

Международный союз электросвязи

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R P.2109-1

(08/2019)

**Прогнозирование потерь
на входе в здание**

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, 2020 г.

© ITU 2020

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.2109-1

Прогнозирование потерь на входе в здание

(2017-2019)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации представлен метод оценки потерь на входе в здание на частотах в интервале примерно от 80 МГц до 100 ГГц, который обеспечивает вероятность $0,0 < P < 1,0$. Этот метод не зависит от местных условий и предназначен в первую очередь для применения в исследованиях совместного использования частот и совместимости.

Ключевые слова

Здание, в здании, распространение, помехи, вход

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

a) что для планирования систем и оценки радиопомех может потребоваться определение степени ослабления радиоволн на входе в здание или выходе из него;

b) что существует необходимость в предоставлении инженерам руководства по оценке покрытия или прогнозированию помех при передаче сигналов от системы, расположенной вне здания, в систему, расположенную в здании, и от системы в здании в систему вне здания,

признавая,

a) что в Рекомендации МСЭ-R P.2040 содержится руководство по определению влияния строительных материалов и конструкций на распространение радиоволн;

b) что в Отчете МСЭ-R P.2346 собраны и обобщены результаты измерений уровня потерь на входе в здание,

рекомендует

использовать для оценки уровня потерь на входе в здание модель, приведенную в Приложении 1.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Исследования совместного использования частот, проводимые МСЭ-R в рамках различных пунктов повестки дня ВКР-19, основывались на тексте настоящей Рекомендации, которая действовала на момент проведения этой деятельности или на момент времени, когда эта деятельность была завершена.

Приложение 1**1 Введение**

В настоящем Приложении представлена модель для оценки потерь на входе в здание (BEL), определенных в Рекомендации МСЭ-R P.2040. Результатом использования этой модели является кумулятивная функция распределения вероятности того, что заданный уровень потерь не будет превышен.

Модель не предназначена для разделения потерь сигнала, проникающего сквозь наружную стену, и затухания на пути через здание. Этот подход был принят, поскольку представляется маловероятным, что в контексте исследований МСЭ-R будет доступна достаточно подробная информация по конкретным зданиям.

Потери на входе в здание демонстрируют широкую изменчивость как в любом данном здании, так и между зданиями. Такие методы как трассировка лучей в сочетании с подробными архитектурными данными могут служить полезными инструментами прогнозирования для конкретного места, однако подобные модели обычно не подходят для общих применений, включая исследования совместного использования спектра.

Статистическая модель, предназначенная для описания характеристик потерь на входе в здание для общего набора зданий, даст настолько широкое статистическое распределение, что оно будет практически бесполезным. С другой стороны, для модели, предназначенной для получения характеристик различных типов зданий, потребовалось бы больше данных, чем имеется в настоящее время, и она не подошла бы для общих исследований совместного использования частот.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Следует должным образом учитывать типы зданий, упоминаемые в настоящей Рекомендации.

Предлагаемая модель основана на данных измерений, собранных в Отчете МСЭ-R P.2346 для диапазона частот от 80 МГц до 73 ГГц. Эта модель может использоваться в рамках метода Монте-Карло, но следует отметить, что модель была проверена только на основе эмпирических данных для диапазона значений вероятности от 0,01 до 0,99.

2 Параметры

В модели используются следующие исходные параметры:

- частота (~0,08–100 ГГц);
- вероятность того, что уровень потерь не будет превышен;
- категория здания (традиционное или теплоэффективное);
- угол места трассы у фасада здания (градусы над горизонтом).

Азимут трассы к терминалу вне здания относительно поверхности здания в явном виде не учитывается. Теория и измерения показывают, что потери сигналов, перпендикулярных к поверхности здания, меньше, чем потери сигналов, входящих под косыми углами, однако статистический результат использования модели представляет собой обобщение всех возможных ориентаций здания относительно терминала вне здания.

В базовой модели предполагается, что расположенная в здании антенна является всенаправленной и что, следовательно, в потерях на входе в здание учитывается вся энергия, поступающая в месторасположения терминала. В некоторых случаях для расположенного в здании терминала может использоваться направленная антенна, которая будет действовать как пространственный фильтр, увеличивая очевидные потери на входе в здание, так как энергия, поступающая по некоторым направлениям, не будет приниматься. Измерения, проведенные в двух крупных зданиях в Республике Корея на частоте 32 ГГц, показали, что потери на входе в здание, измеренные с использованием антенн с шириной луча 5,3 дБ, выше, чем в случае использования всенаправленной антенны. Более подробная информация приведена в Отчете МСЭ-R P.2346.

В соответствии с определением, данным в Рекомендации МСЭ-R P.2040, потери на входе в здание здесь определяются независимо от каких бы то ни было окружающих препятствий. Если здание окружено локальными препятствиями, возможно, потребуется определить дополнительные потери для соответствующих высоты и положения терминала над землей с использованием Рекомендации МСЭ-R P.2108.

В модели неявно предполагается, что терминалы с равной вероятностью могут быть расположены в любой точке в здании.

2.1 Классификация типов зданий

Экспериментальные результаты, приведенные, например, в Отчете МСЭ-R P.2346, показывают, что в аспекте потерь на входе в здание все здания делятся на две отдельные группы: здания, построенные с применением современных теплоэффективных строительных материалов (металлизированное стекло, фольгированные панели), и традиционные здания, построенные без применения таких материалов, при

этом потери на входе для первой группы обычно значительно выше, чем для второй. Поэтому модель дает прогнозы для этих двух случаев.

Такое деление зданий на теплоэффективные и традиционные относится исключительно к тепловой эффективности строительных материалов. Не следует делать никаких предположений по поводу года постройки здания, его типа (одно- или многоэтажное), культурно-исторической ценности или метода строительства.

Для оценки потерь на входе в здание важно учитывать тепловую эффективность здания в целом (или общую теплоэффективность). Имея высокотеплоэффективную основную конструкцию с плохо изолированными окнами (например, однослойными с тонким стеклом), здание может стать неэффективным с точки зрения сохранения тепла, и наоборот.

Количественное значение теплоэффективности дает теплопроводность, обычно измеряемую коэффициентом теплопередачи. Низкий коэффициент теплопередачи означает высокую теплоэффективность. Как правило, хорошим показателем теплоэффективности¹ здания служат металлизированные стеклянные окна, изолированные пустотные стены, толстый железобетон и облицовка металлической фольгой.

3 Модель

Потери на входе в здание (BEL) зависят от типа здания, местоположения в здании и движения в здании. Распределение потерь на входе в здание определяется сочетанием двух логарифмически нормальных распределений. Уровень потерь на входе в здание, не превышаемый с вероятностью P , определяется уравнением:

$$L_{BEL}^{omni}(P) = 10 \log(10^{0,1A(P)} + 10^{0,1B(P)} + 10^{0,1C}) \text{ дБ} \quad (1)$$

где:

$$A(P) = F^{-1}(P)\sigma_1 + \mu_1; \quad (2)$$

$$B(P) = F^{-1}(P)\sigma_2 + \mu_2; \quad (3)$$

$$C = -3,0; \quad (4)$$

$$\mu_1 = L_h + L_e; \quad (5)$$

$$\mu_2 = w + x \log(f); \quad (6)$$

$$\sigma_1 = u + v \log(f); \quad (7)$$

$$\sigma_2 = y + z \log(f), \quad (8)$$

где:

L_h : медианный уровень потерь для горизонтальных трасс, определяемый уравнением:

$$L_h = r + s \log(f) + t (\log(f))^2; \quad (9)$$

L_e : поправка на угол места трассы у фасада здания:

$$L_e = 0,212 |\theta| \quad (10)$$

и

f = частота (ГГц);

θ = угол места трассы у фасада здания (градусы);

P = вероятность того, что потери не превысят данное значение ($0,0 < P < 1,0$);

$F^{-1}(P)$ = обратное кумулятивное нормальное распределение как функция вероятности,

и коэффициенты приведены в таблице 1.

¹ Например, типичными значениями коэффициента теплопередачи для теплоэффективной основной конструкции и металлизированного стекла являются соответственно $< 0,3$ и $< 0,9$.

ТАБЛИЦА 1

Коэффициенты модели

Тип здания	r	s	t	u	v	w	x	y	z
Относительно:	μ_1			σ_1		μ_2		σ_2	
Традиционное	12,64	3,72	0,96	9,6	2,0	9,1	-3,0	4,5	-2,0
Теплоэффективное	28,19	-3,00	8,48	13,5	3,8	27,8	-2,9	9,4	-2,1

Для иллюстрации на рисунке 1 показаны медианные уровни потерь на входе в здание, полученные при использовании модели для двух категорий зданий. В любых исследованиях совместного использования частот всегда следует учитывать полное распределение. На рисунке 2 представлена кумулятивная функция распределения потерь на входе в здание, прогнозируемых при горизонтальном распространении сигнала.

РИСУНОК 1

Прогноз медианного уровня потерь на входе в здание при горизонтальном распространении сигнала

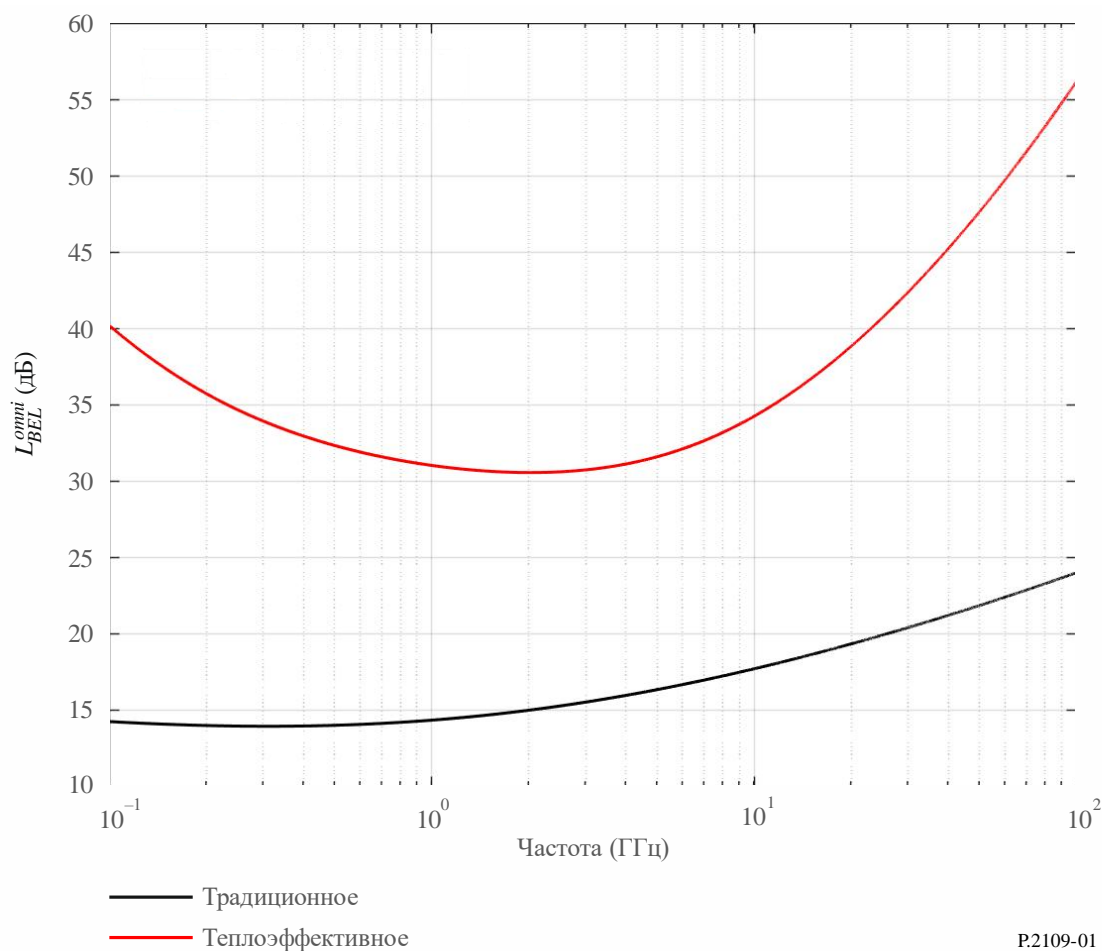


РИСУНОК 2

Прогноз потерь на входе в здание при горизонтальном распространении сигнала
(пунктирная линия: традиционное здание, точечная пунктирная линия: теплоэффективное здание)

