

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R P.1791*

Методы прогнозирования распространения радиоволн для оценки воздействия сверхширокополосных устройств

(Вопрос МСЭ-R 211/3)

(2007)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации приводятся действующие для полосы частот 1–10 ГГц методы расчета потери на сверхширокополосной (СШП) трассе в условиях работы в помещениях и вне помещений для категорий трассы прямой видимости и закрытой трассы, а также методы оценки мощности, поступающей на стандартный узкополосный приемник из СШП передатчика.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что сверхширокополосная (СШП) технология является быстро развивающейся беспроводной технологией;
- b) что в устройствах с использованием СШП технологии применяются многочисленные потоки с высокой скоростью передачи данных и что такие устройства охватывают широкую полосу частот;
- c) что знание характеристик распространения радиоволн имеет важнейшее значение для оценки воздействия СШП устройств;
- d) что для некоторых подробных прогнозов распространения радиоволн требуются как эмпирические модели (т. е. для стандартных местоположений) и рекомендации по оценке помех, так и детерминированные модели (т. е. для конкретных местоположений),

отмечая,

- a) что в Рекомендации МСЭ-R P.525 приводится расчет затухания в свободном пространстве;
- b) что в Рекомендации МСЭ-R P.528 приводятся кривые распространения для воздушной подвижной и радионавигационной служб, использующих диапазоны частот ОВЧ, УВЧ и СВЧ;
- c) что в Рекомендации МСЭ-R P.618 приводятся данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования для линий связи Земля-космос;
- d) что в Рекомендации МСЭ-R P.452 описана процедура оценки микроволновых помех между станциями, находящимися на поверхности Земли, в диапазоне частот приблизительно 0,7–30 ГГц;
- e) что в Рекомендации МСЭ-R P.1238 приводятся правила, касающиеся распространения радиоволн внутри помещений в диапазоне частот 900 МГц – 100 ГГц;
- f) что в Рекомендации МСЭ-R P.1411 приводятся методы распространения радиоволн для коротких трасс в условиях вне помещений в диапазоне частот приблизительно 300 МГц – 100 ГГц;

* Данную Рекомендацию следует довести до сведения 1-й Исследовательской комиссии по радиосвязи.

g) что в Рекомендации МСЭ-R P.1546 приводятся правила, касающиеся распространения радиоволн для систем, работающих на расстоянии 1 км и более в диапазоне частот 30 МГц – 3 ГГц;

h) что в Рекомендации МСЭ-R P.530 приводятся данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования для проектирования наземных систем в пределах прямой видимости (LoS),
рекомендует,

1 чтобы приведенные в Приложении 1 информация и методы использовались для расчета потерь на трассе для СШП устройств в диапазоне частот между 1 ГГц и 10 ГГц;

2 чтобы приведенная в Приложении 2 информация использовалась для оценки мощности, поступающей на стандартный узкополосный приемник из СШП передатчика.

Приложение 1

1 Введение

Зависимость частоты от потери при СШП передаче в условиях прямой видимости по существу обуславливается характеристиками антенны. В связи с этим для расчета потери СШП сигналов на трассе пригодна традиционная модель потери на трассе, обычно используемая для моделирования распространения узкополосного сигнала.

Было проведено значительное количество исследований и экспериментов в области распространения СШП сигналов в весьма различных условиях, что позволило разработать модели распространения СШП сигналов и их параметры.

Для СШП устройств предусматриваются условия как внутри, так и вне помещений. При проведении исследований в области распространения радиоволн требуются подробные знания конкретного помещения, включая его геометрические размеры, материалы, мебель и т. д. В случае распространения вне помещений для расчета распространения важнейшее значение имеет информация о зданиях и деревьях. Эти факторы нередко приводят к многолучевому распространению, которое может воспринимать СШП приемник. Следовательно, модель распространения СШП сигналов должна охватывать характеристики как потери на трассе, так и многолучевого распространения в типичных условиях, в которых предстоит работать СШП устройствам. Для достижения этой цели больше подходят модели, представляющие характеристики распространения радиоволн в среде в общем плане. Такие модели обычно не требуют от пользователя наличия большого объема входной информации для осуществления расчетов.

В настоящей Рекомендации определяются условия эксплуатации, категории потери на трассе и предлагаются методы оценки потери на СШП трассе в таких условиях. Ее следует использовать для определения энергетического баланса СШП линий.

2 Физические условия эксплуатации

Описываемые в настоящей Рекомендации условия классифицируются исключительно с точки зрения распространения радиоволн. Определены два различных вида условий распространения внутри помещений и один – распространения вне помещений. Эти условия считаются наиболее типичными. В таблице 1 перечисляются три вида условий. Поскольку, как признается, в рамках каждой категории имеется множество различных условий, эта таблица не рассчитана для того, чтобы служить моделью для каждого возможного случая, а предназначена предложить модели распространения, которые являются репрезентативными для часто встречающихся условий.

ТАБЛИЦА 1
Физические условия эксплуатации

Условия	Описание
Жилое помещение	Городской дом с домашней обстановкой, с гипсолитовыми и бетонными стенами
Рабочее помещение	Рабочий кабинет/лаборатория (коридоры, лекционные залы) с гипсолитовыми/бетонными стенами и потолками, гипсолитовыми/бетонными/паркетными полами, комнаты с мебелью (металлические шкафы, столы, стулья, электронное оборудование и т. д.) и пустые комнаты
Вне помещений	Общие условия и условия в сельской местности, включая листву и деревья

3 Категории трассы

При анализе возможных случаев распространения между СШП передатчиком и СШП приемником можно установить две различных категории трассы: трассы со значительным компонентом в пределах прямой видимости (LoS) и закрытые трассы – не в пределах прямой видимости (NLoS).

В связи с препятствиями или искусственными ограждениями случай LoS редко встречается в условиях эксплуатации внутри помещений, и сигнал принимается посредством многолучевого распространения. Кроме того, в зависимости от степени помех, создаваемых приемнику со стороны передатчика, в условиях распространения внутри помещений рассматриваются дополнительные подкатегории трассы: умеренные NLoS и жесткие NLoS. В первом случае между передатчиком и приемником находится стандартное препятствие или, по крайней мере, одна гипсолитовая стена. В последнем случае между приемником и передатчиком имеется большое количество препятствий или, по крайней мере, одна бетонная стена.

4 Модели и параметры потери на трассе

Потеря на трассе от СШП передатчика до СШП приемника может оцениваться с применением моделей либо для стандартных местоположений, либо для конкретных местоположений. При использовании моделей потери при передаче в условиях внутри помещений предполагается, что как передатчик, так и приемник находятся внутри одного и того же здания.

4.1 Модели для стандартных местоположений

Описываемые в настоящем разделе модели считаются предназначенными для стандартных местоположений, поскольку для них не требуется большого количества информации о трассе или местоположении. Приведенные ниже коэффициенты потери мощности в зависимости от расстояния включают имплицитный допуск для передачи через стены, поверх препятствий и через препятствия, а также для других механизмов потерь, таких как многолучевое распространение, которые могут встречаться в СШП канале передачи. В моделях для конкретных местоположений можно было бы эксплицитно учитывать потери, вызываемые каждым препятствием, а не включать их в модель, в которой учитывается расстояние.

Базовая потеря при передаче $PL(d)$ для СШП сигналов может быть рассчитана на основе следующей модели:

$$PL(d) = PL_0(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma \quad \text{дБ}, \quad (1)$$

где:

$PL_0(d_0)$: базовая потеря при передаче (дБ) при эталонном расстоянии d_0 (где d_0 обычно равно 1 м)

- d : расстояние разнесения (м) между СШП передатчиком и СШП приемников (где $d > 1$ м)
- n : экспонента потери на трассе
- X_σ : логарифмически нормальное замирание вследствие затенения, т. е. нулевое значение средней случайной гауссовой переменной со стандартным отклонением σ (дБ),

если базовая потеря при передаче на эталонном расстоянии может приблизительно равняться:

$$PL_0(d_0) = 20 \log \left(\frac{4\pi d_0 \sqrt{f_1 \cdot f_2}}{0,3} \right) \quad \text{дБ}, \quad (2)$$

где f_1 (ГГц) и f_2 (ГГц) – частоты на границах излучаемого СШП спектра со значением -10 дБ.

Базовая потеря при передаче будет существенно различаться в зависимости от ширины СШП полосы, а общие рабочие характеристики системы будут зависеть от того, каким образом такие отклонения взаимодействуют с характеристиками антенны.

В таблице 2 приводятся типичные параметры, основанные на результатах различных измерений. Их следует использовать для расстояний распространения до 20 м. Для расстояний распространения более 20 м оценка базовой потери при передаче между СШП передатчиком и СШП приемником может обеспечиваться параметрами, соответствующими условиям LoS и NLoS вне помещений. Следует также отметить, что распространение LoS внутри помещений может приводить к усилению сигнала с многолучевым распространением, что указывает на то, что в конкретных случаях могли бы применяться другие экспоненты потери на трассе.

ТАБЛИЦА 2

Параметры для расчета базовой потери при передаче

Условия	Категория трассы	n	σ (дБ)
Жилое помещение	LoS	$\sim 1,7$	1,5
	умеренная NLoS	3,5–5	2,7–4
	жесткая NLoS	~ 7	4
Рабочее помещение	LoS	$\sim 1,5$	0,3–4
	умеренная NLoS	2,1–4	0,19–4
	жесткая NLoS	4–7,5	4–4,75
Вне помещений	LoS	~ 2	–
	NLoS	3–4	–

4.2 Модели для конкретных местоположений

Для подробного планирования СШП приложений может быть полезной детерминированная оценка потери на трассе. На основе единой теории дифракции (UTD) разработаны теоретические подходы к прогнозированию напряженности поля. Для расчета напряженности поля для них требуется подробная информация о геометрических характеристиках препятствий и структуре зданий (в случае условий вне помещения). В рамках таких моделей принимаемая форма волны моделируется как наложение значимых лучей канала, при этом учитывается воздействие передающей антенны, многолучевого распространения и приемной антенны. В импульсном отклике канала конкретного луча учитывается не только ослабление, но и рассеяние ввиду взаимодействия и импульсный отклик приемной антенны в направлении входа этого луча, соответственно. Значимые лучи и связанные с ними задержки между передатчиком и приемником следует определять с помощью трассировки лучей. Относящаяся к каждому лучу функция передачи канала определяется на основе UTD. Точность прогнозирования потери на трассе существенно увеличивается при включении отраженных и преломленных лучей.

Приложение 2

Для расчета мощности, поступающей из СШП передатчика на стандартный узкополосный приемник, необходимо рассмотреть ширину полосы приемника. Эффективная излучаемая мощность, которую следует рассматривать, – это мощность спектральной плотности СШП, интегрированная по ширине полосы приемника. В этом случае принимаемая мощность может быть рассчитана с использованием стандартных моделей распространения радиоволн и усиления приемной антенны. Рекомендации МСЭ-R серии Р, которые перечислены в пунктах а)–g) раздела *учитывая*, могут использоваться в пределах своей области применения.
