|  |
| --- |
| **Рекомендация МСЭ-R BT.2136-0**  **(12/2020)** |
| **Оценка помех цифровому наземному телевизионному радиовещанию, создаваемых другими службами, путем моделирования  по методу Монте-Карло** |
| **Серия BT**  **Радиовещательная служба (телевизионная)** |

**Предисловие**

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

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

**Политика в области прав интеллектуальной собственности (ПИС)**

Политика МСЭ-R в области ПИС излагается в общей патентной политике МСЭ-Т/МСЭ-R/ИСО/МЭК, упоминаемой в Резолюции МСЭ-R 1. Формы, которые владельцам патентов следует использовать для представления патентных заявлений и деклараций о лицензировании, представлены по адресу: <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>, где также содержатся руководящие принципы по выполнению общей патентной политики МСЭ-Т/МСЭ-R/ИСО/МЭК и база данных патентной информации МСЭ-R.

|  |  |
| --- | --- |
| Серии Рекомендаций МСЭ-R  (Представлены также в онлайновой 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, 2021 г.

© ITU 2021

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 BT.2136-0[[1]](#footnote-1)\*

Оценка помех цифровому наземному телевизионному радиовещанию, создаваемых другими службами, путем моделирования  
по методу Монте-Карло

(2020)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации определена методика, предназначенная для оценки помех цифровому наземному телевизионному радиовещанию (ЦНТВ), создаваемых другими службами, в случае использования моделирования по методу Монте-Карло. Представлено также руководство по интерпретации результатов такого моделирования по методу Монте-Карло на основе нормативных критериев защиты, приведенных в Рекомендации МСЭ-R BT.1895.

Ключевые слова

ЦНТВ, метод Монте-Карло, качество обслуживания, временно́е окно, вероятность помех, вероятность нарушения.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

*a)* что в Статье 5 Регламента радиосвязи (РР) наземной радиовещательной службе распределены полосы частот на первичной основе;

*b)* что наземная радиовещательная служба планируется по принципу ограничения по шумам с учетом внутреннего шума приемника и внешнего радиочастотного шума;

*c)* что радиовещательные службы могут также планироваться по принципу ограничения по помехам;

*d)* что в Рекомендации МСЭ-R P.372 описаны уровни внешнего радиочастотного шума, применяемые при планировании радиовещательных служб;

*e)* что в Рекомендации МСЭ-R SM.1757 и Отчете МСЭ-R SM.2057 представлены руководящие указания по требованиям к защите для разных служб радиосвязи в отношении суммарных излучений устройств, в которых используются технологии сверхширокополосной связи;

*f)* что в Рекомендации МСЭ-R BT.1895 признаются вышеизложенные принципы и содержатся руководящие указания по обеспечению того, чтобы суммарные помехи в радиовещательном приемнике от всех излучений служб радиосвязи и других источников радиочастотных излучений не превышали определенных пределов по общей мощности шумов приемной системы и тем самым не ухудшали характеристик систем наземного радиовещания сверх допустимых уровней;

*g)* что защитные критерии для применений радиовещания внутри служб определены в Рекомендациях МСЭ-R (например, в Рекомендациях МСЭ-R BT.1368, МСЭ-R BT.2033) и региональных соглашениях, например GE-06;

*h)* что для оценки помех ЦНТВ могут использоваться два подхода – детерминистический и вероятностный. Детерминистические подходы просты, но не всегда обеспечивают полную оценку сценариев возможных помех;

*i)* что в настоящее время в некоторых службах все чаще используется моделирование по методу Монте-Карло, особенно для оценки их совместимости с другими системами радиосвязи;

*j)* что моделирование по методу Монте-Карло, используемое для оценки совместимости систем радиосвязи, обеспечивает информацию о средней вероятности помех или средней потере пропускной способности в любой момент времени без учета помех, которые могут возникнуть в пределах временно́го окна из‑за изменений со временем, например, относительного положения и/или мощности передатчиков в сети, создающей помехи;

*k)* что в отличие от некоторых систем радиосвязи в радиовещательной службе невозможно повторно передавать данные, которые не были успешно приняты, и нельзя адаптировать скорость передачи данных к состоянию РЧ-канала, поэтому качество обслуживания (QoS) сильно зависит от качества сигнала в месте приема;

*l)* что критерием удовлетворительного приема ЦНТВ является квазибезошибочный (QEF) прием сигналов службы и то, что вероятность нарушения работы службы ЦНТВ, полученная с использованием моделирования по методу Монте-Карло, – это вероятность одного или нескольких случаев помех для принимаемого сигнала (например, изображения) в течение часа;

*m)* что по указанным выше причинам (пункты *j, k, l*) в случае ЦНТВ результат моделирования по методу Монте-Карло может требовать постобработки для учета изменений в состоянии мешающей сети в пределах временно́го окна;

*n)* что в случаях, когда рассматриваются новые распределения, обычно требуются исследования совместного использования частот и совместимости между службами радиосвязи;

*o)* что в таких исследованиях необходимо представить значения технических параметров систем обеих исследуемых служб,

признавая

обязательства, возложенные на администрации посредством Статей 42 и 45 Устава МСЭ (пункты У193, У197, У198 и У199), в целях обеспечения постоянной доступности радиочастотного спектра и защиты от вредных помех,

отмечая,

*a)* что в Отчете МСЭ-R SM.2028 "Методика моделирования методом Монте-Карло, применяемая в исследованиях совместного использования частот различными радиослужбами или системами и их совместимости" описана методика моделирования по методу Монте-Карло;

*b)* что в Отчете МСЭ-R BT.2469 "Характеристики систем цифрового наземного радиовещания в полосе частот 174–230 МГц" и в Отчете МСЭ-R BT.2383 "Характеристики систем цифрового наземного телевизионного радиовещания в полосе частот 470–862 МГц" представлены параметры радиовещательной службы для применения в исследованиях совместного использования частот и совместимости;

*c)* что в Отчете МСЭ-R BT.2470 "Использование моделирования по методу Монте-Карло для прогнозирования помех для ЦНТВ" представлена дополнительная информация о применении и примеры применения метода Монте‑Карло для моделирования помех приему ЦНТВ в исследованиях совместного использования частот системами ЦНТВ и другими службами радиосвязи и совместимости между ними;

*d)* что в Отчете МСЭ-R BT.2265 "Руководящие указания по оценке помех радиовещательной службе" изложены возможные подходы к защите радиовещания от помех, источником которых являются другие службы или устройства/применения, не имеющие соответствующего распределения частот, а также представлено руководство в помощь администрациям по эффективному планированию использования спектра;

*e)* что Рекомендация МСЭ-R M.1634 "Защита систем наземной подвижной службы от помех с использованием моделирования по методу Монте-Карло применительно к совместному использованию частот" служит источником информации об использовании анализа по методу Монте‑Карло, и в ней рекомендуется использовать вероятностный подход при оценке потенциальных помех;

*f)* что в Рекомендации МСЭ-R M.2101 "Моделирование и имитация сетей и систем IMT для применения в исследованиях совместного использования частот и совместимости" представлены методика моделирования и имитации сетей IMT для применения в исследованиях совместного использования частот IMT и другими системами и/или применениями и совместимости между ними. В силу этого в ней не содержатся какие-либо допущения относительно системных параметров или моделирования этих других систем и/или применений, и она жестко ограничена представлением информации по системам IMT,

рекомендует

**1** использовать в исследованиях, основанных на моделировании по методу Монте-Карло, в которых оцениваются помехи ЦНТВ, создаваемые другими службами, методику, изложенную в Приложении 1 к настоящей Рекомендации;

**2** использовать для радиовещательной службы в таких исследованиях параметры из Приложения 2.

В настоящей Рекомендации содержатся следующие приложения.

**Приложение 1**.Методика, используемая при моделировании по методу Монте-Карло.

**Приложение 2**.Параметры ЦНТВ, используемые при моделировании по методу Монте-Карло.

Приложение 1  
  
Методика, используемая при моделировании по методу Монте-Карло

# 1 Введение

Метод моделирования Монте-Карло – это статистический метод, широко используемый для решения сложных математических задач, моделирования физических явлений и понимания сложных проблем реального мира, которые не поддаются простому моделированию аналитическими методами. Этот метод основан на использовании случайной выборки для генерирования большого числа событий (экспериментов) в соответствии с моделью, реализуемой для описания физического явления.

Моделирование по методу Монте-Карло все чаще используется для оценки помех в исследованиях совместимости подвижных, фиксированных и радиовещательных служб. Методы моделирования Монте-Карло, используемые для оценки помех, возникающих в двунаправленных системах и создаваемых ими, обеспечивают информацию о средней вероятности помех в любой момент времени. В двунаправленных системах эта вероятность обычно преобразуется в потерю пропускной способности при передаче данных. Такое моделирование идеально подходит для оценки помех (блокирования) в двунаправленных системах, способных повторно передавать непринятые данные. Требуется метод, подходящий для оценки помех в однонаправленных радиовещательных системах.

При моделировании вероятности помех ЦНТВ с использованием моделирования по методу Монте‑Карло[[2]](#footnote-2) возникают некоторые уникальные проблемы, поскольку качество обслуживания измеряется в одночасовом временно́м окне, а моделирование по методу Монте-Карло дает информацию о вероятности помех в каждый момент времени.

Если моделируемая сеть не изменяется во времени, то есть положение источника помех является фиксированным, а передаваемая мощность – постоянной, то имеет место единственное событие, и вероятность помех, рассчитанная по методу Монте-Карло, действительна для любого временно́го окна. Если же сеть изменяется, то в случае фиксированных источников помех мощность может изменяться от нуля до полной величины, а в случае движения или изменения положения источников помех в сети расчетная вероятность помех действительна только для одного момента времени или состояния сети. Чтобы определить вероятность одного или нескольких помеховых событий в одночасовом временно́м окне, необходима дополнительная обработка, как показано ниже[[3]](#footnote-3).

# 2 Метод

Для получения надежного результата при моделировании по методу Монте-Карло в зависимости от сценария помех может потребоваться большое число (*K*) событий (экспериментов). События, генерируемые при моделировании по методу Монте-Карло, независимы – результат одного события не влияет на вероятность каких-либо других.

Вероятность помех (*pI*) рассчитывается с использованием сгенерированных массивов данных об уровнях принятых полезных и мешающих сигналов, *DRSS* и *IRSS*, на основе заданного порогового значения критерия помех (*C*/*I*, *C*/(*I + N*), *I/N* или (*N + I*)/*I*). Вероятность помех, рассчитанная для *K* событий, выражается формулой:

*pI* = 1 − *pNI*, (1)

где *pNI* – вероятность приема без помех. Эту вероятность можно рассчитать для помех разного типа (нежелательные излучения, блокирование, перегрузка и интермодуляция) или их комбинаций.

Для оценки воздействия мешающих передатчиков на прием ЦНТВ следует использовать критерий помех *C*/(*I + N*), где *C*/(*I + N*)равно *C*/*N* системы ЦНТВ. При постоянной мощности передачи источника помех *pNI* можно рассчитать следующим образом:

, (2)

где:

;

;

*DRSS*:уровень принимаемого полезного сигнала;

*IRSS*: уровень принимаемого сигнала помех;

*Rxsens*: чувствительность приемника;

*M*:число событий, при которых *DRSS > Rxsens*. Следует отметить, что в большинстве случаев *M* < *K* (числа сгенерированных событий);

*L*: количество мешающих передатчиков.

Следует отметить, что условие проверяет, создает ли сумма мешающих сигналов, принимаемых от различных фиксированных источников помех, помехи приемнику ЦНТВ в определенный момент времени.

Ухудшение качества приема ЦНТВ при наличии мешающих сигналов легко рассчитать следующим образом:

Δ*pI* = *PI* (*N + I*) − *PI* (*N*), (3)

где:

*PI* (*N*): *pI* при наличии только шума;

*PI* (*N + I*): *pI* при наличии шума и помех.

Из уравнения (2) очевидно, что *PI* (*N*) = 0. Тогда можно записать:

Δ*pI* = *PI* (*N + I*)

= *pI* (4)

Из уравнения (4) можно сделать вывод, что ухудшение приема ЦНТВ в присутствии мешающих сигналов – это просто значение *pI*, вычисленное путем моделирования по методу Монте-Карло в соответствии с уравнениями (1) и (2).

Следует отметить, что значение *pI*, представляющее собой среднюю вероятность по всем выборкам в области моделирования, существенно зависит от моделируемого сценария помех. Например, значение *pI*, вычисленное в квадрате 100 м × 100 м на границе зоны покрытия ЦНТВ, из-за низких уровней полезного сигнала будет намного выше значения *pI*, рассчитанного для всей зоны покрытия ЦНТВ.

Также важно помнить, что *pI* не изменяется во времени. Если присутствие помех (*I*) и отсутствие помех (*NI*) рассматривать в качестве двух значений случайной переменной Бернулли *X*, отражающей состояние помех, то можно записать:

*P*(*X*= *I*) = *pI*;

*P*(*X*= *NI*) = 1 − *pI*.

Снижение вероятности охвата мест приема (Δ*pRL*) ЦНТВ можно рассчитать следующим образом:

Δ*pRL* = *pRL* − (*pRL* − *pI*)

= *pI* , (5)

где:

*pRL*: целевая вероятность охвата мест приема;

*pI*= 1 − *pNI*: вероятность помех, рассчитанная путем моделирования по методу Монте-Карло.

## 2.1 Фиксированный источник помех

В случае фиксированных источников помех, то есть когда источник или источники помех не перемещаются (например, базовая станция подвижной связи), влияние помех на зону покрытия ЦНТВ чаще всего проявляется в виде дыр (или участков), где из-за помех не может обеспечиваться требуемое QoS. Такие дыры часто находятся вблизи передатчиков, создающих помехи.

### 2.1.1 Расчет вероятности помех приему ЦНТВ в случае фиксированных источников помех с постоянной мощностью передачи

В случае фиксированных источников помех с постоянной (неизменной во времени) мощностью передачи происходит единственное событие, и вероятность помех, рассчитанная с использованием моделирования по методу Монте-Карло, действительна для любого временно́го окна.

### 2.1.2 Расчет вероятности помех приему ЦНТВ в случае фиксированных источников помех с переменной мощностью передачи

Если передаваемая мощность источника помех изменяется во времени в соответствии с коэффициентом использования или с заданным распределением вероятностей, то *pNI* нельзя рассчитать надлежащим образом с помощью уравнения (2), поскольку качество обслуживания ЦНТВ оценивается в одночасовом временно́м окне (*TW*). Уравнение (2) можно использовать только в том случае, если мощность передачи источника помех постоянна, см. пункт 2.1.1.

Например, если в данном месте приемник ЦНТВ испытывает помехи со стороны фиксированного мешающего передатчика, передающего сигнал с постоянной мощностью в течение 100% времени, то значение *pI*, рассчитанное в соответствии с уравнениями (1) и (2), будет равно 1 (100%). Если же коэффициент использования того же передатчика составляет 50%, то есть передатчик выключен в течение 50% времени и включен в течение остальных 50% времени, то вычисленное значение *pI* составит 0,5 (50%). Если коэффициент использования равен 10%, то расчетное значение *pI* составит 0,1 (10%) и т. д. Однако с точки зрения зрителя прием ЦНТВ систематически нарушается мешающим передатчиком, то есть во всех случаях *pI* = 1 (100%). Фактически то, нарушается ли прием ЦНТВ в течение 100% или только 10% времени в пределах одночасового *TW*, не влияет на восприятие зрителя, который в обоих случаях получает неприемлемое QoS.

Этот коэффициент использования также часто моделируется эффективным снижением мощности передачи базовой станции. Коэффициент использования 50% соответствует коэффициенту активности 50%, который моделируется снижением мощности на 3 дБ и последующим уменьшением вычисленного значения *pI* по сравнению с его значением при работе базовой станции с максимальной мощностью. Такой подход неприменим для исследований ЦНТВ, поскольку при использовании этого метода модель передатчика никогда не работает с максимальной мощностью в одночасовом временно́м окне.

В рассмотренном выше сценарии помех аналогичная проблема возникает и тогда, когда мощность передачи источника помех изменяется во времени в соответствии с заданным распределением вероятностей. В отношении фактических помех ЦНТВ требуется информация о том, работает ли источник помех с полной мощностью в какой-либо момент времени в пределах одночасового *TW*. Если да, то вероятность *pI* того, что приемник ЦНТВ будет испытывать воздействие одного или нескольких событий помех со стороны одного и того же источника, можно оценить, предположив, что источник помех работает с максимальной мощностью. Это справедливо для случая одного источника помех. Если же имеется несколько источников помех, работающих на полную мощность, то суммарная мощность (*IRSScomposite*) приведет к завышению вероятности помех. В таком случае фактическое значение *pI* будет находиться между значением для одного источника помех и значением, полученным в предположении, что все источники помех работают на полную мощность (*pI single* < *pI* < *pI multiple*).

На основании вышеприведенных наблюдений изменим уравнение (2) с учетом изменения мощности передачи источника помех во времени, принимая во внимание тот факт, что данный мешающий передатчик работает с максимальной мощностью в некоторый момент времени в пределах одночасового *TW*.

Тогда при оценке помех, создаваемых ЦНТВ службами или системами радиосвязи, в присутствии фиксированных источников помех *pNI* вычисляется с необходимыми логическими проверками, как показано ниже:

, (6)

где:

;

;

;

*M*: число событий, при которых *DRSS > Rxsens*. Следует отметить, что в большинстве случаев *M < K*;

*L*: количество мешающих передатчиков;

*IRSSPMAX*: уровень принимаемого мешающего сигнала при максимальной неизменной во времени мощности передачи.

Следует отметить, что:

проверяет, создает ли сумма мешающих сигналов, принимаемых от различных фиксированных источников помех, помехи приемнику ЦНТВ в момент времени *Tx*;

проверяет, создает ли передатчик (*j*), работающий с максимальной мощностью, помехи приемнику ЦНТВ в пределах временно́го окна.

Следует отметить также, что для данного момента времени *i* *L* *iRSSPMAXij* – независимые переменные, причем индекс *j* соответствует *j*-му мешающему сигналу, принятому испытывающим помехи приемником. Следовательно, один из этих мешающих сигналов *L* *iRSSPMAX* всегда преобладает над всеми остальными. Преобладающий уровень *iRSSPMAX* обозначается как *iRSS\_PMAXmax*.

Для данного момента времени *i*:

– если , то ;

– если , то .

Следовательно,

.

Затем уравнение (6) можно переписать, включив необходимые логические проверки:

. (7)

### 2.1.3 Связь между вероятностью помех и *I*/*N*

В результате моделирования по методу Монте-Карло получают вероятность помех *pi*. В Рекомендации МСЭ-R BT.1895 приведена руководящая информация о допустимом повышении уровня помех (на 10% или 1%) в зависимости от того, имеет ли источник помех распределение частот на равной первичной основе. Процентные величины, указанные в BT.1895, соответственно равны *I*/*N* = –10 дБ и –20 дБ, и соответствующая им эквивалентная вероятность помех для 95% местоположений, обслуживаемых на границе покрытия ЦНТВ, указана в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1

Требуемая вероятность помех в квадрате размером 100 м × 100 м  
на границе покрытия ЦНТВ

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Требуемая вероятность помех (*pI*) для 95% местоположений, эквивалентная защите в квадрате 100 м × 100 м на границе покрытия ЦНТВ, в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R BT.1895 | | | |
| ***pI* = Δ*pRL* (%) (95% местоположений)** | 0,086 | 0,869 | 2,22 |
| **Эквивалентное *значение I*/*N* (дБ)** | −20 | −10 | −6 |
| *Примечание 1.* – Значения *I*/*N* –20 дБ и –10 дБ эквивалентны нормативным значениям, приведенным в Рекомендации МСЭ‑R BT.1895. Значение *I*/*N* –6 дБ представляет собой дополнительное значение, выходящее за рамки BT.1895, которое часто используется в исследованиях совместимости в некоторых регионах.  *Примечание 2.* – 95% местоположений, обслуживаемых на границе соты, эквивалентно 99,4 ≤ X ≤ 99,6 (см. Отчет МСЭ-R BT.2470) по площади соты[[4]](#footnote-4). | | | |

## 2.2 Движущийся источник помех

Движущийся источник помех может изменять:

– свою мощность во времени по некоторой схеме управления мощностью;

– положение и местоположение во времени.

Изменение положения или местоположения может приводить к созданию помех последовательно разным приемникам ЦНТВ или к попаданию в зону действия конкретного приемника, как показано на рисунке 1.

Очевидно, что влияние таких источников помех на зону покрытия ЦНТВ проявляется не в виде дыр (или участков), в которых нельзя обеспечить требуемое качество обслуживания. Следовательно, в случае движущихся источников помех (например, мобильных пользовательских терминалов) оценить влияние на вероятность охвата мест приема (*PRL*) с использованием уравнения (5) невозможно.

РИСУНОК 1

Влияние движущегося источника помех (пользовательского терминала) на прием ЦНТВ



Следовательно, при движущихся источниках помех задача оценки их влияния на прием ЦНТВ усложняется, поскольку необходимо учитывать их движение во времени. Ясно, что значение *pI*, вычисленное при моделировании по методу Монте-Карло, как описано уравнениями (1) и (2) или уравнениями (1) и (6), нельзя использовать напрямую для оценки влияния движущихся источников помех на прием ЦНТВ, потому что *pI* не обеспечивает информацию о вероятности того, что приемник ЦНТВ будет испытывать воздействие одного или нескольких помеховых событий в пределах данного *TW*.

### 2.2.1 Вероятность нарушения

Как указано в предыдущем пункте, в случае движущихся источников помех следует учитывать непрерывность во времени, преобразуя *pI*, рассчитанную при моделировании по методу Монте‑Карло, в вероятность, лучше отражающую влияние помех на прием ЦНТВ. Такая вероятность называется "вероятность нарушения". Ниже описан метод расчета этой вероятности.

Значение *pI*, полученное в результате моделирования по методу Монте-Карло с использованием уравнений (1) и (2) или уравнений (1) и (6), обеспечивает информацию о вероятности того, что приемник ЦНТВ будет подвержен помехам в любой момент времени. Оно не указывает на вероятность того, что приемник ЦНТВ будет испытывать воздействие одного или нескольких помеховых событий в пределах заданного временно́го окна. Таким образом, необходимо расширить результат моделирования по методу Монте-Карло с учетом периода времени, равного одному часу, за который оценивается качество обслуживания ЦНТВ.

Вероятность помех (*pI*) не изменяется во времени (постоянна). Если присутствие помех (*I*) и отсутствие помех (*NI*) рассматривать в качестве двух значений случайной переменной Бернулли *X*, отражающей состояние помех,то можно записать:

*P*(*X*= *I*) = *pI*;

*P*(*X*= *NI*) = 1 − *pI*,

где:

*I*: наличие помех;

*NI*: отсутствие помех.

Теперь разделим одночасовое *TW* на *n* временны́х интервалов. Если значение *n* выбрано правильно, то каждый временной интервал можно рассматривать как опыт Бернулли (случайный эксперимент) с результатами *I* и *NI* [7]. Эти результаты называются "помеховые события". Можно считать, что в пределах одночасового *TW* происходит *n* повторных опытов Бернулли; очевидно, что в данном случае каждый опыт считается независимым, поэтому вероятность того, что приемник ЦНТВ в пределах *TW* будет испытывать воздействие *k* помеховых событий, выражается следующим образом:

, (8)

где:

*pI*:вероятность помех, рассчитанная путем моделирования по методу Монте-Карло в соответствии с уравнениями (1) и (2);

*n*: количество независимых опытов;

*k*: количество опытов, приведших к возникновению помеховых событий.

Вероятность того, что приемник ЦНТВ не будет испытывать воздействие каких-либо помеховых событий, задается установкой *k* = 0 в уравнении (8):

.

И наконец, вероятность того, что приемник ЦНТВ будет испытывать воздействие хотя бы одного помехового события, можно рассчитать по формуле:

.

Такая вероятность называется вероятностью нарушения (*pd*) и выражается следующим образом:

(9)

Эту вероятность *pd* можно понимать как вероятность одного или нескольких некоррелированных нарушений работы службы ЦНТВ в течение заданного временно́го окна. Временно́е окно должно отражать интервал времени, используемый для оценки QoS ЦНТВ, который, в свою очередь, считается приемлемым для телезрителя (один час).

### 2.2.2 Получение независимых событий

Независимые события могут создаваться в результате либо движения источников помех (пользовательских терминалов), либо переключения между разными источниками помех (пользовательскими терминалами).

#### 2.2.2.1 Независимые конфигурации сети, создаваемые путем перемещения пользовательских терминалов

Для данного *TW* и распределения скорости движения пользовательских терминалов (ПТ) легко вычислить долю ПТ, перемещающихся на определенное расстояние. Зная расстояние, на которое перемещается ПТ, и расстояние декорреляции, можно получить количество некоррелированных состояний *n*, создаваемых ПТ в течение *TW*:

, (10)

где:

*D*: расстояние декорреляции в метрах;

*V*: скорость ПТ в метрах в секунду;

*P*: доля ПТ, движущихся со скоростью *V*;

*k*: количество значений скорости;

*TW*: временно́е окно в секундах (для ЦНТВ *TW* = 3600 с).

#### 2.2.2.2 Независимые конфигурации сети, создаваемые планировщиком в сетях подвижной связи на основе OFDMA/SC-FDMA

Выделение блоков физических ресурсов (PRB) для передачи по линии вверх инициируется по запросу ПТ и выполняется планировщиком линии вверх для каждого ПT. Выделение планировщиком PRB пользовательскому терминалу не зависит от предыдущих запросов этого терминала и, следовательно, может рассматриваться как независимое состояние.

Количество независимых состояний, генерированных в пределах *TW* планировщиком, когда тот циклически проходит через ПT, зарегистрированный в соте, определяется следующим образом:

, (11)

где:

*M*: максимальное количество активных ПT на сектор (или соту) в пределах *TW*;

*A*: среднее количество активных ПT на сектор (или соту) при моделировании по методу Монте-Карло.

### 2.2.3 Определение количества независимых конфигураций сети в пределах указанного *TW*

Как объяснялось в двух предыдущих пунктах, количество изменений независимых состояний *n* в пределах указанного *TW* зависит от количества активных источников помех и расстояния, на которое должен переместиться источник помех, чтобы помеховое событие, вызванное источником помех, стало независимым по отношению к предыдущему событию. Количество некоррелированных событий *n*, генерируемых ПТ в пределах *TW*, можно вычислить с использованием уравнений (10) и (11):

, (12)

где:

*M*: максимальное количество активных ПT на сектор (или соту) в пределах *TW*;

*A*: среднее количество активных ПT на сектор (или соту) при моделировании по методу Монте-Карло;

*D*: расстояние декорреляции в метрах;

*V*: скорость ПТ в метрах в секунду;

*P*: доля ПТ, движущихся со скоростью *V*;

*k*: количество значений скорости;

*TW*: временно́е окно в секундах (для ЦНТВ *TW* = 3600 с).

Если в пределах *TW* ПТ не движется либо потому, что ПT является фиксированным, либо из-за слишком короткого *TW* (например, 1 мс), член уравнения, содержащий сумму, будет равен нулю или очень близок к нулю, и количество событий будет определяться отношением *М*/*А*. Следовательно, значение *M*/*A* будет варьироваться от 1 до количества активных ПT в пределах *TW* – в некоторых случаях оно может быть одним и тем же.

Например, если состояние ПT изменяется каждую 1 мс, а *TW* короткое (1 мс), то *M* = *A* = 1 = *n*, и из уравнения (9) *pd* будет равно *pI*.

Если *TW* длинное относительно времени изменения состояния сети, например составляет один час (3600 секунд), то можно ожидать, что многие ПТ будут активными. В течение одночасового *TW* количество ПT в соте может оставаться постоянным: одни из них будут перемещаться внутри соты, другие – перемещаться и покидать соту, а третьи – прибывать в соту. Интерес представляет количество этих ПT, осуществляющих хотя бы одну передачу в течение *TW*. Каждый из ПT, осуществляющий передачу в течение *TW*, число которых равно *M*, создает как минимум одно событие или способствует его созданию. Также необходимо учесть, сколько ПT, число которых обозначим как *A*, рассматривается при моделировании по методу Монте-Карло. В случае рассмотрения только одного ПT будет иметь место *M* событий. Если при моделировании по методу Монте-Карло в любой момент времени активными считаются несколько ПТ, то это должно быть учтено при расчете количества генерированных событий, то есть их количество равно *M/A*. *M* и *A* должны соответствовать системам и среде, рассматриваемым при исследовании совместного использования частот и совместимости.

### 2.2.4 Вероятность нарушения и влияние на зону покрытия ЦНТВ

В случае фиксированных источников помех, как показано в разделе 2, значение *pI*, вычисленное с помощью моделирования по методу Монте-Карло, представляет собой оценку ухудшения вероятности охвата мест приема (Δ*pRL*). Другими словами, *pI*, равная 2% и вычисленная в квадрате размером 100 м × 100 м, означает, что на 2% площади квадрата все приемники ЦНТВ могут испытывать помехи со стороны фиксированных источников помех. Зоны, подверженные помехам, выглядят как фиксированные дыры (или участки), в которых невозможно обеспечить требуемое качество обслуживания, что напрямую демонстрирует влияние помех на зону покрытия ЦНТВ.

В случае движущихся источников помех значение *pI*, рассчитанное с помощью моделирования по методу Монте-Карло, нельзя напрямую использовать для оценки влияния помех на покрытие ЦНТВ, поскольку влияние таких источников помех на зону покрытия ЦНТВ не проявляется в виде фиксированных дыр (или участков), в которых невозможно обеспечить требуемое QoS. По этой причине в пункте 2.2.1 был введен параметр *pd*, который отражает вероятность того, что во временном окне (*TW*) принимаемый сигнал (например, изображение) подвергнется воздействию по крайней мере одного помехового события. Другими словами, *pd* – это вероятность того, что требуемое QoS невозможно обеспечить в пределах *TW*.

Тем не менее возможно показать, что для значений *pd* менее 1% имеет место равенство между *pd* и Δ*pRL*, а для значений *pd* до 3% наблюдается хорошая корреляция с Δ*pRL* (см. Отчет МСЭ-R BT.2470). Для более высоких значений *pd* большое расхождение между *pd* и Δ*pRL* препятствует их прямому сравнению в пользу *pd*.

Однако при сравнении значений *pI*, рассчитанных для фиксированных источников помех, и значений *pd*, рассчитанных для движущихся источников помех, важно помнить, что в последнем случае зоны, подверженные помехам, не остаются фиксированными. Это небольшие участки, которые могут появляться и исчезать в любом месте той или иной зоны покрытия ЦНТВ. Такое поведение не позволяет определить зоны, подверженные помехам, и реализовать адекватный метод смягчения последствий в целях устранения или минимизации помех ЦНТВ.

Приложение 2  
  
Параметры ЦНТВ, используемые при моделировании по методу Монте-Карло

ТАБЛИЦА 2

Параметры ЦНТВ

а) не зависящие от системы ЦНТВ(1)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Параметры(2) | Единица измерения | Требуется для моделирования |
| э.и.и.м. | дБм | Требуется |
| Высота передающей антенны | м | Требуется |
| Высота приемной антенны | м | Требуется |
| Центральная частота | МГц | Требуется |
| Полоса пропускания канала | МГц | Требуется для определения эффективной ширины полосы пропускания |
| Коэффициент шума (*F*) | дБ | Требуется |
| Мощность шума (*Pn*) | дБм | Требуется |
| Вероятность охвата местоположений на границе соты (*LP*) | % | Требуется для расчета радиуса покрытия |
| Вероятность охвата местоположений в зоне покрытия | % | Требуется для определения приемлемой/допустимой вероятности помех |
| Коэффициент достоверности Гаусса для вероятности охвата края соты 95% (95%) | % | Требуется для расчета логарифмически нормального запаса на замирание (*Lm*) для 95% |
| Стандартное отклонение потерь из-за затенения () | дБ | Требуется |
| Логарифмически нормальный запас на замирание (*Lm*) для 95% | дБ | Требуется для расчета значения *Pmean* для *LP* = 95% |
| *Pmean* для *LP* = 95% | дБм | Требуется для расчета радиуса покрытия |
| Потери в кабеле (*Lcable*) | дБ | Требуется |
| Усиление приемной антенны (Giso) | дБи | Требуется |
| Радиус покрытия, рассчитанный по модели распространения МСЭ-R P.1546 (наклоны лучей 1° и 1,6°) | км | Требуется |
| Избирательность по соседнему каналу (ACS) | дБ | Требуется |
| Постоянная Больцмана (*k*) | Дж/K | Требуется для расчета мощности шума |
| Абсолютная температура (*Т*) | K | Требуется для расчета мощности шума |
| (1) Для разных систем ЦНТВ и в отдельных странах/регионах могут использоваться разные значения параметров в соответствии с местными требованиями и сценариями планирования.  (2) Параметры систем ЦНТВ приведены в Отчете МСЭ-R BT.2383. | | |

ТАБЛИЦА 2 (*окончание*)

b) зависящие от системы ЦНТВ(3)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Параметры | Единица измерения | Требуется для моделирования |
| Эффективная ширина полосы | МГц | Требуется |
| Отношение несущей к шуму (*C*/*N*) на границе соты | дБ | Требуется для расчета радиуса покрытия |
| Критерий защиты (*C*/(*N*+ *I*))(4) | дБ | Требуется |
| Чувствительность приемника (*P*min) | дБм | Требуется |
| (3) В отдельных странах/регионах могут использоваться разные значения параметров в соответствии с местными требованиями и сценариями планирования.  (4) Отдельные страны/регионы могут выбрать другой критерий защиты (например, *C*/*I* или *I*/*N*). | | |

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

1. \* В 2021 годy 6-я Исследовательская комиссия по радиосвязи внесла редакционные поправки в текст настоящей Рекомендации в соответствии с Резолюцией МСЭ-R 1. [↑](#footnote-ref-1)
2. Справочная информация о методике моделирования по методу Монте-Карло для оценки совместимости систем радиосвязи и о его применении в программном обеспечении Spectrum Engineering Advanced Monte Carlo Analysis Tool (SEAMCAT) содержится в Отчете МСЭ-R SM.2028. [↑](#footnote-ref-2)
3. Дополнительная информация о методе Монте-Карло, описанном в настоящей Рекомендации, и примеры расчетов приведены в Отчете МСЭ-R BT.2470. [↑](#footnote-ref-3)
4. Оценка взаимосвязи границы соты и зоны покрытия представлена в работе: Jakes, Microwave Mobile Communications, section 2.5.3, p. 126, IEEE press 1993. [↑](#footnote-ref-4)