

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Радиоэлектроника»

На правах рукописи

ОЦЕНКА ОСЛАБЛЕНИЯ МОЩНОСТИ СИГНАЛА
ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ

Методические указания

Ростов-на-Дону
ДГТУ
2018

УДК 62

Составители: М.Ю. Звездина, Ю.А. Шокова

Оценка ослабления мощности сигнала при распространении в
городских условиях: метод. указания. – Ростов-на-Дону: Донской
гос. техн. ун-т, 2018. – 10 с.

Приводятся методические указания для проведения лабораторных работ и
практических занятий по дисциплинам «Антенны и распространение радио-
волн», «Электродинамическое моделирование» и «Электромагнитная совме-
стимость радиотехнических и телекоммуникационных систем».

Предназначены для бакалавров и магистров, обучающихся по направле-
ниям 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи и 11.04.02
Инфокоммуникационные технологии и системы связи.

УДК 62

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Донского государственного технического университета

Научный редактор канд. техн. наук, доцент О.Ю. Назарова

Ответственный за выпуск зав. кафедрой «Радиоэлектроника» д-р физ.-мат.
наук, доцент М.Ю. Звездина

В печать _____.20____ г.
Формат 60×84/16. Объем ____ усл. п. л.
Тираж ____ экз. Заказ № ____.

Издательский центр ДГТУ
Адрес университета и полиграфического предприятия:
344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

© Донской государственный
технический университет, 2018

Цель работы

Привитие умений и навыков выбора модели для оценки потери мощности сигнала на радиотрассе, проходящей в условиях города.

Содержание работы

1 Сравнение результатов, получаемых при оценке потерь мощности сигнала при распространении радиоволны с использованием известных моделей различной точности.

2 Сравнительная оценка результатов, полученных при расчете потерь мощности сигнала при распространении радиоволны в городских условиях с помощью моделей Окамура-Хата и Уолфиша-Икегами.

Программа подготовки к работе

1 Изучить ограничения моделей, используемых для оценки потерь мощности сигнала при распространении на земной трассе.

2 Изучить особенности ограничений моделей оценки потерь мощности сигнала при распространении в городских условиях.

3 Ознакомиться с расчетными соотношениями для моделей оценки потерь мощности сигнала при распространении.

4 Подготовиться к ответам на контрольные вопросы.

5 Подготовить бланк отчета по работе.

Краткое описание теории

Во многих задачах, относящихся к радиотехническим, стоит вопрос об оценке потерь мощности сигнала при распространении. В частности, знание данной величины необходимо при выборе параметров передатчика или приемника при проектировании радиотрассы, а также в задачах, относящихся к электромагнитной обстановке, когда необходима информация о величине мощности помехи на входе приемника.

Модели, используемые для оценки потерь мощности сигнала при распространении, условно разделяются на несколько классов, как показано на рис.1.



Рисунок 1 - Классификация моделей по оценке потерь мощности сигнала при распространении

Наиболее простыми являются статистические и эмпирические модели. Первые позволяют оценить только потери, обусловленные расстоянием между передающей и приемной антеннами, а особенности конструкции зданий учитываются специально вводимыми коэффициентами. Эмпирические модели получаются путем обобщения большого объема результатов инструментальных измерений мощности принимаемого сигнала. Лучевые и волноводные модели позволяют более точно учесть явления дифракции от зданий и ориентации улиц. Однако требуют большого объема теоретических исследований.

При проектировании радиотрасс и в задачах оценки электромагнитной совместимости в соответствии с рекомендациями Международного союза электросвязи применяются комбинированные модели, объединяющие между собой статистические и эмпирические [1-7].

Выбор конкретной модели в общем случае зависит от следующих требований:

- срочности решаемых задач;
- точности получаемых результатов;
- формы предоставления результатов расчетов;
- полноты и качества исходных данных о группировке радиоэлектронных средств (РЭС);
- степени доступа к электронной картографии и ГИС.

При расчете радиотрассы, проходящей в городских условиях, необходимо учитывать особенности застройки, а также неоднородность ее структуры.

Выполним оценку точности результатов, получаемых с использованием перечисленных выше статистических методов.

Наиболее простой моделью для расчета потерь мощности радиосигнала является модель свободного пространства [1]. В соответствии с ней потери на радиотрассе в децибелах оцениваются соотношением [1]:

$$L_p = -32.4 - 20\lg(f) - 20\lg(R), \quad \text{дБ} \quad (1)$$

где f – частота сигнала [МГц]; R – длина радиотрассы [км].

Модель, как следует из анализа соотношения (1), не позволяет учесть влияния рельефа местности, однако хорошо определяет основные потери мощности сигнала на радиолинии, обусловленные длиной радиотрассы.

Неоднородность рельефа учитывается в модели Ли за счет представления сигнала в виде прямых и отраженных сигналов. В упрощенной форме модель Ли определяется соотношением [8]:

$$L_p = -129.45 - 38.4\lg(R) - 20\lg(h), \quad \text{дБ} \quad (2)$$

где h – высота антенны базовой станции [м].

Модель Ксиа-Бертони базируется на уравнениях волновой оптики и позволяет учесть помимо прямой волны отражение от стен зданий и дифракцию на краях крыш. При этом используются допущения о равновысотности зданий и одинаковом расстоянии между ними, как показано на рис. 2. Ограничение на частотный диапазон - до 2200 МГц и дальность. Модель Ксиа-Бертони позволя-

ет рассчитать средний уровень потерь в случае, когда базовая станция расположена выше, на уровне или ниже уровня крыш.

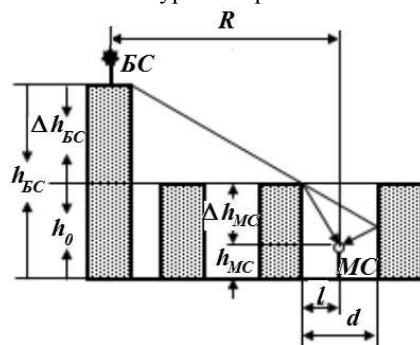


Рисунок 2 - Схема распространения радиоволны по модели Ксиа-Бертон [8]

Соотношение для оценки потерь мощности сигнала на трассе имеет вид [8]:

$$L_p = -20 \lg \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right) - 20 \lg \left(\frac{\lambda}{2\pi^2 r} \left[\frac{1}{\theta} + \frac{1}{2\pi + \theta} \right] \right) - 20 \lg \left(2.35^2 \left[\frac{\Delta h_0}{R} \sqrt{\frac{d}{\lambda}} \right]^{1.8} \right), \quad (3)$$

где $\lambda = c / f$ - длина волны [м]; $c = 3 \cdot 10^8$ - скорость света в свободном пространстве [м/с]; $\Delta h_0 = h_{БС} - h_0$ - разность высот антенны и среднего уровня крыш [м]; $\Delta h_M = h_0 - h_{МС}$ - разность высот среднего уровня крыш и антенны базовой станции [м]; $\theta = \arctg(\Delta h_M / x)$; d - среднее расстояние между кварталами [м], обычно полагаемое равным 40 м; $x = 0.5\omega$ - расстояние между антенной мобильной станции и кромкой крыши, на которой дифрагирует волна, по горизонтали; ω - средняя ширина улиц [м], обычно полагается $\omega = 15$; $r = \sqrt{\Delta h_M^2 + x^2}$.

Несмотря на то, что модель не учитывает ряд таких важных параметров, как, например, вид строительных материалов, ориентацию улиц, она дает простой и удобный способ получения предварительных оценок уровня средних потерь на трассе.

Рассмотрим более подробно модели, используемые для оценки потерь мощности сигнала при распространении в городских условиях. Данные модели, несмотря на отказ от учета ряда таких важных параметров, как, например, вид строительных материалов, ориентацию улиц, дают простой и удобный способ получения предварительных оценок уровня средних потерь на трассе.

Модель медианных потерь на трассах наземной подвижной связи Окамура-Хата зафиксирована в Рекомендациях и сообщениях Международного комитета по контролю за распределением частот (МККР) и положена в основу стандартной модели COST 321 Хата, рекомендуемой ETSI. Как показано в [8, 9],

проведенные практические исследования измеренных значений уровней сигналов подтверждают хорошую точность с рассчитанными с использованием модели Окамура-Хата. В качестве ограничений модели выступают: частота сигнала от 100 до 1500 МГц; дальность связи — от 1 до 100 км; высота подъема антенны базовой станции (БС) 30..200 м; высота подъема антенны мобильной станции (МС) 1..10 м.

Анализ приведенных выше ограничений показывает, что для систем сотовой связи диапазон должен быть расширен до частот порядка 2000 МГц. Это было сделано в модели Уолфиша-Икегами (второе название модели *Seamcat*) [10]. Поскольку соотношения совпадают с точностью до коэффициентов, то обе модели будет анализироваться одновременно.

При этом в модели применяется относительно удобная классификация типов местности:

- **крупные города**. Данная зона характеризуется наличием учреждений и промышленных предприятий, большим числом высотных построек и небоскребов. Движение автотранспорта крайне оживленное практически для любого времени суток;

- **небольшие и средние города**. Плотная населенная зона с большим числом учреждений, включающих отдельные высотные здания. Дорожное движение довольно интенсивное и зависит от времени суток;

- **пригород**. Большое число строений преимущественно дачного типа, а также подсобных сооружений (типа склада, хранилища, небольшого магазина). Умеренное движение автотранспорта;

- **сельская (открытая) местность**. Незастроенная земля (открытое пространство). Невозделанная или частично обработанная земля с небольшими далеко отстоящими группами строений.

В соответствии с моделью Окамура-Хата потери мощности сигнала на трассе определяются соотношением [8, 9]:

$$L_p = -(K_1 + K_2 \lg(f) - 13.82 \lg(h_{БС}) - \alpha(h_{МС}) + (44.9 - 6.55 \lg(h_{БС})) \lg(R) - K_0), \quad (4)$$

где $\alpha(h_{МС})$ - поправочный коэффициент, используемый при высоте антенны мобильной станции (мобильного абонента), отличной от эталонной, равной 1.5 м; K_0 , K_1 и K_2 - поправочные коэффициенты, зависящие от плотности застройки района и частоты.

Значения коэффициентов $\alpha(h_{МС})$ и K приводятся в табл. 1 и 2. Значение коэффициентов K_1 и K_2 зависят от модели.

Таблица 1 – Значения поправочных коэффициентов $\alpha(h_{MC})$ и K_0 для моделей Окамура-Хата и Уолфиша-Икегами

Тип застройки	$\alpha(h_{MC})$	K_0
Сельская (открытая местность)	$(1.1\lg(f) - 0.7)h_{MC} - (1.56\lg(f) - 0.8)$	$4.78\lg^2(f) - 18.33\lg(f) + 40.94$
Пригород		$2\lg^2(f / 28) + 5.4$
Небольшие и средние города		3
Крупный город ($f > 300$ МГц)	$3.2\lg^2(11.75h_{MC}) - 4.97$	0
Крупный город ($f < 300$ МГц)	$8.29\lg^2(1.54h_{MC}) - 1.10$	0

Таблица 2 – Значения поправочных коэффициентов K_1 и K_2 для моделей Окамура-Хата и Уолфиша-Икегами

Модификация модели	K_1	K_2
Модель Окамура-Хата ($150 < f < 1500$ МГц)	69.55	26.16
Модель Уолфиша-Икегами ($1500 < f < 2000$ МГц)	46.3	33.9

Описание порядка работы

1. На первом этапе исследований необходимо выполнить следующие действия.

Оценить потери мощности сигнала при распространении на трассе различной длины с использованием модели в свободном пространстве и модели Ли.

В качестве исходных данных использовать величины, приведенные в табл.3.

Таблица 3 – Исходные данные для моделирования на первом этапе

Наименование параметра	Значение параметра
Длина радиотрассы R , км	от 1 до 20
Частота f , МГц	800, 900, 1800, 1900
Высота подъема передающей антенны h , м	50

Построить графики изменения потерь в зависимости от длины радиотрассы, частоты передачи, используемой модели.

Сделать анализ полученным результатам.

2. На втором этапе исследования выполняются для случая прохождения трассы в городских условиях.

На данном этапе исследований анализ моделей выполняется в два этапа:

- оцениваются потери от дифракции на крышах зданий с использованием модели Ксиа-Бертон;
- оцениваются потери при неоднородностях рельефа городской застройки с использованием моделей Окамура-Хата и Уолфиша-Икегами.

В качестве исходных данных берутся параметры из табл.4.

При оценке потерь от дифракции на крышах зданий необходимо с использованием соотношения, описывающего модель Ксиа-Бертон, построить графики зависимости потерь мощности сигнала от расстояния, частоты и разности высот мобильной станции и средним уровнем крыш. Дать анализ получаемых результатов.

Таблица 4 – Исходные данные для моделирования на втором этапе

Наименование параметра	Значение параметра
Длина радиотрассы R , км	от 0,1 до 1,5
Частота f , МГц	900, 1800
Высота подъема передающей антенны h , м	50
Высота среднего уровня крыш h_0 , м	45
Разность высот мобильной станции и средним уровнем крыш Δh_{MC} , м	44, 5, -5
Расстояние между кварталами d , м	40
Расстояние между антенной мобильной станции и кромкой крыши ω , м	15

При оценке потерь от неоднородности застройки в городских условиях необходимо для частот, указанных в табл.4, и положения мобильной станции в условиях, когда $\Delta h_{MC} = 44$ м, построить графики для случаев трассы, соответствующих крупному городу, небольшому городу, пригороду и сельской местности. Дать анализ получаемым результатам.

Содержание отчета

1. Название работы, цель исследований.
2. Рисунок, поясняющий геометрию задачи.
3. Графики, поясняющие зависимость величины потерь мощности сигнала на трассе с использованием модели свободного пространства и модели Ли для различных частот.
4. Графики, поясняющие зависимость величины потерь мощности сигнала на трассе в городских условиях с учетом дифракционных потерь (модель Ксиа-Бертони) для различных положений мобильной станции и частот.

5. Графики, поясняющие зависимость величины потерь мощности сигнала на трассе в городских условиях с учетом неоднородности трассы (модели Окамура-Хата и Уолфиша-Икегами) для различных частот и вариантов плотности застройки.

6. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1) В каких задачах необходима информация о величине потерь мощности сигнала при распространении на трассе?
- 2) Какие модели используются при оценке потерь мощности сигнала при распространении на трассе?
- 3) Каким образом выбирается модель для расчета потерь мощности сигнала на трассе?
- 4) Какие модели позволяют учесть явления дифракции на крышах зданий при прохождении трассы в городских условиях?
- 5) Какие параметры городской застройки учитываются в модели Ксиа-Бертони?
- 6) Учитывается ли ориентация улиц в модели Ксиа-Бертони?
- 7) Какие модели позволяют учесть неоднородность трассы, проходящей в городских условиях?
- 8) Чем отличаются модели Окамура-Хаты и Уолфиша-Икегами?
- 9) Какие типы застройки учитываются в моделях Окамура-Хаты и Уолфиша-Икегами?
- 10) Какие типа застройки приводят к большим потерям мощности сигнала на трассе, проходящей в городских условиях?

Список литературы

1. Рекомендация МСЭ-R P.525-2 Расчет ослабления в свободном пространстве [Электронный ресурс]: URL: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.525-2-199408-S!!PDF-R.pdf (дата обращения: 6.11.2018).
2. Рекомендация МСЭ-R P.1546-5 Метод прогнозирования для трасс связи «пункта с зоной» для наземных служб в диапазоне частот от 30 МГц до 3000 МГц [Электронный ресурс]: URL http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1546-5-201309-I!!PDF-R.pdf (дата обращения: 29.10.2018).
3. Рекомендация МСЭ-R P.2001. Универсальная модель наземного распространения радиоволн в широкой полосе частот 30 МГц – 50 ГГц. [Электронный ресурс]: URL: http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.2001-201309-I!!PDF-R.pdf (дата обращения: 30.10.2018).
4. Рекомендация МСЭ-R P.1812 Метод прогнозирования распространения сигнала на конкретной трассе для наземных служб «из пункта в зону» в диапазонах УВЧ и ОВЧ. [Электронный ресурс]: URL:

https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1812-3-201309-S!!PDF-R.pdf (дата обращения: 6.11.2018).

5. Рекомендация МСЭ-R P.530-11 Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования, требующиеся для проектирования наземных систем прямой видимости. [Электронный ресурс]: URL: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.530-12-200702-S!!PDF-R.pdf (дата обращения: 6.11.2018).
6. Рекомендация МСЭ-R P.1238-4 Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования для планирования систем радиосвязи внутри помещений и локальных зонных радиосетей в частотном диапазоне 900 МГц-100 ГГц. [Электронный ресурс]: URL: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1238-5-200702-S!!PDF-R.pdf (дата обращения: 6.11.2018).
7. Рекомендация МСЭ-R P.1410-4 Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования, требующиеся для проектирования наземных широкополосных систем радиодоступа, работающих в полосе частот от 3 до 60 ГГц [Электронный ресурс]: URL: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1410-4-200702-S!!PDF-R.pdf (дата обращения: 6.11.2018).
8. Михайлова А.Ю., Борисов А.П. Исследование распространения дециметровых волн в зонах со сложным рельефом на основе статистических моделей // Ползуновский альманах. 2015. №1. С.137-141.
9. Шиловская Н.А., Тимофеев В.А. Сравнительный анализ методов моделирования распространения радиоволн вдоль городских улиц // Вестник ЯрГУ. Сер. Естественные и технические науки. 2011. №2. С.49-55.
10. Pathnia P., Kumar P., Rana S.B. Performance evaluation of different path loss models for broadcasting applications // American Journal of Engineering Research. 2014. V.3. №4. С.335-342.