

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R М.1831-1
(09/2015)

**Методика координации
для оценки межсистемных помех в
радионавигационной спутниковой службе**

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, 2016 г.

© ITU 2016

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.1831-1

**Методика координации для оценки межсистемных помех
в радионавигационной спутниковой службе**

(Вопрос МСЭ-R 217-2/4)

(2007-2015)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации приводится методика для оценки межсистемных помех в радионавигационной спутниковой службе (РНСС), которая должна использоваться в процессе координации между системами и сетями РНСС. Поскольку Резолюция 610 (ВКР-03) относится ко всем системам и сетям РНСС и содержит меры, разработанные для упрощения определения межсистемной совместимости РНСС, настоящая Рекомендация применима для РНСС в полосах частот 1164–1215 МГц, 1215–1300 МГц, 1559–1610 МГц и 5010–5030 МГц.

Ключевые слова

РНСС, методика координации, оценка межсистемных помех

Сокращения/Глоссарий

ADC	Analogue-to-Digital Converter	АЦП	Аналого-цифровой преобразователь
AGC	Automatic Gain Control	АРУ	Автоматическая регулировка усиления
PRN	Pseudo-Random Noise		Псевдослучайный шум
SSC	Spectral Separation Coefficient		Коэффициент спектрального разделения

Соответствующие Рекомендации, Отчеты МСЭ

- Рекомендация МСЭ-R М.1318-1 Модель оценки непрерывных помех со стороны радиоисточников, кроме источников в радионавигационной спутниковой службе, системам и сетям радионавигационной спутниковой службы, работающим в полосах частот 1164–1215 МГц, 1215–1300 МГц, 1559–1610 МГц и 5010–5030 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
- Рекомендация МСЭ-R М.1901-1 Руководство по Рекомендациям МСЭ-R, касающимся систем и сетей радионавигационной спутниковой службы, работающих в полосах частот 1164–1215 МГц, 1215–1300 МГц, 1559–1610 МГц, 5000–5010 МГц и 5010–5030 МГц
- Рекомендация МСЭ-R М.1902-0 Характеристики и критерии защиты приемных земных станций радионавигационной спутниковой службы (космос-Земля), работающих в полосе частот 1215–1300 МГц
- Рекомендация МСЭ-R М.1903-0 Характеристики и критерии защиты приемных земных станций радионавигационной спутниковой службы (космос-Земля) и приемников воздушной радионавигационной службы, работающих в полосе частот 1559–1610 МГц

- Рекомендация МСЭ-R М.1904-0 Характеристики, требования к показателям качества и критерии защиты приемных станций радионавигационной спутниковой службы (космос-космос), работающих в полосах частот 1164–1215 МГц, 1215–1300 МГц и 1559–1610 МГц
- Рекомендация МСЭ-R М.1905-0 Характеристики и критерии защиты для приемных земных станций в радионавигационной спутниковой службе (космос-Земля), работающих в полосе частот 1164–1215 МГц
- Рекомендация МСЭ-R М.1906-1 Характеристики и критерии защиты приемных космических станций и характеристики передающих земных станций в радионавигационной спутниковой службе (Земля-космос), работающих в полосе частот 5000–5010 МГц
- Рекомендация МСЭ-R М.2030-0 Модель оценки импульсных помех от соответствующих источников радиосигналов, кроме источников в радионавигационной спутниковой службе, системам и сетям радионавигационной спутниковой службы, работающим в полосах частот 1164–1215 МГц, 1215–1300 МГц и 1559–1610 МГц
- Рекомендация МСЭ-R М.2031-1 Характеристики и критерии защиты приемных земных станций и характеристики передающих космических станций в радионавигационной спутниковой службе (космос-Земля), работающих в полосе 5010–5030 МГц

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a)* что системы и сети радионавигационной спутниковой службы (РНСС) на всемирной основе предоставляют точную информацию для множества применений позиционирования и синхронизации, включая чрезвычайно важные приложения, связанные с обеспечением безопасности жизни;
- b)* что ВКР-03 одобрила новые и расширенные распределения частот для РНСС;
- c)* что соответствующим образом оборудованная земная станция способна принимать навигационную информацию от систем и сетей РНСС на всемирной основе;
- d)* что существует несколько работающих и планируемых к вводу в эксплуатацию систем и сетей РНСС и в Бюро радиосвязи постоянно растет число заявок на регистрацию, в которых предлагается использовать распределения РНСС;
- e)* что разработаны методы, которые могут быть использованы в процессе координации для формирования общей основы оценки помех между системами и сетями РНСС;

признавая,

- a)* что полосы 1164–1215 МГц, 1215–1300 МГц, 1559–1610 МГц и 5010–5030 МГц распределены РНСС (космос-Земля, космос-космос) на первичной основе;
- b)* что полосы 1164–1215 МГц, 1215–1300 МГц, 1559–1610 МГц и 5010–5030 МГц также распределены на первичной основе другим службам;
- c)* что в Рекомендации МСЭ-R М.1901 содержится руководство по данной и другим Рекомендациям МСЭ-R, касающимся систем и сетей РНСС, работающих в полосах частот 1164–1215 МГц, 1215–1300 МГц, 1559–1610 МГц, 5000–5010 МГц и 5010–5030 МГц;

- d) что технические и эксплуатационные характеристики и критерии защиты для приемников систем и сетей РНСС (космос-Земля и космос-космос) в полосах частот 1164–1215 МГц, 1215–1300 МГц, 1559–1610 МГц, 5000–5010 МГц и 5010–5030 МГц приведены в Рекомендациях МСЭ-R М.1905, МСЭ-R М.1902, МСЭ-R М.1903, МСЭ-R М.1904, МСЭ-R М.1906 и МСЭ-R М.2031;
- e) что технические и эксплуатационные характеристики передатчиков систем и сетей РНСС (Земля-космос, космос-Земля и космос-космос) в полосах частот 1164–1215 МГц, 1215–1300 МГц, 1559–1610 МГц, 5000–5010 МГц и 5000–5030 МГц приведены в Рекомендациях МСЭ-R М.1787, МСЭ-R М.1906 и МСЭ-R М.2031;
- f) что в Рекомендации МСЭ-R М.1318 описана модель оценки помех работе систем РНСС от естественных внешних источников в полосах частот 1164–1215 МГц, 1215–1300 МГц, 1559–1610 МГц и 5010–5030 МГц;
- g) что в Рекомендации МСЭ-R М.2030 представлен метод оценки импульсных помех от соответствующих источников радиосигналов, кроме источников в РНСС, системам и сетям РНСС, работающим в полосах частот 1164–1215 МГц, 1215–1300 МГц и 1559–1610 МГц;
- h) что в п. 4.10 Регламента радиосвязи (РР) сказано, что аспекты безопасности РНСС "требуют специальных мер для обеспечения ее защиты от вредных помех";
- i) что, в соответствии с п. 5.328В Регламента радиосвязи, к системам и сетям РНСС, для которых планируется использовать полосы частот 1164–1215 МГц, 1215–1300 МГц, 1559–1610 МГц и 5010–5030 МГц, и в отношении которых полная информация для координации или регистрации, в зависимости от случая, получена Бюро радиосвязи после 1 января 2005 г., должны применяться положения пп. 9.12, 9.12А и 9.13 Регламента радиосвязи, а также планируется провести исследования по определению дополнительных методик и критериев, упрощающих такую координацию;
- j) что, в соответствии с п. 9.7 Регламента радиосвязи, для станции сетей РНСС, использующих геостационарную орбиту, должна быть выполнена координация с другими такими станциями, а также планируется провести исследования по определению дополнительных методик и критериев, упрощающих такую координацию,

признавая далее,

что Резолюция 610 (ВКР-03) относится ко всем системам и сетям РНСС в полосах частот, указанных в п. а) раздела *признавая*, и содержит меры, которые разработаны для упрощения действий по определению межсистемной совместимости РНСС,

рекомендует,

1 что методика, описанная в Приложении 1, должна использоваться при проведении координации между системами РНСС, работающими или предлагаемыми для работы в одной или нескольких полосах частот, определенных в п. а) раздела *признавая* (см. Примечание 1);

2 что операторы систем РНСС до проведения и в процессе проведения координации РНСС должны учитывать рекомендации, приведенные в Приложениях 2 и 3.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Методика, описанная в Приложении 1, может оказаться сложной для применения к системам FDMA РНСС, состоящим из нескольких спутников. В таком случае может применяться Приложение 2.

Приложение 1

Метод для оценки межсистемных помех между системами и сетями РНСС

СОДЕРЖАНИЕ

		<i>Стр.</i>
1	Введение.....	5
2	Методика анализа помех	5
3	Данные, используемые в расчетах.....	8
3.1	Модели группировки и спутникового передатчика.....	8
3.2	Модель приемника пользователя.....	9
3.3	Модель помех и шумов.....	9
4	Имитационный подход для расчета G^{agg}	10
5	Гипотетический пример применения методики.....	14
5.1	Оценка уровней помех.....	14
5.2	Оценка эффективных отношений несущая-шум и соответствующего ухудшения качества.....	16
6	Характеристики и моделирование спектра коротких кодов в РНСС.....	188
6.1	Пример спектра кода короткого PRN в РНСС	188
6.2	Общие аспекты детального динамического моделирования для кодов короткого PRN РНСС	19
7	Заключение	20

1 Введение

Настоящая методика предназначена для оценки помех между системами и сетями РНСС. Следовательно, она может применяться для межсистемной координации РНСС. (Для краткости в дальнейшем в настоящем документе вместо слов "система или сеть" будет использоваться слово "система".) Настоящая методика применима к системам РНСС, использующим методы многостанционного доступа с кодовым (CDMA) и частотным (FDMA) разделением каналов для обеспечения совместного использования распределенных РНСС полос частот, и учитывает, что простое сложение плотности мощности передатчиков непригодно для определения того, какое влияние будет оказывать одна система РНСС на другие такие системы. В отличие от систем РНСС CDMA, которые, как правило, используют только одну несущую в занимаемой полосе частот, системы FDMA имеют в занимаемой полосе частот несколько несущих. Может оказаться нецелесообразным применять описанную ниже методику для каждой несущей частоты, используемой в системе FDMA с несколькими спутниками.

2 Методика анализа помех

Как правило, для измерения влияния помех от различных источников на качество работы приемников используется эффективное отношение несущей к плотности шума C/N'_0 после коррелятора. Величина C/N'_0 зависит от приемника, антенны и внешних шумов от источников не в РНСС. Тем не менее она используется при оценке межсистемных помех систем РНСС.

Для случая непрерывных помех¹ значение C/N'_0 определяется из выражения:

$$\frac{C}{N'_0} = \frac{C}{vN_0 + I_{ref} + I_{int} + I_{ext}}, \quad (1)$$

где:

- C : мощность полезного сигнала на выходе коррелятора (Вт), принятая от спутника эталонной группировки, учитывающая все соответствующие потери на обработку²;
- N_0 : спектральная плотность мощности теплового шума приемника до коррелятора (Вт/Гц);
- N'_0 : эффективная спектральная плотность мощности теплового шума приемника после коррелятора (Вт/Гц);
- I_{ref} : эффективная спектральная плотность мощности белого шума после коррелятора (Вт/Гц), создаваемая суммарными помехами от всех сигналов, за исключением полезного сигнала; передаваемая всеми находящимися в зоне видимости спутниками эталонной группировки, учитывающая все соответствующие потери на обработку;
- I_{int} : эффективная спектральная плотность мощности белого шума после коррелятора (Вт/Гц), создаваемая совокупными помехами от всех сигналов, передаваемых в рассматриваемой полосе частот всеми спутниками РНСС, не входящими в эталонную группировку, учитывающая все соответствующие потери на обработку ;
- I_{ext} : эффективная спектральная плотность мощности белого шума после коррелятора (Вт/Гц), создаваемая суммарными помехами от всех радиосигналов, отличных от сигналов РНСС, учитывающая все соответствующие потери на обработку ;

¹ В тех случаях, когда наблюдаются значительные импульсные помехи, уравнение (1) должно быть изменено. Импульсные помехи уменьшают отношение сигнал-шум, подавляя полезный сигнал и увеличивая эффективный уровень собственных шумов.

² *Соответствующие потери на обработку* включают в себя усиление передающей и приемной антенн, потери на аппаратную реализацию приемника, например, потери в процессе фильтрации и квантования; и потери из-за отсутствия согласования между принимаемым сигналом и эталонным кодом.

ν : безразмерный коэффициент эффективного теплового шума, определяемый выражением:

$$\nu = \int_{-\infty}^{\infty} |\overline{H}(f)|^2 S(f) df ;$$

$\overline{H}(f)$: нормированная эквивалентная передаточная функция на частоте f (Гц), определяемая выражением:

$$\overline{H}(f) = \frac{H(f)}{\max_{\gamma} |H(\gamma)|} ;$$

$H(f)$: эквивалентная передаточная функция фильтра приемника (безразмерная), на частоте f (Гц), описывающая все этапы фильтрации в преселекторе приемника до коррелятора;

$S(f)$: идеальная эквивалентная двусторонняя спектральная плотность мощности (Вт/Гц), на частоте f (Гц) нефильтрованного полезного сигнала до коррелятора, нормированная к единичной мощности по бесконечной полосе частот, и рассчитанная в предположении, что применяются случайные коды расширения спектра;

γ : двоичная переменная.

Уровень эффективного теплового шума приемника после коррелятора, в отсутствие внешних шумов, снижается до $N'_0 = \nu N_0$. Кроме того, если H описывает идеальный полосовой фильтр с шириной полосы B_R (а не подробную передаточную функцию фильтра преселектора приемника), то ν упрощается до значения:

$$\nu = \int_{-B_R/2}^{B_R/2} S(f) df \leq \int_{-\infty}^{\infty} S(f) df = 1.$$

Следует отметить, что величину I_{int} (Вт/Гц) можно еще делить и далее, чтобы рассматривать помехи от конкретной системы РНСС:

$$I_{int} = I_{alt} + I_{rem},$$

где:

I_{alt} : эффективная спектральная плотность мощности белого шума после коррелятора (Вт/Гц), создаваемая совокупными помехами от всех сигналов, передаваемых в рассматриваемой полосе частот всеми находящимися в зоне видимости спутниками конкретной "альтернативной" группировки;

I_{rem} : эффективная спектральная плотность мощности белого шума после коррелятора (Вт/Гц), создаваемая суммарными помехами от всех сигналов, передаваемых в рассматриваемой полосе частот всеми находящимися в зоне видимости "остальными" спутниками РНСС; т. е. спутниками, не входящими ни в эталонную, ни в альтернативную группировку.

Для расчета эффективных значений спектральной плотности мощности мы определим коэффициент спектрального разделения β (в единицах 1/Гц) для помехи от n -го сигнала m -го спутника по отношению к полезному сигналу (x) следующим образом:

$$\int \beta_{m,n}^x = \int_{-\infty}^{\infty} |\overline{H}(f)|^2 \overline{S}_x(f) \overline{S}_{m,n}(f) df, \quad (2)$$

где:

$\overline{S}_x(f)$: нормированная (на единицу по ширине полосы передачи) двусторонняя спектральная плотность мощности (Вт/Гц), на частоте f (Гц) полезного сигнала:

$$\bar{S}_x(f) = \begin{cases} \frac{S_x(f)}{B_{TD}/2} & |f| \leq B_{TD}/2 \\ \int_{-B_{TD}/2}^{B_{TD}/2} S_x(\gamma) d\gamma & \\ 0 & \text{в ином случае} \end{cases},$$

B_{TD} : ширина полосы (Гц) передачи, в которой определяется мощность полезного сигнала;

$S_x(f)$: двусторонняя спектральная плотность мощности (Вт/Гц) на частоте f (Гц) нефильтрованного полезного сигнала ;

$\bar{S}_{m,n}(f)$: нормированная (на единицу по ширины полосы передачи) двусторонняя спектральная плотность мощности (Вт/Гц) на частоте f (Гц) n -го мешающего сигнала от m -го спутника в группировке:

$$\bar{S}_{m,n}(f) = \begin{cases} \frac{S_{m,n}(f)}{B_T/2} & |f| \leq B_T/2 \\ \int_{-B_T/2}^{B_T/2} S_{m,n}(\gamma) d\gamma & \text{и} \\ 0 & \text{в ином случае} \end{cases}$$

$S_{m,n}(f)$: двусторонняя спектральная плотность мощности (Вт/Гц) на частоте f (Гц) нефильтрованного n -го мешающего сигнала от m -го спутника в группировке;

B_T : ширина полосы (Гц) передачи, в которой определяется мощность мешающего сигнала.

В уравнении (2) неявно предполагается, что сигналы РНСС, модулированные кодом PRN (псевдослучайного шума) и обозначенные символом S , могут быть приблизительно представлены как непрерывный спектр суммарной помехи. Это может не соответствовать действительности для определенных сигналов с кодами "короткого" PRN. Более подробное объяснение приводится в п. 6.

Пусть:

- M_{ref} : количество видимых спутников эталонной спутниковой группировки
- $N_{ref,m}$: количество мешающих сигналов (исключая полезный сигнал от полезного спутника), которые передаются m -ым спутником эталонной спутниковой группировки;
- M_{alt} : количество видимых спутников РНСС альтернативной спутниковой группировки;
- $N_{alt,m}$: количество мешающих сигналов, передаваемых m -ым спутником альтернативной спутниковой группировки (которое можно считать одинаковым для всех спутников другой группировки, если мощность отсутствующего сигнала установлена равной нулю);
- M_{rem} : количество видимых спутников РНСС, которые не входят ни в эталонную, ни в альтернативную спутниковую группировку;
- $N_{rem,m}$: количество мешающих сигналов, передаваемых m -ым спутником, который не входит ни в эталонную, ни в альтернативную группировку;
- $P_{m,n}^{ref}$: максимальная мощность помехи (Вт), создаваемой n -ым мешающим сигналом на m -ом спутнике эталонной группировки;
- $N_{m,n}^{ref}$: потери на обработку (безразмерные) n -го мешающего сигнала на m -ом спутнике эталонной группировки;
- $P_{m,n}^{alt}$: максимальная мощность (Вт) n -го сигнала на m -ом спутнике альтернативной группировки;

- $L_{m,n}^{alt}$: потери на обработку (безразмерные) n -го мешающего сигнала на m -ом спутнике альтернативной группировки;
- $P_{m,n}^{rem}$: максимальная мощность помехи (Вт), создаваемой n -ым сигналом на m -ом спутнике остальных группировок РНСС;
- $L_{m,n}^{rem}$: потери на обработку (безразмерные) n -го мешающего сигнала на m -ом спутнике остальных группировок РНСС.

Учитывая эти определения, мы можем записать уравнения для расчета эффективной спектральной плотности мощности помехи приемнику, создаваемой эталонной группировкой, альтернативной группировкой и остальными группировками, следующим образом:

$$I_{ref} = \sum_{m=1}^{M_{ref}} \sum_{n=1}^{N_{ref,m}} \frac{\beta_{m,n}^x P_{m,n}^{ref}}{L_{m,n}^{ref}} \quad (3)$$

$$I_{alt} = \sum_{m=1}^{M_{alt}} \sum_{n=1}^{N_{alt,m}} \frac{\beta_{m,n}^x P_{m,n}^{alt}}{L_{m,n}^{alt}} \quad (4)$$

$$I_{rem} = \sum_{m=1}^{M_{rem}} \sum_{n=1}^{N_{rem,m}} \frac{\beta_{m,n}^x P_{m,n}^{rem}}{L_{m,n}^{rem}} \quad (5)$$

Используя уравнения (1)–(5), можно вычислить эффективное отношение несущей к плотности шума C/N'_0 . Для измерения влияния помех это число можно сравнить с пороговым значением C/N'_0 , обусловленным режимом работы приемника, режимом синхронизации по кодовой комбинации, режимом слежения за кодом и демодуляции данных.

Могут использоваться и другие методики, основанные на эффективном отношении несущая-шум C/N'_0 , включая его ухудшение под воздействием только конкретной альтернативной группировки. Кроме того, в расчет могут быть приняты также степень взаимодействия сигналов или конкретные свойства межсистемной кросс-корреляции кодов. Примеры применения этих мер показаны в п. 5.2.

3 Данные, используемые в расчетах

Данными, используемыми в расчетах, зачастую, будут данные, измеренные, определенные при помощи моделирования или откорректированные для получения результатов, соответствующих имеющемуся опыту. Кроме того, результаты расчета этих значений для каждого спутника и каждого сигнала, как правило, получают посредством моделирования для типового периода времени в интересующей зоне, в результате чего можно получить статистику значений межсистемных помех для дальнейшего рассмотрения.

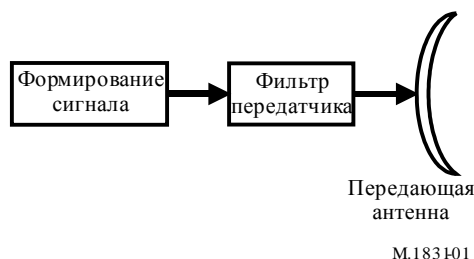
В подразделах ниже содержатся дополнительные комментарии о том, как могут быть получены исходные данные для расчетов.

3.1 Модели группировки и спутникового передатчика

Для определения уровней принимаемой мощности полезного и мешающего сигналов используются динамические модели группировки с соответствующими орбитальными параметрами. Упрощенная модель спутникового передатчика показана на рисунке 1.

РИСУНОК 1

Упрощенная модель спутникового передатчика



3.1.1 Уровни принимаемого сигнала для наихудшего случая

В ходе расчета для наихудшего случая полезный сигнал берется с минимальной мощностью, а мешающий сигнал берется с максимальной мощностью. Мешающий сигнал учитывает все сигналы РНСС эталонной группировки, за исключением полезного сигнала.

3.1.2 Коэффициенты спектрального разделения (β)

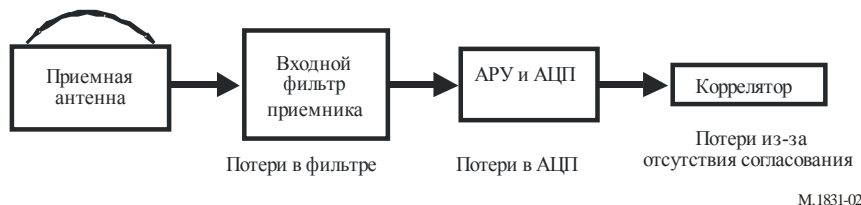
Значения β рассчитываются для предполагаемых значений ширины полосы передатчика и приемника. Следует отметить, что эти значения, вычисленные с использованием уравнения (2), могут оказаться ниже, чем наблюдаемые на практике. Например, это может произойти в случае кодов "короткого" PRN (см. п. 6). Причиной этого является относительно более грубая структура спектральных линий кодов короткого PRN, которую невозможно точно представить при помощи непрерывной функции спектральной плотности мощности в уравнении (2).

3.2 Модель приемника пользователя

Модель приемника пользователя показана на рисунке 2. Антенна приемника, выходной сигнал которой является входным сигналом входного фильтра приемника, принимает и полезный, и мешающий сигналы. Цепь автоматической регулировки усиления (АРУ) поддерживает напряжение на аналоговом входе аналого-цифрового преобразователя (АЦП) в пределах динамического диапазона АЦП. Корреляция осуществляется с использованием принятого сигнала и локально сгенерированного сигнала, соответствующего переданному сигналу до фильтрации на передаче. Все потери, а именно, потери на фильтрацию, потери в АЦП и потери из-за отсутствия согласования в корреляторе, группируются в единый коэффициент потерь. Однако потери для полезного сигнала могут отличаться от потерь для мешающих сигналов.

РИСУНОК 2

Упрощенная модель пользовательского приемника



3.3 Модель помех и шумов

Параметры сигнала навигации приводятся в единицах скорости передачи, частоты передачи кодов PRN, кодов расширения спектра и других характеристик кода и типов модуляции. Для моделирования совокупного спектра принятых мешающих сигналов используется непрерывная аппроксимация спектра, за исключением кодов с короткими периодами, для которых учитывается природа спектральных линий кода.

Может быть учтено также и местоположение пользователя, это выполняется при помощи измерения мощности помех в каждом месте земной поверхности в течение 24-часового периода. Для данного

типа мешающего сигнала РНСС рассчитывается максимальный уровень совокупных помех этого типа и сравнивается с максимальной мощностью мешающего сигнала от одного спутника, передающего один такой мешающий сигнал, в результате получается суммарный коэффициент усиления (G^{agg}). Другими словами, G^{agg} учитывает максимальную мощность отдельного сигнала и равен увеличению, необходимому для того, чтобы соотнести эту мощность с мощностью всех мешающих сигналов этого типа. Таким образом, этот коэффициент учитывает все другие сигналы того же типа, а также изменение усиления антенны в направлении на все спутники, передающие сигнал этого типа.

На практике значение G^{agg} может быть вычислено для отдельного сигнала данной группировки, как показано в п. 4, и затем применено ко всем сигналам данной группировки, или это значение может стать предметом переговоров по координации. Аналогично могут быть также упрощены и другие значения помех.

Помеха от внешних источников широкополосного непрерывного сигнала, как правило, моделируется как источник шума с постоянным значением эквивалентной спектральной плотности мощности I_{ext} . Эта величина учитывает все источники радиосигналов за пределами РНСС и может включать в свой состав внутрисполосные и внеполосные помехи от других источников радиосигналов.

Для узкополосных и импульсных помех должны быть определены дополнительные методы.

4 Имитационный подход для расчета G^{agg}

Совокупная спектральная плотность мощности помех пост-коррелятора полезному сигналу с индексом k от всех спутников системы РНСС, попадающих на приемник с индексом i в данном местоположении, может быть записана в виде выражения, учитывающего коэффициент спектрального разделения, мощность передатчика, усиление передающей/приемной антенны, потери на пути распространения сигнала и потери на обработку, следующим образом:

$$I_{i,k}(t) = \sum_{m=0}^{M_i^S(t)} \left[G_{i,m}^T(t) G_{i,m}^R(t) \alpha_{i,m} \sum_{n=1}^{N_m} \frac{\beta_{m,n}^k P_{m,n}}{L_{k,n}} \right] - G_{0,k}^T(t) G_{0,k}^R(t) \alpha_{k,0}(t) \cdot \frac{\beta_{0,k}^k P_{0,k}}{L_{k,k}}, \quad (6)$$

где:

- i : индекс приемника;
- k : индекс типа полезного сигнала;
- t : время, в течение которого вычисляется совокупная помеха;
- $M_i^S(t)$: количество спутников РНСС, находящихся в зоне видимости из местоположения i -го приемника в момент времени t ;
- m : индекс суммирования по спутникам, находящимся в зоне видимости, и $m = 0$ для индекса спутника, передающего полезный сигнал;
- $G_{i,m}^T$: (безразмерное) усиление передающей антенны (относительно изотропной) между m -ым спутником и местоположением i -го приемника;
- $G_{i,m}^R$: (безразмерное) усиление приемной антенны (относительно изотропной) между местоположением i -го приемника и m -ым спутником ;
- $\alpha_{i,m}$: (безразмерные) потери на пути распространения сигнала от m -го спутника до местоположения i -го приемника ;
- N_m : общее число типов сигнала на m -ом спутнике ;
- $\beta_{m,n}^k$: коэффициент спектрального разделения (1/Гц) между сигналом k -го типа и сигналом n -го типа m -го спутника;
- $P_{m,n}$: передаваемая мощность (Вт) n -го сигнала m -го спутника;
- $L_{k,n}$: (безразмерные) потери на обработку для сигнала n -го типа (когда полезный сигнал имеет тип k).

В уравнении (6) первый член представляет собой сумму всех значений спектральной плотности мощности от всех спутников, находящихся в зоне видимости, и для всех сигналов, включая полезный сигнал от полезного спутника, тогда как второй член этого уравнения представляет собой спектральную плотность мощности полезного сигнала от полезного спутника.

Как можно видеть из уравнения (6), эквивалентная спектральная плотность мощности вызывает увеличение уровня теплового шума. $I_{i,k}(t)$ – это функция от времени, местоположения пользователя и коэффициента спектрального разделения. Прямой метод определения $I_{i,k}(t)$ заключается в использовании программ моделирования группировки для всех без исключения сценариев помех с целью определения результирующего значения помех. Выполнять такие вычисления для каждого момента времени и каждого места, где требуется анализ помех, является чересчур трудоемкой задачей, отнимающей много времени. Удобно иметь один коэффициент, который мог бы многократно использоваться при анализе помех без необходимости моделировать группировку для каждого сценария. Этот коэффициент можно рассчитать с использованием имитационных моделей и, следовательно, без многократных вычислений $I_{i,k}(t)$. Этот коэффициент называется совокупным коэффициентом усиления G^{agg} , который может быть получен из верхней границы уравнения (6) с использованием сценария для наихудшего случая. Такой расчет в большинстве ситуаций завышает величину помех, но он также гарантирует уверенность в том, что рассчитанный пороговый уровень помехи не будет превышен.

G^{agg} , для конкретного типа сигнала, может быть вычислен следующим образом:

- а) В каждой позиции пространства с номером i (но, обычно, на поверхности Земли или вблизи нее) мощность помехи (Вт), принимаемой в точке размещения i -того приемника, можно записать следующим образом:

$$P_i^R(t) = \sum_{m=0}^{M_i^S(t)} G_{i,m}^T(t) G_{i,m}^R(t) \alpha_{i,m}(t) P_m. \quad (7)$$

Следует отметить, что в уравнении (7) для простоты индекс k , указывающий тип полезного сигнала, отброшен, и потери на обработку (L_m) рассчитаны для любого места (см. также уравнение (9)). Если полезный и мешающий сигналы имеют один и тот же тип, то в уравнении (7) требуется небольшое уточнение, которое заключается в том, что мощность полезного сигнала вычитается из уравнения (7).

- б) Теперь для каждой позиции передатчика мы можем записать уравнение для (безразмерного) G^{agg} в виде:

$$G^{agg} = \frac{\max_{all i} \left[\max_{all i} (P_i^r(t)) \right]}{P_{max}^R}. \quad (8)$$

Здесь P_{max}^R представляет собой максимальную мощность сигнала (Вт) мешающего сигнала рассматриваемого типа от любого отдельного спутника на выходе эталонной антенны приемника и до РЧ фильтра приемника, взятого по всем проиндексированным местам размещения приемника. Следует отметить, что эталонной приемной антенной (для конкретной системы) может быть соответствующая изотропная антенна. Такая антенна может не соответствовать типу принимаемого сигнала по поляризации, что приводит к некоторому дополнительному ослаблению. Для всех типов мешающих сигналов G^{agg} вычисляется по уравнению (8).

Результирующее значение G^{agg} – это величина, соответствующая наихудшей из всех позиций приемника, использованных в расчетах. Это значение затем используется для описания наихудшего случая G^{agg} для всех позиций приемника, используемых при анализе помех (для данного типа полезного сигнала):

Затем спектральная плотность мощности помех от всех сигналов РНСС от всех спутников РНСС, находящихся в зоне видимости, I_0 (Вт/Гц) может быть ограничена сверху величиной:

$$I_0 \leq \sum_{n=1}^N \frac{G_n^{agg} \beta_n P_{max,n}^R}{L_n}, \quad (9)$$

где β_n – коэффициент спектрального разделения между полезным сигналом и сигналом n -го типа, и L_n – потери на обработку между полезным сигналом и сигналом n -го типа. Следует отметить также, что коэффициенты потерь на пути распространения $\alpha_{i,m}$ учтены в коэффициентах G^{agg} , и вместо мощности передаваемого сигнала используется максимальная мощность принимаемого сигнала P_{max}^R .

В качестве примера было выполнено моделирование с применением орбитальной модели распространения, описанной в Рекомендации МСЭ-R М.1642. Использовалась группировка из 27 спутников с орбитальными параметрами, показанными в таблице 1. Уровень принимаемой мощности показан на рисунке 3 в виде функции от угла места, и диаграмма направленности антенны приемника показана на рисунке 4. Максимальная мощность за 24-часовой период в каждом местоположении (с шагом 5 градусов по широте и долготе) показана на рисунке 5. Для максимальной мощности принимаемого сигнала -153 дБВт совокупный коэффициент усиления, рассчитанный для всех местоположений приемника, равен $-142,0 - (-153) = 11,0$ дБ.

ТАБЛИЦА 1

Орбитальные параметры примера

ИД спутника	Радиус орбиты (км)	Эксцентриситет	Наклонение (градусы)	Прямое восхождение (градусы)	Аргумент перигея (градусы)	Средняя аномалия (градусы)
1	26 559,8	0	55	58,21285	0	6,33
2	26 559,8	0	55	58,21285	0	134,62
3	26 559,8	0	55	58,21285	0	234,13
4	26 559,8	0	55	58,21285	0	269,42
5	26 559,8	0	55	118,21285	0	30,39
6	26 559,8	0	55	118,21285	0	61,53
7	26 559,8	0	55	118,21285	0	152,22
8	26 559,8	0	55	118,21285	0	176,92
9	26 559,8	0	55	118,21285	0	289,68
10	26 559,8	0	55	178,21285	0	90,83
11	26 559,8	0	55	178,21285	0	197,11
12	26 559,8	0	55	178,21285	0	227,99
13	26 559,8	0	55	178,21285	0	322,09
14	26 559,8	0	55	238,21285	0	0,00
15	26 559,8	0	55	238,21285	0	28,67
16	26 559,8	0	55	238,21285	0	131,04
17	26 559,8	0	55	238,21285	0	228,26
18	26 559,8	0	55	238,21285	0	255,7
19	26 559,8	0	55	298,21285	0	56,33
20	26 559,8	0	55	298,21285	0	165,07
21	26 559,8	0	55	298,21285	0	267,07
22	26 559,8	0	55	298,21285	0	293,95
23	26 559,8	0	55	358,21285	0	68,43
24	26 559,8	0	55	358,21285	0	99,32
25	26 559,8	0	55	358,21285	0	201,63
26	26 559,8	0	55	358,21285	0	320,60
27	26 559,8	0	55	358,21285	0	349,16

РИСУНОК 3

Пример мощности, принимаемой наземной системой, как функции от угла места

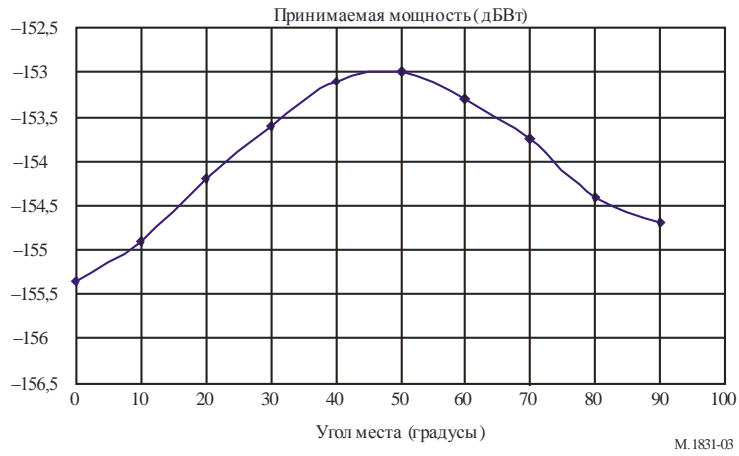


РИСУНОК 4

Пример усиления приемной антенны как функции от угла места

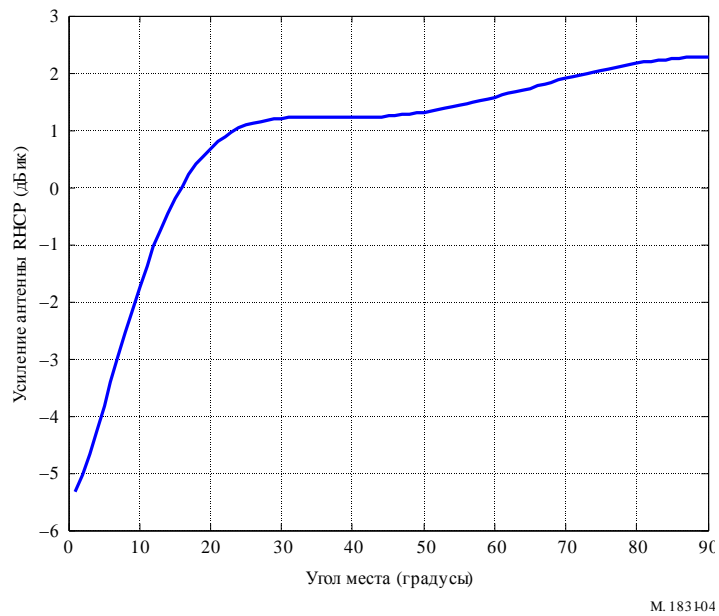
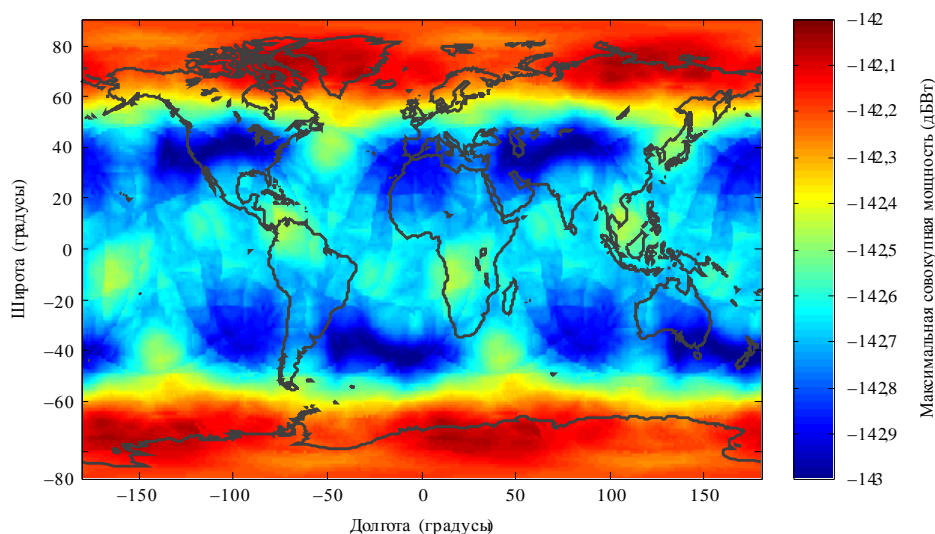


РИСУНОК 5

Пример максимальной совокупной мощности на поверхности Земли за 24 часа



5 Гипотетический пример применения методики

5.1 Оценка уровней помех

В таблице 2 показан гипотетический пример, иллюстрирующий, как будет применяться методика при анализе помех, создаваемых другой системой РНСС. Следует отметить, что использованные значения приведены только для иллюстрации и являются предметом переговоров по координации.

ТАБЛИЦА 2

Гипотетический пример влияния межсистемных помех, создаваемых Системой В объединению систем А и SBAS

Эффективная спектральная плотность мощности шума эталонной системы: N_0 + собственные помехи эталонной системы I_{ref} , обусловленные тепловыми шумами и другими сигналами эталонной группировки (Система А)	
Максимальная мощность сигнала 1 (дБВт)	-157,50
Максимальная мощность сигнала 2 (дБВт)	-160,50
Максимальная мощность сигнала 3 (дБВт)	-157,50
Потери на обработку для мешающего сигнала (дБ)	1,00
Совокупный коэффициент усиления, G^{agg} (дБ)	12,00
Коэффициент спектрального разделения β (дБ/Гц)	
От сигнала 1 к сигналу 1 ⁽¹⁾	
	-61,80
От сигнала 2 к сигналу 1	
	-70,00
От сигнала 3 к сигналу 1	
	-67,90
Плотность теплового шума, N_0 (дБ(Вт/Гц))	-201,50 ⁽²⁾
I_{ref} (дБ(Вт/Гц)) ⁽³⁾	-207,09
$N_0 + I_{ref}$ (дБ(Вт/Гц))	-200,44

ТАБЛИЦА 2 (окончание)

Эффективная спектральная плотность мощности межсистемного шума: $N_0 + I_{ref}$ + помеха от систем РНСС, не являющихся Системами А и В (I_{rem}), обусловленная тепловым шумом, другими сигналами эталонной группировки (Система А), и мешающей системы SBAS, но без сигнала 0 Системы В	
Максимальная мощность сигнала SBAS (дБВт)	-160,50
Совокупный коэффициент усиления SBAS, G^{agg} (дБ)	7,70
Коэффициент спектрального разделения, β (дБ/Гц)	
<i>От сигнала систем А и SBAS к сигналу 1</i>	
Потери на обработку для мешающих сигналов (дБ)	1,00
I_{rem} (дБ(Вт/Гц)) ⁽³⁾	-215,60
$N_0 + I_{ref} + I_{rem}$ (дБ(Вт/Гц))	-200,31
Эффективная суммарная спектральная плотность мощности шума: $N_0 + I_{ref} + I_{rem}$ + внешняя (не-РНСС) помеха I_{ext}, обусловленная тепловым шумом, другими сигналами эталонной группировки (Система А), и мешающей системы SBAS, но без сигнала 0 Системы В	
I_{ext} (дБ(Вт/Гц))	-206,50
$N_0 + I_{ref} + I_{rem} + I_{ext}$ (дБ(Вт/Гц))	-199,37
Эффективная суммарная спектральная плотность мощности межсистемного шума: $N_0 + I_{ref} + I_{rem} + I_{ext}$ + помеха I_{alt} Системы В, обусловленная тепловым шумом, всеми мешающими сигналами РНСС и внешними помехами	
Максимальная мощность сигнала 0 (дБВт)	-154,00
Совокупный коэффициент усиления в Системе В, G^{agg} (дБ)	12,00
Коэффициент спектрального разделения, β (дБ/Гц)	
<i>От сигнала 0 к сигналу 1</i>	
Потери на обработку для мешающих сигналов (дБ)	1,00
I_{alt} (дБ(Вт/Гц)) ⁽³⁾	-210,80
$N_0 + I_{ref} + I_{rem} + I_{ext} + I_{alt}$ (дБ(Вт/Гц))	-199,07

(1) Это значение определяется уравнением (2), аппроксимация, которая может не быть репрезентативной для всех приемников, использующих коды короткого PRN.

(2) Это значение является типовым значением, которое может не быть репрезентативным для малошумящих приемников.

(3) В этом примере значения I_{ref} , I_{rem} и I_{alt} были рассчитаны с использованием G^{agg} . Следовательно, они представляют верхние граничные значения.

В данном примере полезным сигналом является сигнал 1 Системы А, и Система А является "эталонной системой". Все другие сигналы Системы А, отличные от полезного сигнала 1, считаются источниками помех, и такая ситуация типична, поскольку каждый тип сигнала следует исследовать независимо. Таким образом, на полезный сигнал 1 также действуют собственные помехи, создаваемые другими передачами сигнала 1, и внутрисистемные помехи Системы А от других сигналов Системы А. В данном примере другими сигналами Системы А являются сигнал 2 и сигнал 3. В данном примере каждый мешающий сигнал Системы А имеет собственный коэффициент спектрального разделения.

Совокупный коэффициент усиления Системы А G^{agg} (12,0 дБ или 7,7 дБ для помехи от системы SBAS, причиняемой Системе А) учитывает диаграмму направленности антенны приемника Системы А, диаграмму направленности антенны передатчика Системы В, и связан с мощностью принимаемой помехи, которая в 99,99% случаев равна максимальной мощности помехи от отдельного спутника эталонной системы. (Реальный процент является предметом переговоров по координации.) Следует отметить, что совокупная спектральная плотность мощности шума составляет -201,50 дБ(Вт/Гц) до учета внутрисистемных помех, но равна -200,44 дБ(Вт/Гц) после того, как они учтены.

"Оставшиеся системы" в расчетах представлены отдельной сетью РНСС SBAS. (На практике, как правило, может учитываться несколько систем и сетей РНСС.) Предполагается, что внешний шум представляет собой совокупный шум от всех источников мешающих сигналов, не относящихся к РНСС, и его значение принимается равным $-206,5$ дБ(Вт/Гц). Тогда показано, что суммарные помехи эталонной системы, остальных систем и внешних источников составляют $-199,37$ дБ/Гц (гипотетически).

Затем в расчет помех в качестве "альтернативной системы" включается Система В, и сигнал 0 Системы В учитывается в расчетах помех для сигнала 1 Системы А. Предполагается, что совокупный коэффициент усиления Системы В равен совокупному коэффициенту усиления, использованному для Системы А. (На практике совокупные коэффициенты усиления будут различными, поскольку группировки различны.) Конечный результат в таблице 2 показывает, что для данного гипотетического примера сигнал 0 Системы В повышает общий уровень спектральной плотности мощности шума в приемнике до $-199,07$ дБ(Вт/Гц).

5.2 Оценка эффективных отношений несущая-шум и соответствующего ухудшения качества

Для иллюстрации того, как данная методика будет применяться для анализа изменения эффективного отношения C/N_0 под воздействием другой системы РНСС, в настоящем разделе используется гипотетический пример, описанный в предыдущем разделе, он показан в таблице 3. Как и в предыдущем разделе, все использованные значения приведены только для иллюстрации и являются предметом переговоров по координации. Следует отметить, что до учета внутрисистемных помех $C/N_0 = 36,00$ дБ-Гц для сигнала 1 Системы А, но это значение составляет $33,87$ дБ(Гц) после того, как учтены все помехи, кроме сигнала 0 от Системы В.

Затем в расчет помех включается сигнал 0 от "альтернативной системы" – Системы В для расчета нового значения C/N_0 для сигнала 1 Системы А. Конечный результат в таблице 3 показывает, что для данного гипотетического примера сигнал 0 Системы В уменьшает величину C/N_0 для сигнала 1 Системы А до $33,57$ дБ(Гц).

ТАБЛИЦА 3

Гипотетический пример уменьшения C/N_0 под воздействием межсистемной помехи от Системы В на совокупный сигнал систем А и SBAS

Эффективное отношение несущей (сигнал 1 Системы А) к плотности шума C/N_0 (дБ-Гц) из-за теплового шума, N_0	
Минимальный сигнал 1 (дБВт)	$-158,50$
Потери на обработку полезного сигнала (дБ)	$2,50$
Минимальное усиление антенна приемника (дБи)	$-4,50$
Полезный сигнал $power, C$ (дБВт)	$-165,50$
Плотность теплового шума, N_0 (дБ(Вт/Гц))	$-201,50^{(1)}$
C/N_0 (дБ-Гц)	$36,00$
Эффективное отношение C/N_0 (дБ-Гц): $N_0 + I_{ref} +$ помеха SBAS $I_{rem} +$ внешняя (не-РНСС) помеха I_{ext}	
$N_0 + I_{ref} + I_{rem} + I_{ext}$ (дБ(Вт/Гц)) ⁽²⁾	$-199,37$
$C/(N_0 + I_{ref} + I_{rem} + I_{ext})$ (дБ(Гц))	$33,87$
Эффективное межсистемное отношение C/N_0 (дБ-Гц): $N_0 + I_{ref} + I_{rem}, + I_{ext} +$ мешающий сигнал 0 Системы В I_{alt}	
$N_0 + I_{ref} + I_{rem} + I_{ext} + I_{alt}$ (дБ(Вт/Гц))	$-199,07$
$C/(N_0 + I_{ref} + I_{rem} + I_{ext} + I_{alt})$ (дБ(Гц))	$33,57$

(1) Это значение является типовым значением, которое может не быть репрезентативным для малошумящих приемников.

(2) В этом примере значения I_{ref} , I_{rem} , и I_{alt} были рассчитаны с использованием G^{agg} . Следовательно, они представляют верхние граничные значения.

Кроме этих расчетов эффективных отношений несущая-шум могут использоваться также дополнительные значения, основанные на эффективном отношении C/N'_0 . В качестве примера можно рассчитать эффект, создаваемый, в частности, мешающим сигналом 0 Системы В. Его можно рассчитать, установив параметры I_{rem} и I_{ext} равными нулю, и, таким образом, в расчете по уравнению (10) ухудшения, которое обозначается $\Delta C/N'_0$, учитывать только внутрисистемные помехи эталонной системы I_{ref} . Эта величина ухудшения сравнивается с порогом ухудшения C/N'_0 . Пример расчета показан в таблице 4.

$$\Delta\left(\frac{C}{N'_0}\right) = \frac{\left(\frac{C}{N_0 + I_{ref}}\right)}{\left(\frac{C}{N_0 + I_{ref} + I_{alt}}\right)} = 1 + \frac{I_{alt}}{N_0 + I_{ref}} \quad (10)$$

ТАБЛИЦА 4

**Гипотетический пример влияния межсистемной помехи
от Системы В на Систему А**

Эффективная спектральная плотность мощности шума эталонной системы:		
Максимальная мощность сигнала 1 (дБВт)	-157,50	
Максимальная мощность сигнала 2 (дБВт)	-160,50	
Максимальная мощность сигнала 3 (дБВт)	-157,50	
Потери на обработку для мешающего сигнала (дБ)	1,00	
Совокупный коэффициент усиления, G^{agg} (дБ)	12,00	
Коэффициент спектрального разделения, β (дБ/Гц):		
	<i>От сигнала 1 к сигналу 1⁽¹⁾</i>	
	-61,80	
	<i>От сигнала 2 к сигналу 1</i>	
	-70,00	
	<i>От сигнала 3 к сигналу 1</i>	
	-67,90	
Плотность теплового шума, N_0 (дБВт/Гц)	-201,50 ⁽²⁾	-204,00 ⁽³⁾
I_{ref} (дБВт/Гц) ⁽⁴⁾	-207,09	
$N_0 + I_{ref}$ (дБВт/Гц)	-200,44	-202,27
Эффективная суммарная спектральная плотность мощности межсистемного шума:		
Максимальная мощность сигнала 0 (дБВт)	-154,00	
Совокупный коэффициент усиления Системы В, G^{agg} (дБ)	12,00	
Коэффициент спектрального разделения, β (дБ/Гц):		
	<i>От сигнала 0 к сигналу 1</i>	
	-67,80	
Потери на обработку для мешающих сигналов (дБ)	1,00	
I_{alt} (дБВт/Гц) ⁽⁴⁾	-210,80	
Ухудшение C/N'_0 , определенное по уравнению (10) (дБ)	0,38	0,57

(1) Это значение определяется уравнением (2), аппроксимация, которая может не быть репрезентативной для всех приемников, использующих коды короткого PRN.

(2) Это значение является типовым значением, которое может не быть репрезентативным для малошумящих приемников.

(3) Это значение является типовым значением для малошумящих приемников.

(4) В этом примере значения I_{ref} , I_{rem} и I_{alt} были рассчитаны с использованием G^{agg} . Следовательно, они представляют верхние граничные значения.

Максимально допустимое ухудшение значения C/N'_0 может зависеть от того, способна ли альтернативная система взаимодействовать с эталонной системой. В том случае, когда системы допускают возможность взаимодействия, порог ухудшения значения C/N'_0 может быть выше, чем для систем, не допускающих взаимодействия. Шум, вносимый альтернативной системой, не имеющей возможности взаимодействия (I_{alt}), может быть изменен с целью учета конкретных свойств взаимной корреляции кодов между системами. В таком случае значение I_{alt} может быть заменено значением $I'_{alt} = \alpha \cdot I_{alt}$, где $\alpha \geq 1$.

Другим примером является расчет ухудшения отношения C/N'_0 на основе выражения, приведенного ниже в виде уравнения (11):

$$\Delta \left(\frac{C}{N'_0} \right) = \frac{\frac{C}{N_0 + I_{ref} + I_{rem} + I_{ext}}}{\frac{C}{N_0 + I_{ref} + I_{rem} + I_{ext} + I_{alt}}} = 1 + \frac{I_{alt}}{N_0 + I_{ref} + I_{rem} + I_{ext}} \quad (11)$$

Используя уравнение (11) с параметрами из таблицы 3, можно вычислить, что ухудшение C/N'_0 составляет 0,3 дБ.

6 Характеристики и моделирование спектра коротких кодов в РНСС

Описанная выше аналитическая модель аппроксимирует спектр принимаемых сигналов в виде совокупного спектра, в котором мелкие структуры отдельных сигналов усредняются все вместе, образуя по существу непрерывный спектр. Такое моделирование "непрерывным спектром" пригодно для сигналов РНСС с кодами длинного PRN³. Коды PRN могут иметь дополнительную мелкую структуру, такую как оверлейные коды или модуляция данными с более высокой скоростью передачи, которая эффективно расширяет спектральные линии кода основного PRN для получения практически непрерывного спектра для данного сигнала. В этих случаях сдвиг Допплера между различными сигналами оказывает незначительное влияние на общую оценку помех.

Однако такая модель непригодна для анализа кодов короткого PRN⁴ в пределах системы РНСС или между системами РНСС. В этих случаях необходимо динамическое моделирование для учета детальных свойств моделирования сигналов, например скорость передачи данных и характеристики кода PRN, а также относительный доплеровский сдвиг частоты и относительная мощность принятого сигнала.

6.1 Пример спектра кода короткого PRN в РНСС

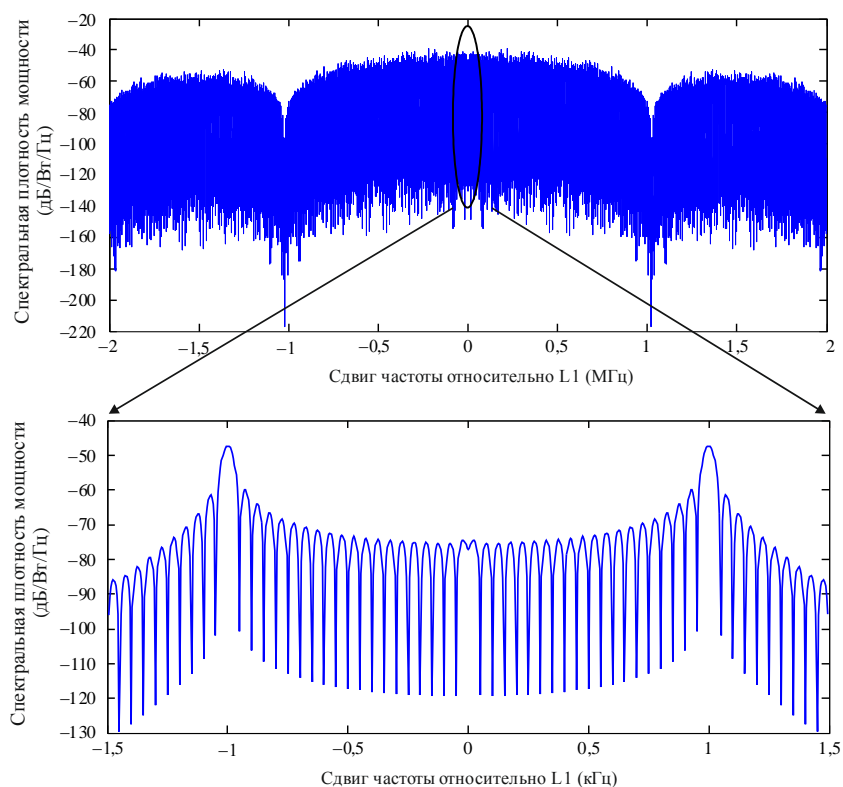
Спектр кода короткого PRN характеризуется номинальной огибающей и структурой первичных дискретных линий. Эта дискретная структура представляет собой последовательность спектральных линий, уровни которых определяются конкретными характеристиками кодов, включая частоту передачи и длину кода. Когда сигнал кода PRN модулируется данными, первичные спектральные линии эффективно расширяются спектром данных. На рисунке 6 представлен пример спектра сигнала кода короткого PRN с модуляцией данными с низкой скоростью передачи.

³ К примерам кодов длинного PRN относятся коды Galileo E1-B и -C (Рек. МСЭ-R М.1787-2, Приложение 3, таблица 3-1) и коды GPS L1C (Рек. МСЭ-R М.1787-2, Приложение 2, таблица 2-1).

⁴ Примером кода короткого PRN служит код GPS L1 C/A (Рек. МСЭ-R М.1787-2, Приложение 2, таблица 2-1). Для кодов короткого PRN результирующий коэффициент спектрального разделения (SSC) не соответствует аппроксимации в уравнении (2) для значений времени интегрирования, превышающих 1 мс, что является случаем приемников кодов короткого PRN.

РИСУНОК 6

Пример спектральной плотности мощности кода короткого PRN (нормирована к общей мощности 1 Вт)



M.183106

На верхней части рисунка 6 показана составляющая 4 МГц центральная часть спектра для примера кода короткого PRN, модулированного данными со скоростью передачи 50 бит/с (в данном примере аппроксимированы случайным образом). Составляющая 3 кГц внутренняя часть этого спектра расширена для иллюстрации эффектов расширения модулирования данными в первичных дискретных линиях кода PRN (разнос линий на 1 кГц = $1/(\text{период кода})$). Огибающая этого спектра имеет примерную форму $\sin^2(\pi f T_{\text{Chip}})/(\pi f T_{\text{Chip}})^2$, ее пиковое значение составляет $-47,1$ дБВт/Гц, и присутствуют нули на частоте, кратной 1,023 МГц (частота передачи = $1/T_{\text{Chip}}$) относительно центральной частоты.

Следует отметить, что в аспекте воздействия помех важное значение имеет относительный доплеровский сдвиг частоты. Для данного примера кода короткого PRN влияние сводится к минимуму, если относительный сдвиг Доплера между мешающим и полезным сигналом является нечетной величиной кратной 0,5 кГц. Влияние возрастает до максимума, если относительный сдвиг Доплера составляет ноль или малую целую величину кратную 1 кГц.

6.2 Общие аспекты детального динамического моделирования для кодов короткого PRN РНСС

Предполагается, что приемник пользователя представляет собой наземный приемник в фиксированном местоположении, которое определено в процессе моделирования как местоположение для наихудшего случая для ухудшения значения (C/N'_0) . В этой модели должен быть рассчитан сдвиг Доплера между полезным сигналом и мешающими сигналами. Значения принимаемой мощности и величины сдвигов Доплера, обусловленные движением спутников, вычисляются динамически через бюджеты линий, рассчитанные на основе орбитальных параметров различных систем, диаграмм направленности спутниковых антенн и антенн пользователей, а также данных о местоположении приемника пользователя.

Наряду со сдвигом Доплера могут быть согласованы другие факторы для использования в процессе координации для определения уровня собственных РЧ помех коротких кодов.

7 Заключение

Анализ вышеописанной методики показал, что данная методика полезна для исследований совместимости систем РНСС, и, следовательно, она будет полезной и для межсистемной координации РНСС. Несмотря на то что принципы данной методики просты, для получения с ее помощью полезных результатов необходима реалистичная модель всех РНСС систем. Кроме того, поскольку в службе РНСС используются негеостационарные системы, то, по всей вероятности, потребуется моделирование для определения статистических показателей помех между системами.

Приложение 2

Подготовка информации и разработка предложений по оценке внешних и межсистемных помех РНСС

В настоящем Приложении содержится методика для определения того, как бюджет помех РНСС может быть распределен между внешними (не-РНСС) источниками помех и источниками помех РНСС с целью осуществления координации между операторами РНСС. Кроме того, приводятся некоторые соображения относительно координации между системами РНСС.

1 Компоненты помех РНСС

В методике, приведенной в Приложении 1, совокупное значение, описывающее внешнюю помеху (от не-РНСС источников) I_{ext} рассматривается как аддитивный белый шум. То, как определяется это значение, является предметом координации. Следовательно, это может быть просто некоторое значение, которое координирующие стороны приняли в качестве репрезентативного, либо оно может быть рассчитано с использованием методики, описанной в настоящем Приложении, для определения приемлемого уровня мощности помехи для внешних помех и мощности помехи РНСС. Подход, в котором для внешних помех используется одно предполагаемое значение, называется "совокупным подходом". Подход, рассматриваемый в настоящем Приложении, в котором бюджет помех распределен между источниками помех, называется "подходом на основе распределения" и подробно рассматривается в подразделах ниже.

2 "Подход на основе распределения" в оценке помех РНСС

Настоящий подход основан на распределении помех от одной мешающей системы РНСС (или даже от одного мешающего спутника), воздействующих на приемник в другой полезной системе РНСС. Этот подход называется "подходом на основе распределения".

Основой данного подхода является определение доли, которую вносит одна система (или спутник) РНСС в общий (совокупный) уровень приемлемых помех, и сравнение этой доли с помехой, рассчитанной для данной системы (или спутника) РНСС. Рассмотрим гипотетическую систему РНСС, которая может работать с допустимым уровнем помехи I_a . Затем разделим эту величину на доли помехи:

$$I_a = \sigma_{РНСС} \cdot I_a + \sigma_{ext1} \cdot I_a + \sigma_{ext2} \cdot I_a,$$

где:

$\sigma_{РНСС}$: доля приемлемой помехи, вносимая всеми системами РНСС

σ_{ext1} : доля приемлемой помехи, вносимая всеми первичными службами, кроме РНСС

σ_{ext2} : доля приемлемой помехи, вносимая всеми внешними источниками помех и шумов

I_a : приемлемый уровень эквивалентной спектральной плотности мощности помех от всех служб, (Вт/Гц)

$$\sigma_{PHCC} + \sigma_{ext1} + \sigma_{ext2} = 1$$

Зная долю приемлемой помехи, вносимой всеми системами РНСС (σ_{PHCC}), можно определить долю допустимой помехи от одного спутника РНСС "эталонной" системы РНСС (σ_{ref}) следующим образом:

$$\sigma_{ref} = \sigma_{PHCC} / N,$$

где:

- σ_{ref} : доля допустимой помехи от одного спутника РНСС
- σ_{PHCC} : доля приемлемой помехи, вносимая всеми системами РНСС
- N : в качестве консервативной оценки для не-ГСО группировок РНСС, которая не учитывает диаграммы направленности антенн передатчика и приемника, установим $N = \max\{N_{max}^S, M_{ref}^S / 2\}$, где N_{max}^S – максимальное число спутников, находящихся в зоне видимости, а M_{ref}^S – общее число спутников эталонной группировки.

Следует отметить также, что суммарная приемлемая помеха от не-РНСС источников равна $I_{ext} = \sigma_{ext1} \cdot I_a + \sigma_{ext2} \cdot I_a$.

Аналогичный подход может использоваться и для других служб, такой план распределения используется, например, в фиксированной спутниковой службе.

Основная проблема этой методики заключается в том, что необходимо определить долю приемлемой помехи от различных служб и систем по сравнению с пороговым уровнем совокупной помехи. Приемлемую долю помех от каждой службы необходимо изучить и определить заранее.

В качестве примера можно рассмотреть следующие доли помех: $\sigma_{PHCC} = 0,89$ для РНСС, $\sigma_{ext1} = 0,1$ для первичной службы, отличной от РНСС, и $\sigma_{ext2} = 0,01$ для источников помех, отличных от РНСС.

Приложение 3

Руководство по координации между системами РНСС

В настоящем Приложении приводятся некоторые рекомендации по ряду общих вопросов, касающихся координационных требований, и методики, которые должны учитываться любым оператором РНСС, желающим скоординировать планируемую систему с другими системами РНСС:

1 Какие системы РНСС следует учитывать в расчетах?

В соответствии с правилами МСЭ, системами РНСС, координация с которыми должна запрашиваться любой новой планируемой системой РНСС, являются такие системы, для которых соответствующие заявки на регистрацию в МСЭ содержат перекрытия по частоте и для которых запросы на координацию (или заявительные документы для негеостационарных систем, заполненные до 1 января 2005 г.) были получены Бюро радиосвязи раньше, чем такая же информация по новой планируемой системе. Все эти системы, возможно, потребуется учесть в расчетах, если они действительно создаются.

Последние версии рекомендаций МСЭ-R содержат информацию о некоторых системах РНСС, которые были заявлены в МСЭ-R. В соответствии с Резолюцией 610 (ВКР-03), озаглавленной

"Координация и двустороннее разрешение проблем технической совместимости для сетей и систем радионавигационной спутниковой службы в полосах частот 1164–1300 МГц, 1559–1610 МГц и 5010–5030 МГц", информация о состоянии разработки планируемых систем РНСС может передаваться между администрациями в ходе процесса координации. Эта информация может разъяснять, должна ли учитываться в расчетах конкретная система РНСС, с которой должна быть выполнена координация. Точнее, п. 1 раздела *решает* указанной Резолюции определяет, что администрация, которая представила заявки на регистрацию по системе или сети РНСС в указанных полосах частот, должна, по запросу отвечающей администрации, информировать отвечающую администрацию (направив копию в Бюро), выполняются ли критерии, перечисленные в Приложении к Резолюции 610 (ВКР-03).

Указанные критерии включают в себя:

- i) подачу соответствующей информации для предварительной публикации;
- ii) точное подтверждение наличия обязывающего соглашения с производителем или поставщиком спутников для системы либо подтверждение гарантированного финансирования системы; и
- iii) точное подтверждение наличия обязывающего соглашения на запуск спутников.

2 Когда заявленные сети должны учитываться, в каком порядке это должно выполняться (например, на основании даты запроса на координацию, или как-либо иначе)?

Пункты 1, 2, 3 и 4 раздела *решает* Резолюции 610 (ВКР-03) требуют, чтобы межсистемная совместимость была бы сначала рассмотрена для тех систем, которые соответствуют критериям, приведенным в Приложении к этой Резолюции. Администрации, в соответствии с ситуацией, могут вести координацию между несколькими (более двух) системами в порядке, не связанном с датами подачи заявок на регистрацию этих систем. Кроме того, администрации могут согласиться на свои собственные условия координации по критериям помех.

В тех случаях, когда проблемы межсистемной координации, соответствующие Разделу II Статьи 9 РР затрагивают более двух систем РНСС, может оказаться целесообразным рассматривать их во время многосторонних встреч, в которых участвуют все стороны, в дополнение к рассмотрению этих вопросов во время двусторонних встреч между двумя сторонами.

Тем не менее, если, например, системы А, В и С предназначены для работы в данной полосе частот в пределах распределения для РНСС, где система В должна быть скоординирована с системой А, а система С должна быть скоординирована и с системой А, и с системой В, то любые соглашения между В и С могут требовать учета соглашений как между А и В, так и между А и С.

3 Когда должна выполняться координация, какие характеристики должны использоваться?

Характеристики, которые должны использоваться в качестве основы для конкретной системы, это – характеристики, связанные с заявками на регистрацию в МСЭ. Однако расчеты межсистемных помех должны основываться на характеристиках реальных систем, которыми должны обмениваться администрациями в процессе координации. Характеристики, требуемые для расчетов, как правило, более детализированы, чем базовые характеристики, содержащиеся в соответствующих заявках на регистрацию МСЭ, и должны быть совместимыми с огибающей, полученной на основе заявки на регистрацию.

4 Как может быть оценен параметр I_{ext} , указанный в Приложениях 1 и 2?

В некоторых случаях в рекомендациях по качественным характеристикам учитывается помеха от других служб (I_{ext}). Другими словами, при разработке системы РНСС необходимо учитывать определенные величины помех от других равных первичных служб, работающих в той же полосе

частот. Степень, до которой помехи от этих других служб должны учитываться, различна для различных полос частот. В некоторых ситуациях для других служб, работающих в рассматриваемой полосе частот, установлены регламентарные пределы. Они могут, например, принимать вид пределов э.и.и.м. для наземных служб. Однако, учитывая, что терминал пользователя РНСС является подвижным, применяемый подход должен учитывать совокупное увеличение помех от всех источников, работающих в данной полосе частот.

В соответствии с подходами, предложенными в Приложениях 1 и 2, помеха от служб, отличных от РНСС, моделируется в виде источника шума с постоянным значением эквивалентной спектральной плотности мощности (I_{ext}). Этот член выражения учитывает все источники радиосигналов, не принадлежащие к РНСС, и он может включать в себя внутрисполосные и внеполосные помехи от других источников радиосигналов. Как описано в Приложении 1, этот метод пригоден для моделирования внешних источников непрерывных широкополосных помех, но для узкополосных и импульсных помех требуется определить дополнительные методы.

Для того чтобы определить значение I_{ext} , необходимо посчитать бюджет всех распределений для той же частоты и для смежных частот, в которых могут работать источники значительных помех, и получить техническую информацию по системам, работающим в этих распределениях частот, для того чтобы оценить типичный уровень для каждого из этих источников. Руководящие принципы можно найти, например, в стандартах или в Рекомендациях и Отчетах МСЭ-R. Уровень I_{ext} может зависеть от местоположения рассматриваемой эталонной системы пользователя, поскольку некоторые системы могут работать только в определенных странах или регионах.
