

# МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

## Рекомендация МСЭ-R ВТ.2136-0 (12/2020)

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

Серия ВТ  
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 онлайн-форме по адресу: <http://www.itu.int/publ/R-REC/en>)

Серия	Название
<b>BO</b>	Спутниковое радиовещание
<b>BR</b>	Запись для производства, архивирования и воспроизведения; пленки для телевидения
<b>BS</b>	Радиовещательная служба (звуковая)
<b>BT</b>	<b>Радиовещательная служба (телевизионная)</b>
<b>F</b>	Фиксированная служба
<b>M</b>	Подвижные службы, служба радиоопределения, любительская служба и относящиеся к ним спутниковые службы
<b>P</b>	Распространение радиоволн
<b>RA</b>	Радиоастрономия
<b>RS</b>	Системы дистанционного зондирования
<b>S</b>	Фиксированная спутниковая служба
<b>SA</b>	Космические применения и метеорология
<b>SF</b>	Совместное использование частот и координация между системами фиксированной спутниковой службы и фиксированной службы
<b>SM</b>	Управление использованием спектра
<b>SNG</b>	Спутниковый сбор новостей
<b>TF</b>	Передача сигналов времени и эталонных частот
<b>V</b>	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 ВТ.2136-0\*

**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 ВТ.1895.

**Ключевые слова**

ЦНТВ, метод Монте-Карло, качество обслуживания, временное 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 ВТ.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 ВТ.1368, МСЭ-R ВТ.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;

---

\* В 2021 году 6-я Исследовательская комиссия по радиосвязи внесла редакционные поправки в текст настоящей Рекомендации в соответствии с Резолюцией МСЭ-R 1.

- 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 временного 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 временного 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 ВТ.2469 "Характеристики систем цифрового наземного радиовещания в полосе частот 174–230 МГц" и в Отчете МСЭ-R ВТ.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 ВТ.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 ВТ.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 М.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 М.2101 "Моделирование и имитация сетей и систем ИМТ для применения в исследованиях совместного использования частот и совместимости" представлены методика моделирования и имитации сетей ИМТ для применения в исследованиях совместного использования частот ИМТ 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 ИМТ,

*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<sup>1</sup> возникают некоторые уникальные проблемы, поскольку качество обслуживания измеряется в одночасовом временном 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 временного окна.

---

<sup>1</sup> 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.

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 временном окне, необходима дополнительная обработка, как показано ниже<sup>2</sup>.

## 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 ( $p_I$ ) 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:

$$p_I = 1 - p_{NI}, \quad (1)$$

где  $p_{NI}$  – 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  $p_{NI}$  можно рассчитать следующим образом:

$$p_{NI} = P\left(\frac{DRSS}{IRSS_{composite} + N} \geq \frac{C}{I+N}\right), \text{ при } DRSS > Rx_{sens}$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^M 1\left\{\frac{DRSS(i)}{IRSS_{composite}(i) + N} \geq \frac{C}{I+N}\right\}}{M}, \quad (2)$$

где:

$$1\{\text{условие}\} = \begin{cases} 1, & \text{если условие выполнено} \\ 0, & \text{в ином случае} \end{cases};$$

$$IRSS_{composite}(i) = \sum_{j=1}^L IRSS_{(j)}^{(i)};$$

$DRSS$ : уровень принимаемого полезного сигнала;

$IRSS$ : уровень принимаемого сигнала помех;

$Rx_{sens}$ : чувствительность приемника;

$M$ : число событий, при которых  $DRSS > Rx_{sens}$ . Следует отметить, что в большинстве случаев  $M < K$  (числа сгенерированных событий);

$L$ : количество мешающих передатчиков.

Следует отметить, что условие  $\frac{DRSS}{IRSS_{composite} + N} \geq \frac{C}{I+N}$  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:

<sup>2</sup> Дополнительная информация о методе Монте-Карло, описанном в настоящей Рекомендации, и примеры расчетов приведены в Отчете МСЭ-R ВТ.2470.

$$\Delta p_I = P_I(N + I) - P_I(N), \quad (3)$$

где:

$P_I(N)$ :  $p_I$  при наличии только шума;

$P_I(N + I)$ :  $p_I$  при наличии шума и помех.

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

$$\begin{aligned} \Delta p_I &= P_I(N + I) \\ &= p_I \end{aligned} \quad (4)$$

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

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

Также важно помнить, что  $p_I$  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:

$$\begin{aligned} P(X = I) &= p_I; \\ P(X = NI) &= 1 - p_I. \end{aligned}$$

Снижение вероятности охвата мест приема ( $\Delta p_{RL}$ ) ЦНТВ можно рассчитать следующим образом:

$$\begin{aligned} \Delta p_{RL} &= p_{RL} - (p_{RL} - p_I) \\ &= p_I, \end{aligned} \quad (5)$$

где:

$p_{RL}$ : целевая вероятность охвата мест приема;

$p_I = 1 - p_{NI}$ : 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 временного 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  $p_{NI}$  нельзя рассчитать надлежащим образом с помощью уравнения (2), поскольку качество обслуживания ЦНТВ оценивается в одночасовом временном 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  $p_I$ , 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  $p_I$  составит 0,5 (50%). Если коэффициент использования равен 10%, то расчетное значение  $p_I$  составит 0,1 (10%) и т. д. Однако с точки зрения зрителя прием ЦНТВ систематически нарушается мешающим передатчиком, то есть во всех случаях  $p_I = 1$  (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  $p_I$  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 временном 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  $p_I$  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 ( $IRSS_{composite}$ ) приведет к завышению вероятности помех. В таком случае фактическое значение  $p_I$  будет находиться между значением для одного источника помех и значением, полученным в предположении, что все источники помех работают на полную мощность ( $p_{I\ single} < p_I < p_{I\ multiple}$ ).

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  $p_{NI}$  вычисляется с необходимыми логическими проверками, как показано ниже:

$$p_{NI} = P \left( \left( \frac{DRSS}{IRSS_{composite} + N} \geq \frac{c}{I + N} \right) \wedge (P_{MAX_{check}} = L) \right), \text{ при } DRSS > R_{x_{sens}}$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^M \mathbf{1} \left\{ \left( \frac{DRSS(i)}{IRSS_{composite}^{(i)} + N} \geq \frac{c}{I + N} \right) \wedge (P_{MAX_{check}(i)} = L) \right\}}{M}, \quad (6)$$

где:

$$\mathbf{1}\{\text{условие}\} = \begin{cases} 1, & \text{если условие выполнено} \\ 0, & \text{в ином случае} \end{cases};$$

$$IRSS_{composite}(i) = \sum_{j=1}^L IRSS_{(j)}^{(i)};$$

$$P_{MAX_{check}}(i) = \sum_{j=1}^L \mathbf{1} \left\{ \frac{DRSS_{(j)}^{(i)}}{IRSS_{P_{MAX}(j)}^{(i)} + N} \geq \frac{c}{I + N} \right\};$$

$M$ : число событий, при которых  $DRSS > R_{x_{sens}}$ . Следует отметить, что в большинстве случаев  $M < K$ ;

$L$ : количество мешающих передатчиков;



$IRSS_{P_{MAX}}$ : уровень принимаемого мешающего сигнала при максимальной неизменной во времени мощности передачи.

Следует отметить, что:

$\frac{DRSS}{IRSS_{composite} + N} \geq \frac{C}{I + N}$  проверяет, создает ли сумма мешающих сигналов, принимаемых от различных фиксированных источников помех, помехи приемнику ЦНТВ в момент времени  $T_x$ ;

$\frac{DRSS(i)}{IRSS_{P_{MAX}(j)} + N} \geq \frac{C}{I + N}$  проверяет, создает ли передатчик ( $j$ ), работающий с максимальной мощностью, помехи приемнику ЦНТВ в пределах временного окна.

Следует отметить также, что для данного момента времени  $i$   $L$   $iRSS_{P_{MAX}^j}$  – независимые переменные, причем индекс  $j$  соответствует  $j$ -му мешающему сигналу, принятому испытываемым помехи приемником. Следовательно, один из этих мешающих сигналов  $L$   $iRSS_{P_{MAX}}$  всегда преобладает над всеми остальными. Преобладающий уровень  $iRSS_{P_{MAX}}$  обозначается как  $iRSS_{P_{MAX}max}$ .

Для данного момента времени  $i$ :

– если  $\frac{dRSS(i)}{iRSS_{P_{MAX}max(i)} + N} \geq \frac{C}{I + N}$ , то  $P_{MAXcheck}(i) = L$ ;

– если  $\frac{dRSS(i)}{iRSS_{P_{MAX}max(i)} + N} < \frac{C}{I + N}$ , то  $P_{MAXcheck}(i) = 0$ .

Следовательно,

$$P_{MAXcheck}(i) = \sum_{j=1}^L \mathbf{1} \left\{ \frac{DRSS(i)}{IRSS_{P_{MAX}(j)} + N} \geq \frac{C}{I + N} \right\} \\ = \mathbf{1} \left\{ \frac{DRSS(i)}{IRSS_{P_{MAX}max(i)} + N} \geq \frac{C}{I + N} \right\}.$$

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

$$p_{NI} = \frac{\sum_{i=1}^M \mathbf{1} \left\{ \left( \frac{DRSS(i)}{IRSS_{composite}(i)} + N \geq \frac{C}{I + N} \right) \wedge \left( \frac{DRSS(i)}{IRSS_{P_{MAX}max(i)} + N} \geq \frac{C}{I + N} \right) \right\}}{M}. \quad (7)$$

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

В результате моделирования по методу Монте-Карло получают вероятность помех  $p_i$ . В Рекомендации МСЭ-R ВТ.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 ВТ.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**

<b>Требуемая вероятность помех (<math>p_I</math>) для 95% местоположений, эквивалентная защите в квадрате 100 м × 100 м на границе покрытия ЦНТВ, в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R ВТ.1895</b>			
<b><math>p_I = \Delta p_{RL}</math> (%) (95% местоположений)</b>	0,086	0,869	2,22
<b>Эквивалентное значение <math>I/N</math> (дБ)</b>	-20	-10	-6

*Примечание 1.* – Значения  $I/N$  -20 дБ и -10 дБ эквивалентны нормативным значениям, приведенным в Рекомендации МСЭ-R ВТ.1895. Значение  $I/N$  -6 дБ представляет собой дополнительное значение, выходящее за рамки ВТ.1895, которое часто используется в исследованиях совместимости в некоторых регионах.

*Примечание 2.* – 95% местоположений, обслуживаемых на границе соты, эквивалентно  $99,4 \leq X \leq 99,6$  (см. Отчет МСЭ-R ВТ.2470) по площади соты<sup>3</sup>.

## 2.2 Движущийся источник помех

Движущийся источник помех может изменять:

- свою мощность во времени по некоторой схеме управления мощностью;
- положение и местоположение во времени.

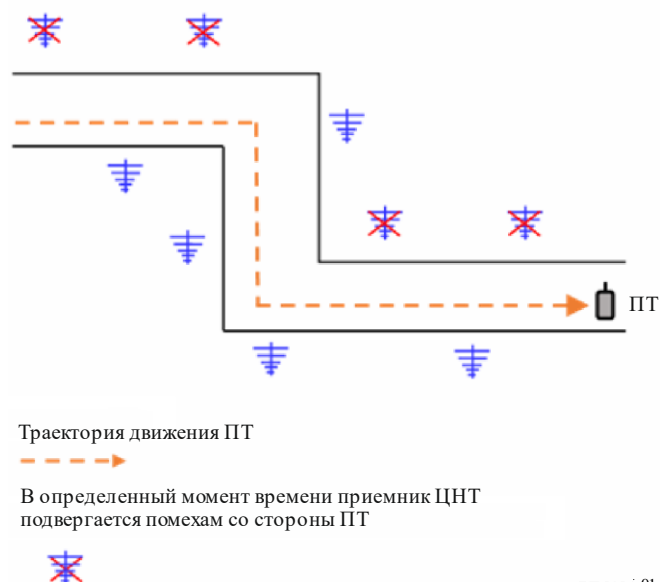
Изменение положения или местоположения может приводить к созданию помех последовательно разным приемникам ЦНТВ или к попаданию в зону действия конкретного приемника, как показано на рисунке 1.

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 ( $P_{RL}$ ) с использованием уравнения (5) невозможно.

<sup>3</sup> Оценка взаимосвязи границы соты и зоны покрытия представлена в работе: Jakes, Microwave Mobile Communications, section 2.5.3, p. 126, IEEE press 1993.

РИСУНОК 1

Влияние движущегося источника помех (пользовательского терминала) на прием ЦНТВ



ВТ.2136-01

Следовательно, при движущихся источниках помех задача оценки их влияния на прием ЦНТВ усложняется, поскольку необходимо учитывать их движение во времени. Ясно, что значение  $p_I$ , 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  $p_I$  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  $p_I$ , 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  $p_I$ , 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 временного 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 ( $p_I$ ) 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:

$$P(X = I) = p_I;$$

$$P(X = NI) = 1 - p_I,$$

где:

$I$ : наличие помех;

$NI$ : отсутствие помех.

Теперь разделим одночасовое  $TW$  на  $n$  временных 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:

$$P(X = k) = \binom{n}{k} p_I^k (1 - p_I)^{n-k}, \quad (8)$$

где:

$p_I$ : 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):

$$P(X = 0) = (1 - p_I)^n.$$

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

$$P(X > 0) = 1 - (1 - p_I)^n.$$

Такая вероятность называется вероятностью нарушения ( $p_d$ ) и выражается следующим образом:

$$p_d = 1 - (1 - p_I)^n. \quad (9)$$

Эту вероятность  $p_d$  можно понимать как вероятность одного или нескольких некоррелированных нарушений работы службы ЦНТВ в течение заданного временного окна. Временное 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  $TW$ :

$$n = TW * \sum_i^k \frac{P_i V_i}{D_i}, \quad (10)$$

где:

$D$ : расстояние декорреляции в метрах;

$V$ : скорость ПТ в метрах в секунду;

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

$k$ : количество значений скорости;

$TW$ : временное 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 ПТ. 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 ПТ, зарегистрированный в соте, определяется следующим образом:

$$n = \frac{M}{A}, \quad (11)$$

где:

- $M$ : максимальное количество активных ПТ на сектор (или соту) в пределах  $TW$ ;
- $A$ : среднее количество активных ПТ 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):

$$n = \frac{M}{A} + TW * \sum_i^k \frac{P_i V_i}{D_i}, \quad (12)$$

где:

- $M$ : максимальное количество активных ПТ на сектор (или соту) в пределах  $TW$ ;
- $A$ : среднее количество активных ПТ 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;
- $TW$ : временное окно в секундах (для ЦНТВ  $TW = 3600$  с).

Если в пределах  $TW$  ПТ не движется либо потому, что ПТ 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  $M/A$ . Следовательно, значение  $M/A$  будет варьироваться от 1 до количества активных ПТ в пределах  $TW$  – в некоторых случаях оно может быть одним и тем же.

Например, если состояние ПТ изменяется каждую 1 мс, а  $TW$  короткое (1 мс), то  $M = A = 1 = n$ , и из уравнения (9)  $p_d$  будет равно  $p_l$ .

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 ПТ 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 ПТ, осуществляющих хотя бы одну передачу в течение  $TW$ . Каждый из ПТ, осуществляющий передачу в течение  $TW$ , число которых равно  $M$ , создает как минимум одно событие или способствует его созданию. Также необходимо учесть, сколько ПТ, число которых обозначим как  $A$ , рассматривается при моделировании по методу Монте-Карло. В случае рассмотрения только одного ПТ 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  $p_I$ , вычисленное с помощью моделирования по методу Монте-Карло, представляет собой оценку ухудшения вероятности охвата мест приема ( $\Delta p_{RL}$ ). Другими словами,  $p_I$ , 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  $p_I$ , 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  $p_d$ , который отражает вероятность того, что во временном окне ( $TW$ ) принимаемый сигнал (например, изображение) подвергнется воздействию по крайней мере одного помехового события. Другими словами,  $p_d$  – это вероятность того, что требуемое QoS невозможно обеспечить в пределах  $TW$ .

Тем не менее возможно показать, что для значений  $p_d$  менее 1% имеет место равенство между  $p_d$  и  $\Delta p_{RL}$ , а для значений  $p_d$  до 3% наблюдается хорошая корреляция с  $\Delta p_{RL}$  (см. Отчет МСЭ-R ВТ.2470). Для более высоких значений  $p_d$  большое расхождение между  $p_d$  и  $\Delta p_{RL}$  препятствует их прямому сравнению в пользу  $p_d$ .

Однако при сравнении значений  $p_I$ , рассчитанных для фиксированных источников помех, и значений  $p_d$ , 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<sup>(1)</sup>

Параметры <sup>(2)</sup>	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 ( $P_n$ )	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% ( $\mu_{95\%}$ )	%	Требуется для расчета логарифмически нормального запаса на замирание ( $L_m$ ) для 95%
Стандартное отклонение потерь из-за затенения ( $\sigma$ )	дБ	Требуется
Логарифмически нормальный запас на замирание ( $L_m$ ) для 95%	дБ	Требуется для расчета значения $P_{mean}$ для $LP = 95\%$
$P_{mean}$ для $LP = 95\%$	дБм	Требуется для расчета радиуса покрытия
Потери в кабеле ( $L_{cable}$ )	дБ	Требуется
Усиление приемной антенны ( $G_{iso}$ )	дБи	Требуется
Радиус покрытия, рассчитанный по модели распространения МСЭ-R P.1546 (наклоны лучей $1^\circ$ и $1,6^\circ$ )	км	Требуется
Избирательность по соседнему каналу (ACS)	дБ	Требуется
Постоянная Больцмана ( $k$ )	Дж/К	Требуется для расчета мощности шума
Абсолютная температура ( $T$ )	К	Требуется для расчета мощности шума

<sup>(1)</sup> Для разных систем ЦНТВ и в отдельных странах/регионах могут использоваться разные значения параметров в соответствии с местными требованиями и сценариями планирования.

<sup>(2)</sup> Параметры систем ЦНТВ приведены в Отчете МСЭ-R ВТ.2383.

ТАБЛИЦА 2 (окончание)

в) зависящие от системы ЦНТВ<sup>(3)</sup>

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 ( $C/(N+I)$ ) <sup>(4)</sup>	дБ	Требуется
Чувствительность приемника ( $P_{\min}$ )	дБм	Требуется

<sup>(3)</sup> В отдельных странах/регионах могут использоваться разные значения параметров в соответствии с местными требованиями и сценариями планирования.

<sup>(4)</sup> Отдельные страны/регионы могут выбрать другой критерий защиты (например,  $C/I$  или  $I/N$ ).

---