|  |
| --- |
| **Рекомендация МСЭ-R P.2108-1**  **(09/2021)** |
| **Прогнозирование потерь, вызываемых отражением от препятствий** |
| **Серия P**  **Распространение радиоволн** |

**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, 2022 г.

© ITU 2022

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 P.2108-1

Прогнозирование потерь, вызываемых отражением от препятствий

(2017-2021)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации представлены методы оценки потерь, вызываемых отражением от препятствий, на частотах от 30 МГц до 100 ГГц.

Ключевые слова

Препятствие, ослабление, экранирование, наземный, Земля-космос, воздушный

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

*a)* что для целей планирования систем и оценки помех может потребоваться учет ослабления радиоволн при прохождении над или между зданиями;

*b)* что для ситуации вероятного экранирования наземной станции зданиями сложно разработать подробный расчет для общего случая, и потери, вызываемые отражением от препятствий, должны рассматриваться как зависимые от сценария развертывания;

*c)* что в условиях, когда наземные станции находятся в движении, среда создаваемых препятствиями помех на радиотрассе будет меняться,

признавая,

*a)* что в Рекомендации МСЭ-R P.1411 приведены данные и модели для радиосистем малого радиуса действия, работающих в основном в городской среде на частотах от 300 МГц до 100 ГГц;

*b)* что в Рекомендации МСЭ-R P.2040 содержатся базовые формулы, описывающие отражение от строительных материалов и проникновение сквозь строительные материалы, и согласованное представление электрических свойств строительных материалов для частот выше 100 МГц;

*c)* что в Рекомендации МСЭ-R P.452 представлен метод прогнозирования для оценки помех между станциями, находящимися на поверхности Земли, на частотах приблизительно от 0,1 до 50 ГГц с учетом механизмов помех как в условиях ясного неба, так и при рассеянии в гидрометеорах;

*d)* что в Рекомендации МСЭ-R P.1812представлен метод прогнозирования распространения сигнала, пригодный для наземных служб связи "из пункта в зону" в диапазоне частот от 30 МГц до 6000 ГГц;

*e)* что в Рекомендации МСЭ-R P.833представлены несколько моделей, с помощью которых пользователь может оценивать воздействие растительности на радиосигналы на частотах между 30 МГц и 60 ГГц;

*f)* что в Рекомендации МСЭ-R P.2109 представлена статистическая модель потерь на входе в здание для частот приблизительно от 80 МГц до 100 ГГц,

рекомендует

использовать приведенный в Приложении 1 материал для оценки потерь, вызываемых отражением от препятствий.

Приложение 1  
  
Модель потерь, вызываемых отражением от препятствий   
Описание метода расчета

# 1 Введение

В настоящей Рекомендации описан набор моделей, которые возможно использовать для оценки потерь, вызываемых отражением от препятствий, для ряда различных условий. Эти модели могут использоваться в качестве поправки на концевые значения для моделей распространения на большие расстояния или над крышами.

В настоящей Рекомендации определены категории среды помех, создаваемых препятствиями, и представлены методы оценки потерь на трассе между крышей и терминалом, окруженным препятствиями.

Статистические модели должны использоваться в случае отсутствия точных данных о радиотрассе таких как ширина улиц, высота зданий, глубина растительного покрова.

## 1.1 Определение препятствий и потерь, вызываемых отражением от препятствий

"Препятствие" определено здесь в контексте Рекомендаций МСЭ-R серии P.

Препятствия – это объекты, например здания или растительный покров, которые находятся на поверхности Земли, но фактически не являются рельефом. Препятствия вокруг терминала радиопередатчика/радиоприемника могут оказывать значительное влияние на общее распространение сигнала. Обычно наибольшее влияние на распространение оказывает препятствие, ближайшее к терминалу, но фактическое расстояние будет зависеть от характера препятствия и радиопараметров.

Приведенные в настоящей Рекомендации модели потерь, вызываемых отражением от препятствий, являются статистическими. В качестве поправки на концевые значения для моделей распространения на большие расстояния "потери, вызываемые отражением от препятствий" определяются как разница в потерях передачи или основных потерях передачи[[1]](#footnote-1) при наличии и в отсутствие препятствия возле терминала на любом конце трассы, при том что все прочие характеристики этой трассы остаются одинаковыми. В моделях распространения на малое расстояние учитывается влияние препятствий вдоль всей протяженности трассы.

# 2 Выбор модели

Надлежащую модель следует выбирать с учетом частоты, среды вокруг терминала и типа трассы. Краткое описание моделей приведено в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1

Краткое описание моделей

| Среда вокруг  терминала | См. | Диапазон частот (ГГц) | Описание |
| --- | --- | --- | --- |
| Терминал находится ниже типовой высоты препятствий | п. 3.1 | 0,03−3 | К значениям основных потерь передачи, рассчитанных до/от используемой типовой высоты препятствий, должна быть добавлена поправка на концевые значения.  Может применяться к передающему и приемному концам трассы. |
| Наземный терминал, окруженный препятствиями | п. 3.2 | 0,5−67 | Статистическая модель, которая может использоваться для моделирования распределения потерь, вызываемых отражением от препятствий, в городской и пригородной среде. Эта поправка может применяться к обоим концам трассы. |
| Один терминал окружен препятствиями, другим является спутник, воздушное судно или иная платформа, находящаяся выше поверхности Земли. | п. 3.3 | 10−100 | Статистическое распределение потерь, вызываемых отражением от препятствий, которые не превышаются для процентной доли местоположений с углами места от 0 до 90 градусов. |

# 3 Модели потерь, вызываемых отражением от препятствий

В нижеследующих разделах представлен ряд методов. В каждом разделе приведено описание модели и ее соответствующее применение, требуемые входные параметры и метод расчета.

## 3.1 Модель поправки на функцию высота-усиление терминала

Этот метод позволяет определить медианные значения потерь из-за различной окружающей терминал среды. Возможные механизмы включают потери из-за препятствий и отражения от мешающих объектов на типовой высоте, а также рассеяние и отражение от земли и более мелких мешающих объектов. При использовании компьютерной реализации с профилем местности, извлеченным из цифровой модели рельефа местности, и с окружением терминала, соответствующим категории препятствий, нецелесообразно определять отдельные механизмы. Используемый здесь метод различает два основных случая – категории "лесистая местность" и "городская среда". Предполагается, что основным механизмом является вызываемая препятствиями дифракция. Для других категорий предполагается, что доминирует отражение или рассеяние.

Рассчитываются дополнительные потери, *Ah*, которые возможно добавить к основным потерям передачи на трассе, рассчитанным над препятствиями, таким образом, основные потери передачи следует рассчитывать до/от используемой типовой высоты препятствия. Эта модель может применяться к передающему и приемному концам трассы.

Диапазон частот:0,03−3 ГГц

### 3.1.1 Входные параметры

Входные параметры приведены в таблице 2.

ТАБЛИЦА 2

Входные параметры для модели поправки на функцию высота-усиление терминала

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Входной параметр | Обозначение | Значение по умолчанию |
| Частота (ГГц) | *f* | – |
| Высота антенны (м) | *h* | – |
| Ширина улицы (м) | *ws* | 27 |
| Типовая высота препятствия (м) | *R* | См. таблицу 3 |
| Тип препятствия | *–* | – |

Тип препятствия используется для определения метода расчета *Ah*, как показано в таблице 3.

ТАБЛИЦА 3

Данные по умолчанию по типовой высоте препятствия R  
(в случае отсутствия местных данных)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Тип препятствия | *R* (м) | Метод расчета *Ah* |
| Вода/море | 10 | Уравнение (2b) |
| Открытая/сельская местность | 10 | Уравнение (2b) |
| Пригородная зона | 10 | Уравнение (2a) |
| Городская зона/деревья/лес | 15 | Уравнение (2a) |
| Городская зона плотной застройки | 20 | Уравнение (2a) |

### 3.1.2 Описание модели

В данном методе используется аппроксимация к потерям из-за дифракции над одиночным клиновидным препятствием как функция безразмерного параметра ν, определяемого выражением:

. (1)

Следует заметить, что *J*(−0,78) ≈ 0, и это значение определяет нижний предел, при котором следует использовать эту аппроксимацию. Если ν≤ −0,78, *J*(ν) устанавливается равным нулю.

В случае, когда антенна передатчика или приемника расположена ниже высоты *R*, представляющей высоту окружающего передатчик или приемник наземного покрова, оценки дополнительных потерь *Ah* рассчитываются следующим образом. При наличии используются типовые значения высоты препятствий на основе точных данных о высоте препятствий, однако, если такие данные отсутствуют, используется приведенная в таблице 3 информация. Метод моделирование потерь на стороне передатчика и приемника идентичен.

Если *h* ≥ *R*, то *Ah* = 0.

Если *h* < *R*, то *Ah* может принимать одну из двух форм, в зависимости от типа препятствия (см. таблицу 3):

(2a)

или:

, (2b)

*J*() вычисляются с применением уравнения (1).

Значения  и *Kh*2 определяются следующим образом:

 (2c)

                м (2d)

                градусы (2e)

(2f)

, (2g)

где:

*f*: частота (ГГц);

*ws*: обозначает ширину улицы (метры); в отсутствие конкретных местных данных следует использовать значение 27.

Форма уравнения (2a) представляет собой дифракционные потери Френеля из-за препятствий и будет применяться для таких категорий препятствий, как здания. В частности, препятствия в городских зонах будут именно такого типа.

Уравнение (2b) представляет собой функцию усиление-высота из-за близости земли в более открытой местности. При наличии зеркального отражения от земли – это типовые изменения сигнала ниже первого максимума двухлучевой интерференции. При отсутствии зеркального отражения – это типовые изменения сигнала ниже *R* из-за экранирования малыми объектами и неровностями.

## 3.2 Статистическая модель потерь, вызываемых отражением от препятствий, для наземных трасс

В данном разделе приведены уравнения, с помощью которых определяется статистическое распределение потерь, вызываемых отражением от препятствий. Эта модель может применяться для моделирования потерь, вызываемых отражением от препятствий, в городской и пригородной зонах, при условии что высота терминалов значительно ниже высоты препятствий, как указано в таблице 1. Следует отметить, что при измерениях, которые применялись при разработке данный модели, использовались значения высоты терминалов до 6 метров над поверхностью земли.

Рассчитываются дополнительные потери, *Lctt*, которые возможно добавить к потерям передачи или основным потерям передачи. Потери, вызываемые отражением от препятствий, будут изменяться в зависимости от типа препятствий, местоположения в окружении препятствий и движения между препятствиями. В случае, если для расчета потерь передачи или общих потерь передачи использовалась модель (например, Рекомендация МСЭ-R P.1411), которая по определению учитывает препятствия на протяжении всей трассы, тогда описанный ниже метод применять не следует.

Диапазон частот:0,5–67 ГГц

Минимальная протяженность трассы: 0,25 км (для поправки, которую следует применять только к одному концу трассы);

1,0 км (для поправки, которую следует применять к обоим концам трассы)

Диапазон процентной доли местоположений: 0 < *p* < 100

### 3.2.1 Входные параметры

Входные параметры приведены в таблице 4.

ТАБЛИЦА 4

Входные параметры для статической модели потерь, вызываемых   
отражением от препятствий, для наземных трасс

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Входной параметр | Обозначение | Единица |
| Частота | *f* | ГГц |
| Расстояние | *d* | км |
| Процентная доля местоположений | *p* | % |

### 3.2.2 Описание модели

Потери, вызываемые отражением от препятствий, которые не превышаются для *p*% местоположений для наземной-наземной трассы, *Lctt*, ограничены уравнением (6) и определяются следующим образом:

           дБ (3a)

          дБ, (3b)

где *Q*–1(*p*/100) – обратная дополнительная функция нормального распределения, и

             дБ (4a)

дБ (4b)

           дБ (5a)

             дБ, (5b)

где *d –* общая протяженность трассы.

Потери, вызываемые отражением от препятствий, не должны превышать максимального значения, которое определяется следующим образом:

                дБ, (6)

где – потери, вызываемые отражением, для .

На рисунке 1 показаны медианные потери, вызываемые отражением от препятствий, для различных частот, которые рассчитаны с помощью уравнения (3).

Рисунок 1

Медианные потери, вызываемые отражением от препятствий, для наземных трасс



## 3.3 Модель потерь Земля-космос и воздушных потерь, вызываемых отражением от препятствий

В данном разделе приведены уравнения, с помощью которых определяется статистическое распределение потерь, вызываемых отражением от препятствий, когда один конец трассы с помехами находится в окружении искусственных препятствий, а другим концом является спутник, воздушное судно или иная платформа, находящаяся выше поверхности Земли.

Рассчитываются дополнительные потери, *Lces*, которые возможно добавить к основным потерям передачи, рассчитанным для трассы.

Эта модель может применяться для городских и пригородных зон. Метод, с помощью которого была разработана данная модель, описан в Отчете МСЭ-R P.2402-0.

Диапазон частот: 10−00 ГГц

Диапазон угла места: 0−90 градусов

Диапазон процентной доли местоположений: 0 < *p* < 100

### 3.3.1 Входные параметры

Входные параметры приведены в таблице 5.

ТАБЛИЦА 5

Входные параметры для модели потерь Земля-космос и воздушных потерь,   
вызываемых отражением от препятствий

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Входной параметр | Обозначение | Единица |
| Частота | *f* | ГГц |
| Угол места | θ | градусы |
| Процентная доля местоположений | *p* | % |

### 3.3.2 Описание модели

Потери, вызываемые отражением от препятствий, которые не превышаются для *p*% местоположений *Lces* для наземной-воздушной или наземной-спутниковой трассы, определяются следующим образом:

дБ (7)

при

, ,

где *Q*–1(*p*/100) – обратная дополнительная функция нормального распределения, а угол места θ – это угол воздушной платформы или спутника, наблюдаемый от терминала.

На рисунке 2 показана интегральная функция распределения кривых потерь, вызываемых отражением от препятствий, которые не превышаются для процентной доли местоположений, при изменяющихся углах места для частоты 30 ГГц.

Рисунок 2

Интегральная функция распределения кривых потерь, вызываемых отражением от препятствий,   
которые не превышаются, для 30 ГГц



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

1. Определения терминов "потери передачи" и "основные потери передачи" приведены в Рекомендации МСЭ‑R P.341. [↑](#footnote-ref-1)