

Международный союз электросвязи

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R P.2108-1
(09/2021)

Прогнозирование потерь, вызываемых отражением от препятствий

Серия Р
Распространение радиоволн



Международный
союз
электросвязи

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
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.1812 представлен 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.833 представлены 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 Р.

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 передачи¹ 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.

¹ Определения терминов "потери передачи" и "основные потери передачи" приведены в Рекомендации МСЭ-R P.341.

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, A_h , 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)	w_s	27
Типовая высота препятствия (м)	R	См. таблицу 3
Тип препятствия	–	–

Тип препятствия используется для определения метода расчета A_h , 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 A_h
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 v , определяемого выражением:

$$J(v) = 6,9 + 20 \log \left(\sqrt{(v - 0,1)^2 + 1} + v - 0,1 \right). \quad (1)$$

Следует заметить, что $J(-0,78) \approx 0$, и это значение определяет нижний предел, при котором следует использовать эту аппроксимацию. Если $v \leq -0,78$, $J(v)$ 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 A_h 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 $h \geq R$, то $A_h = 0$.

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

$$A_h = J(v) - 6,03 \quad \text{дБ} \quad (2a)$$

или:

$$A_h = -K_{h2} \log(h/R) \quad \text{дБ}, \quad (2b)$$

$J(v)$ вычисляются с применением уравнения (1).

Значения v и K_{h2} определяются следующим образом:

$$v = K_{nu} \sqrt{h_{dif} \theta_{clut}} \quad (2c)$$

$$h_{dif} = R - h \quad \text{м} \quad (2d)$$

$$\theta_{clut} = \tan^{-1} \left(\frac{h_{dif}}{w_s} \right) \quad \text{градусы} \quad (2e)$$

$$K_{h2} = 21,8 + 6,2 \log(f) \quad (2f)$$

$$K_{nu} = 0,342 \sqrt{f}, \quad (2g)$$

где:

f : частота (ГГц);

w_s : 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 данной модели, использовались значения высоты терминалов до 6 метров над поверхностью земли.

Рассчитываются дополнительные потери, L_{clt} , 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, L_{ctt} , ограничены уравнением (6) и определяются следующим образом:

$$L_{ctt} = -5\log(10^{-0,2L_l} + 10^{-0,2L_s}) - \sigma_{cb}Q^{-1}(p/100) \quad \text{дБ} \quad (3a)$$

$$\sigma_{cb} = \sqrt{(\sigma_l^2 10^{-0,2L_l} + \sigma_s^2 10^{-0,2L_s}) / (10^{-0,2L_l} + 10^{-0,2L_s})} \quad \text{дБ}, \quad (3b)$$

где $Q^{-1}(p/100)$ – обратная дополнительная функция нормального распределения, и

$$L_l = -2\log(10^{-5\log(f)-12,5} + 10^{-16,5}) \quad \text{дБ} \quad (4a)$$

$$\sigma_l = 4 \quad \text{дБ} \quad (4b)$$

$$L_s = 32,98 + 23,9\log(d) + 3\log(f) \quad \text{дБ} \quad (5a)$$

$$\sigma_s = 6 \quad \text{дБ}, \quad (5b)$$

где d – общая протяженность трассы.

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

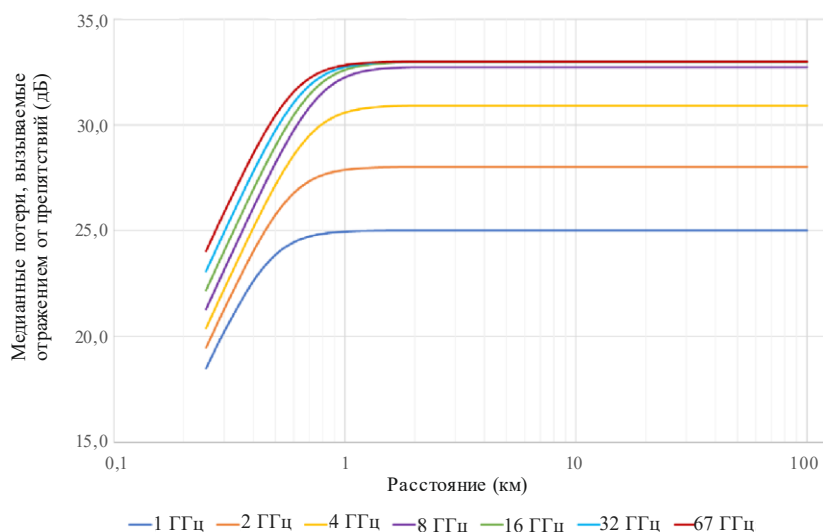
$$L_{ctt_{Max}} = L_{ctt_{2km}} \quad \text{дБ}, \quad (6)$$

где $L_{ctt_{2km}}$ – потери, вызываемые отражением, для $d = 2$ км.

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



P.2108-01

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, L_{ces} , 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: 10–100 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 L_{ces} для наземной-воздушной или наземной-спутниковой трассы, определяются следующим образом:

$$L_{ces} = \left\{ -K_1 \left[\ln \left(1 - \frac{p}{100} \right) \right] \cot \left[A_1 \left(1 - \frac{\theta}{90} \right) + \frac{\pi\theta}{180} \right] \right\}^{0,5(90-\theta)/90} - 1 - 0,6 Q^{-1}(p/100) \quad \text{дБ} \quad (7)$$

при

$$K_1 = 93(f^{0,175}), \quad A_1 = 0,05,$$

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

