

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R М.2030

(12/2012)

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

Серия М

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



Предисловие

Роль Сектора радиосвязи заключается в обеспечении рационального, справедливого, эффективного и экономичного использования радиочастотного спектра всеми службами радиосвязи, включая спутниковые службы, и проведении в неограниченном частотном диапазоне исследований, на основании которых принимаются Рекомендации.

Всемирные и региональные конференции радиосвязи и ассамблеи радиосвязи при поддержке исследовательских комиссий выполняют регламентарную и политическую функции Сектора радиосвязи.

Политика в области прав интеллектуальной собственности (ПИС)

Политика МСЭ-R в области ПИС излагается в общей патентной политике МСЭ-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	Подвижная спутниковая служба, спутниковая служба радиоопределения, любительская спутниковая служба и относящиеся к ним спутниковые службы
P	Распространение радиоволн
RA	Радиоастрономия
RS	Системы дистанционного зондирования
S	Фиксированная спутниковая служба
SA	Космические применения и метеорология
SF	Совместное использование частот и координация между системами фиксированной спутниковой службы и фиксированной службы
SM	Управление использованием спектра
SNG	Спутниковый сбор новостей
TF	Передача сигналов времени и эталонных частот
V	Словарь и связанные с ним вопросы

Примечание. – Настоящая Рекомендация МСЭ-R утверждена на английском языке в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции МСЭ-R 1.

Электронная публикация
Женева, 2014 г.

© ITU 2014

Все права сохранены. Ни одна из частей данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких бы то ни было средств без предварительного письменного разрешения МСЭ.

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R М.2030

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

(Вопросы МСЭ-R 217-2/4 и МСЭ-R 288/4)

(2012)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации представлен метод для использования на этапе первоначальной оценки возможности создания соответствующими¹ источниками радиосигналов, кроме источников в радионавигационной спутниковой службе (РНСС), импульсных помех² системам и сетям радионавигационной спутниковой службы, работающим в полосах частот 1164–1215 МГц, 1215–1300 МГц и 1559–1610 МГц. Компонентами этого метода оценки являются набор уравнений, а также таблица рекомендованных параметров и допустимых коэффициентов ухудшения³ для каждой полосы частот и типа приемника РНСС. Хотя уравнения метода оценки применимы к приемникам РНСС, работающим в полосе 1559–1610 МГц, прежде чем полностью определить рассматриваемый метод оценки для полосы 1559–1610 МГц потребуются дальнейшие исследования, с тем чтобы составить необходимую таблицу рекомендуемых параметров метода и допустимых коэффициентов ухудшения для данной полосы частот.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a)* что системы и сети в радионавигационной спутниковой службе (РНСС) предоставляют глобальную точную информацию для множества прикладных задач определения местоположения, навигации и отсчета времени, включая аспекты безопасности для некоторых полос частот в определенных обстоятельствах и для конкретных применений;
- b)* что уровень внеполосных излучений радиопередатчиков, как правило, зависит от условий их использования;
- c)* что хотя в Приложении 3 Регламента радиосвязи (РР) определены максимально допустимые уровни мощности побочных излучений, в нем также отмечено, что в ряде случаев этих ограничений может быть недостаточно для обеспечения адекватной защиты приемных станций в космических службах, причем в каждом отдельном случае могут рассматриваться более жесткие ограничения данных уровней с учетом географического расположения соответствующих станций. Отмечается также, что эти уровни могут быть неприменимы для систем, использующих цифровые методы модуляции;
- d)* что полосы частот 1164–1215 МГц, 1215–1300 МГц, 1559–1610 МГц и 5010–5030 МГц, помимо РНСС, распределены также другим службам на первичной или вторичной основе;

¹ Термин "соответствующие" относится к источникам радиосигналов, передающим РЧ-импульсы, или к источникам, генерирующим эквивалентные РЧ-импульсы в приемнике РНСС другими способами, в частности путем применения луча сканирующей антенны.

² В Рекомендации МСЭ-R М.1318-1 приведен метод анализа для источников непрерывных помех.

³ См. в Приложении 1 п. 3 описание коэффициента ухудшения качества приема, а в п. 4 – дополнительную информацию по допустимым значениям данного коэффициента ухудшения.

e) что излучения от других систем и сетей РНСС, от других служб и источников в полосах, распределенных РНСС, а также нежелательные излучения могут создавать помехи приемникам систем РНСС или сетей РНСС и должны учитываться при оценке помех;

f) что для адекватного описания воздействия помех на приемники РНСС от излучений источников импульсных РЧ-сигналов, работающих в полосах 1559–1610 МГц и 5010–5030 МГц, а также в прилегающих к ним полосах, необходима дальнейшая работа,

отмечая,

a) что в некоторых Рекомендациях МСЭ-R приведены технические данные и критерии защиты для функционирования систем и сетей РНСС;

b) что в Рекомендации МСЭ-R RS.1347 также приведена методика оценки импульсных помех приемникам РНСС, создаваемых радиолокаторами с синтезированной апертурой, и результаты измерений в полосе 1215–1300 МГц;

c) что в Отчете МСЭ-R М.2220 приведены метод расчета определенных параметров, используемый в настоящей Рекомендации, а также дополнительные материалы и примеры,

признавая,

что в п. 4.5 Регламента радиосвязи говорится о том, что "частота, присвоенная станции данной службы, должна быть достаточно удалена от границ полосы, распределенной этой службе, так чтобы с учетом полосы частот, присвоенной станции, не создавались вредные помехи службам, которым распределены соседние полосы частот",

рекомендует,

1 чтобы аналитический метод, приведенный в Приложении 1 к настоящей Рекомендации, использовался для предварительной оценки возможности появления импульсных помех от соответствующих источников радиосигналов, кроме источников в РНСС, системе или сети РНСС, работающей в полосах 1164–1215 МГц или 1215–1300 МГц;

2 чтобы проводился более подробный анализ в тех случаях, если при использовании данного метода выявляется возможность возникновения импульсных помех, которые могут отрицательно влиять на функционирование систем или сетей РНСС;

3 чтобы проводились исследования в целях разработки параметров, являющихся составной частью аналитического метода предварительной оценки возможности появления импульсных помех от соответствующих источников радиосигналов, кроме источников в РНСС, системе или сети РНСС, работающей в полосе частот 1559–1610 МГц (см. примечание).

ПРИМЕЧАНИЕ. – Уравнения аналитического метода, приведенные в Приложении 1, применимы к полосе 1559–1610 МГц.

Приложение 1

Аналитический метод предварительной оценки возможности создания импульсных помех соответствующими источниками радиосигналов, кроме источников в РНСС, системе или сети РНСС, работающей в полосах 1164–1215 МГц, 1215–1300 МГц и 1559–1610 МГц

1 Введение

В Рекомендации МСЭ-R М.1318-1 разработана модель оценки непрерывных радиочастотных помех⁴ (RFI) приемникам РНСС, однако Сектор МСЭ-R признал также необходимость рассмотрения импульсных РЧ-помех. В настоящем Приложении на основе базовых принципов выведен общий метод оценки импульсных РЧ-помех, предназначенный для использования с приемниками РНСС. В Отчете МСЭ-R М.2220 содержится справочная информация и методика расчета сводных параметров импульсных помех, применяемых при оценке их влияния. Ниже, в разделе 2, приведены некоторые справочные данные и описаны уравнения по расчету ухудшения качества приема, обусловленного влиянием РЧ-помех, для двух основных типов приемников РНСС. В разделе 3 описано применение уравнений, описывающих ухудшение качества приема, для оценки влияния дополнительных импульсных РЧ-помех. В разделе 4 приведен перечень рекомендуемых основных параметров метода оценки РЧ-помех и допустимые коэффициенты ухудшения качества приема для оценки влияния импульсных РЧ-помех.

2 Описание воздействия импульсных РЧ-помех на приемники РНСС

Исследования, проведенными двумя организациями, специализирующимися на разработке авиационных стандартов⁵, показали, что импульсные РЧ-помехи, оказывающие влияние на аэронавигационные приемники РНСС, работающие в полосе 1164–1215 МГц на эшелоне полета 200 (6096 м над средним уровнем моря (MSL)), достигают наибольших уровней в нескольких строго определенных районах земного шара. В результате этих исследований была разработана модель общего метода обработки сигналов приемников РНСС, используемого для уменьшения влияния сильных импульсных РЧ-помех, а также выведено соответствующее уравнение⁶ для выражения степени ухудшения качества приема на выходе коррелятора ($C/N_{0,EFF}$) данного приемника. В рамках одного из исследований⁷ было также разработано уравнение, описывающее сравнительное ухудшение качества сигнала для стандартных приемников, не обладающих специальной функцией уменьшения влияния импульсных РЧ-помех. Оба уравнения ухудшения качества приема имеют дело с непрерывными РЧ-помехами, присутствующими наряду с импульсными РЧ-помехами. По существу, их целесообразно использовать для определения критериев защиты от РЧ-помех, а также для анализа влияния любых вновь возникающих импульсных или непрерывных РЧ-помех за пределами исходного базового варианта. Ниже, в разделах 2.1 и 2.2, приведено подробное описание уравнений, описывающих ухудшение качества приема под влиянием РЧ-помех.

2.1 Метод расчета эффективной плотности шума (приемник с гашением импульсов)

Эффективным средством ослабления сильных импульсных РЧ-помех, возникающих, к примеру, в аэронавигационных приемниках, является схема гашения импульсов. Особенность работы схемы

⁴ В данном случае под непрерывными помехами подразумеваются постоянно присутствующие помехи от источников с довольно стабильной мощностью. В отличие от них для импульсных помех необходим анализ, основанный на длительности импульса, пиковой мощности и коэффициенте заполнения импульсов.

⁵ RTCA, штаб-квартира которой находится в Соединенных Штатах, и EUROCAE в Европе.

⁶ SC-159, "Assessment of radio frequency interference relevant to the GNSS L5/E5A frequency band", RTCA Document No. RTCA/DO-292, Washington, DC, 29 July 2004, Section 2.6.2.3.

⁷ *ibid.* RTCA/DO-292, Appendix D.2.2.

гашения заключается в том, что сигналы импульсных РЧ-помех, пиковые уровни мощности которых находятся ниже порога устройства гашения, суммируются с шумом приемника и непогашенными компонентами непрерывных РЧ-помех. Еще одним немаловажным аспектом является то, что схема гашения "обнуляет" сигнал и шум в корреляторах в период воздействия сильных импульсов, уровни мощности которых превышают порог устройства гашения. В описанном ниже уравнении оценивается эффективная плотность шум плюс помеха ($N_{0,EFF}$) на выходе корреляторов сигналов, обусловленная схемой гашения импульсов. $N_{0,EFF}$ по сути является общим показателем и может применяться во всех ситуациях, связанных с воздействием РЧ-помех на приемники РНСС, поскольку количественные характеристики среды воздействия РЧ-помех по мере ее изменения определяются входными переменными уравнения. Эффективная плотность шум плюс помеха на выходе коррелятора, $N_{0,EFF}$, определяется как:

$$N_{0,EFF} = \frac{N_0}{(1 - PDC_B)} \left(1 + \frac{I_{0,WB}}{N_0} + R_I \right), \quad (1)$$

где:

$$R_I = \left(\frac{1}{N_0 \times BW} \right) \sum_{i=1}^N P_i \times dc_i. \quad (2)$$

В приведенных выше уравнениях:

- R_I : отношение плотности мощности (на выходе коррелятора) суммарной агрегированной усредненной импульсной РЧ-помехи ниже порогового уровня схемы гашения к тепловому шуму приемника (безразмерное отношение);
- PDC_B : (коэффициент заполнения импульсов схемы гашения) это чистая агрегированная периодичность всех импульсов, превышающих порог схемы гашения (безразмерное дробное число);
- N_0 : спектральная плотность мощности теплового шума системы приемника РНСС (Вт/Гц) ($= kT_{sys}$);
- $I_{0,WB}$: спектральная плотность мощности суммарной широкополосной эквивалентной непрерывной РЧ-помехи (Вт/Гц) для конкретного применения приемника РНСС⁸;
- BW : полоса пропускания по РЧ/ПЧ на входе коррелятора (Гц);
- P_i : пиковая мощность принимаемого сигнала (Вт) i -го источника импульсов (относящаяся к выходу антенны) при пиковом уровне, находящемся ниже порога схемы гашения импульсов;
- dc_i : коэффициент заполнения импульса (безразмерная дробная величина) i -го источника импульса ниже порога схемы гашения;
- N : общее количество излучателей, генерирующих принимаемые импульсы при пиковом уровне, находящемся ниже порога схемы гашения.

Как было отмечено выше, в параметре $N_{0,EFF}$ объединены все виды воздействия импульсных РЧ-помех на плотность теплового шума, плотность непрерывной широкополосной РЧ-помехи и ослабление сигнала РНСС⁹. Все параметры шума и помех в уравнениях (1) и (2) относятся к терминалам приемных систем с пассивной антенной. Следует отметить в уравнении (1), что при отсутствии импульсной РЧ-помехи (т. е. если R_I и $PDC_B = 0$) уравнение $N_{0,EFF}$ сводится к упрощенному выражению, используемому при проведении анализа непрерывных РЧ-помех системам РНСС ($N_{0,EFF} = N_0 + I_{0,WB}$).

Агрегированный параметр импульсной РЧ-помехи, PDC_B , формируется из компонентов отдельных гетерогенных импульсных систем передачи "a", "b" и "c" следующим образом:

$$PDC_B = 1 - (1 - PDC_a)(1 - PDC_b)(1 - PDC_c), \quad (3)$$

⁸ Более подробная информация по данному параметру приведена в Отчете МСЭ-R М.2220.

⁹ Более подробная информация по $N_{0,EFF}$ приведена в Отчете МСЭ-R М.2220.

где:

PDC_a : коэффициент заполнения импульсов выше порога схемы гашения для импульсов системы "a" (например, дальномерное измерительное оборудование/тактическая аэронавигация (DME/TACAN));

PDC_b : коэффициент заполнения импульсов выше порога схемы гашения для импульсов системы "b" (например, система связи, навигации и идентификации (CNI)); а

PDC_c : коэффициент заполнения импульсов выше порога схемы гашения для импульсов системы "c" (например, воздушная радионавигационная служба/авиадиспетчерская служба (ARNS/ATC)).

Для каждого отдельно взятого источника i системы x коэффициент заполнения импульсов выше порога схемы гашения $PDC_{x,i}$ в общем случае определяется как:

$$PDC_{x,i} = (PW_{x,i} + \tau_{REC}) \cdot PRF_{x,i}, \quad (3a)$$

где:

$PW_{x,i}$: эффективная длительность принимаемого импульса выше порога схемы гашения (с);

τ_{REC} : время восстановления приемника после перегрузки (с); и

$PRF_{x,i}$: частота повторения импульсов (Гц).

Агрегированный параметр импульсной РЧ-помехи, R_I , формируется из компонентов отдельных гетерогенных импульсных систем передачи "a", "b" и "c" следующим образом:

$$R_I = R_a + R_b + R_c, \quad (4)$$

где R_a , R_b и R_c – это отношение плотности мощности сигнала ниже порога схемы гашения к шуму приемника для систем "a", "b" и "c" соответственно.

Эти отношения рассчитываются без учета наличия любых других перекрывающихся во времени импульсов от различных отдельно взятых источников импульсных РЧ-помех. Коэффициент заполнения импульсов отдельно взятого источника j системы y для принимаемых импульсов ниже порога схемы гашения, $dc_{y,j}$, определяется как:

$$dc_{y,j} = PW_{y,j} \cdot PRF_{y,j}, \quad (4a)$$

где слагаемые в правой части уравнения определяются аналогично пункту (3a), за исключением тех случаев, когда они относятся к характеристикам импульсов ниже порога схемы гашения.

2.2 Метод расчета эффективной плотности шума (импульсное насыщение приемника)

Некоторые приемники РНСС, работающие в полосах частот РНСС, например в наземных системах, могут не подвергаться воздействию большого количества импульсных РЧ-помех внутри полос и в соседних полосах частот, как это происходит в аэронавигационных и аналогичных им приемниках. В связи с этим они могут не иметь электронных схем гашения импульсов, описанных выше в п. 2.1, а вместо этого за короткий промежуток времени достигают насыщения за счет импульсов РЧ-помех от расположенного поблизости источника. Наличие импульсных РЧ-помех сокращает общий уровень непрерывных РЧ-помех, которые способен выдержать приемник РНСС. Воздействие как импульсных, так и непрерывных РЧ-помех для приемника РНСС с насыщением может быть количественно выражено путем определения эффективной спектральной плотности мощности шума на выходе коррелятора, $N_{0,EFF}$, следующим образом:

$$N_{0,EFF} = \frac{N_0 \cdot \left(1 + \frac{I_{0,WB}}{N_0} + R_I \right) \left(1 + \frac{N_{LIM}^2 \cdot PDC_{LIM}}{(1 - PDC_{LIM})} \right)}{(1 - PDC_{LIM})}, \quad (5)$$

где:

- N_0 : спектральная плотность мощности теплового шума приемной системы (Вт/Гц) (= kT_{SYS});
- $I_{0,WB}$: спектральная плотность мощности суммарной широкополосной эквивалентной непрерывной РЧ-помехи (Вт/Гц);
- PDC_{LIM} : агрегированный дробный коэффициент заполнения импульсов насыщения РЧ-помех (безразмерная величина);
- R_I : отношение (безразмерное) плотности мощности агрегированной усредненной импульсной РЧ-помехи ниже порога насыщения к N_0 ; а
- N_{LIM} : отношение (безразмерное) уровня насыщения аналого-цифрового (А/Ц) приемника к напряжению шума 1σ , устанавливаемого при помощи автоматической регулировки усиления (APU).

Все слагаемые шума и помехи в уравнении (5) относятся к терминалам пассивной антенны приемных систем. Параметр N_{LIM} представляет собой параметр приемника, который определяется реализацией аналого-цифрового преобразования. Для простейшего приемника РНСС с резким ограничением (с 1-битовым аналого-цифровым преобразователем) N_{LIM} равно единице. Поскольку в данном случае приемник имеет ограничение по шуму, параметр R_I РЧ-помехи фактически равен нулю. В более общих случаях величина R_I связана с уровнем насыщения и пиковой мощностью аналого-цифрового приемника, а также с коэффициентом заполнения импульсов РЧ-помехи ниже порога насыщения в виде, аналогичном приведенному в уравнении (2). Как и в уравнении (1), слагаемые PDC_{LIM} и R_I представляют собой агрегированные значения для действующих источников импульсных РЧ-помех. Отметим также, что при отсутствии импульсных РЧ-помех параметры РЧ-помехи, PDC_{LIM} и R_I , равны нулю, а уравнение (5) сводится к выражению $N_{0,EFF} = N_0 + I_{0,WB}$, т. е. к обычной формуле для анализа непрерывных РЧ-помех.

Коэффициент заполнения насыщенных импульсов отдельно взятого источника, $PDC_{LIM,j}$, формирующий агрегированный коэффициент заполнения, определяется в виде, аналогичном уравнению (3а), – без учета уровня насыщения входного сигнала приемника (приблизительно равного табулированному уровню сжатия входного сигнала приемника). Коэффициент заполнения импульсов отдельного источника ниже уровня насыщения определяется в виде, аналогичном уравнению (4а).

При заданном максимальном значении $N_{0,EFF}$ и наборе параметров импульсной РЧ-помехи уравнение (5) может быть решено для допустимой агрегированной спектральной плотности мощности компонента непрерывной широкополосной помехи, не имеющей отношения к РНСС.

2.3 Ограничения применения уравнений эффективной спектральной плотности мощности шума ($N_{0,EFF}$)

Для значений длительности импульса РЧ-помехи от 0,1 до 1000 микросекунд приведены уравнения, определяющие параметр $N_{0,EFF}$ и описанные выше в пп. 2.1 и 2.2, в целях надлежащего отображения воздействия импульсных РЧ-помех на приемники РНСС, работающие в режиме отслеживания сигналов в полосах 1164–1215 МГц и 1215–1300 МГц. Для некоторых приемников РНСС, работающих в режиме обнаружения сигналов, в уравнениях также правильно отображается влияние импульсной РЧ-помехи в том же диапазоне длительности импульса РЧ-помех, до тех пор пока соответствующие коэффициенты заполнения импульсов сохраняют умеренные значения.

Для некоторых приемников РНСС, работающих в режиме обнаружения сигналов с малым временем усреднения (порядка 1–2 мс), уравнения, приведенные в пп. 2.1 и 2.2, могут не отображать надлежащим образом влияние импульсной РЧ-помехи в том же диапазоне длительности импульса РЧ-помехи при высоких коэффициентах заполнения импульсов (включая полосу 1559–1610 МГц). Таким образом, необходимы дальнейшие исследования для определения ограничений по применению при высоком коэффициенте заполнения и большой длительности импульса помехи, а также для проверки расчетных данных, полученных при помощи уравнения.

3 Общие принципы оценки импульсных РЧ-помех

Совокупное влияние импульсных и непрерывных РЧ-помех на приемники РНСС двух основных типов описывается выше, в п. 2. Совокупное влияние РЧ-помех фиксируется в виде эффективной спектральной плотности мощности шум плюс помеха, $N_{0,EFF}$, для приемника РНСС. Принимаемая РЧ-помеха характеризуется тремя описанными выше параметрами, связанными с источниками радиосигналов (импульсные параметры, PDC и R_I , и непрерывный параметр, $(I_{0,WB}/N_0)$). Как было отмечено в приведенных выше определениях, слагаемое $I_{0,WB}$ используется для выражения спектральной плотности мощности суммарной широкополосной эквивалентной непрерывной РЧ-помехи, присутствующей на зажимах приемной антенны РНСС. В целях упрощения анализа импульсных РЧ-помех предположим, что слагаемое $I_{0,WB}$ является фиксированной величиной, представляющей базовое условие.

В анализе также задействуются соответствующие технические характеристики приемника как напрямую (например, N_0 – спектральная плотность мощности теплового шума приемной системы), так и косвенным образом. Влияние дополнительной импульсной РЧ-помехи на заданное базовое значение может быть определено с точки зрения отношения $N_{0,EFF}$, при этом к базовому значению $N_{0,EFF}$ подключается новый источник сигналов $N_{0,EFF-New}$.

3.1 Дополнительная импульсная РЧ-помеха, воздействующая на приемник РНСС со схемой гашения импульсов (вариант 1)

Определим базовое значение $N_{0,EFF}$ (предполагая присутствие импульсной РЧ-помехи с уровнем, отличным от нуля) при помощи уравнений (1) и (2) следующим образом:

$$N_{0,EFF} = \frac{N_0}{(1 - PDC_B)} \left(1 + \frac{I_{0,WB}}{N_0} + R_I \right) \quad \text{при} \quad R_I = \left(\frac{1}{N_0 \times BW} \right) \sum_{i=1}^N P_i \times dc_i,$$

где при помощи уравнений (3) и (4) $(1 - PDC_B) = (1 - PDC_a)(1 - PDC_b)(1 - PDC_c)$ и $R_I = R_a + R_b + R_c$ от групп основных источников импульсных сигналов a , b и c .

При наличии дополнительного источника (или группы источников) импульсных сигналов Y получаем путем обобщения:

$$(1 - PDC_{B+Y}) = (1 - PDC_a)(1 - PDC_b)(1 - PDC_c)(1 - PDC_Y) = (1 - PDC_B)(1 - PDC_Y) \quad \text{и} \\ R_{I+Y} = R_a + R_b + R_c + R_Y = R_I + R_Y.$$

И аналогичным образом,

$$N_{0,EFF+Y} = \frac{N_0}{(1 - PDC_{B+Y})} \left(1 + \frac{I_{0,WB}}{N_0} + R_{I+Y} \right).$$

Ухудшение качества приема сигналов, обусловленное РЧ-помехами, по отношению к основному значению может быть вычислено в виде отношения $N_{0,EFF+Y}/N_{0,EFF}$:

$$\frac{N_{0,EFF+Y}}{N_{0,EFF}} = \frac{(1 - PDC_B) \left(1 + \frac{I_{0,WB}}{N_0} + R_I + R_Y \right)}{(1 - PDC_{B+Y}) \left(1 + \frac{I_{0,WB}}{N_0} + R_I \right)} = \frac{1}{(1 - PDC_Y)} \left[1 + \frac{R_Y}{\left(1 + \frac{I_{0,WB}}{N_0} + R_I \right)} \right]. \quad (6)$$

Следует отметить, что как PDC_Y , так и R_Y оцениваются на основе уровня сжатия входного сигнала приемника РНСС, взятого в качестве эталонной точки мощности (верхней границы порога схемы гашения). При расчете коэффициента заполнения импульсов выше порога схемы гашения (PDC_Y) используется время восстановления приемника после перегрузки согласно уравнению (3а).

3.2 Дополнительная импульсная РЧ-помеха, воздействующая на приемник РНСС с возможностью насыщения (вариант 2)

3.2.1 Приемник РНСС с возможностью насыщения – импульсная РЧ-помеха с базовым уровнем, отличным от нуля (вариант 2а)

В данном частном случае предполагается присутствие импульсной РЧ-помехи в базовой среде (т. е. при базовых значениях PDC и/или $R_I > 0$). При введении дополнительной группы Y источников насыщающих импульсов обновленные параметры совокупной импульсной помехи, воздействующей на РНСС, PDC_{LIM+Y} и R_{I+Y} , могут быть определены аналогично варианту 1 следующим образом:

$$(1 - PDC_{LIM+Y}) = (1 - PDC_{LIM})(1 - PDC_Y) \text{ и } R_{I+Y} = R_I + R_Y,$$

где PDC_{LIM} и R_I представляют параметры импульсных РЧ-помех базовой среды, а PDC_Y и R_Y представляют параметры импульсных РЧ-помех дополнительной группы источников. Далее, аналогично варианту 1 коэффициент ухудшения качества приема определяется путем обобщения с использованием уравнения (5) следующим образом:

$$\begin{aligned} \frac{N_{0,EFF+Y}}{N_{0,EFF}} &= \frac{N_0 \left(1 + \frac{I_{0,WB}}{N_0} + R_{I+Y}\right) \left(1 + \frac{N_{LIM}^2 PDC_{LIM+Y}}{(1 - PDC_{LIM+Y})}\right) (1 - PDC_{LIM})}{N_0 \left(1 + \frac{I_{0,WB}}{N_0} + R_I\right) \left(1 + \frac{N_{LIM}^2 PDC_{LIM}}{(1 - PDC_{LIM})}\right) (1 - PDC_{LIM+Y})} \\ &= \frac{1}{(1 - PDC_Y)} \left[1 + \frac{R_Y}{\left(1 + \frac{I_{0,WB}}{N_0} + R_I\right)}\right] \left[1 + \left(\frac{N_{LIM}^2 PDC_Y}{(1 - PDC_Y) \left[1 + PDC_{LIM} (N_{LIM}^2 - 1)\right]}\right)\right] \end{aligned} \quad (7)$$

Если помимо этого приемник РНСС обладает жестким ограничением, $N_{LIM} = 1$ и $R_I = R_Y \cong 0$, то тогда коэффициент ухудшения упрощается до выражения:

$$\frac{N_{0,EFF+Y}}{N_{0,EFF}} = \frac{1}{(1 - PDC_Y)^2}. \quad (7a)$$

3.2.2 Приемник РНСС с возможностью насыщения – импульсная РЧ-помеха с нулевым базовым уровнем (вариант 2б)

В этом частном варианте, в котором не предполагается присутствие импульсной РЧ-помехи в базовой среде (т. е. базовые значения PDC и $R_I = 0$), и при введении группы источников насыщающих импульсов Y (параметры импульсной помехи PDC_Y и R_Y) коэффициент ухудшения определяется как:

$$\begin{aligned} \frac{N_{0,EFF+Y}}{N_{0,EFF}} &= \frac{N_0 \left(1 + \frac{I_{0,WB}}{N_0} + R_Y\right) \left(1 + \frac{N_{LIM}^2 \cdot PDC_Y}{(1 - PDC_Y)}\right)}{N_0 \left(1 + \frac{I_{0,WB}}{N_0}\right) (1 - PDC_Y)} \\ &= \frac{1}{(1 - PDC_Y)} \left[1 + \frac{R_Y}{\left(1 + \frac{I_{0,WB}}{N_0}\right)}\right] \left(1 + \frac{N_{LIM}^2 \cdot PDC_Y}{(1 - PDC_Y)}\right). \end{aligned} \quad (8)$$

Если помимо этого приемник РНСС обладает жестким ограничением, $N_{LIM} = 1$ и $R_Y \cong 0$, то тогда коэффициент ухудшения становится идентичным уравнению (7а), т. е.

$$\frac{N_{0,EFF+Y}}{N_{0,EFF}} = \frac{1}{(1 - PDC_Y)^2}.$$

4 Допустимые коэффициенты ухудшения качества приема и соответствующие параметры метода оценки

В таблице 1 приведен список базовых параметров метода и допустимых коэффициентов ухудшения качества приема¹⁰, предназначенный для использования при проведении предварительной оценки возможности создания импульсных помех от соответствующих источников радиосигналов, кроме источников в РНСС, системе или сети РНСС, работающей в полосе 1164–1215 МГц. Типы приемников РНСС, приведенные в таблице, взяты из Рекомендации МСЭ-R М.1905. Если в результате анализа дополнительного источника импульсных помех получено значение коэффициента ухудшения качества приема в децибелах ($10 \log_{10}(N_{0,EFF+}/N_{0,EFF})$), превышающее допустимый коэффициент ухудшения для приемника РНСС, приведенный в таблице 1, то может потребоваться более детальный анализ влияния дополнительной импульсной помехи, который позволит выяснить, является ли вновь появившаяся помеха допустимой для приемника РНСС, подвергающегося воздействию. Перечисленные базовые параметры метода анализа импульсных РЧ-помех, PDC и R_I , а также параметр непрерывной помехи, $I_{0,WB}/N_0$, должны использоваться в соответствующем уравнении коэффициента ухудшения (уравнение (6) для приемников РНСС с гашением импульсов ($N_{LIM} = 0$) или уравнение (7), (7а) или (8) для приемников РНСС с насыщением ($N_{LIM} \geq 1$)). Импульсные параметры для нового источника импульсных РЧ-помех (или группы источников) в уравнениях коэффициента ухудшения могут быть рассчитаны при помощи метода, описанного в Отчете МСЭ-R М.2220.

ТАБЛИЦА 1

Базовые параметры метода анализа импульсных РЧ-помех и допустимые коэффициенты ухудшения качества приема для приемников РНСС (космос-Земля), работающих в полосе 1164–1215 МГц*

Тип приемника	N_{LIM} (безразм.) (прим. 4)	Базовое значение PDC (безразм.)	Базовое значение R_I (безразм.)	Базовый коэффициент $I_{0,WB}/N_0$ (безразм.)	Допустимый коэффициент ухудшения для источников импульсных сигналов (дБ) (прим. 2, 3)
Аэронавигационный приемник № 1 (CDMA) (прим. 1, 5)	0	0,6527	0,9628	1,0551	0,1
Аэронавигационный приемник № 2 (FDMA) (прим. 1, 5)	1	0,6527	0,9628	0,455	0,1
Высокоточный приемник (CDMA) (прим. 5)	2	0,0941	0	0,5012	0,2
Высокоточный приемник (FDMA) (прим. 5)	2	0,0941	0	0,5012	0,2

* Значения параметров для других типов приемников РНСС находятся в процессе разработки. Уравнения коэффициента ухудшения качества приема в п. 3 настоящего Приложения могут использоваться для прогнозирования общего характера воздействия импульсных помех на приемники РНСС, параметры которых отсутствуют в представленном списке.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Перечисленные базовые параметры относятся к варианту с использованием высотной точки беспроводного доступа в США, включающему следующие действующие источники импульсных сигналов: DME/TACAN, CNI и ARNS/ATC. Предельное значение коэффициента ухудшения действительно для воздействия помех, создаваемых новым источником (или группой источников) импульсных сигналов, не относящимся к воздушной службе.

¹⁰ Допустимый коэффициент ухудшения представляет собой верхний предел воздействия РЧ-помех от новых планируемых импульсных источников в среде РЧ-помех, отличной от базовой. При рассмотрении суммарной РЧ-помехи, в том числе для базовых параметров, было установлено, что приемник может выдерживать данное воздействие и при этом соответствовать требуемым техническим характеристикам.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Нежелательные излучения от постоянно действующих источников, подпадающие под действие Рекомендации МСЭ-R М.1318-1, не влияют на допустимый коэффициент ухудшения для источников импульсных сигналов.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – При расчете допустимого коэффициента ухудшения для новых источников импульсных сигналов в условиях РЧ-помех, отличных от базовых, необходимо учитывать совокупное воздействие на приемник РНСС, оказываемое несколькими источниками импульсных сигналов, одновременно облучающих приемник РНСС.

ПРИМЕЧАНИЕ 4. – Значение N_{LIM} приемника с гашением импульсов равно нулю.

ПРИМЕЧАНИЕ 5. – На основе значения времени восстановления после перегрузки, равного 1 микросекунде.

Аналогичные списки приведены в таблице 2 для полосы частот 1215–1300 МГц. В этой таблице приведены типы приемников РНСС, взятые из Рекомендации МСЭ-R М.1902. Аналогично процедуре в таблице 1 перечисленные базовые параметры моделей импульсных РЧ-помех, PDC и R_I , а также параметр непрерывной помехи, $I_{0,WB}/N_0$, применяются в соответствующем уравнении коэффициента ухудшения (уравнение (6) для приемников РНСС с гашением импульсов ($N_{LIM} = 0$), или уравнение (7), (7a) или (8) для приемников РНСС с насыщением ($N_{LIM} \geq 1$)). Решение уравнения для фактического коэффициента ухудшения качества приема сравнивается с допустимым значением коэффициента ухудшения, приведенным в таблице 2.

ТАБЛИЦА 2

Базовые параметры метода анализа импульсных РЧ-помех и допустимые коэффициенты ухудшения качества приема для приемников РНСС (космос-Земля), работающих в полосе 1215–1300 МГц*

Тип приемника	N_{LIM} (безразм.) (прим. 1)	Базовое значение PDC (безразм.) (прим. 2)	Базовое значение R_I (безразм.) (прим. 2)	Базовый коэффициент $I_{0,WB}/N_0$ (безразм.)	Допустимый коэффициент ухудшения для источников импульсных сигналов (дБ) (прим. 3)
Наземный эталонный приемник SBAS ¹¹	1	0,0793 (прим. 4)	0	0,3925	0,2
Высокоточный полубескодированный приемник	2	0,0765 (прим. 4)	0	0,3983	0,2
Аэронавигационный приемник (FDMA)	1	0,1327 (прим. 4)	0	0,455	0,1
Аэронавигационный приемник (FDMA)	1	0,1723 (прим. 5)	0	0,455	0,1

* Значения параметров для других типов приемников РНСС находятся в процессе разработки. Уравнения коэффициента ухудшения в п. 3 настоящего Приложения могут использоваться для прогнозирования общего характера воздействия импульсных помех на типы приемников РНСС, параметры которых отсутствуют в представленном списке.

¹¹ Спутниковая система контроля и коррекции (SBAS).

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Значение N_{LIM} приемника с гашением импульсов равно нулю.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Параметры базовых источников импульсных сигналов, приведенные в данной таблице, относятся к наиболее неблагоприятным вариантам. Предполагается, что в наиболее реальных условиях могут присутствовать различные типы источников импульсных помех с более низкими отдельными значениями для PDC , и, следовательно, агрегированное базовое значение PDC импульсной помехи будет ниже, чем приведенное в таблице. Эти реальные условия следует учитывать при проведении подробного анализа, требование о котором содержится в п. 2 раздела "рекомендует".

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – При получении допустимого коэффициента ухудшения для новых источников импульсных сигналов в условиях РЧ-помехи, отличных от базовых, необходимо учитывать совокупное воздействие на приемник РНСС, оказываемое несколькими источниками импульсных сигналов, одновременно облучающими приемник РНСС.

ПРИМЕЧАНИЕ 4. – На основе значения времени восстановления после перегрузки, равного 1 микросекунде.

ПРИМЕЧАНИЕ 5. – На основе значения времени восстановления после перегрузки, равного 30 микросекундам.

Уравнения коэффициента ухудшения в п. 3 настоящего Приложения могут также использоваться для прогнозирования общего характера воздействия импульсных помех на приемники РНСС, работающие в полосе частот 1559–1610 МГц. Однако таблица параметров рекомендуемого метода оценки и допустимых предельных значений ухудшения качества приема для полосы 1559–1610 МГц, необходимых для проведения оценок воздействия импульсных помех, пока находится в процессе разработки. Отправной точкой для этой разработки может служить базовый метод, описанный в Отчете МСЭ-R М.2220, пригодный для определения агрегированных параметров помехи импульсных РЧ-систем внутри и вблизи полосы 1559–1610 МГц, если принимать во внимание источники непрерывных помех внутри и вблизи данной полосы частот.

Приложение 2

Примеры применения аналитического метода оценки импульсных помех

В настоящем Приложении приведены два примера применения аналитического метода оценки, представленного в Приложении 1, для определения воздействия импульсных помех, создаваемых одним и тем же новым источником импульсных радиочастотных сигналов на приемники РНСС двух различных типов, работающих в полосе частот 1215–1300 МГц.

1 Описание ситуации для базового режима работы приемника РНСС

Предполагается, что два типа приемников РНСС, а именно наземный эталонный приемник SBAS и некоторые высокоточные полубескодовые приемники (полоса 1215–1300 МГц), нормально функционируют поблизости от одноимпульсной радиолокационной системы. Предполагается, что этот радар выдает полностью насыщающие импульсные сигналы в пределах полос пропускания предварительных корреляционных фильтров в приемниках двух типов. Согласно перечню, приведенному в строке 2 таблицы 1, предполагается, что базовый радиолокатор является источником импульсных радиочастотных помех, поступающих на вход приемника РНСС и обладающих следующими параметрами:

$$PDC = 0,0765;$$

$$R_I = 0.$$

Соответствующие параметры наземного эталонного приемника SBAS:

$$N_{LIM} = 1,0;$$

$$\tau_{REC} = 1,0 \text{ мкс.}$$

Соответствующие параметры высокоточного полубескодового приемника:

$$N_{LIM} = 2,0;$$

$$\tau_{REC} = 1,0 \text{ мкс.}$$

Предполагается, что каждый приемник работает при одновременном наличии непрерывной помехи с коэффициентом плотности I_0/N_0 , указанным в таблице 2 Приложения 1.

2 Примеры аналитического метода расчета коэффициента ухудшения качества приема, связанного с импульсными РЧ-помехами

К описанной выше базовой эксплуатационной ситуации добавляется новый одиночный импульсный РЧ-передатчик. Предполагается, что пиковая мощность его сигнала достаточно высока для насыщения работающих приемников РНСС обоих типов. Предполагаемые параметры передачи импульсных сигналов для нового источника равны:

$$PW_Y = 44,0 \text{ мкс; и}$$

$$PRF_Y = 500 \text{ Гц.}$$

2.1 Расчет коэффициента ухудшения качества приема, связанного с импульсными помехами, воздействующими на наземный эталонный приемник SBAS

Для наземного эталонного приемника SBAS эффективный коэффициент заполнения принимаемых импульсов насыщения для предлагаемого нового источника, PDC_Y , исходя из уравнения (3а) Приложения 1, равен

$$PDC_Y = (PW_Y + \tau_{REC}) \cdot PRF_Y = (44 + 1,0) \cdot 500 \cdot 10^{-6} = 0,02250.$$

Поскольку импульсы нового источника полностью насыщают приемник, то

$$R_Y = 0.$$

Согласно таблице 2 Приложения 1 для наземного эталонного приемника SBAS $N_{LIM} = 1$. Поскольку для нового источника импульсных РЧ-сигналов $R_Y = 0$, то уравнением для ухудшения качества из-за импульсных РЧ-помех является уравнение (7а) в Приложении 1. Таким образом,

$$\frac{N_{0,EFF+Y}}{N_{0,EFF}} = \frac{1}{(1 - PDC_Y)^2} = 1/(1 - 0,0225)^2 = \mathbf{1,04657} \text{ (алгебраическое отношение).}$$

Для сравнения вычисленного коэффициента ухудшения с допустимым коэффициентом ухудшения (0,2 дБ) из таблицы 2 Приложения 1 преобразуем алгебраическое отношение в децибелы:

$$10 \cdot \log_{10}(1,04657) = \mathbf{0,198 \text{ дБ.}}$$

Таким образом, уровень сигнала, создаваемого новым предлагаемым источником, немного меньше допустимого предельного значения коэффициента ухудшения наземного эталонного приемника SBAS.

2.2 Расчет коэффициента ухудшения качества приема, связанного с импульсными помехами, воздействующими на высокоточный полубескодовый приемник

Поскольку предполагается, что высокоточный полубескодовый приемник обладает тем же временем восстановления после импульсной перегрузки (1,0 мкс), что и наземный эталонный приемник SBAS, то коэффициент заполнения принимаемых импульсов насыщения для нового источника также остается прежним ($PDC_Y = 0,0225$). В связи с отсутствием импульсов ниже уровня насыщения, принимаемых высокоточным полубескодовым приемником, также $R_Y = 0$. Базовый коэффициент заполнения

импульсов, PDC_{LIM} , из таблицы 2 Приложения 1 равен 0,0765. Поскольку в приемнике $N_{LIM} = 2$, то в качестве уравнения ухудшения качества приема, связанного с импульсными РЧ-помехами, используется уравнение (7), приведенное в Приложении 1. Таким образом, подставив значения параметров PDC_{LIM} , N_{LIM} и R_Y в данное уравнение и упростив его, получаем расчетный коэффициент ухудшения:

$$\begin{aligned} N_{0,EFF+Y}/N_{0,EFF} &= \{1/(1 - PDC_Y)\} \cdot (1) \cdot \{1 + (4 \cdot PDC_Y)/[(1 - PDC_Y)(1 + 3 \cdot PDC_{LIM})]\} = \\ &= \{1,02302\} \cdot \{1 + [0,090/1,20184]\} = \mathbf{1,09963} \text{ (алгебраическое отношение)}. \end{aligned}$$

Преобразуя алгебраическое отношение в децибелы, получаем

$$10 \cdot \log_{10}(1,099627) = \mathbf{0,413 \text{ дБ}}.$$

Таким образом, новый предлагаемый источник импульсного сигнала создает ухудшение качества приема, связанное с воздействием РЧ-помех, превышающее допустимое предельное значение ухудшения качества для высокоточного полубескодового приемника, равное 0,2 дБ.
