спутниках (Galileo);
- i) что в Приложении 11 приводится краткое описание общих характеристик всех видов оборудования, которое работает в настоящее время и будет работать в будущем на борту различных типов спутников, находящихся на средневысотных и низких околоземных орбитах или на геостационарной орбите,

рекомендует,

- 1** чтобы анализ, определяющий воздействие, которое оказывают на оборудование SARP Сарсат системы, использующие соседние полосы частот, основывался на максимальной приемлемой с.п.п.м. на антенне Сарсат, равной $-198,6 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot \text{Гц))}$;
- 2** чтобы анализ, определяющий воздействие на оборудование SARP Сарсат узкополосных побочных излучений (например, гармонических излучений, паразитных излучений, продуктов интермодуляции и частотного преобразования), основывался на максимальной п.п.м. $-166,2 \text{ дБ(Вт/м}^2)$ на антенне Сарсат в ширине полосы по разрешению 19 Гц;
- 3** чтобы анализ, определяющий воздействие, которое оказывают на оборудование SARP Коспас системы, использующие соседние полосы частот, основывался на максимальной приемлемой с.п.п.м. на антенне Коспас, равной $-198,6 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot \text{Гц))}$;
- 4** чтобы анализ, определяющий воздействие на оборудование SARP Коспас узкополосных побочных излучений (например, гармонических излучений, паразитных излучений, продуктов интермодуляции и частотного преобразования), основывался на максимальной п.п.м. $-170,6 \text{ дБ(Вт/м}^2)$ на антенне Коспас в ширине полосы по разрешению 40 Гц;
- 5** чтобы при анализе, определяющем воздействие на находящееся на негеостационарной орбите оборудование системы Коспас-Сарсат предполагаемых систем подвижной спутниковой службы (ПСС), использующих полосу частот 405–406 МГц, применялся верхний предел доплеровского сдвига частоты, равный 20 кГц;
- 6** чтобы анализ, определяющий воздействие, которое оказывают на ретрансляторы низкоорбитальных спутников системы, использующие соседние полосы частот, основывался на максимальной с.п.п.м. на антенне Сарсат, равной $-181,3 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot \text{Гц))}$;
- 7** чтобы анализ, определяющий воздействие, которое оказывают на ретрансляторы геостационарных спутников GOES системы, использующие соседние полосы частот, основывался на максимальной с.п.п.м. на антенне Сарсат, равной $-201,1 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot \text{Гц))}$;
- 8** чтобы анализ, определяющий воздействие, которое оказывают на ретрансляторы геостационарных спутников MSG системы, использующие соседние полосы частот, основывался на максимальной с.п.п.м. на антенне Сарсат, равной $-206,4 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot \text{Гц))}$;
- 9** чтобы анализ, определяющий воздействие, которое оказывают на ретрансляторы геостационарных спутников Электро системы, использующие соседние полосы частот, основывался на максимальной с.п.п.м. на антенне Сарсат, равной $-198,7 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot \text{Гц))}$;

10 чтобы анализ, определяющий воздействие, которое оказывают на ретрансляторы средневысотных спутников ГЛОНАСС системы, использующие соседние полосы частот, основывался на максимальной с.п.п.м. на антенне Сарсат, равной $-205,2$ дБ(Вт/(м² · Гц));

11 чтобы анализ, определяющий воздействие, которое оказывают на ретрансляторы средневысотных спутников Galileo системы, использующие соседние полосы частот, основывался на максимальной с.п.п.м. на антенне, равной $-206,1$ дБ(Вт/(м² · Гц));

12 чтобы анализ, определяющий воздействие, которое оказывают на ретрансляторы средневысотных спутников Galileo узкополосные побочные излучения, основывался на максимальной п.п.м. на антенне, равной $-166,2$ дБ(Вт/м²).

Приложение 1

Критерии защиты системы Коспас-Сарсат в полосе частот 406–406,1 МГц от широкополосных внеполосных излучений

1 Введение

В настоящем Приложении приводится информация, относящаяся к системе Коспас-Сарсат и требованиям к ее защите от широкополосных внеполосных излучений.

2 Базовая информация

В других документах МСЭ содержится существенная информация, касающаяся следующих вопросов:

- параметры нескольких сетей НГСО ПСС;
- пороговый уровень п.п.м. помех;
- защита систем поиска и спасания (SAR) с использованием методов спектрального формирования или фильтрации.

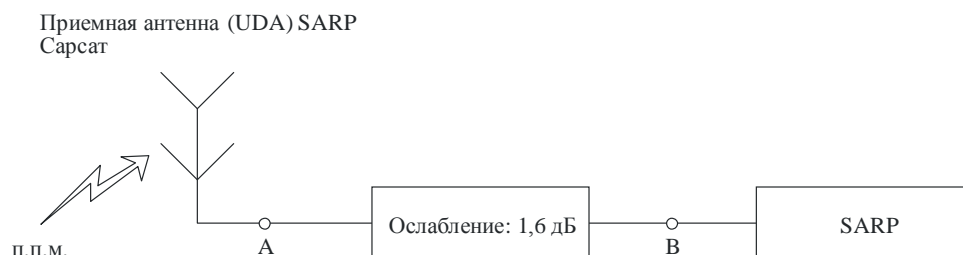
3 Пороговый уровень с.п.п.м. помех

Добавление широкополосного шума, воздействующего на SARP Сарсат, ведет к возрастанию коэффициента ошибок по битам (BER) в системе и тем самым негативно влияет на производительность SARP. Как определено в исследованиях МСЭ-R, максимальный приемлемый коэффициент ошибок по битам на линии вверх для SARP Сарсат не может превышать 5×10^{-5} . Исходя из этого требования в ходе данного анализа определяется максимальная приемлемая п.п.м., связанная с широкополосным шумом в канале линии вверх SARP Сарсат. Этот анализ не охватывает ни воздействие узкополосных излучений (например, спектральных линий), которые также негативно влияют на производительность SARP, ни требования к защите всего оборудования системы Коспас-Сарсат (например, ретранслятор поиска и спасания Сарсат, SARP Коспас).

На рисунке 1 показаны основные элементы оборудования на борту спутников Национального управления океанических и атмосферных исследований США (NOAA) (а в будущем – спутников МЕТОР).

РИСУНОК 1

Бортовое оборудование



М.1478-01

Спецификация для диаграммы направленности антенны UDA приводится в таблице 1 в соответствии с углом отклонения от надира.

ТАБЛИЦА 1

Диаграмма направленности приемной антенны SARP (UDA)

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	6,02	5,85	5,59	5,26	4,90	4,57	4,31	4,11	3,78	3,49

Указанные в таблице 1 значения относятся к диаграмме направленности приемной антенны 406 МГц SARP Сарсат применительно к спутникам NOAA и МЕТОР.

Стандартные значения для Сарсат: коэффициент шума = 2,5 дБ (входной параметр SARP Коспас-Сарсат), номинальная фоновая шумовая температура = 1000 К (входной параметр Коспас-Сарсат), ослабление между антенной и приемником SARP = 1,6 дБ. Таким образом, шумовая температура системы на входе приемника SARP (точка В на рис. 1) равна 1010 К, и поэтому спектральная плотность шума равна $N_0 = -198,6$ дБ(Вт/Гц).

Согласно спецификации для наихудшего случая, SARP разработан так, чтобы правильно работать при мощности принимаемого сигнала $C = -161$ дБВт (минимальный уровень принимаемого сигнала) на входе приемника, что обеспечивает эффективное отношение $E_b/N_0 = 9,1$ дБ в битовом детекторе SARP, если учитываются форма колебаний сигнала радиомаяка и разнообразные потери. В этом случае соответствующий BER равен $2,6 \times 10^{-5}$.

Отсюда следует, что для достижения значения BER 5×10^{-5} (которое примерно вдвое больше данного значения) максимальное приемлемое ухудшение должно составлять 0,3 дБ. При $E_b/N_0 = 8,8$ дБ коэффициент ошибок по битам (BER) равен $4,8 \times 10^{-5}$.

В данном случае вычисляется аддитивный шум, соответствующий ухудшению 0,3 дБ для C/N_0 .

Пусть I_0 представляет плотность мощности аддитивного шума, создаваемого помехами, источником которых являются системы НГСО ПСС.

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 $0,3 \text{ дБ} = 10 \log ((C/N_0)/(C/(N_0 + I_0)))$, таким образом, $I_0/N_0 = -11,5 \text{ дБ}$, а $I_0 = -210,1 \text{ дБ(Вт/Гц)}$, что соответствует температуре $70,8 \text{ К}$, и поэтому шумовая температура системы на входе приемника SARP возрастает на 7% .

Следовательно, максимальный допустимый уровень плотности шума $I_0 = -210,1 \text{ дБ(Вт/Гц)}$ (вычислено для точки В на рис. 1).

Как показано на рисунке 1, плотность шума I_0 учитывает ослабление между антенной и приемником и усиление антенны. Поскольку требуется определить с.п.п.м., необходимо преобразовать этот коэффициент в $\text{дБ(Вт/(м}^2 \cdot \text{Гц))}$. Эквивалентная площадь поверхности антенны с усилением G определяется как $S = G \frac{\lambda^2}{4\pi}$. Поэтому соответствующая с.п.п.м. равна $-210 + 1,6$ (потери) $- 10 \log_{10} S = -198,6 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot \text{Гц))}$, учитывая наивысший угол отклонения спутника от надира.

Для защиты оборудования SARP Сарсат максимальный уровень широкополосных шумовых помех в полосе частот $406\text{--}406,1 \text{ МГц}$ не должен превышать $-198,6 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot \text{Гц))}$.

4 Верхний предел доплеровского сдвига частоты

Любая предлагаемая защитная полоса должна также учитывать доплеровские сдвиги. Необходимо тщательно изучить максимальное значение доплеровского сдвига частоты. При наихудшем сценарии спутники Сарсат и негеостационарные спутники ПСС располагаются на одной орбите и перемещаются в противоположных направлениях. В этом случае применяется приводимый ниже метод анализа.

Сигнал негеостационарного спутника ПСС выходит из точки А. Спутник Сарсат представлен точкой В. Спутник Сарсат движется со скоростью V_B . Если негеостационарный спутник ПСС не движется, принимаемая частота в точке В равна $F_B = F_A (1 + \frac{V_B}{c})$ в наихудшем случае. С другой стороны, принимаемая частота в точке В имеет такое же значение, если спутник Сарсат не движется, а негеостационарный спутник ПСС находится в движении. Если высота спутника равна 850 км , то его скорость равна 7426 м/с .

Поскольку эти два спутника движутся в противоположных направлениях, верхний предел доплеровского сдвига частоты равен:

$$2F_A (V_B/c) = 20 \text{ кГц} .$$

Это наихудшая ситуация и она необязательно применима ко всем предполагаемым системам ПСС.

5 Выводы и рекомендации

Исходя из приведенных выше вычислений делаются следующие выводы и рекомендации, касающиеся воздействия излучений из соседних полос частот на SARP Сарсат:

- для защиты оборудования SARP Сарсат максимальный уровень широкополосных шумовых помех в полосе частот $406\text{--}406,1 \text{ МГц}$ не должен превышать $-198,6 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot \text{Гц))}$;
- верхний предел доплеровского сдвига частоты определяется в 20 кГц ;
- рекомендуется провести дальнейший анализ для определения воздействия ПСС, занимающих полосу частот $405\text{--}406 \text{ МГц}$, на Коспас-Сарсат с использованием с.п.п.м. $-198,6 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot \text{Гц))}$ и подходящего доплеровского сдвига и с учетом наихудшего сценария, связанного со всей предусматриваемой группировкой ПСС.

Приложение 2

Критерии защиты системы Коспас-Сарсат в полосе частот 406–406,1 МГц от узкополосных побочных излучений

1 Введение

В настоящем Приложении приводится информация, относящаяся к системе Коспас-Сарсат и требованиям к ее защите от узкополосных побочных излучений.

2 Базовая информация

В Приложении 1 содержатся критерии защиты SARP Сарсат в полосе частот 406–406,1 МГц, которые должны использоваться в качестве основы для анализа помех от внеполосных излучений. В настоящем Приложении приводятся требования к защите оборудования SARP Сарсат от помех, создаваемых узкополосными побочными излучениями (гармонические излучения, паразитные излучения, продукты интермодуляции и частотного преобразования).

Терминология, используемая в настоящем Приложении, взята из Рекомендации МСЭ-R SM.328 "Спектры и ширина полосы излучений" и из Рекомендации МСЭ-R SM.329 "Нежелательные излучения в области побочных излучений".

В настоящем Приложении рассматриваются критерии защиты только для оборудования SARP Сарсат, но не обязательно представлены критерии защиты для всего оборудования системы Коспас-Сарсат.

3 Требования к защите от узкополосных побочных излучений

На рисунке 1 показаны основные элементы оборудования SARP Сарсат.

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

Передачи радиомаяка Сарсат начинаются с передачи в течение 160 мс немодулированной несущей, что позволяет использовать фазовую автоматическую подстройку частоты для более легкой подстройки на несущей. На рисунке 2 представлен формат сообщений системы Коспас-Сарсат.

РИСУНОК 2

Формат сообщений системы Коспас-Сарсат

Несущая 160 мс	Биты синхронизации	Биты содержимого сообщений от радиомаяка, передающего сигналы бедствия
----------------	--------------------	--

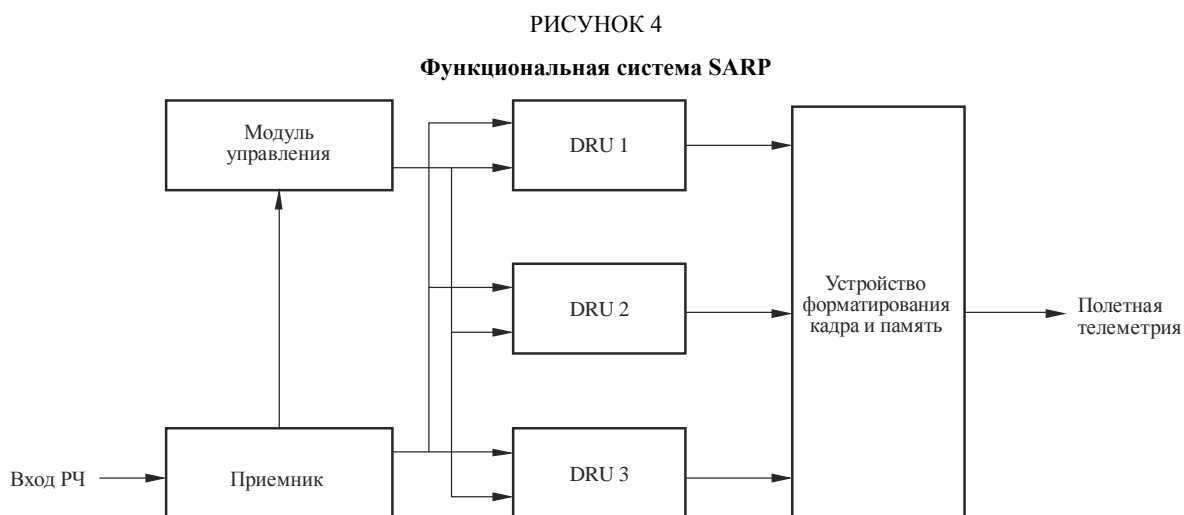
М.1478-02

Анализатор спектра в оборудовании SARP непрерывно отслеживает полное покрытие полосы в поисках той части передач радиомаяков, передающих сигналы бедствия, которая состоит из чистой несущей. Если анализатор спектра обнаруживает такую линию, то считается, что это начало сообщения Коспас-Сарсат. 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 маяка, передающего сигналы бедствия (см. рис. 3).



М.1478-03

Сигналы выше порогового уровня направляются на бортовой модуль восстановления данных (DRU) для дальнейшей обработки и передачи на Землю по каналу полетной телеметрии (см. рис. 4).



М.1478-04

В целях удовлетворения требованиям к системам поиска и спасания по производительности в отношении низкоэнергетических радиомаяков, передающих сигналы бедствия, SARP Сарсат разработан так, чтобы обнаруживать и обрабатывать крайне слабые сигналы. Его характеристики 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 характеристики SARP с точки зрения производительности (например, число одновременных сообщений о бедствии, которые могут быть обработаны) могут быть существенно ухудшены.

Стандартные значения для Сарсат: коэффициент шума = 2,5 дБ (стандартное значение для SARP системы Коспас-Сарсат), номинальная фоновая шумовая температура = 1000 К (входной параметр системы Коспас-Сарсат), ослабление между антенной и приемником SARP = 1,6 дБ. Таким образом, шумовая температура системы на входе приемника SARP (точка В на рис. 1) равна 1010 К, и поэтому спектральная плотность шума равна $N_0 = -198,6$ дБ(Вт/Гц).

Поскольку $C_{min}/N_0 = 21$ дБ(Гц), то $C_{min} = -177,6$ дБВт. Следовательно, любые узкополосные побочные излучения, превышающие 177,6 дБВт на входе SARP (точка В на рис. 1), вызовут ухудшение показателей системы.

Поэтому необходимо вычислить максимальный допустимый уровень спектральной линии на входе антенны Сарсат.

Спецификация для диаграммы направленности приемной антенны SARP Сарсат приводится в таблице 2 в соответствии с углом отклонения от надира.

ТАБЛИЦА 2

Диаграмма направленности приемной антенны SARP (UDA)

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	6,02	5,85	5,59	5,26	4,90	4,57	4,31	4,11	3,78	3,49

Поэтому максимальная допустимая мощность в точке А на рисунке 1 равна $-177,6 + 1,6$ (потери) = -176 дБВт, учитывая наивысший угол отклонения спутника от надира. Поскольку требуется определить п.п.м., необходимо преобразовать этот коэффициент в дБ(Вт/м²). Эквивалентная площадь поверхности антенны, имеющей усиление G , определяется как $S = G \frac{\lambda^2}{4\pi} = 0,105 \text{ м}^2$ (соответствует наивысшему углу отклонения спутника от надира). Отсюда соответствующая п.п.м. равна $-176 - 10 \log_{10} S = -166,2$ дБ(Вт/м²).

Требуемый уровень защиты: никаких узкополосных побочных излучений выше $-166,2$ дБ(Вт/м²) на входе любой спутниковой антенны SARP Сарсат.

4 Вывод

Исходя из приведенных выше вычислений делается следующий вывод и рекомендация, касающиеся воздействия узкополосных побочных излучений на SARP Сарсат: такие излучения не должны превышать $-166,2$ дБ(Вт/м²) на входе любой антенны SARP Сарсат.

Приложение 3

Руководящие указания по использованию требований к защите полосы частот 406–406,1 МГц (система Коспас-Сарсат)

1 Определения характеристик излучений

1.1 Внеполосное излучение

Излучение на частоте или частотах, непосредственно примыкающих к необходимой ширине полосы частот, которое является результатом процесса модуляции, но не включает побочных излучений.

1.2 Побочное излучение

Излучение на частоте или частотах, расположенных за пределами необходимой ширины полосы частот, уровень которого может быть снижен без ущерба для соответствующей передачи сообщений. К побочным излучениям относятся гармонические излучения, паразитные излучения, продукты интермодуляции и частотного преобразования, но к ним не относятся внеполосные излучения.

1.3 Нежелательные излучения

Состоят из побочных и внеполосных излучений.

1.4 Необходимая ширина полосы

Ширина полосы частот, которая достаточна при данном классе излучения для обеспечения передачи сообщений с необходимой скоростью и качеством при определенных условиях.

2 Процедура вычисления уровня нежелательных излучений, относящихся к SARP Сарсат

2.1 Внеполосные излучения

Единицей измерения нежелательных внеполосных излучений является $\text{дБ}(\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{Гц}))$ (с.п.п.м.).
Общая с.п.п.м. – это фактически суммарная с.п.п.м., которая определяется как сумма всех с.п.п.м. всех потенциальных источников нежелательных внеполосных излучений.

2.2 Побочные излучения

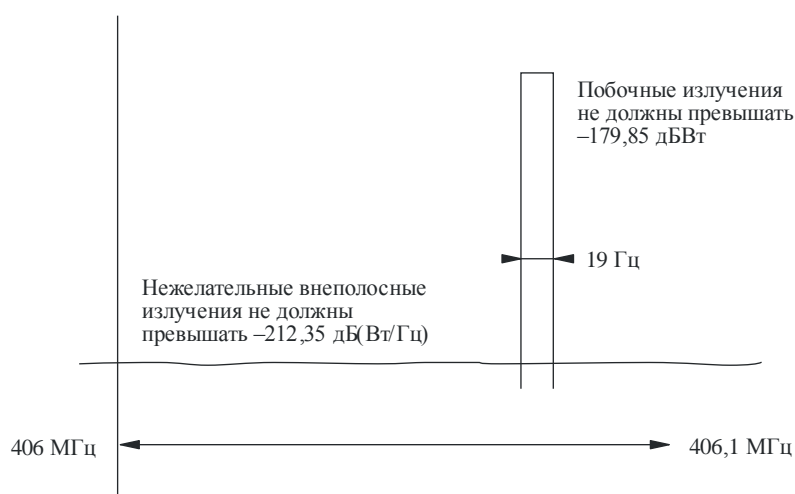
Процессоры приемника системы Коспас-Сарсат разработаны так, чтобы определять дискретные спектральные компоненты (немодулированная несущая радиомаяка). Требование к защите выражается в виде п.п.м., а единицей измерения побочных излучений является $\text{дБ}(\text{Вт}/\text{м}^2)$ (п.п.м.).

Ширина полосы по разрешению приемника SARP Сарсат составляет 19 Гц. Это значит, что минимальный частотный интервал между спектральными линиями (также называемый разрешающей способностью спектрального анализа), который может определить приемник SARP Сарсат, равен 19 Гц. Следовательно, уровень побочного излучения должен вычисляться в эталонной полосе шириной 19 Гц.

2.3 Предельные уровни нежелательных излучений

На рисунке 5 приводятся предельные уровни нежелательных излучений.

РИСУНОК 5
Уровни нежелательных излучений



М.1478-05

Нежелательные внеполосные излучения не должны превышать $-198,6$ дБ(Вт/($m^2 \cdot Гц$)) на входе любой антенны SARP Сарсат: это значение может быть также преобразовано в спектральную плотность мощности (дБ(Вт/Гц)):

$$-210,1 \text{ дБ(Вт/Гц)} \text{ (на входе SARP)} + 1,6 \text{ (потери)} - 3,85 \text{ (усиление антенны)} = -212,35 \text{ дБ(Вт/Гц)} \text{ на входе любой антенны SARP Сарсат.}$$

Узкополосные побочные излучения не должны превышать $-166,2$ дБ(Вт/ m^2) на входе любой спутниковой антенны SARP Сарсат: это значение может быть также преобразовано в уровень мощности (дБВт):

$$-177,6 \text{ дБВт (на входе SARP)} + 1,6 \text{ (потери)} - 3,85 \text{ (усиление антенны)} = -179,85 \text{ дБВт на входе любой антенны SARP Сарсат.}$$

Все вышеприведенные значения действительны на входе любой антенны SARP Сарсат.

Приложение 4

Защита первичных служб безопасности, которым распределена полоса 406–406,1 МГц (система Коспас-Сарсат), от излучений ниже 406 МГц линии вниз системы НГСО ПСС

1 Введение

Международная система Коспас-Сарсат действует с 1985 года, и благодаря ей по всему миру уже спасены тысячи жизней. Поэтому важно обеспечить защиту ее надлежащей работы.

2 Базовая информация

В других документах МСЭ содержится существенная информация, касающаяся следующих вопросов:

- параметры нескольких сетей НГСО ПСС;

- пороговый уровень п.п.м. помех;
- защита систем поиска и спасания с использованием методов спектрального формирования или фильтрации.

В Приложении 1 приводятся критерии защиты SARP Сарсат в полосе частот 406–406,1 МГц. В настоящем Приложении дается дополнительная информация о требованиях к защите приемника SARP Коспас.

3 Критерии защиты SARP Коспас в полосе частот 406–406,1 МГц от широкополосных внеполосных излучений

Производительность SARP определяется его коэффициентом ошибок по битам (BER) и прямо зависит от отношения сигнала к плотности шума C/N_0 (дБ(Гц)).

Шумовая температура приемника Коспас составляет 300 К. Номинальная фоновая шумовая температура колеблется от 300 К в Антарктиде до 1000 К в густонаселенных районах. Поскольку сигнал бедствия, передаваемый радиомаяком, может исходить из любой точки планеты и его декодирование не должно быть ухудшено помехами от спутника ПСС, наиболее критический случай для помех возникает при самой низкой фоновой шумовой температуре, то есть 300 К.

Ослабление между антенной и приемником SARP Коспас составляет 1,6 дБ. Шумовая температура кабеля равна 300 К. Таким образом, шумовая температура системы на входе приемника SARP равна 600 К, и, следовательно, спектральная плотность шума N_0 составляет –200,82 дБ(Вт/Гц).

Заданная величина BER для SARP Коспас составляет менее чем 1×10^{-5} . В соответствии с теоретической производительностью двухпозиционной фазовой манипуляции это соответствует отношению $E_b/N_0 = 9,6$ дБ в битовом детекторе SARP.

Как определено в исследованиях МСЭ-R, максимальный приемлемый BER в линии вверх системы Коспас-Сарсат не должен превышать 5×10^{-5} , что достигается при $E_b/N_0 = 8,8$ дБ.

Поэтому максимальное приемлемое ухудшение для E_b/N_0 составляет 0,8 дБ, что соответствует увеличению плотности шума $N_0 = -200,02$ дБ(Вт/Гц).

Если I показывает значение плотности мощности аддитивного шума, созданного помехами, источником которых являются системы НГСО ПСС, то значение плотности шума становится равным $N_0 + I$, а отношение битовой энергии к плотности шума становится равным $E_b/(N_0 + I)$.

Приемлемое ухудшение составляет 0,8 дБ = $10 \log ((E_b/N_0)/(E_b/(N_0 + I)))$. Таким образом, $I/N_0 = -6,94$ дБ, а $I = -207,8$ дБ(Вт/Гц), что соответствует увеличению шумовой температуры на 120,23 К (увеличение на 20% шумовой температуры системы на входе приемника SARP Коспас).

Максимальный допустимый уровень плотности шума I составляет –207,8 дБ(Вт/Гц) на входе спутникового приемника.

Плотность шума I учитывает ослабление между антенной и приемником и усиление антенны. Чтобы выразить это значение в с.п.м., необходимо преобразовать его в дБ(Вт/(м² · Гц)). Эквивалентная

площадь поверхности антенны с усилением G определяется как $S = G \frac{\lambda^2}{4\pi}$. Поскольку максимальное

усиление спиральной конусной антенны, установленной на космическом аппарате Коспас, равно 6 дБи, площадь $S = 0,174$ м². Поэтому соответствующая с.п.м. равна –207,8 + 1,6 (потери) – $10 \log_{10} S = -198,6$ дБ(Вт/(м² · Гц)).

В целях обеспечения надлежащей защиты оборудования SARP Коспас максимальный уровень широкополосных шумовых помех в полосе частот 406–406,1 МГц не должен превышать –198,6 дБ(Вт/(м² · Гц)).

4 Критерии защиты SARP Коспас в полосе частот 406–406,1 МГц от узкополосных побочных излучений

SARP Коспас непрерывно сканирует полосу частот 406–406,1 МГц (длительность одного сканирования составляет 60 мс) в поисках сигналов от радиомаяков, которые превышают порог обнаружения SARP. После того как сигнал будет обнаружен, модуль восстановления данных (DRU) SARP будет заблокирован по меньшей мере в течение 520 мс на частоте сигнала. Одиночный мешающий сигнал от спутника ПСС в полосе частот 406–406,1 МГц может занять оба бортовых модуля DRU, делая спутник Коспас недоступным для обработки реальных сигналов бедствия от радиомаяков.

В целях удовлетворения требованиям к системам поиска и спасания по производительности в отношении низкомошных радиомаяков, передающих сигналы бедствия, SARP Коспас разработан так, чтобы обнаруживать и обрабатывать крайне слабые сигналы. Его характеристики таковы, что любое излучение C_{min} , превышающее уровень плотности мощности локального шума на 21 дБ ($C_{min}/N_0 > 21$ дБ(Гц)), будет направлено на DRU для дополнительной обработки. Следовательно, любые мешающие сигналы в обрабатываемой полосе пропускания 406–406,1 МГц, соответствующие этим критериям, вызовут их обработку модулем DRU. Поэтому сообщение от радиомаяка будет потеряно, даже если узкополосный мешающий сигнал не повлиял напрямую на сигнал радиомаяка.

Было вычислено, что спектральная плотность шума N_0 составляет $-200,82$ дБ(Вт/Гц).

Поскольку $C_{min}/N_0 = 21$ дБ(Гц), то $C_{min} = -179,82$ дБВт. Следовательно, любое узкополосное побочное излучение, превышающее $-179,82$ дБВт на входе SARP, вызовет ухудшение производительности обработки сигналов от радиомаяка системой SARP Коспас.

Максимальное усиление приемной антенны SARP Коспас составляет 6 дБи. Поэтому максимальная допустимая мощность на входе антенны равна $-179,82 + 1,6$ (потери) = $-178,22$ дБВт. Поскольку требуется определить п.п.м., необходимо преобразовать этот коэффициент в дБ(Вт/м²). Эквивалентная площадь поверхности антенны, имеющей усиление $G = 6$ дБи, определяется как $S = G \frac{\lambda^2}{4\pi} = 0,174 \text{ м}^2$. Отсюда соответствующая плотность потока мощности (п.п.м.) равна $-178,2 - 10 \log_{10} S = -170,6$ дБ(Вт/м²).

Максимальный уровень узкополосных побочных излучений не должен превышать $-170,6$ дБ(Вт/м²) на входе спутниковой антенны SARP Коспас, чтобы обеспечить надлежащую защиту оборудования SARP Коспас.

Процессоры приемника системы Коспас-Сарсат разработаны так, чтобы определять дискретные спектральные компоненты (немодулированная несущая радиомаяка). Поэтому требование к защите выражается скорее в виде спектра мощности, а не спектральной плотности мощности, и единицей измерения побочных излучений является дБ(Вт/м²) (п.п.м.). Ширина полосы по разрешению приемника SARP Коспас составляет 40 Гц. Следовательно, минимальный частотный интервал между спектральными линиями (также называемый разрешающей способностью спектрального анализа), который может определить приемник SARP Коспас, равен 40 Гц. Соответственно, уровень побочного излучения должен вычисляться в эталонной полосе шириной 40 Гц.

5 Десенсбилизация и выгорание входного каскада приемника Коспас

На спутниках Коспас используются высокочувствительные приемники с широкополосными малозумящими усилителями (МШУ), в которых могут наблюдаться перегрузки или, в худшем случае, выгорание входного каскада из-за воздействия излучений систем НГСО ПСС.

Блокирование или десенсбилизация обычно наблюдается в том случае, когда недостаточная радиочастотная фильтрация вызывает насыщение на входном каскаде МШУ и, таким образом, приводит к снижению усиления и чувствительности приемника. С вышеупомянутыми эффектами могут сочетаться другие эффекты, такие как смешивание помех с фазовым шумом МШУ. В порядке общего замечания необходимо сказать, что, как показывает опыт, когда узкополосный передатчик работает вблизи от широкополосного приемника, то блокирование или десенсбилизация часто является основной причиной проблем с помехами.

МШУ на приемнике Коспас 406 МГц могут выдержать сигналы до -60 дБВт (выгорание входного каскада) и -100 дБВт (десенсбилизация). Поскольку мощность негеостационарных спутников ПСС может достигать 24 дБВт, то очевидно, что может произойти выгорание спутниковых приемников Коспас, если его не предотвратить разделением частот.

Уровень мощность сигналов систем НГСО ПСС на входе приемника Коспас зависит от многих факторов, самым важным из которых является расстояние между негеостационарными спутниками ПСС и спутниками Коспас, которое теоретически может быть равно нулю для некоторых предполагаемых группировок спутников систем НГСО ПСС. Ввиду катастрофических последствий выгорания входного каскада приемников Коспас несущие частоты негеостационарных спутников ПСС должны выбираться так, чтобы гарантировать, что ни одна из их заявленных полос не превысит 406 МГц. В таблице 3 представлены основные факторы расчета минимальной защитной полосы для защиты приемников Коспас от выгорания из-за излучений негеостационарных спутников ПСС.

ТАБЛИЦА 3

Определенный доплеровский сдвиг частоты	20 кГц $2 \times 406\,000 \times (7,4/300\,000)$
Стабильность передатчика космической станции в этой полосе	8,12 кГц $20 \times 10^{-6} \times 406\,000$
Стабильность приемника SARP за год (при предположительном сроке существования спутника 12 лет) (Сарсат-3 запущен в 1986 г.)	2,45 кГц
Заявленная полоса систем НГСО ПСС/2	1,2–500 кГц $(2,4-1\,000)/2$
Защитная полоса	31,8–530,6 кГц

Представленные в таблице 3 результаты показывают, что, если полоса частот 405–406 МГц распределена для использования негеостационарными спутниками ПСС, потребуется как минимум защитная полоса 32 кГц (405,968–406 МГц).

Приложение 5

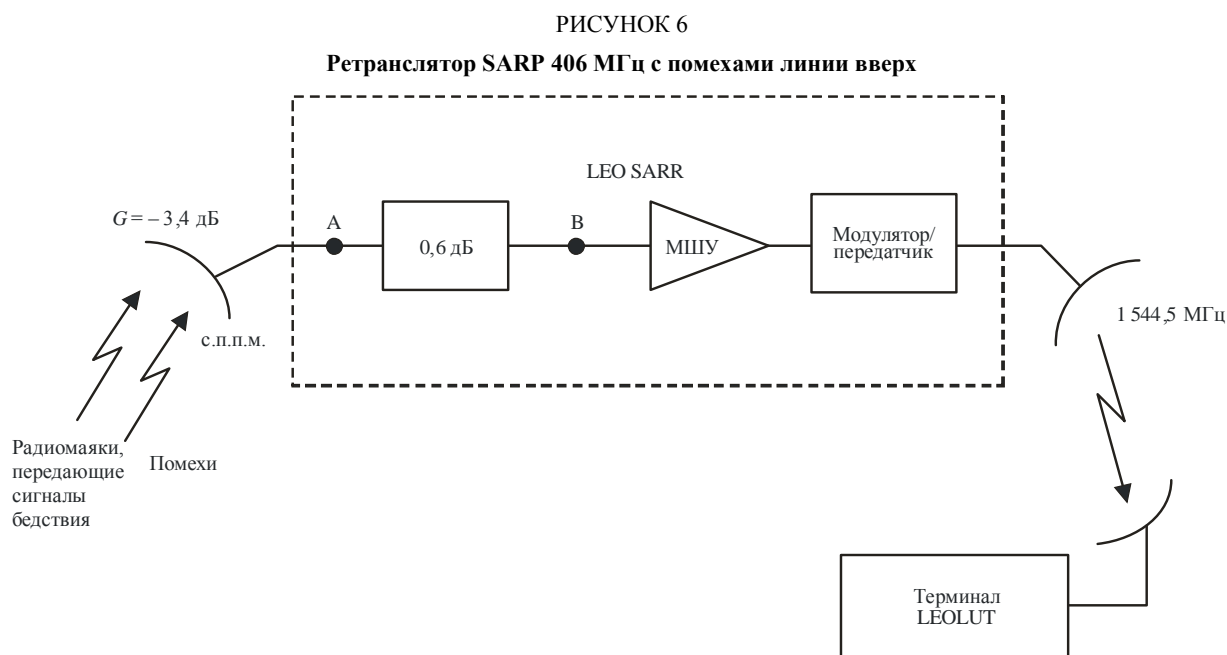
Критерии защиты в полосе частот 406–406,1 МГц для оборудования SARR Сарсат

1 Минимальные приемлемые характеристики для канала SARR 406 МГц спутников NOAA

Для надежного обнаружения сигналов радиомаяков, передающих сигналы бедствия на частоте 406 МГц, используя ретрансляторы 406 МГц низкоорбитальных спутников Сарсат, коэффициент ошибок по битам (BER) в канале не должен превышать 5×10^{-5} .

2 Анализ с.п.п.м., вызывающей помехи

Величина BER в канале связи выводится из отношения энергии, содержащейся в каждом бите данных, E_b , к плотности шума; плотность шума состоит из шума, создаваемого оборудованием Коспас-Сарсат, N_0 , и шума, вызываемого помехами от других систем, I_0 . На рисунке 6 показан канал SARR 406 МГц низкоорбитального спутника (LEO SARR) с помехами на линии вверх.



M.1478-06

Чтобы достичь величины $BER\ 5 \times 10^{-5}$, отношение энергии на бит к плотности шума и помех $E_b/(N_0 + I_0)$ в демодуляторе терминала местных пользователей системы Коспас-Сарсат на низкой околоземной орбите (LEOLUT) должно быть равно или превышать 8,8 дБ. Данный анализ определяет максимальное количество широкополосных шумоподобных помех, указываемое как с.п.п.м. на входе антенны 406 МГц низкоорбитального спутника Сарсат, которое может быть принято без ухудшения величины $E_b/(N_0 + I_0)$ в общей линии ниже 8,8 дБ.

Как показано на рисунке 6, передаваемые радиомаяками сигналы бедствия на частоте 406 МГц принимаются ретранслятором поиска и спасения на низкой околоземной орбите и модулируются по фазе на несущей линии вниз 1544,5 МГц для обнаружения и обработки терминалами LEOLUT. Усиление антенны и шумовая температура системы для спутникового ретранслятора составляют -4 дБи и 1000 К в точке В (рис. 6).

В рамках этого анализа предполагается, что три активных радиомаяка одновременно передают сигналы на трех разных частотах в полосе 406–406,1 МГц. Нужный маяк имеет угол места 5° по отношению к космическому аппарату. Два других маяка включены в анализ, потому что они совместно используют располагаемую мощность ретранслятора спутника.

Если внешние источники помех отсутствуют, общее отношение C/N_0 составляет 38,8 дБ (Гц), что соответствует E_b/N_0 , равному 12,8 дБ. С учетом потерь на аппаратную реализацию и потерь при демодуляции данных от радиомаяка эффективное отношение E_b/N_0 составляет 10,8 дБ. Поскольку для обеспечения надежного соответствия требованиям к производительности в канале требуется общее отношение $E_b/(N_0 + I_0)$ не менее 8,8 дБ, не может быть допущено накопление широкополосных помех на линии вверх, которое уменьшает общее отношение несущей плотности шума и помех более чем на 2 дБ.

Поскольку общее отношение C/N_0 в отсутствие помех равно 38,8 дБ(Гц), то из-за широкополосных шумоподобных помех на линии вверх, которые вызывают его ухудшение в общей линии на 2 дБ, $(C/N_0)_{общее}$ будет составлять:

$$\begin{aligned} (C/N_0)_{общее\ с\ помехами} &= (C/N_0)_{ОП} = (C/N_0)_{общее} - 2\ дБ \\ (C/N_0)_{ОП} &= 38,8\ дБ(Гц) - 2\ дБ \\ (C/N_0)_{ОП} &= 36,8\ дБ(Гц) . \end{aligned} \quad (1)$$

Отношение $(C/N_0)_{оп}$ может быть вычислено из отношений несущей к плотности шума и помех для линии вверх и линии вниз, как указано ниже:

$$(C/N_0)_{оп} = ((C/N_0)^{-1}_{\text{вверх с помехами}} + (C/N_0)^{-1}_{\text{вниз с помехами}})^{-1} \quad (\text{численная величина}). \quad (2)$$

Поскольку этот анализ касается помех на линии вверх, то $(C/N_0)_{\text{вверх с помехами}}$ в уравнении (2) будет:

$$(C/N_0)_{\text{вверх с помехами}} = (C_{\uparrow} / (N_0 + I_0)) \quad (\text{численная величина}). \quad (3)$$

Помехи также влияют на отношение несущей к плотности шума для линии вниз $(C/N_0)_{\downarrow}$, за счет увеличения общей мощности, совместно используемой в полосе пропускания систем поиска и спасания. Эта увеличенная общая мощность уменьшает потери разделения мощности и влияет на $(C/N_0)_{\downarrow}$ следующим образом:

$$(C/N_0)_{\text{вниз с помехами}} = (C/N_0)_{\downarrow} \times (Lps_i / Lps) \quad (\text{численная величина}), \quad (4)$$

где Lps – потери разделения мощности без помех, а Lps_i – потери разделения мощности с помехами. Lps_i вычисляется следующим образом:

$$Lps_i = C_{\uparrow} / (C_{\uparrow} + 2 \times C_2 + N_{\uparrow} + I_0 B) \quad (\text{численная величина}), \quad (5)$$

где C_2 – уровень мощности одного из двух других маяков, сигналы которых одновременно принимаются ретранслятором поиска и спасания низкоорбитального спутника (LEOSAR).

Подставим уравнение (5) в уравнение (4), а затем уравнения (3) и (4) – в уравнение (2) и, вычисляя I_0 , получим следующую формулу:

$$I_0 = (C_{\uparrow} ((C/N_0)_{оп}^{-1} - (C/N_0)_{\downarrow}^{-1}) - N_{0\uparrow}) / (1 + Lps(C/N)_{\downarrow}^{-1}) \quad (\text{численная величина}). \quad (6)$$

$(C/N_0)_{оп}$ равно 36,8 дБ(Гц) (см. уравнение (1)), C равно -157,3 дБ, $(C/N_0)_{\downarrow}$ равно 42,5 дБ(Гц), N_0 равно -198,6 дБ(Вт/Гц), Lps равно -15,3 дБ, а $(C/N)_{\downarrow}$ равно 42,5 дБ(Гц) минус $10 \log(80 \text{ к})$ или -6,5 дБ. Подставив эти численные значения в уравнение (6), получим:

$$I_0 = -198,9 \text{ дБ(Вт/Гц)}.$$

Рассматриваемые критерии защиты желательно характеризовать в виде порогового уровня с.п.п.м. помех, указываемого в дБ(Вт/(м² · Гц)), на входе приемной спутниковой антенны 406 МГц. Эффективная апертура антенны A_e с усилением G определяется как $A_e = G \lambda^2 / 4\pi$. Для приемной антенны низкоорбитального спутника с усилением -3,4 дБи эффективная апертура равна 0,02 м². Поэтому максимальные приемлемые суммарные помехи, указываемые в виде с.п.п.м., составляют:

$$\text{с.п.п.м.} = I_0 - L_{\text{линия}} - A_e.$$

Если предположить, что потери в линии составляют 0,6 дБ (см. рис. 6):

$$\text{с.п.п.м.} = -198,9 + 0,6 - 10 \log(0,02) = -181,3 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot \text{Гц))}.$$

Максимальный уровень широкополосных шумоподобных помех в полосе 406–406,1 МГц, измеренный на спутниковой антенне на низкой околоземной орбите, не должен превышать -181,3 дБ(Вт/(м² · Гц)).

3 Процедура вычисления уровня помех в канале ретранслятора 406 МГц LEOSAR

Помехи, создаваемые системе Коспас-Сарсат, чаще всего являются результатом внеполосных излучений от служб в соседних или близких к ним полосах.

Чтобы определить, передается ли энергия в полосе 406–406,1 МГц, необходимо изучить ширину полосы излучения. Особую тщательность следует проявлять при анализе воздействия подвижных систем (например, негеостационарных спутников и приемников на борту воздушных судов), чтобы учесть эффекты доплеровского сдвига, возникающие при их движении.

Необходимо вычислить уровень помех от всех источников, которые передают энергию в полосе частот 406–406,1 МГц, выражаемый как уровень с.п.п.м. на спутниковой антенне. Суммарный уровень для всех источников помех не должен превышать $-181,3$ дБ(Вт/(м² · Гц)) в любой части этой полосы.

Приложение 6

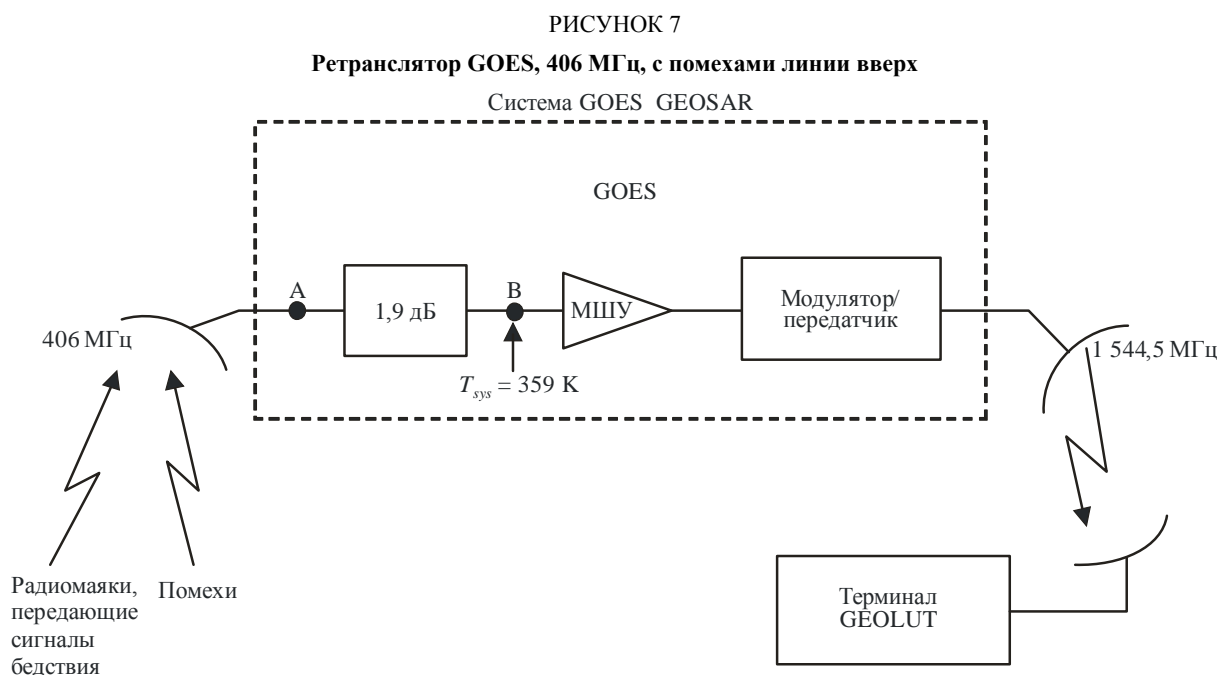
Критерии защиты в полосе частот 406–406,1 МГц для служб GOES GEOSAR и спутников серии GOES-R

1 Минимальные приемлемые характеристики для обнаружения сигналов EPIRB, ретранслируемых через канал SARR 406 МГц спутника GOES

Для надежного обнаружения сигналов радиомаяков, передающих сигналы бедствия на частоте 406 МГц, используя ретрансляторы 406 МГц спутников GOES, коэффициент ошибок по битам (BER) в канале не должен превышать 5×10^{-5} .

2 Анализ с.п.п.м., вызывающей помехи

Величина BER в канале связи выводится из отношения энергии, содержащейся в каждом бите данных, E_b , к плотности шума. Плотность шума состоит из шума, создаваемого оборудованием Коспас-Сарсат, N_0 , и шума, вызываемого помехами от других систем, I_0 . На рисунке 7 показан канал SARR 406 МГц спутника GOES с помехами на линии вверх.



М.1478-07

Чтобы достичь величины BER 5×10^{-5} , отношение энергии на бит к плотности шума и помех $E_b/(N_0 + I_0)$ в демодуляторе терминала местных пользователей системы Коспас-Сарсат на геостационарной орбите (GEOLUT) должно быть равно или превышать 8,8 дБ. Данный анализ

определяет максимальное количество широкополосных шумоподобных помех, указываемое как с.п.п.м. на входе антенны 406 МГц спутника GOES, которое может быть принято без ухудшения величины $E_b/(N_0 + I_0)$ в общей линии ниже 8,8 дБ.

Как показано на рисунке 7, передаваемые радиомаяками сигналы бедствия на частоте 406 МГц принимаются ретранслятором поиска и спасания спутника GOES и модулируются по фазе на несущей линии вниз 1544,5 МГц для обнаружения и обработки терминалами GEOLUT. Усиление антенны и шумовая температура системы для спутникового ретранслятора составляют 10,1 дБи и 359 К в точке В (рис. 7). Для спутников серии GOES-R усиление антенны будет равно 12,4 дБи, а шумовая температура системы составит 531 К. Путем использования сложной обработки цифрового сигнала и методов интеграции пакетов при отсутствии помех можно получить общее отношение несущей к плотности шума C/N_0 , равное 31,1 дБ (Гц).

В целях отображения реалистичной рабочей среды в рамках этого анализа предполагается, что три активных радиомаяка одновременно передают сигналы на трех разных частотах в полосе 406–406,1 МГц. Нужный маяк имеет угол места 5° по отношению к космическому аппарату. Два других маяка включены в анализ, потому что они совместно используют располагаемую мощность ретранслятора спутника.

Если внешние источники помех отсутствуют, общее отношение C/N_0 составляет 31,1 дБ (Гц), что соответствует E_b/N_0 , равному 5,1 дБ. С учетом потерь на аппаратную реализацию и потерь при демодуляции данных от радиомаяка, а также выигрыша от обработки данных эффективное отношение E_b/N_0 составляет 10,1 дБ. Поскольку для эффективной работы в канале требуется общее отношение $E_b/(N_0 + I_0)$ не менее 8,8 дБ, не может быть допущено накопление широкополосных помех на линии вверх, которое уменьшает общее отношение несущей к плотности шума и помех более чем на 1,3 дБ.

Поскольку общее отношение C/N_0 в отсутствие помех равно 31,1 дБ (Гц), то из-за широкополосных шумоподобных помех на линии вверх, которые вызывают его ухудшение в общей линии на 1,3 дБ, $(C/N_0)_{\text{общее с помехами}}$ будет составлять:

$$\begin{aligned} (C/N_0)_{\text{общее с помехами}} &= (C/N_0)_{\text{ОП}} = (C/N_0)_{\text{общее}} - 1,3 \text{ дБ} \\ (C/N_0)_{\text{ОП}} &= 31,1 \text{ дБ(Гц)} - 1,3 \text{ дБ} \\ (C/N_0)_{\text{ОП}} &= 29,8 \text{ дБ(Гц)}. \end{aligned} \quad (7)$$

Отношение $(C/N_0)_{\text{ОП}}$ вычисляется из отношений несущей к плотности шума и помех для линии вверх и линии вниз, как указано ниже:

$$(C/N_0)_{\text{ОП}} = ((C/N_0)_{\text{вверх с помехами}}^{-1} + (C/N_0)_{\text{вниз с помехами}}^{-1})^{-1} \quad (\text{численная величина}). \quad (8)$$

Поскольку этот анализ касается помех на линии вверх, то $(C/N_0)_{\text{вверх с помехами}}$ в уравнении (8) будет:

$$(C/N_0)_{\text{вверх с помехами}} = (C_{\uparrow} / (N_{0\uparrow} + I_0)) \quad (\text{численная величина}). \quad (9)$$

Помехи также влияют на отношение несущей к плотности шума для линии вниз $(C/N_0)_{\downarrow}$, за счет увеличения общей мощности, совместно используемой в полосе пропускания систем спасания и поиска. Эта увеличенная общая мощность уменьшает потери разделения мощности и влияет на $(C/N_0)_{\downarrow}$ следующим образом:

$$(C/N_0)_{\text{вниз с помехами}} = (C/N_0)_{\downarrow} \times (Lps_i / Lps) \quad (\text{численная величина}). \quad (10)$$

где Lps – потери разделения мощности без помех, а Lps_i – потери разделения мощности с помехами. Lps_i вычисляется следующим образом:

$$Lps_i = C_{\uparrow} / (C_{\uparrow} + 2 \times C_2 + N_{\uparrow} + I_0 B) \quad (\text{численная величина}), \quad (11)$$

где C_2 – уровень мощности одного из двух других радиомаяков, сигналы которых одновременно принимаются ретранслятором SARR спутника GOES, а B – полоса пропускания приемника этого спутника.

Подставим уравнение (11) в уравнение (10), а затем уравнения (9) и (10) – в уравнение (8) и, вычисляя I_0 , получим следующую формулу:

$$I_0 = (C_{\uparrow}((C/N_0)_{оп}^{-1} - (C/N_0)_{\downarrow}^{-1}) - N_{0\uparrow}) / (1 + Lps(C/N)_{\downarrow}^{-1}) \quad (\text{численная величина}). \quad (12)$$

$(C/N_0)_{оп}$ равно 29,8 дБ(Гц) (см. уравнение (7)), C равно -171,7 дБ, $(C/N_0)_{\downarrow}$ равно 43,8 дБ(Гц), N_0 равно -203 дБ(Вт/Гц), Lps равно -18,3 дБ, а $(C/N)_{\downarrow}$ равно 43,8 дБ(Гц) минус $10 \log(80 \text{ кГц})$ или -5,2 дБ. Подставив эти численные значения в уравнение (12), получим:

$$I_0(GOES) = (10^{-171,7/10}(10^{-29,8/10} - 10^{-43,8/10}) - 10^{-203/10}) / (1 + 10^{-18,3/10} \times 10^{5,2/10})$$

или:

$$I_0(GOES) = -207,62 \text{ дБ(Вт/Гц)}$$

или:

$$I_0(GOES - R) = -205,92 \text{ дБ(Вт/Гц)}.$$

Рассматриваемые критерии защиты желательно характеризовать в виде порогового значения с.п.п.м. помех, указываемого в дБ(Вт/(м² · Гц)), на входе приемной спутниковой антенны 406 МГц. Эффективная апертура антенны A_e с усилением G определяется как $A_e = G \lambda^2 / 4\pi$. Для приемной антенны спутника GOES с усилением 12 дБи эффективная апертура равна 0,689 м². Поэтому максимальные приемлемые суммарные помехи, указываемые в виде с.п.п.м., составляют:

$$\text{с.п.п.м.} = I_0 - L_{\text{линия}} - A_e.$$

Если предположить, что потери в линии составляют 1,9 дБ (см. рис. 7):

$$\text{с.п.п.м.} = -207,7 + 1,9 - 10 \log(0,689) = -204,2 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot \text{Гц))}.$$

Для спутников серии GOES-R усиление приемной антенны составляет 14,3 дБи, а эффективная апертура равна 1,617 м². Поэтому максимальные приемлемые суммарные помехи, указываемые в виде с.п.п.м., составляют:

$$\text{с.п.п.м.} = -205,9 + 1,9 - 10 \log(1,617) = -204,67 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot \text{Гц))}.$$

Максимальный уровень широкополосных шумоподобных помех в полосе 406–406,1 МГц, измеренный на антенне спутника GOES, не должен превышать -204,2 дБ(Вт/(м² · Гц)) для существующих спутников GOES и -204,7 дБ(Вт/(м² · Гц)) для спутников серии GOES-R.

3 Процедура вычисления уровня помех в канале SARR 406 МГц спутника GOES

Помехи, создаваемые системе Коспас-Сарсат, чаще всего являются результатом внеполосных излучений от служб в соседних или близких к ним полосах.

Чтобы определить, передается ли энергия в полосе 406–406,1 МГц, необходимо изучить ширину полосы излучения. Особую тщательность следует проявлять при анализе воздействия подвижных систем (например, негостационарных спутников и приемников на борту воздушных судов), чтобы учесть эффекты доплеровского сдвига, возникающие при их движении.

Необходимо вычислить уровень помех от всех источников, которые передают энергию в этой полосе частот, выражаемый как уровень с.п.п.м. на спутниковой антенне. Суммарный уровень для всех источников помех в любой части этой полосы не должен превышать -204,2 дБ(Вт/(м² · Гц)) для более ранних систем GOES и -204,7 дБ(Вт/(м² · Гц)) для систем серии GOES-R.

Приложение 7

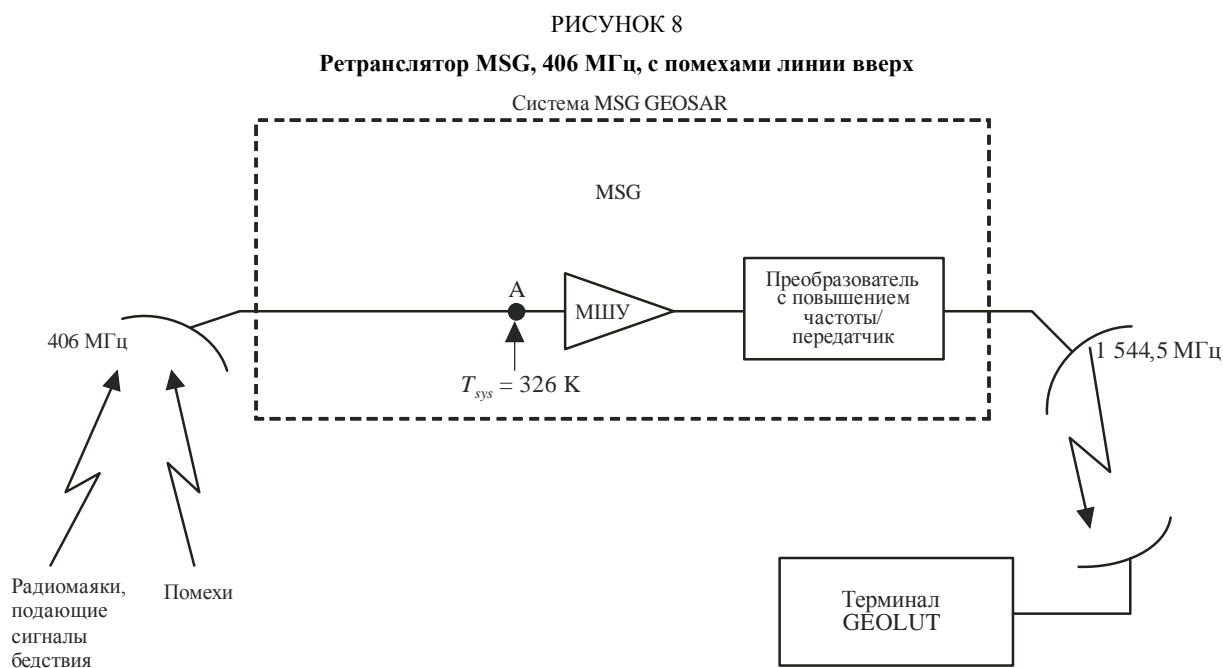
Критерии защиты в полосе частот 406–406,1 МГц для служб MSG GEOSAR

1 Минимальные приемлемые характеристики для обнаружения сигналов EPIRB, ретранслируемых через канал SARR 406 МГц спутников MSG

Для надежного обнаружения сигналов радиомаяков, передающих сигналы бедствия на частоте 406 МГц, используя ретрансляторы 406 МГц метеорологических спутников второго поколения (MSG), коэффициент ошибок по битам (BER) в канале не должен превышать 5×10^{-5} .

2 Анализ с.п.п.м., вызывающей помехи

Величина BER в канале связи выводится из отношения энергии, содержащейся в каждом бите данных, E_b , к плотности шума. Плотность шума состоит из шума, создаваемого оборудованием Коспас-Сарсат, N_0 , и шума, вызываемого помехами от других систем, I_0 . На рисунке 8 показан канал SARR 406 МГц спутника MSG с помехами на линии вверх.



М.1478-08

Чтобы достичь величины BER 5×10^{-5} , отношение энергии на бит к плотности шума и помех $E_b/(N_0 + I_0)$ в демодуляторе терминала GEOLUT должно быть равно или превышать 8,8 дБ. Данный анализ определяет максимальное количество широкополосных шумоподобных помех, указываемое как с.п.п.м. на входе антенны 406 МГц спутника MSG, которое может быть принято без ухудшения величины $E_b/(N_0 + I_0)$ в общей линии ниже 8,8 дБ.

Как показано на рисунке 8, передаваемые радиомаяками сигналы бедствия на частоте 406 МГц принимаются ретранслятором поиска и спасания спутника MSG и модулируются по фазе на несущей линии вниз 1544,5 МГц для обнаружения и обработки терминалами GEOLUT. Усиление антенны и шумовая температура системы для спутникового ретранслятора составляют 3 дБи и 326 К в точке А (рис. 8). Путем использования сложной обработки цифрового сигнала и методов интеграции пакетов

при отсутствии помех можно получить общее отношение несущей к плотности шума C/N_0 , равное 27,4 дБ(Гц).

В целях отображения реалистичной рабочей среды в рамках этого анализа предполагается, что три активных радиомаяка одновременно передают сигналы на трех разных частотах в полосе 406–406,1 МГц. Нужный маяк имеет угол места 5° по отношению к космическому аппарату. Два других маяка включены в анализ, потому что они совместно используют располагаемую мощность ретранслятора спутника.

При отсутствии внешних источников помех общее отношение C/N_0 составляет 27,4 дБ(Гц), что соответствует E_b/N_0 , равному 1,4 дБ. С учетом потерь на аппаратную реализацию и потерь при демодуляции данных от радиомаяка, а также выигрыша от обработки данных эффективное отношение E_b/N_0 составляет 8,9 дБ. Поскольку для эффективной работы в канале требуется общее отношение $E_b/(N_0 + I_0)$ не менее 8,8 дБ, не может быть допущено накопление широкополосных помех на линии вверх, которое уменьшает общее отношение несущей к плотности шума и помех более чем на 0,1 дБ.

Поскольку общее отношение C/N_0 в отсутствие помех равно 27,4 дБ(Гц), то из-за широкополосных шумоподобных помех на линии вверх, которые вызывают его ухудшение в общей линии на 0,1 дБ, $(C/N_0)_{\text{общее с помехами}}$ будет составлять:

$$(C/N_0)_{\text{общее с помехами}} = (C/N_0)_{\text{ОП}} = (C/N_0)_{\text{общее}} - 0,1 \text{ дБ}$$

$$(C/N_0)_{\text{ОП}} = 27,4 \text{ дБ(Гц)} - 0,1 \text{ дБ}$$

$$(C/N_0)_{\text{ОП}} = 27,3 \text{ дБ(Гц)}.$$

Общее отношение несущей к плотности шума и помех может быть вычислено из отношений несущей к плотности шума и помех для линии вверх и линии вниз, как указано ниже:

$$(C/N_0 + I_0)_{\text{общее}} = ((C/N_0 + I_0)^{-1\uparrow} + (C/N_0 + I_0)^{-1\downarrow})^{-1}.$$

Поскольку данный анализ касается только помех на линии вверх, предполагается, что помехи на линии вниз отсутствуют и уравнение упрощается до:

$$(C/N_0 + I_0)_{\text{общее}} = ((C/N_0 + I_0)^{-1\uparrow} + (C/N_0)^{-1\downarrow})^{-1}.$$

Подставив значения для $(C/N_0 + I_0)_{\text{общее}}$ (27,3 дБ(Гц)) и $(C/N_0)_{\downarrow}$ (35,5 дБ(Гц)), получим значение приемлемого отношения несущей к плотности шума и помех $((C/N_0 + I_0))$ для худшего случая, равное 28 дБ(Гц):

$$C/(N_0 + I_0)_{\uparrow} = ((C/N_0 + I_0)_{\text{общее}}^{-1} - (C/N_0)_{\downarrow}^{-1})^{-1}$$

или:

$$C/(N_0 + I_0)_{\uparrow} = 10 \log((10^{-27,3/10} - 10^{-35,5/10})^{-1}).$$

тогда:

$$C/(N_0 + I_0)_{\uparrow} = 28 \text{ дБ(Гц)}.$$

Вычисление I_0 дает:

$$I_0 = 10 \log(10^{(C_{\uparrow} - (C/(N_0 + I_0)_{\uparrow}) \cdot 10)} - 10^{(N_0(\uparrow) \cdot 10)}).$$

Спектральная плотность мощности шума на линии вверх без помех в точке А составляет $N_0 = k T$, где k – постоянная Больцмана, а T – шумовая температура ретранслятора, отнесенная к точке А. Следовательно, $N_0 = -228,6 + 25,1 = -203,5$ дБ(Вт/Гц). Мощность несущей линии вверх составляет $C = -175,7$ дБВт. Поэтому максимальное приемлемое значение для плотности шума на линии вверх (I_0) составляет:

$$(I_0)_\uparrow = 10 \log(10^{(-175,7-28)/10} - 10^{(-203,5/10)})$$

или:

$$(I_0)_\uparrow = -217 \text{ дБ(Вт/Гц)}.$$

Рассматриваемые критерии защиты желательно характеризовать в виде порогового уровня с.п.п.м. помех, указываемого в дБ(Вт/м² · Гц), на входе приемной спутниковой антенны 406 МГц. Эффективная апертура антенны A_e с усилением G определяется как $A_e = G \lambda^2 / 4\pi$. Для приемных антенн спутников MSG с усилением 3 дБи эффективная апертура равна 0,087 м². Поэтому максимальные приемлемые суммарные помехи, указываемые в виде с.п.п.м., составляют:

$$\text{с.п.п.м.} = I_0(\text{max}) - A_e$$

$$\text{с.п.п.м.} = -217 - 10 \log(0,087) = -206,4 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot \text{Гц))}.$$

Максимальный уровень широкополосных шумоподобных помех в полосе 406–406,1 МГц, измеренный на антенне спутника MSG, не должен превышать –206,4 дБ(Вт/(м² · Гц)).

3 Процедура вычисления уровня помех в канале SARR 406 МГц спутников MSG

Помехи, создаваемые системе Коспас-Сарсат, чаще всего являются результатом внеполосных излучений от служб в соседних или близких к ним полосах.

Чтобы определить, передается ли энергия в полосе 406–406,1 МГц, необходимо изучить ширину полосы излучения. Особую тщательность следует проявлять при анализе воздействия подвижных систем (например, негеостационарных спутников и приемников на борту воздушных судов), чтобы учесть эффекты доплеровского сдвига частоты, возникающие при их движении.

Необходимо вычислить уровень помех от всех источников, которые передают энергию в этой полосе частот, выражаемый как уровень с.п.п.м. на спутниковой антенне. Суммарный уровень для всех источников помех не должен превышать –206,4 дБ(Вт/(м² · Гц)) в любой части этой полосы.

Приложение 8

Критерии защиты оборудования поиска и спасания системы Коспас-Сарсат в полосе частот 406–406,1 МГц (SAR/Электро)

1 Введение

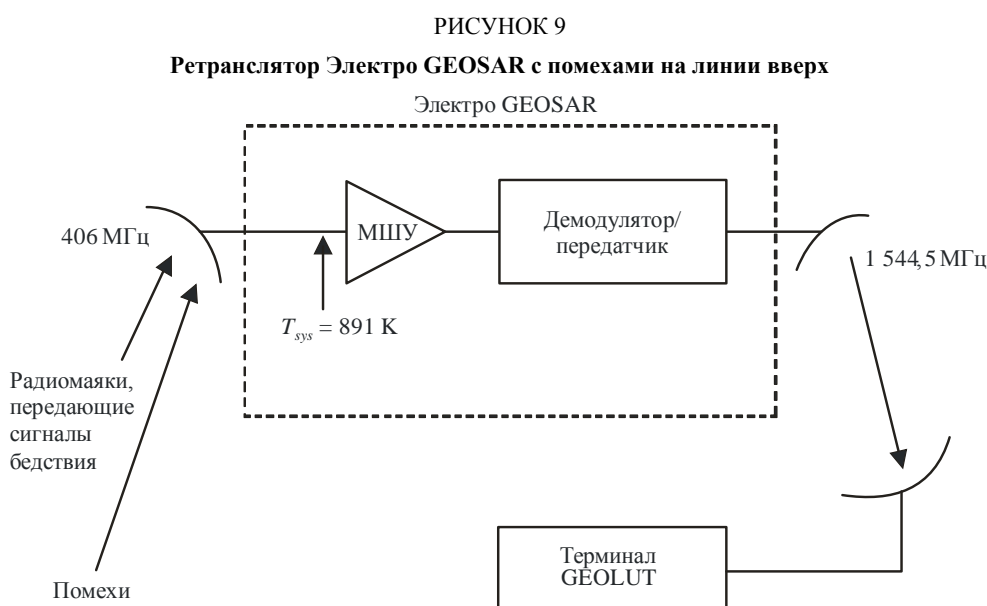
Ретрансляторы поиска и спасания системы Коспас-Сарсат на борту спутников Электро принимают передаваемые радиомаяками сигналы бедствия на частоте 406 МГц и перенаправляют их на терминалы местных пользователей системы Коспас-Сарсат на геостационарной орбите (GEOLUT) по линии вниз на частотах в полосе 1544–1545 МГц. Приведенный в настоящем Приложении анализ устанавливает критерии защиты от помех в полосе частот 406,0–406,1 МГц для служб Электро GEOSAR.

2 Минимальные приемлемые характеристики для обнаружения радиомаяками передаваемых сигналов бедствия на частоте 406 МГц, которые ретранслируются через спутники Электро

Для надежного обнаружения сигналов радиомаяков, передающих сигналы бедствия на частоте 406 МГц, используя ретрансляторы 406 МГц спутников Электро, коэффициент ошибок по битам (BER) в канале не должен превышать 5×10^{-5} .

3 Анализ с.п.п.м. помех

Величина BER в канале связи выводится из отношения энергии, содержащейся в каждом бите данных, E_b , к плотности шума. Общая плотность шума состоит из шума, создаваемого оборудованием Коспас-Сарсат, N_0 , и шума, вызываемого помехами от других систем, I_0 . На рисунке 9 показан канал полезной нагрузки SAR 406 МГц спутника Электро (Электро GEOSAR) с помехами на линии вверх.



М.1478-09

Чтобы достичь величины BER 5×10^{-5} , отношение энергии на бит к плотности шума и помех $E_b/(N_0 + I_0)$ в демодуляторе терминала GEOLUT должно быть равно или превышать 8,8 дБ. Данный анализ определяет максимальное количество широкополосных шумоподобных помех, указываемое как спектральная плотность потока мощности (с.п.п.м.) на входе антенны 406 МГц спутника Электро, которое может быть принято без ухудшения $E_b/(N_0 + I_0)$ в общей линии ниже 8,8 дБ.

В рамках этого анализа предполагается, что три активных радиомаяка одновременно передают сигналы на трех разных частотах в полосе 406,0–406,1 МГц. Радиомаяк с "низким уровнем" мощности, который является предметом анализа, имеет угол места 5° по отношению к космическому аппарату. Два других радиомаяка ведут передачу при "номинальных уровнях" мощности, а угол места для них составляет 40° по отношению к космическому аппарату. Два радиомаяка с "номинальным уровнем" мощности включены в анализ, потому что они совместно используют располагаемую мощность спутникового ретранслятора и, соответственно, влияют на бюджет линии.

Как видно из рисунка 9, оборудование поиска и спасения спутника Электро принимает сигналы бедствия от радиомаяков на частоте 406 МГц. Полезная нагрузка модулируется по фазе и передается по линии вниз на частоте 1544,5 МГц в целях обнаружения и обработки на терминалах GEOLUT. Усиление антенны и шумовая температура системы для спутникового ретранслятора составляют 12 дБи и 891 К (29,5 дБ(К)) соответственно. Соответствующее отношение G/T составляет $-17,5$ дБ/К.

Сигнал радиомаяка с э.и.и.м. 3 дБВт имеет угол места 5° по отношению к космическому аппарату. Если внешние источники помех отсутствуют, общее отношение C/N_0 составляет 32,2 дБ(Гц), что при 400 бит/с соответствует E_b/N_0 , равному 6,2 дБ (32,2 дБ(Гц) – 26 дБ/с). С учетом потерь на аппаратную реализацию (1,0 дБ) и потерь при модуляции данных от радиомаяка (1,0 дБ), а также выигрыша от обработки данных (7,0 дБ) на терминале GEOLUT эффективное отношение E_b/N_0 будет равно 11,2 дБ. Поскольку для обеспечения надежного соответствия минимальным требованиям к производительности в канале требуется общее $E_b/(N_0 + I_0)$ не менее 8,8 дБ, не может быть допущено накопление широкополосных помех на линии вверх, которое уменьшает общее отношение несущей к плотности шума и помех более чем на 2,4 дБ.

Поскольку общее отношение C/N_0 в отсутствие помех равно 32,2 дБ(Гц), то из-за широкополосных шумоподобных помех на линии вверх, которые вызывают его ухудшение в общей линии на 2,4 дБ, $(C/N_0)_{\text{общее с помехами}}$ будет составлять:

$$\begin{aligned} (C/N_0)_{\text{общее с помехами}} &= (C/N_0)_{\text{ОП}} = (C/(N_0)_{\text{общее}} - 2,4 \text{ дБ}) = \\ &= 32,2 \text{ дБ(Гц)} - 2,4 \text{ дБ} = 29,8 \text{ дБ(Гц)} \\ (C/N_0)_{\text{ОП}} &= 29,8 \text{ дБ(Гц)}. \end{aligned} \quad (13)$$

Отношение $(C/N_0)_{\text{ОП}}$ вычисляется из отношений несущей к плотности шума и помех для линии вверх и линии вниз, как указано ниже:

$$(C/N_0)_{\text{ОП}} = ((C/N_0)_{\text{вверх с помехами}}^{-1} + (C/N_0)_{\text{вниз с помехами}}^{-1})^{-1} \text{ (численная величина)}. \quad (14)$$

Поскольку этот анализ касается только помех на линии вверх, то $(C/N_0)_{\text{вверх с помехами}}$ в уравнении (14) будет:

$$(C/N_0)_{\text{вверх с помехами}} = (C_{\uparrow}/(N_{0\uparrow} + I_0)) \text{ (численная величина)}. \quad (15)$$

Помехи также влияют на отношение несущей к плотности шума в линии вниз $(C/N_0)_{\downarrow}$, за счет увеличения общей мощности, совместно используемой в полосе пропускания систем поиска и спасания. Эта увеличенная общая мощность уменьшает потери разделения мощности и влияет на $(C/N_0)_{\downarrow}$ следующим образом:

$$(C/N_0)_{\text{вниз с помехами}} = (C/N)_{\downarrow} \times (L_{psi}/L_{ps}) \text{ (численная величина)}, \quad (16)$$

где L_{ps} – потери разделения мощности без помех, а L_{psi} – потери разделения мощности с помехами. L_{psi} вычисляется следующим образом:

$$L_{psi} = C_{\uparrow}/(C_{\uparrow} + 2 \times C_2 + N_{\uparrow} + I_0 B) \text{ (численная величина)}, \quad (17)$$

где C_2 – уровень мощности одного из двух других радиомаяков, сигналы которых одновременно принимает ретранслятор SARR спутника Электро, а B – полоса пропускания приемника этого спутника.

Подставим уравнение (17) в уравнение (16), а затем уравнения (15) и (16) – в уравнение (14) и, вычисляя I_0 , получим следующую формулу:

$$I_0 = (C_{\uparrow} ((C/N_0)_{\text{ОП}}^{-1} - (C/N_0)_{\downarrow}^{-1}) - N_{0\uparrow}) / (1 + L_{ps} (C/N)_{\downarrow}^{-1}) \text{ (численная величина)}. \quad (18)$$

C_2 равно –161,1 дБВт, B равно 80 кГц, $(C/N_0)_{\text{ОП}}$ равно 29,8 дБ(Гц), C_{\uparrow} равно –166,8 дБВт, $(C/N)_{\downarrow}$ равно 48,5 дБ(Гц), $N_{0\uparrow}$ = –199,1 дБ(Вт/Гц), L_{ps} равно –17,4 дБ, а $(C/N)_{\downarrow}$ равно 48,5 дБ(Гц) минус $10 \log(80\text{k})$ или –0,53 дБ. Подставив эти численные значения в уравнение (18), получим:

$$\begin{aligned} I_0 &= (10^{-166,8/10} (10^{-29,8/10} - 10^{-48,5/10}) - 10^{-199,1/10}) / (1 + 10^{-17,4/10} \times 10^{0,53/10}) \\ I_0 &= -200,3 \text{ дБ(Вт/Гц)}. \end{aligned}$$

Рассматриваемые критерии защиты желательно характеризовать в виде порогового уровня с.п.п.м. помех, указываемого в дБ(Вт/м²·Гц), на входе спутниковой антенны 406 МГц. Эффективная апертура антенны A_e с усилением G определяется как $A_e = G\lambda^2/4\pi$. Антенна Электро имеет усиление

12 дБи, следовательно, эффективная апертура равна $0,7 \text{ м}^2$. Максимальные приемлемые суммарные помехи, указываемые в виде спектральной плотности потока мощности (с.п.п.м.), составляют:

$$\text{с.п.п.м.} = I_0 - L_{\text{линии}} - A_e.$$

Если предположить, что $L_{\text{линии}} = 0$:

$$\text{с.п.п.м.} = -200,3 - 0 - 10 \log(0,7)$$

$$\text{с.п.п.м.} = -198,7 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot \text{Гц))}.$$

Максимальный уровень широкополосных шумоподобных помех в полосе 406–406,1 МГц, измеренный на входе антенны спутника Электро, не должен превышать $-198,7 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot \text{Гц))}$.

4 Процедура вычисления уровня помех в канале SAR/Электро 406 МГц

Помехи, создаваемые системе Коспас-Сарсат, чаще всего являются результатом внеполосных излучений от служб в соседних или близких к ним полосах.

Чтобы определить, передается ли энергия в полосе 406–406,1 МГц, необходимо изучить ширину полосы излучения. Особую тщательность следует проявлять при анализе воздействия подвижных систем (например, негеостационарных спутников и приемников на борту воздушных судов), чтобы учесть эффекты доплеровского сдвига частоты, возникающие при их движении.

Необходимо вычислить уровень помех от всех источников, которые передают энергию в полосе частот 406–406,1 МГц, выражаемый как уровень с.п.п.м. на спутниковой антенне. Суммарный уровень для всех источников помех не должен превышать $-198,7 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot \text{Гц))}$ в любой части этой полосы.

Приложение 9

Критерии защиты оборудования поиска и спасания системы Коспас-Сарсат в полосе частот 406–406,1 МГц (SAR/ГЛОНАСС)

1 Введение

Ретрансляторы поиска и спасания системы Коспас-Сарсат на борту спутников ГЛОНАСС принимают передаваемые радиомаяками сигналы бедствия на частоте 406 МГц и ретранслируют их на терминалы местных пользователей системы Коспас-Сарсат на средневысотной околоземной орбите (MEOLUT) по линии вниз на частотах в полосе 1544–1545 МГц. Приведенный в настоящем Приложении анализ устанавливает критерии защиты от помех в полосе частот 406,0–406,1 МГц для служб ГЛОНАСС MEOSAR.

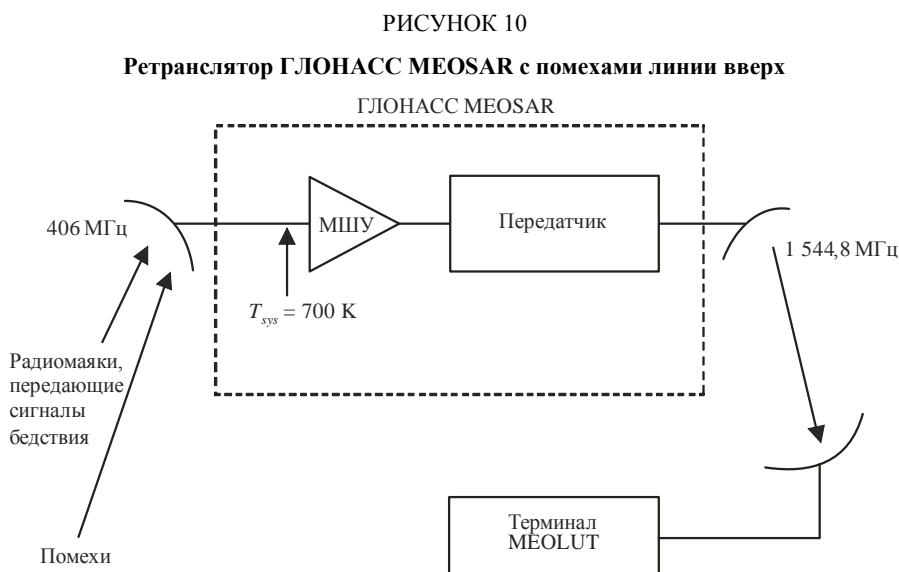
2 Минимальные приемлемые характеристики для обнаружения передаваемых радиомаяками сигналов бедствия на частоте 406 МГц, которые транслируются через спутники ГЛОНАСС

Для надежного обнаружения сигналов радиомаяков, передающих сигналы бедствия на частоте 406 МГц, используя ретрансляторы 406 МГц спутников ГЛОНАСС, коэффициент ошибок по битам (BER) в канале не должен превышать 5×10^{-5} .

3 Анализ с.п.п.м. помех

Величина BER в канале связи выводится из отношения энергии, содержащейся в каждом бите данных, E_b , к плотности шума. Общая плотность шума состоит из шума, создаваемого

оборудованием Коспас-Сарсат, N_0 , и шума, вызываемого помехами от других систем, I_0 . На рисунке 10 показан канал полезной нагрузки SAR 406 МГц спутника ГЛОНАСС (ГЛОНАСС MEOSAR) с помехами на линии вверх.



М.1478-10

Чтобы достичь величины BER 5×10^{-5} , отношение энергии на бит к плотности шума и помех $E_b/(N_0 + I_0)$ в демодуляторе терминала MEOLUT должно быть равно или превышать 8,8 дБ. Данный анализ определяет максимальное количество широкополосных шумоподобных помех, указываемое как спектральная плотность потока мощности (с.п.п.м.) на входе антенны 406 МГц спутника ГЛОНАСС, которое может быть принято без ухудшения величины $E_b/(N_0 + I_0)$ в общей линии ниже 8,8 дБ.

В рамках этого анализа предполагается, что три активных радиомаяка одновременно передают сигналы на трех разных частотах в полосе 406,0–406,1 МГц. Радиомаяк с "низким уровнем" мощности, который является предметом анализа, имеет угол места 5° по отношению к космическому аппарату. Два других радиомаяка ведут передачу при "номинальных уровнях" мощности, а угол места для них составляет 40° по отношению к космическому аппарату. Два радиомаяка с "номинальным уровнем" включены в анализ, потому что они совместно используют располагаемую мощность спутникового ретранслятора и, соответственно, влияют на бюджет линии.

Как видно из рисунка 10, передаваемые радиомаяками сигналы бедствия на частоте 406 МГц принимаются бортовым оборудованием SAR спутника ГЛОНАСС и передаются по линии вниз на частоте 1544,8 МГц для обнаружения и обработки терминалами MEOLUT. Усиление антенны и шумовая температура системы для спутникового ретранслятора составляют 11,5 дБи и 700 К (28,5 дБ(К)) соответственно. Соответствующее отношение G/T составляет $-17,0$ дБ/К.

Сигнал радиомаяка имеет угол места 5° по отношению к космическому аппарату. При отсутствии внешних источников помех общее отношение C/N_0 составляет 35,5 дБ(Гц), что при скорости передачи данных 400 бит/с соответствует E_b/N_0 , равному 9,5 дБ (35,5 дБ(Гц) – 26 дБ(с)). С учетом потерь на аппаратную реализацию (1,0 дБ), потерь при модуляции данных от радиомаяка (1,0 дБ), а также выигрыша от обработки данных (2,0 дБ) на терминале MEOLUT эффективное отношение E_b/N_0 будет равно 9,5 дБ. Поскольку для обеспечения надежного соответствия минимальным требованиям к производительности в канале требуется общее отношение $E_b/(N_0 + I_0)$ не менее 8,8 дБ, не может быть допущено накопление широкополосных помех на линии вверх, которое уменьшает общее отношение несущей к плотности шума и помех более чем на 0,7 дБ.

Поскольку общее отношение C/N_0 в отсутствие помех равно 35,5 дБ(Гц), то из-за широкополосных шумоподобных помех на линии вверх, которые вызывают его ухудшение на 0,7 дБ, общее отношение несущей к плотности шума и помех $(C/N_0)_{\text{общее с помехами}}$ будет составлять:

$$\begin{aligned} (C/(N_0+I_0))_{\text{общее}} &= (C/(N_0)_{\text{общее}} - 0,7 \text{ дБ} = \\ &= 35,5 \text{ дБ(Гц)} - 0,7 \text{ дБ} = \\ &= 34,8 \text{ дБ(Гц)}. \end{aligned} \quad (19)$$

Отношение $(C/N_0)_{\text{ОП}}$ вычисляется из отношений несущей к плотности шума и помех для линии вверх и линии вниз, как указано ниже:

$$(C/N_0)_{\text{ОП}} = ((C/N_0)^{-1}_{\text{вверх с помехами}} + (C/N_0)^{-1}_{\text{вниз с помехами}})^{-1} \text{ (численная величина)}. \quad (20)$$

Поскольку этот анализ касается только помех на линии вверх, то $(C/N_0)_{\text{вверх с помехами}}$ в уравнении (20) будет:

$$(C/N_0)_{\text{вверх с помехами}} = (C_{\uparrow}/(N_{0\uparrow} + I_0)) \text{ (численная величина)}. \quad (21)$$

Помехи также влияют на отношение несущей к плотности шума в линии вниз $(C/N_0)_{\downarrow}$, за счет увеличения общей мощности, совместно используемой в полосе пропускания систем поиска и спасания. Эта увеличенная общая мощность уменьшает потери разделения мощности и влияет на $(C/N_0)_{\downarrow}$ следующим образом:

$$(C/N_0)_{\text{вниз с помехами}} = (C/N)_{\downarrow} \times (L_{psi}/L_{ps}) \text{ (численная величина)}, \quad (22)$$

где L_{ps} – потери разделения мощности без помех, а L_{psi} – потери разделения мощности с помехами. L_{psi} вычисляется следующим образом:

$$L_{psi} = C_{\uparrow}/(C_{\uparrow} + 2 \times C_2 + N_{\uparrow} + I_0 B) \text{ (численная величина)}, \quad (23)$$

где C_2 – уровень мощности одного из двух других радиомаяков, сигналы которых одновременно принимает SARR спутника ГЛОНАСС, а B – полоса пропускания приемника этого спутника.

Подставим уравнение (23) в уравнение (22), а затем уравнения (21) и (22) – в уравнение (20) и, вычисляя I_0 , получим следующую формулу:

$$I_0 = (C_{\uparrow} ((C/N_0)_{\text{ОП}}^{-1} - (C/N_0)_{\downarrow}^{-1}) - N_{0\uparrow}) / (1 + L_{ps} (C/N)_{\downarrow}^{-1}) \text{ (численная величина)}. \quad (24)$$

C_2 равно –158,5 дБВт, B равно 80 кГц, $(C/N_0)_{\text{ОП}}$ равно 34,8 дБ(Гц), C_{\uparrow} равно –164,3 дБВт, $(C/N_0)_{\downarrow}$ равно 47,6 дБ(Гц), $N_{0\uparrow} = -200,2$ дБ(Вт/Гц), L_{ps} равно –14,7 дБ, а $(C/N)_{\downarrow}$ равно 47,6 дБ(Гц) минус $10 \log(80k)$ или –1,4 дБ. Подставив эти численные значения в уравнение (24), получим:

$$I_0 = (10^{-164,3/10} (10^{-34,8/10} - 10^{-47,6/10}) - 10^{-200,2/10}) / (1 + 10^{-14,7/10} \times 10^{1,4/10})$$

$$I_0 = -207,3 \text{ дБ(Вт/Гц)}.$$

Рассматриваемые критерии защиты желательно характеризовать в виде порогового уровня с.п.п.м. помех, указываемого в дБ(Вт/м² · Гц), на входе спутниковой антенны 406 МГц. Эффективная апертура антенны A_e с усилением G определяется как $A_e = G \lambda^2/4\pi$. Приемная антенна ГЛОНАСС имеет усиление 11,5 дБи, следовательно, эффективная апертура равна 0,61 м². Максимальные приемлемые суммарные помехи, указываемые в виде с.п.п.м., составляют:

$$\text{с.п.п.м.} = I_0 - L_{\text{линии}} - A_e.$$

Если предположить, что $L_{\text{линии}} = 0$:

$$\text{с.п.п.м.} = -207,3 - 0 - 10 \log(0,61)$$

$$\text{с.п.п.м.} = -205,2 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot \text{Гц))}.$$

Максимальный уровень широкополосных шумоподобных помех в полосе 406–406,1 МГц, измеренный на входе антенны спутника ГЛОНАСС, не должен превышать –205,2 дБ(Вт/(м² · Гц)).

4 Процедура вычисления уровня помех в канале SAR/ГЛОНАСС 406 МГц

Помехи, создаваемые системе Коспас-Сарсат, чаще всего являются результатом внеполосных излучений от служб в соседних или близких к ним полосах.

Чтобы определить, передается ли энергия в полосе 406–406,1 МГц, необходимо изучить ширину полосы излучения. Особую тщательность следует проявлять при анализе воздействия подвижных систем (например, негеостационарных спутников и приемников на борту воздушных судов), чтобы учесть эффекты доплеровского сдвига частоты, возникающего при их движении.

Необходимо вычислить уровень помех от всех источников, которые передают энергию в полосе частот 406–406,1 МГц, выражаемый как уровень с.п.п.м. на спутниковой антенне. Суммарный уровень для всех источников помех не должен превышать $-205,2$ дБ(Вт/(м² · Гц)) в любой части этой полосы.

Приложение 10

Критерии защиты оборудования поиска и спасания системы Коспас-Сарсат в полосе частот 406–406,1 МГц (SAR/Galileo)

1 Введение

Ретрансляторы поиска и спасания системы Коспас-Сарсат расположены на борту спутников Galileo. Эти ретрансляторы принимают сигналы от маяков, передающих сигналы бедствия в диапазоне 406 МГц, и транслируют сигналы на терминалы MEOLUT Коспас-Сарсат на частотах линии вниз в полосе 1544–1545 МГц. По результатам приведенного в данном Приложении анализа устанавливаются критерии защиты от помех для спутников Galileo, которые принимают сигналы от маяков, передающих сигналы бедствия в диапазоне 406 МГц, на линии вверх.

2 Минимальные приемлемые характеристики для обнаружения сигналов маяков, передающих сигналы бедствия в диапазоне 406 МГц, транслируемых через спутники SAR/Galileo

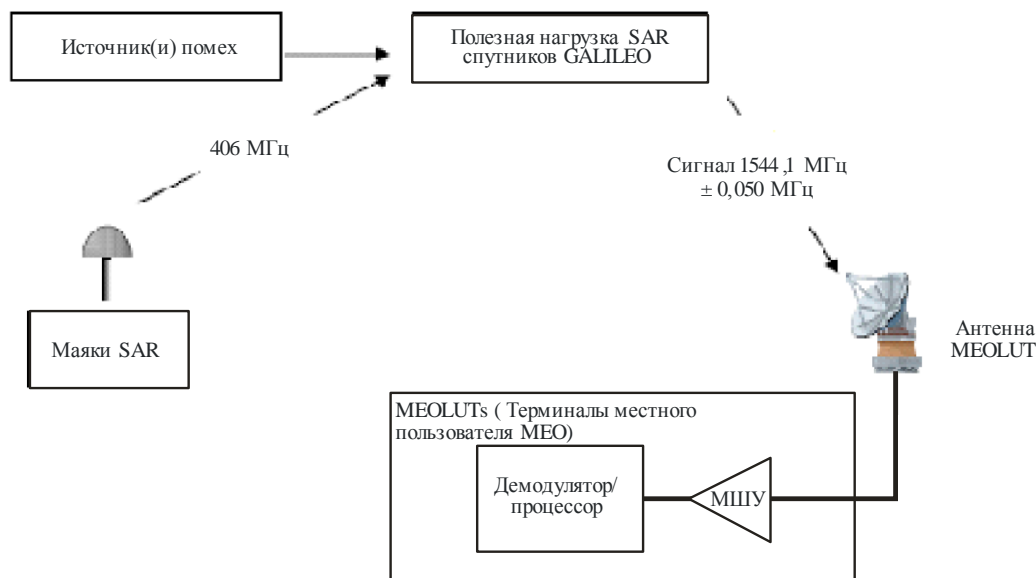
Для оценки максимального приемлемого уровня широкополосных излучений рассматривается такой параметр качества работы, как минимально допустимый коэффициент BER: для надежного обнаружения сигналов от маяков, передающих сигналы бедствия в диапазоне 406 МГц, с использованием ретрансляторов 406 МГц на спутниках Galileo, BER в канале не должен превышать 5×10^{-5} . Кроме того, поскольку линия вверх преобладает в сквозной линии (по показателю C/N_0), то рассматривается значение C/N_0 на линии вверх.

3 Анализ с.п.п.м. помех

Потенциальные помехи, присутствующие в диапазоне УВЧ SAR, изображены на рисунке 11.

РИСУНОК 11

Непреднамеренные помехи ретранслятору SAR/Galileo MEOSAR в диапазоне УВЧ



М.1478-11

3.1 Широкополосные помехи

Добавление широкополосного шума, воздействующего на полезную нагрузку SAR спутника Galileo Сарсат, ведет к возрастанию коэффициента BER в системе и тем самым негативно влияет на ее характеристики. Как определено в исследованиях МСЭ-R, максимальный приемлемый коэффициент BER на линии вверх для системы Galileo SAR не может превышать 5×10^{-5} . Исходя из этого требования в ходе данного анализа определяется максимальная приемлемая плотность потока мощности, связанная с широкополосным шумом в канале на линии вверх Galileo Сарсат. Шумовая температура системы, несущей полезную нагрузку Galileo Сарсат, на входе приемника полезной нагрузки SAR равна 600 К ($= 27,7$ дБК).

Поэтому спектральная плотность шума равна:

$$N_0 = -228,6 + 27,7 = -200,9 \text{ дБ(Вт/Гц)} \quad (25)$$

Согласно спецификации для наихудшего случая, терминал MLT Galileo SAR разработан так, чтобы правильно работать при минимальной мощности принимаемого сигнала $C = -165,2$ дБВт; данная величина принимаемого сигнала соответствует минимальному отношению C/N_0 на линии вверх, равному 35,7 дБ(Гц), на входе приемника, что обеспечивает эффективное отношение $E_b/N_0 = 9,7$ дБ (с учетом скорости передачи информации 400 бит/с (26 дБ)) в битовом детекторе полезной нагрузки SAR. В этом случае соответствующий BER равен 8×10^{-6} .

Отсюда следует, что для достижения значения BER 5×10^{-5} максимальное приемлемое ухудшение составляет 0,9 дБ. При $E_b/N_0 = 8,8$ дБ BER равен 5×10^{-5} .

В данном случае вычисляется аддитивный шум, соответствующий ухудшению 0,9 дБ для C/N_0 . Пусть I_0 представляет плотность мощности аддитивного шума, создаваемого источниками помех.

Начальный шум N_0 становится равным $N_0 + I_0$. Отношение несущая-шум C/N_0 становится равным $C/(N_0 + I_0)$.

Ухудшение составляет:

$$0,9 \text{ дБ} = 10 \log \left(\frac{C/N_0}{C/(N_0 + I_0)} \right) \quad (26)$$

таким образом, $I_0/N_0 = -6,38$ дБ, а $I_0 = -207,28$ дБ(Вт/Гц).

Следовательно, максимальный приемлемый уровень плотности шума $I_0 = -207,28$ дБ(Вт/Гц) (вычислено на входе приемника полезной нагрузки SAR).

Плотность шума I_0 учитывает ослабление и усиление антенны. Поскольку требуется определить спектральную плотность потока мощности спутника, необходимо преобразовать этот коэффициент в дБ(Вт/(м² · Гц)).

Эквивалентная площадь поверхности антенны с усилением G определяется как $S = G \frac{\lambda^2}{4\pi}$. G находится в интервале 11,6–13 дБи.

$S = -0,6$ дБ(м²) (при условии, что эффективность равна 0,7% и максимальное усиление = 13 дБи).

Поэтому соответствующая спектральная плотность потока мощности спутника равна:

$$\text{с.п.м.} = -207,28 + 0,51 (\text{потери}) - (-0,6) = -206,1 \text{ дБ(Вт/(м}^2 \cdot \text{Гц))} \quad (27)$$

с учетом наивысшего угла отклонения спутника от надира.

Для защиты терминала MLT Galileo SAR максимальный уровень широкополосных шумовых помех в полосе частот 406–406,1 МГц на входе спутника не должен превышать $-206,1$ дБ(Вт/(м² · Гц)).

3.2 Узкополосные помехи

В связи с тем, что полезная нагрузка Galileo SAR является прозрачной, узкополосные помехи в полосе 406–406,1 МГц будут непосредственно транслироваться SART в полосе 1544–1595 МГц; на уровне терминала MLT данный мешающий сигнал может быть обнаружен приемником как настоящий сигнал бедствия SAR.

В связи с этим для определения максимально допустимой узкополосной помехи используется такой параметр качества работы, как пороговый уровень в режиме захвата для терминала MeoLUT, который считается равным 34,8 дБ(Гц).

Мощность мешающего сигнала на антенне MLT обозначается как I ; если уровень I/N_0 этой помехи превышает пороговый уровень в режиме захвата для MLT, то MLT обнаруживает помеху.

С учетом того, что уровень шума в системе, рассчитанный в п. 3.1, $N_0 = -200,9$ дБ(Вт/Гц), мощность мешающего сигнала (на уровне SART) равна: $I = I/N_0 + N_0 = -166,1$ дБВт.

Чтобы получить значение плотности потока мощности на антенне, принимающей полезную нагрузку SAR, следует учесть эквивалентную площадь поверхности антенны; по аналогии с п. 3.1 плотность потока мощности можно рассчитать по формуле:

$$\text{п.п.м.} = -166,1 + 0,51 (\text{потери}) - (-0,6) = -166,2 \text{ дБ(Вт/м}^2) \quad (28)$$

с учетом наивысшего угла отклонения спутника от надира.

Чтобы обеспечить правильное обнаружение сигнала, максимальный уровень узкополосных шумовых помех в полосе частот 406–406,1 МГц на входе спутника не должен превышать $-166,2$ дБ(Вт/(м² · Гц)).

Приложение 11

Краткое описание общих характеристик всех видов оборудования

В таблице 4 приводится краткое описание общих характеристик по каждому типу оборудования системы Коспас-Сарсат.

ТАБЛИЦА 4

Краткое описание характеристик оборудования Коспас-Сарсат

Тип оборудования	Орбитальные характеристики, количество спутников, подлежащих развертыванию	Критерии защиты для узкополосных и побочных излучений на входе процессора или МШУ в космическом аппарате	Критерии защиты для широкополосных излучений
Оборудование SARP для низкоорбитального спутника Сарсат	Круговая орбита с высотой 830 км и наклоном 98°	-147,6 дБм	-198,6 дБ(Вт/(м ² · Гц))
Оборудование SARP для низкоорбитального спутника Коспас	Круговая орбита с высотой 830 км и наклоном 98°	-147,6 дБм	-198,6 дБ(Вт/(м ² · Гц))
Оборудование SARR Сарсат для низкоорбитального спутника	Круговая орбита с высотой 830 км и наклоном 98°	-147,6 дБм	-204,7 дБ(Вт/(м ² · Гц))
Ретранслятор на борту спутника GOES	Геостационарная орбита	-140,9 дБм	-201,1 дБ(Вт/(м ² · Гц))
Ретранслятор на борту спутника MSG	Геостационарная орбита	-147 дБм	-206,4 дБ(Вт/(м ² · Гц))
Ретранслятор на борту спутника Electro	Геостационарная орбита	-139,8 дБм	-198,7 дБ(Вт/(м ² · Гц))
Ретранслятор на борту спутника Galileo	Используются спутники на средневысотной околоземной орбите: 27 спутников на круговой орбите с высотой 23 225 км и углом наклона 56° (подробное описание орбитальных характеристик системы Galileo см. в Рекомендации МСЭ-R М.1787).	-136,8 дБм	-206,1 дБ(Вт/(м ² · Гц))
Ретранслятор на борту спутника ГЛОНАСС	Используются спутники на средневысотной околоземной орбите: 24 спутника на круговой орбите с высотой 19 100 км и углом наклона 64,8° (подробное описание орбитальных характеристик системы ГЛОНАСС см. в Рекомендации МСЭ-R М.1787).	-147,1 дБм	-205,2 дБ(Вт/(м ² · Гц))