

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра сетей и устройств телекоммуникаций

***РАСЧЕТ ЗОН РАДИОПОКРЫТИЯ
БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ GSM***

Методические указания
к лабораторной работе по курсам
«Системы подвижной радиосвязи»
и «Сотовые радиотелефонные сети связи»
для студентов специальности I-45 01 03 «Сети телекоммуникаций»
дневной и заочной форм обучения

Минск 2007

УДК 621.396.2 (075.8)
ББК 32.884.1 я73
Р 24

С о с т а в и т е л ь
В. А. Аксенов

Расчет зон радиопокрытия базовых станций GSM : метод. указания
Р 24 к лаб. работе по курсам «Системы подвижной радиосвязи» и «Сотовые радиотелефонные сети связи» для студ. спец. I-45 01 03 «Сети телекоммуникаций» днев. и заоч. форм обуч. / сост. В. А. Аксёнов. – Минск : БГУИР, 2007. – 15 с. : ил.

В методических указаниях приводятся математические выражения для модели COST 231 Уолфиша–Икегами и дифракционной модели с одним клиновидным препятствием, позволяющие оценить размеры зон радиопокрытия (сот) базовых станций GSM для городских и сельских территорий соответственно. Описывается методика построения профиля трассы распространения сигнала по карте местности.

УДК 621.396.2 (075.8)
ББК 32.884.1 я73

© Аксенов В. А., составление, 2007
© УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 2007

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «РАСЧЕТ ЗОН РАДИОПОКРЫТИЯ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ GSM»

Цель работы – изучение дифракционной модели с одним клином и модели Уолфиша–Икегами для расчета уровня сигнала в сотах GSM для сельских и городских условий соответственно; получение навыка построения профиля трассы распространения сигнала по карте местности.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. ОСНОВНЫЕ МОДЕЛИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОСИГНАЛА ДЛЯ СОТОВЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ

Для оценки уровня радиосигнала в зонах радиопокрытия макро-, микро- и пикосотовых систем Международным союзом по телекоммуникациям (ITU) рекомендован ряд моделей, разделенных на группы. Ниже приводятся названия некоторых из них.

Эмпирические модели

Логарифмическая модель потерь

Модель ITU

Модель Окамура–Хата (Okumura–Hata)

Модель COST231 Хата

Полуэмпирические модели

COST231 Уолфиш–Икегами (Walfisch–Ikegami)

Модель Ли (Lee)

Модель Окамура–Хата & клин

Модель COST231 Хата & клин

Дифракционные модели

Модель с одним клином

Мультиклиновая модель Эпштейна–Петерсона (Epstein–Peterson)

Мультиклиновая модель Дэйгута (Deygout)

Мультиклиновая модель Джованелли (Giovanelli)

Детерминистические модели

Модель с трассировкой лучей

Модель конечных производных (Finite difference)

Все указанные модели отличаются диапазонами частот, расстояний, высотами подъема антенн, характером рельефа, застройки территорий и т.п., при которых они дают наиболее точные решения. Кроме того, модели

значительно отличаются вычислительной сложностью и объемом требуемых исходных данных.

1.2. МОДЕЛЬ УОЛФИША–ИКЕГАМИ ДЛЯ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

Данная модель была разработана в рамках программы «COoperation in the field of Scientific and Technical» (COST), проект 231, Международного союза по телекоммуникациям (ITU). В литературе приводится ее полное название COST 231 Walfisch–Ikegami model и сокращенное название WIM.

Модель Уолфиша–Икегами учитывает особенности городской застройки в качестве своих параметров, как это показано на рис.1.1. Диапазон изменения основных параметров для этой модели:

- § частота $f_{\text{MHz}} = 800 \dots 2000$ МГц;
- § высота антенны базовой станции (БС) $h_1 = 4 \dots 50$ м;
- § высота антенны мобильной станции (МС) $h_2 = 1 \dots 3$ м;
- § расстояние $d_{\text{km}} = 0,02 \dots 5$ км;

Часто параметры застройки выбираются в следующих пределах:

- § высота зданий $h_r = 3 * (\text{количество этажей}) + 3$ м (если крыша имеет скатную конструкцию);
- § разнесение зданий $b = 20 \dots 50$ м;
- § ширина улицы $w = 0,5b$;
- § угол на базовую станцию относительно продольного направления улиц $\varphi = 90^\circ$;

При нерегулярной застройке в качестве b , w , и h_r используют их средние значения, полученные для трассы распространения, как это показано на рис.1.2.

Модель Уолфиша–Икегами позволяет рассчитать медианные потери мощности сигнала при распространении по трассе для двух противоположных случаев – при отсутствии и при наличии прямой видимости между БС и МС.

При отсутствии прямой видимости основное выражение для медианных потерь имеет вид

$$L_b = \begin{cases} L_0 + L_{\text{rts}} + L_{\text{msd}}, & L_{\text{rts}} + L_{\text{msd}} \geq 0, \\ L_0, & L_{\text{rts}} + L_{\text{msd}} < 0, \end{cases} \quad (1.1)$$

где L_0 – потери распространения в свободном пространстве;

L_{rts} – потери при распространении сигнала над крышами зданий за счет дифракции (roof-top-to-street diffraction loss);

L_{msd} – потери при множественном отражении сигнала от стен зданий (multiscreen diffraction loss).

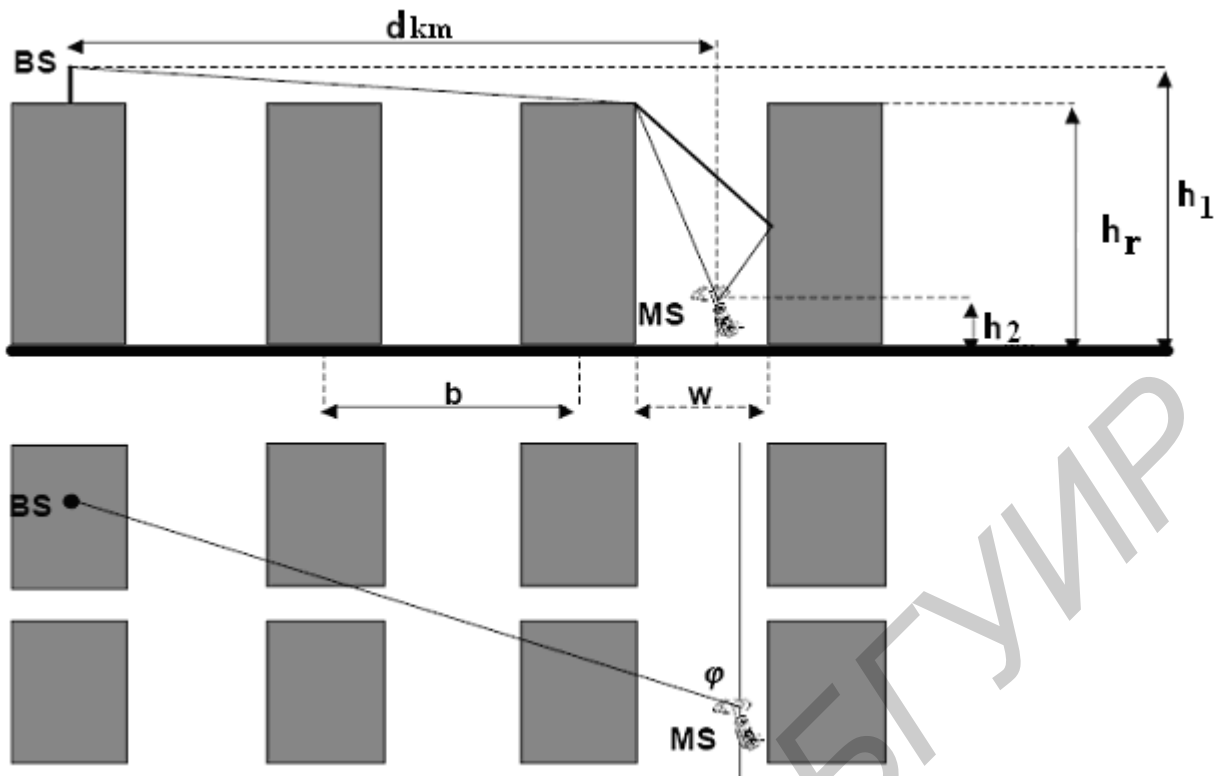


Рис.1.1. Геометрия прохождения радиосигнала и параметры модели Уолфиша–Икегами:

h_1 , h_2 – высота подъема антенны БС и МС соответственно, м;
 d_{km} – расстояние по горизонтали между базовой и мобильной станциями, км;
 h_r – средняя высота зданий, м; b – среднее разнесение зданий, м;
 w – средняя ширина улиц, м; φ – угол на базовую станцию относительно продольного направления улиц, град (от 0 до 90^0)

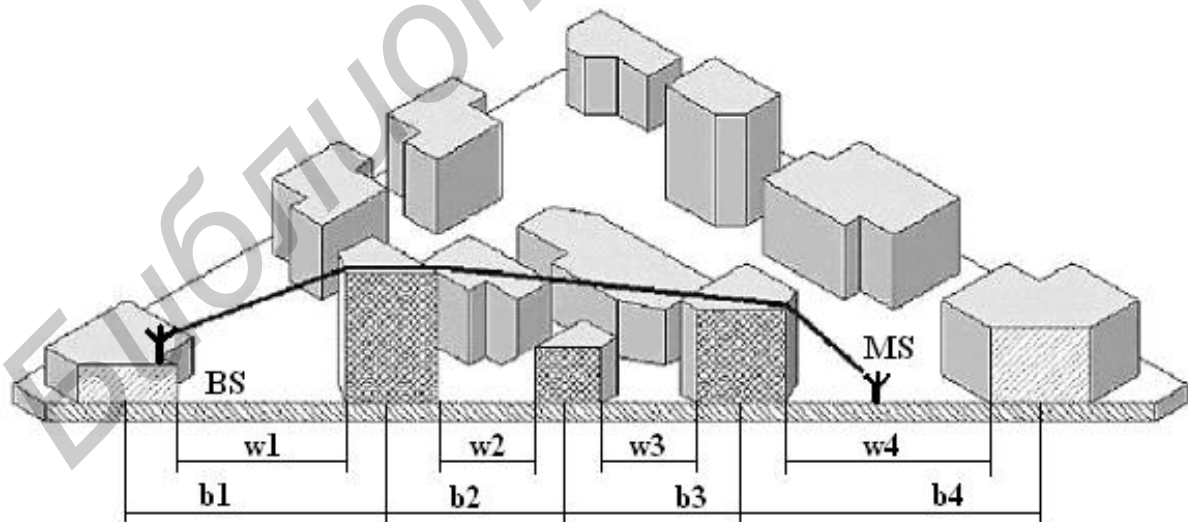


Рис.1.2. Определение параметров модели Уолфиша–Икегами для нерегулярной застройки:

b_j и w_j ($j = 1, 2, 3, \dots$) – используемые для вычисления средних значений параметры геометрии застройки

Входящие в (1.1) компоненты определяются приведенными ниже математическими выражениями.

А. Потери распространения в свободном пространстве равны

$$L_0 = 32,45 + 20\log d_{\text{км}} + 20\log f_{\text{MHz}}. \quad (1.2)$$

Б. Потери при распространении сигнала над крышами зданий за счет дифракции равны

$$L_{\text{rts}} = -16,9 - 10\log w + 10\log f_{\text{MHz}} + 20\log(h_r - h_2) + L_{\text{ori}}, \quad (1.3)$$

где L_{ori} – потери из-за взаимной ориентации направления распространения сигнала и улиц:

$$L_{\text{ori}} = \begin{cases} -10 + 0,354j, & 0 \leq j < 35^\circ, \\ 2,5 + 0,075(j - 35), & 35^\circ \leq j < 55^\circ, \\ 4,0 - 0,114(j - 55), & 55^\circ \leq j < 90^\circ. \end{cases} \quad (1.4)$$

Замечание: при $\varphi = 28,25^\circ$ значение $L_{\text{ori}} = 0$.

В. Потери при множественном отражении сигнала от стен зданий равны

$$L_{\text{msd}} = L_{\text{bsh}} + ka + kd\log d_{\text{км}} + kf\log f_{\text{MHz}} - 9\log b, \quad (1.5)$$

где L_{bsh} – компонента, учитывающая уменьшение потерь, если антенна БС расположена выше крыш зданий;

$$L_{\text{bsh}} = \begin{cases} -18\log(1 + h_1 - h_r), & h_1 > h_r, \\ 0, & h_1 \leq h_r. \end{cases} \quad (1.6)$$

ka – коэффициент, учитывающий влияние расстояния (радиуса соты) $d_{\text{км}}$ на потери L_{msd} :

$$k_a = \begin{cases} 54, & h_1 > h_r, \\ 54 - 0,8(h_1 - h_r), & d_{km} \geq 0,5, \quad h_1 \leq h_r, \\ 54 - 1,6d_{km}(h_1 - h_r), & d_{km} < 0,5, \quad h_1 \leq h_r. \end{cases} \quad (1.7)$$

k_d – коэффициент, учитывающий влияние подъема антенны БС выше или ниже крыш зданий на потери L_{msd} :

$$k_d = \begin{cases} 18, & h_1 > h_r, \\ 18 - 15(h_1 - h_r)/h_r, & h_1 \leq h_r. \end{cases} \quad (1.8)$$

k_f – коэффициент, учитывающий влияние на потери L_{msd} значения частоты сигнала и характера застройки:

$$k_f = \begin{cases} -4 + 0,7(f_{MHz}/925 - 1), & \text{средние города и пригороды,} \\ -4 + 1,5(f_{MHz}/925 - 1), & \text{многоэтажные центры.} \end{cases} \quad (1.9)$$

В рамках модели Уолфиша – Икегами распространение по линии прямой видимости (The Walfisch – Ikegami Line-of-Sight (WIM-LOS)) предполагается при условии расположения антенны БС не выше крыш зданий и распространения волны вдоль уличного каньона или других открытых площадей. При этом используется следующее выражение:

$$L_{WIM-LOS} = 42,64 + 26\log d_{km} + 20\log f_{MHz}, \quad d_{km} \geq 0,02. \quad (1.10)$$

Из (1.2) и (1.10) можно видеть, что

$$L_{WIM-LOS} = L_0 + 10,19 + 6\log(d_{km}) = L_0 + 6\log(49,93 d_{km}). \quad (1.11)$$

Или с учетом приближения

$$\Delta L_{WIM-LOS} \approx 6\log(d_m/20), \quad (1.12)$$

где d_m – расстояние между БС и МС в метрах.

Как следует из (1.11) и (1.12), при $d_m = 20$ м модель Уолфиша–Икегами эквивалентна модели распространения в свободном пространстве (1.2). При

росте d_m эта модель дает около 6 дБ на декаду по дистанции большее затухание, чем модель для свободного пространства.

Считается, что модель Уолфиша–Икегами имеет наибольшие погрешности для случая расположения антенн БС ниже уровня крыш зданий при заметной нерегулярности застройки. Модель рассчитана на плоское основание города, из-за чего она неприменима для городов с сильной неравномерностью рельефа.

1.3. ДИФРАКЦИОННАЯ МОДЕЛЬ С ОДНИМ КЛИНОМ

Дифракционные модели используются для оценки потерь при распространении сигнала через препятствия, закрывающие линию прямой видимости (LOS) антенн БС и МС. Такими препятствиями могут быть как возвышения рельефа по трассе распространения сигнала, так и отдельно стоящие высотные здания.

Геометрия и параметры дифракционной модели с одним клиновидным препятствием (клином) на трассе показаны на рис.1.3. Считается [2], что модель можно корректно применять при следующих условиях: $h \gg \lambda$; $h \ll d_1, d_2$; плоская вершина клина имеет длину не более $1/20$ расстояния между БС и МС.

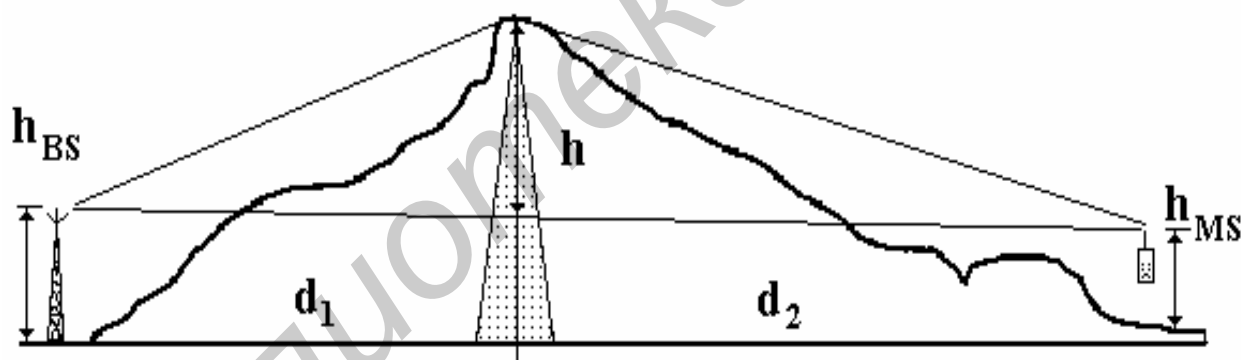


Рис.1.3. Геометрия и параметры дифракционной модели с одним клином:

h_{BS} , h_{MS} – высота подъема антенны базовой и мобильной станции соответственно;

h – высота клина относительно линии прямой видимости, м;

d_1 – расстояние по горизонтали от базовой станции до клина, м;

d_2 – расстояние по горизонтали от клина до мобильной станции, м

В представленной на рис.1.3 модели нет учета кривизны поверхности земли, т.к. расстояние между БС и МС в сотах обычно не превышает 5 км. На таких дистанциях кривизной поверхности земли можно пренебрегать.

Потери медианной мощности сигнала при распространении по трассе с одним клином оцениваются соотношением

$$L = L_0 + L_D(v), \quad (1.13)$$

где L_0 – потери распространения в свободном пространстве (см.(1.2)),
 $L_D(v)$ – дифракционные потери.

В свою очередь дифракционные потери определяются выражением

$$L_D(v) = \begin{cases} 0, & \text{регион LOS,} \\ 13,5 + 20 \lg(v) & \text{регион тени, } v \gg 0, \end{cases} \quad (1.14)$$

где v – дифракционный параметр Френеля–Кирхгофа, определяемый, как

$$v = h \sqrt{\frac{2(d_1 + d_2)}{\lambda d_1 d_2}}, \quad (1.15)$$

На границе тени, где v стремится к нулю, дифракционные потери полагают равными

$$v = 0 \Rightarrow L_D(v) = 6 \text{ дБ}. \quad (1.16)$$

Для использования дифракционной модели требуется построение профиля трассы распространения радиосигнала.

2. ПОСТРОЕНИЕ ПРОФИЛЯ ТРАССЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПО КАРТЕ МЕСТНОСТИ

Построение профиля трассы распространения сигнала проводится по картам местности с нанесенными на них изолиниями высот – горизонталями. Высота горизонтали указывается в метрах относительно некоторого нуля, за который в Европе принят уровень Балтийского моря.

Преподавателем выдаются карты масштаба 1:10 000 с шагом по высоте между горизонталями 2,5 м, масштаба 1:25000 с шагом 5 м и масштаба 1:50000 с шагом 10 м. Следует подчеркнуть, что кроме сплошных горизонталей на картах также присутствуют пунктирные горизонтали, идущие с половинным шагом по высоте.

Для того чтобы построить профиль трассы, необходимо выполнить следующие действия, иллюстрируемые рис. 2.1:

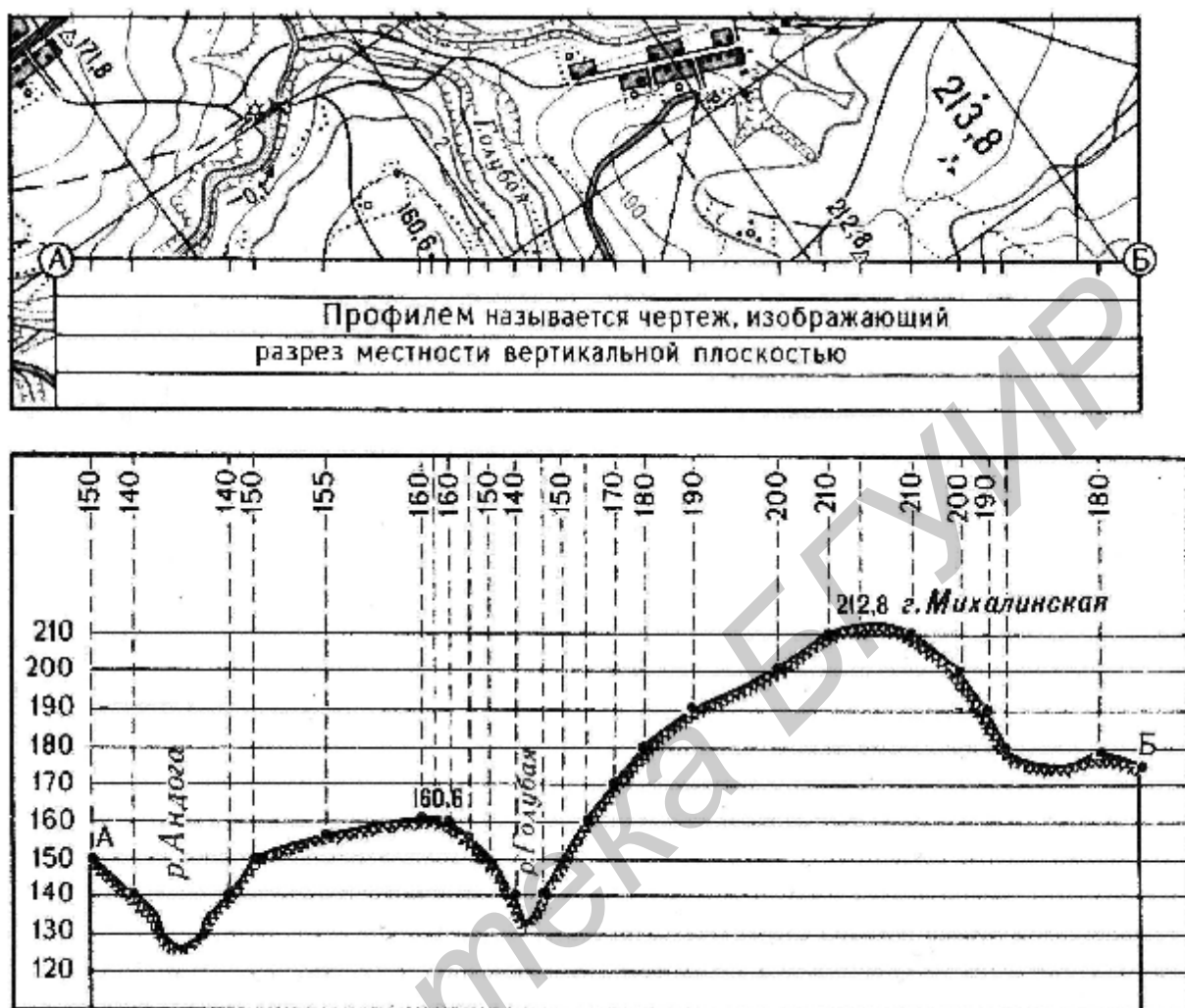


Рис. 2.1. Построения профиля трассы

провести на карте профильную линию от точки начала трассы **А** до точки окончания **Б**;

приложить к ней лист разграфленной бумаги и перенести на ее край короткими черточками места пересечения горизонталей с профильной линией (выходы горизонталей);

на листе разграфленной бумаги слева у горизонтальных линий подписать высоты, соответствующие высотам горизонталей на карте, приняв условно промежутки между этими линиями за высоту сечения;

от всех черточек (выходов горизонталей) опустить перпендикуляры до пересечения их с соответствующими по отметкам параллельными линиями и отметить полученные точки пересечения;

соединить точки пересечения плавной кривой, которая и изобразит профиль трассы.

На полученном профиле в точке А условно изображается мачта БС высотой не более 20–30 м. От ее вершины проводится линия прямой видимости до точки Б (для простоты принимаем $h_{МС} = 0$ м). В месте наивысшего препятствия по профилю измеряется высота клина h . Затем определяются по карте расстояния d_1 и d_2 , требуемые для дифракционной модели.

Используя математические выражения модели Уолфиша–Икегами и дифракционной модели, можно рассчитать уровень сигнала в сотах систем подвижной связи, рассчитать эффективный радиус сот [5,6]. Для этого от точки расположения БС в разные стороны проводят 6–10 лучей. По этим лучам определяют в рамках выбранной модели все необходимые параметры и находят, например, расстояние, на котором сигнал базовой станции достигнет порога чувствительности МС. Найденные точки по всем лучам соединяют и получают кривую границы зоны радиопокрытия для данной БС.

3. ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

3.1. Сформировать набор исходных параметров для модели Уолфиша–Икегами на основе параметров реальной застройки около университета (общежития, дома и т.п.).

3.2. На основе выбранных параметров для условий отсутствия прямой видимости получить аналитическое выражение зависимости потерь от расстояния d_{km} и частоты f_{MHz} .

3.3. Сравнить полученное выражение с (1.2) и (1.10) путем вычисления затухания по всем трем формулам для 5–7 значений d_{km} . При этом полагать $f_{MHz} = 925$ МГц.

3.4. По полученным от преподавателя картам местности и заданным точкам установки БС и МС, построить профиль трассы распространения и определить на основе (1.13–1.16) потери по этой трассе.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие классы моделей распространения сигнала в зонах радиопокрытия вы знаете?
2. В чем отличие разных моделей друг от друга?
3. Для каких условий подходит модель Уолфиша–Икегами?
4. Как определяются параметры модели Уолфиша–Икегами для нерегулярной застройки?

5. Какие компоненты входят в основное выражение WIM при отсутствии прямой видимости?

6. Запишите выражение для потерь при распространении сигнала в свободном пространстве?

7. Насколько отличаются потери WIM-LOS от значения, получаемого для распространения в свободном пространстве?

8. Для каких условий может применяться дифракционная модель с одним клином?

9. Какие параметры влияют на величину дифракционных потерь в зоне тени?

10. Как строится профиль трассы распространения сигнала по карте местности?

11. Какова общая схема построения границы зоны радиопокрытия БС?

5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе должен содержать следующие пункты.

1. Цель работы.

2. Набор полученных исходных параметров для модели Уолфиша–Икегами.

3. Аналитическое выражение зависимости потерь от расстояния d_{km} и частоты f .

4. Результаты вычислений по полученному аналитическому выражению и по выражениям (1.2) и (1.10).

5. Рисунок профиля трассы распространения и вычисленные потери по этой трассе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Веселовский, К. Системы подвижной радиосвязи / К. Веселовский; пер. с польск. И. Д. Рудинского; под ред. А. И. Ледовского. – М.: Горячая линия –Телеком, 2006. –536 с.
2. GSM radio network planning and optimization. MN 1790. TECHCOM Consulting GmbH.–Электронные данные. – Режим доступа: <http://www.techcom.de>
3. Walfisch-Ikegami loss model for Cellular System Planning. – Электронные данные.— Режим доступа: <http://www.aa.lasphost.com>
4. Карташевский, В. Г. Сети подвижной связи / В. Г. Карташевский, С. Н. Семенов, Т. В. Фирстова. – М.: Эко-Трендз, 2001. – 300 с.
5. Бабков, В. Ю. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование / В. Ю. Бабков, М. А. Вознюк, П. А. Михайлов. – СПб.: СПбГУТ, 2000. – 196 с.
6. Частотно-территориальное планирование сотовых сетей связи стандарта GSM: метод. указания для практ. занятий по курсу «Системы подвижной радиосвязи» для студ. спец. 45 01 03 «Сети телекоммуникаций» днев. и заоч. форм обуч./ В. А. Аксёнов, Э. А. Чуйко. – Минск : БГУИР, 2004.–17 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа «Расчет зон радиопокрытия базовых станций GSM». Цель работы.....	3
1. Теоретические сведения.....	3
1.1. Основные модели распространения радиосигнала для сотовых систем связи.....	3
1.2. Модель Уолфиша–Икегами для городской застройки.....	4
1.3. Дифракционная модель с одним клином.....	8
2. Построение профиля трассы распространения по карте местности.....	9
3. Задание для самостоятельной работы.....	11
4. Контрольные вопросы.....	11
5. Содержание отчета.....	12
Литература.....	13

Учебное издание

РАСЧЕТ ЗОН РАДИОПОКРЫТИЯ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ GSM

Методические указания
к лабораторной работе по курсам «Системы подвижной радиосвязи»
и «Сотовые радиотелефонные сети связи»
для студентов специальности I-45 01 03 «Сети телекоммуникаций»
дневной и заочной форм обучения

С о с т а в и т е л ь
Аксёнов Вячеслав Анатольевич

Редактор Т. П. Андрейченко
Корректор Е. Н. Батурчик
Компьютерная верстка Е. Г. Реут

Подписано в печать 30.10.2007.	Формат 60x84 1/16.	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».	Печать ризографическая.	Усл. печ. л. 1,05.
Уч.-изд. л. 0,8.	Тираж 100 экз.	Заказ 136.

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ №02330/0056964 от 01.04.2004. ЛП №02330/0131666 от 30.04.2004.
220013, Минск, П. Бровка, 6