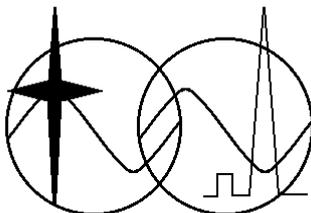


Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра средств радиосвязи (СРС)



**МОДЕЛИ ПРЕДСКАЗАНИЯ УРОВНЯ СИГНАЛА
ДЛЯ РАСЧЕТА ЗОН ОБСЛУЖИВАНИЯ
БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ
СИСТЕМ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ**

Учебно-методическое пособие
для практических занятий и курсового проектирования
для студентов радиотехнических специальностей

Разработчик:
заведующий кафедрой СРС,
профессор Мелихов С.В.

Томск - 2014

Цель занятий: изучение моделей Окамуры и Хата по предсказанию уровня принимаемого сигнала в больших сотах (на длинных трассах) систем мобильной связи.

1 КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1 Диапазоны частот сетей подвижной связи. Особенности распространения радиоволн и характеристики их замираний

Для организации сетей наземной подвижной радиосвязи выделены определенные частотные диапазоны, ориентировочные границы которых представлены в табл. 1.

Таблица 1

Диапазоны частот для сетей подвижной радиосвязи
(границы диапазонов — ориентировочные)

Ориентировочные границы диапазона, МГц	Обозначение диапазона
27...56	LB (Low Band — низкая полоса)
136...174	VHF (Very High Frequency — очень высокие частоты)
300...345	UHF-300 МГц (Ultra High Frequency — ультравысокие частоты)
380...512	UHF
806...894	800
890...960	900
1710...1890	1800
1850...1990	1900

В системах подвижной радиосвязи высота антенны базовой станции (БС) составляет десятки-сотни метров, высота антенны мобильной станции (МС) – несколько метров [1-4]. Для радиоволн диапазонов LB, VHF, UHF характерно прямолинейное распространение (слабая околосветовая дифракция присуща только диапазону LB). Поэтому для этих диапазонов наилучшие условия связи имеют место на «*расстоянии прямой видимости*» (LOS – Line Of Sight), которое с учетом сферичности земной поверхности определяется формулой:

$$d_{LOS} [\text{км}] \approx k (\sqrt{h_n [\text{м}]} + \sqrt{h_{np} [\text{м}]}) , \quad (1)$$

где $k = 3,57$ (за счет тропосферной рефракции в LB-диапазоне зна-

чение может достигать 4,2);

h_n, h_{np} – высоты передающей и приемной антенн над землей соответственно.

Параметр d_{LOS} еще называют *дальностью радиогоризонта*.

Результаты расчета d_{LOS} от h_n при высоте приемной антенны 3 м приведены на рис. 1.

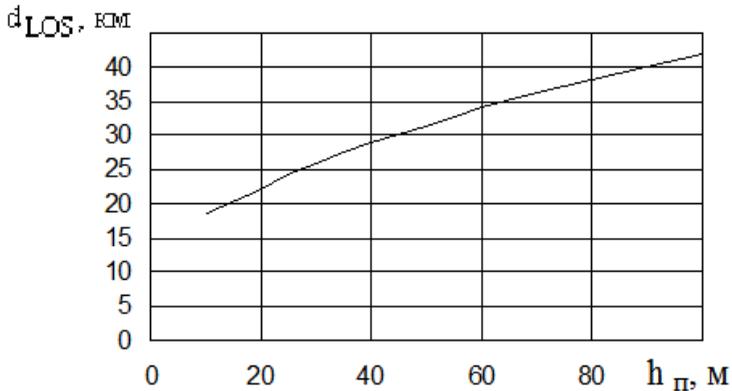


Рис. 1. Зависимость расстояния прямой видимости от высоты передающей антенны при $h_{np} = 3$ м

В свободном пространстве потери мощности сигнала (ослабление радиоволны) зависят только от протяженности трассы распространения r и длины волны λ ($\lambda = c/f$, $c = 3 \cdot 10^8$ м/с, f – частота радиоволны) [5]:

$$L_0(r, f) = (4\pi r / \lambda)^n \Big|_{n=2} = (4\pi r / \lambda)^2 = (4\pi r f / c)^2. \quad (2)$$

Параметр $L_0(r, f)$ называют *множителем ослабления свободного пространства*, для которого *показатель затухания* $n = 2$, поскольку в свободном пространстве для всенаправленных (изотропных) передающей и приемной антенн с единичными коэффициентами усиления принятая мощность (P_R) меньше переданной мощности (P_T) в L_0 раз:

$$P_R = P_T / L_0(r, f). \quad (3)$$

Выраженное в децибелах ослабление свободного пространства:

$$L_0(r, f)[\text{дБ}] = 10 \lg(4\pi r f / c)^2 = 20 \lg(4\pi r f / c). \quad (4)$$

В случае использования настроенных и согласованных передающей и приемной антенн мощность сигнала на входе приемника (часто вместо термина «*мощность радиосигнала на входе приемника*» используют термин: «*мощность радиосигнала в антенне приемника*») при условии распространения радиоволны в свободном пространстве:

$$P_{c \text{ ex}} = P_n + G_n + G_{np} - [L_0(r, f) + \eta_n], \quad (5)$$

где $P_n = 10 \lg(P_n [Bm] / 1Bm)$ – мощность передатчика [дБВт];

G_n, G_{np} – коэффициенты усиления передающей и приемной антенн соответственно [дБ];

η_n – потери в фидере передающей антенны [дБ] ($\eta_n = 10 \lg(1/k_{\phi n})$), $k_{\phi n}$ – коэффициент передачи по мощности фидера передатчика).

В городских условиях из-за наличия строений распространение радиоволн происходит, как правило, при отсутствии прямой видимости (NLOS – Non Line Of Sight) между антеннами БС и МС. При этом ослабление радиосигнала с увеличением расстояния возрастает значительно быстрее (показатель затухания $n > 2$), чем при распространении в свободном пространстве (где показатель затухания $n = 2$).

Повышенное ослабление сигнала в городе вызвано в основном *отражением и рассеянием* энергии радиоволны на крупных строениях. Отражение радиоволны от препятствия происходит, если размеры препятствия много больше длины волны. При этом часть мощности радиоволны может поглощаться препятствием. Если же размеры препятствия порядка длины волны или меньше, имеет место эффект рассеяния – поступающая на край препятствия радиоволна разделяется на множество радиоволн, при этом разделяется и мощность радиоволны. Эффект рассеяния, однако, является и полезным – он позволяет огибать радиоволнам края резких препятствий. Например, радиоволны диапазонов VHF и UHF огибают края оконных проемов железобетонных зданий и распространяются внутри зданий.

Отраженные сигналы, приходящие в точку приема, называют эхосигналами. Интерференция (взаимодействие) основного («прямого») сигнала и эхо-сигналов, имеющих случайные и различные уровни, различные времена задержки и различные фазы, приводит как к изме-

нению уровня результирующего сигнала в точке приема. При неподвижной МС интенсивность принимаемого сигнала практически не меняется. При движении МС результирующий сигнал может быть как выше среднего уровня – примерно на 10дБ , так и заметно ниже – до -40дБ (рис. 2).

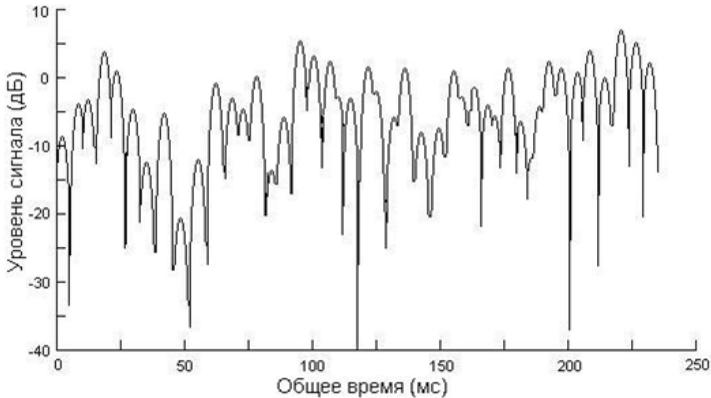


Рис. 2. Зависимость уровня сигнала, принимаемого МС стандарта GSM на частоте 900МГц при движении со скоростью 100км/ч

Период флуктуаций во времени зависит от длины принимаемой радиоволны и от скорости перемещения мобильной станции (МС). При передвижении МС периодичность изменений уровня сигнала в пространстве составляет $(0,5\dots 3)\lambda$. Если, например, скорость передвижения МС 100км/ч , а частота несущей 900МГц ($\lambda \approx 33\text{см}$), то период изменений $T_{\text{изм}} = (0,5\dots 3)\lambda / V \approx (6\dots 36)\text{мс}$.

Изменение уровня результирующего сигнала «в точке приема» из-за многолучевого распространения радиоволн называют *быстрыми релеевскими замираниями*, поскольку они описываются *релеевским законом распределения*.

Медленные замирания обусловлены эффектом тени (эффектом рассеяния), который вызывается различными препятствиями (зданиями, холмами и горами, лесными массивами и пр.), нарушающими LOS между БС и МС. Глубина медленных замираний в городских условиях около 10дБ (в сельской местности около 6дБ), а их периодичность от размеров препятствия и соответствует перемещению МС на десятки метров. Медленные замирания представляет собой изменение

среднего уровня сигнала при перемещении МС (см. рис. 2), на которые накладываются быстрые замирания вследствие многолучевости. Медленные замирания подчиняются *логарифмически-нормальному закону распределения*.

Выбор энергетических параметров аппаратуры в системах подвижной радиосвязи должен обеспечивать уверенный прием в зоне обслуживания БС. В точках приема на границе соты уровни сигнала различны вследствие неодинакового влияния застройки и рельефа местности. Для расчета влияния рельефа местности применяют два основных метода: *детерминированный и статистический*.

Используя детерминированный метод, рассчитывают множитель ослабления трассы распространения по конкретному профилю пролета. Такой метод применим для линий связи по схеме «от точки к точке», например в радиорелейных линиях, где местоположения передающей и приемной антенн не меняется.

В системах подвижной связи используют статистический метод, при котором параметры рельефа (высота препятствий, их форма, взаимное расположение, наклон местности и пр.) считаются случайными величинами. При этом для расчета энергетических параметров аппаратуры вводится понятие *усредненной медианной мощности сигнала (УММС)*.

УММС – это усредненное значение мощности сигнала в антенне приемника в течение 50% времени наблюдения в 50% точек приема, находящихся на расстоянии r от передающей станции:

$$P_{Am}(r, T = 50\%, L = 50\%) = P_{Am}(r, 50, 50) = P_{Am}. \quad (6)$$

1.2 Модель Окамуры по предсказанию уровня принимаемого сигнала на длинных трассах

Модель Окамуры по предсказанию уровня сигнала в пределах соты основана на экспериментальных результатах, полученных при следующих условиях: высота повеса антенны БС над средним уровнем *квазигладкой местности (трассы)* 200 м, высота антенны МС 3 м, расстояние между БС и МС $r = (1...100) км$ (длинные трассы), диапазон частот ((100...3000) МГц). Трасса, на которой средняя высота неровностей не превышает 20 м, определена в модели Окамуры как «*квазигладкая*» [1].

По модели Окамуры сначала определяется УММС в антенне приемника (на входе приемника), находящегося на расстоянии 1 км от БС, при распространении радиоволны над квазигладкой местностью:

$$P_{Am}(1 \text{ км}, f) = P_{c_{ex}}(1 \text{ км}, f) - a_m(1 \text{ км}, f), \quad (7)$$

где

$$P_{c_{ex}}(1 \text{ км}, f) = P_{BC} + G_{BC} + G_{MC} - [L_0(1 \text{ км}, f) + \eta_{BC}] \quad (8)$$

(определяется по формуле (5) для $r = 1 \text{ км}$ при условии распространения радиоволны в свободном пространстве);

$a_m(1 \text{ км}, f)$ – медианное значение дополнительного ослабления сигнала на расстоянии 1 км от БС для квазигладкой местности при высоте антенны БС 200 м и высоте антенны МС 3 м (рис. 3).

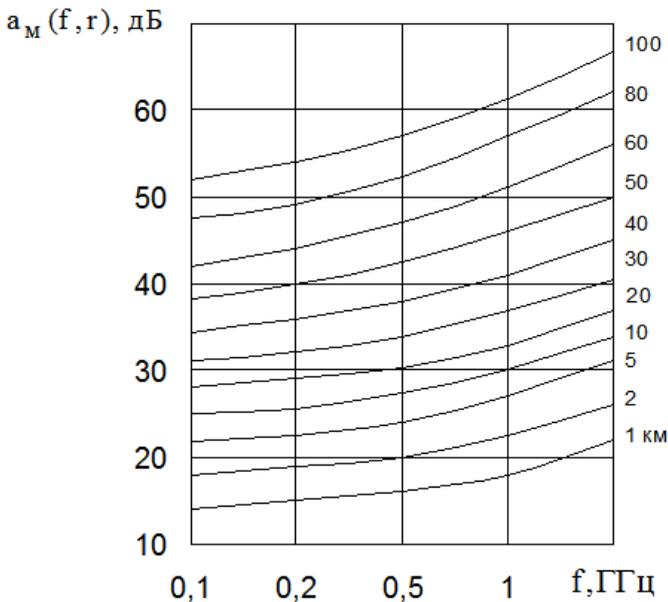


Рис. 3. Медианное значение дополнительного ослабления сигнала для квазигладкого городского района при $h_{BC} = 200 \text{ м}$ и $h_{MC} = 3 \text{ м}$

После расчета $P_{Am}(1 \text{ км}, f)$ рассчитывается УММС в антенне приемника для $r \geq 1 \text{ км}$:

$$P_{Am}(r, f) = P_{Am}(1 \text{ км}, f) - 10 \lg(r/1 \text{ км})^n + H_1(h_{BC}, r) + H_2(h_{MC}, f), \quad (9)$$

где n – показатель затухания для квазигладкой городской застрой-

ки, который зависит от высоты антенны БС и протяженности трассы (рис. 4, из приведенных на рисунке зависимостей следует, что в условиях города показатель затухания резко возрастает при $r > 15 - 20$ км);

$H_1(h_{BC}, r)$ – коэффициент «высота-усиление антенны БС», учитывающий, что высота антенны БС может отличаться от значения 200 м, причем при $20 м \leq h_{BC} \leq 1000 м$:

$$H_1(h_{BC}, r) = 20 \lg(h_{BC} / 200 м), \text{ если } 1 км \leq r \leq 10 км, \quad (10)$$

$$H_1(h_{BC}, r) = \left(20 + \frac{r[\text{км}] - 10}{3} \right) \lg(h_{BC} / 200 м), \text{ если } 10 км < r \leq 100 км; \quad (11)$$

$H_2(h_{MC}, f)$ – коэффициент «высота-усиление антенны МС», учитывающий, что высота антенны МС может отличаться от значения 3 м:

$$H_2(h_{MC}) = 10 \lg(h_{MC} / 3 м), \text{ если } 1 м \leq h_{MC} < 3 м, \quad (12)$$

$$H_2(h_{MC}, f) = \left(20 + \frac{f[\text{МГц}] - 400}{160} \right) \lg(h_{MC} / 3 м), \text{ если } 3 м \leq h_{MC} \leq 10 м. \quad (13)$$

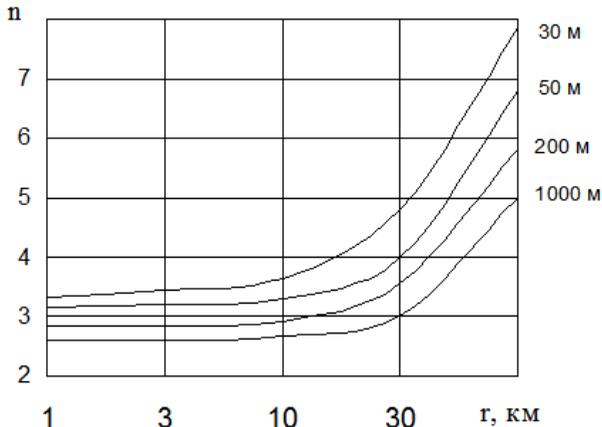


Рис. 4. Ориентировочные зависимости показателя затухания от протяженности трассы при различных высотах антенны БС для квазигладкого городского района

Формулы (8) - (13) аппроксимируют экспериментально измеренные Окамурой зависимости $H_1(h_{BC}, r)$ и $H_2(h_{MC}, f)$.

На практике величина n определяется экспериментально.

Для местности, которая не относится к квазигладкой, модель Окамуры предусматривает введение поправочных коэффициентов в (9):

$$P_{Mz}(r, f) = P_M(r, f) + K_{z_{откр}} + K_{z_{накл}} + K_{z_{водн}} + K_{z_{холм}}, \quad (14)$$

где $K_{z_{откр}}$ – поправочный коэффициент для пригородной зоны или для открытой трассы;

$K_{z_{накл}}$ – поправочный коэффициент для трассы с наклоном;

$K_{z_{водн}}$ – поправочный коэффициент для трассы земля - вода;

$K_{z_{холм}}$ – поправочный коэффициент для холмистой (горной) местности.

В пригородной зоне потери сигнала при распространении меньше, чем в городе, поскольку в ней меньше строений и они ниже по высоте; еще меньше потери на открытой местности. Эти потери уменьшаются с ростом частоты и могут быть найдены из зависимостей рис. 5.

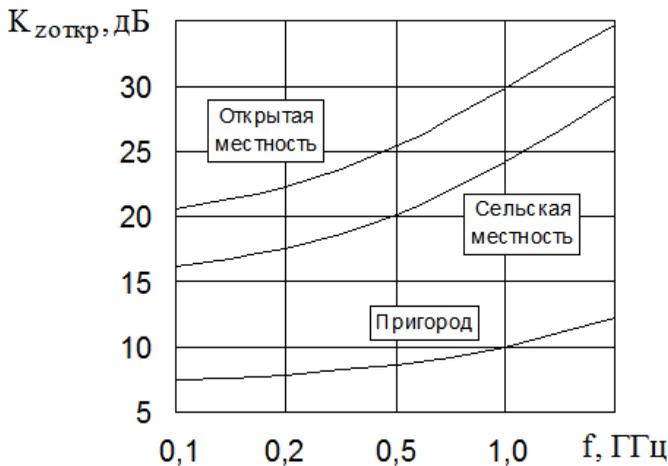


Рис. 5. Зависимости поправочных коэффициентов от частоты для различных трасс

Трассы с наклоном – это трассы с понижающимся или с повышающимся наклоном протяженностью 5 км и более. Для них определяется средний угол наклона φ_{cp} , причем φ_{cp} – отрицательный, если МС находится на нижнем участке трассы, и φ_{cp} – положительный,

если МС находится на верхнем участке трассы. Зависимости $K_{z_{накл}}$ от $\varphi_{сп}$ представлены на рис. 6.

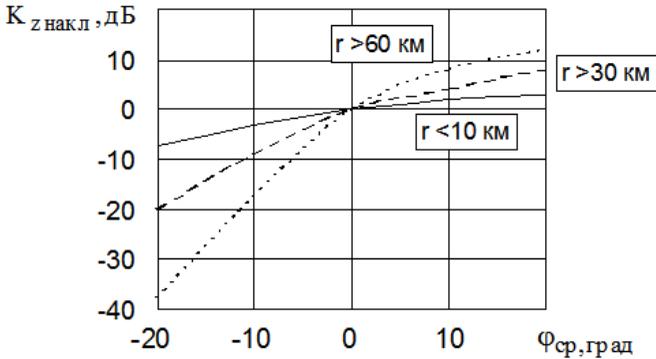


Рис. 6. Поправочные коэффициенты на трассах с наклоном

Ослабление сигнала уменьшается, если трасса распространения имеет водную поверхность (рис. 7). Коэффициент $K_{z_{водн}}$ зависит от отношения

$$b = r_г / r,$$

где $r_г$ — протяженность трассы над водой;
 r — общая протяженность трассы.

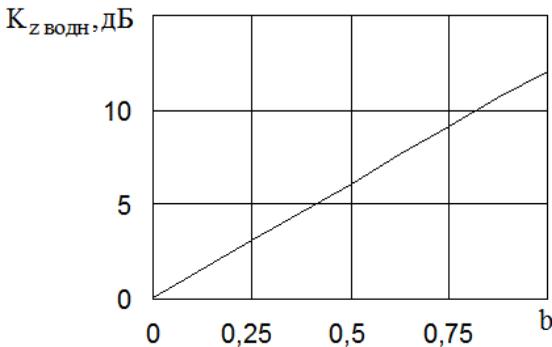


Рис. 7. Поправочный коэффициент для трассы с водной поверхностью

При расчете ослабления сигнала при распространении над холмистой (горной) местностью величина дополнительного ослабления (по сравнению с квазигладкой местностью) зависит от средней высоты неровностей

$$\Delta h = h(10\%) - h(90\%), \quad (15)$$

где $h(10\%)$, $h(90\%)$ – значения высот местности на трассе протяженностью около 10 км, превышаемые в 10% и 90% точек профиля соответственно (рис. 8).

Зависимости $K_{z \text{ холм}}$ от Δh представлены на рис. 9.

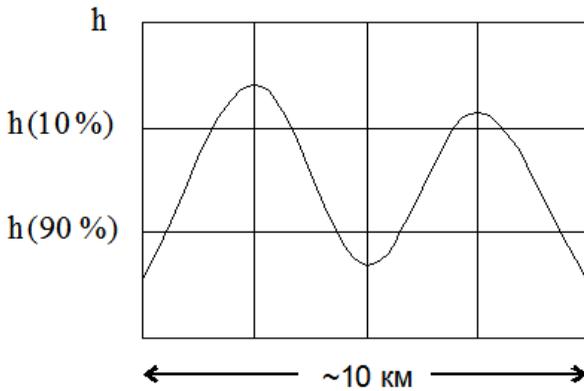


Рис. 8. Оценка холмистой (горной) поверхности

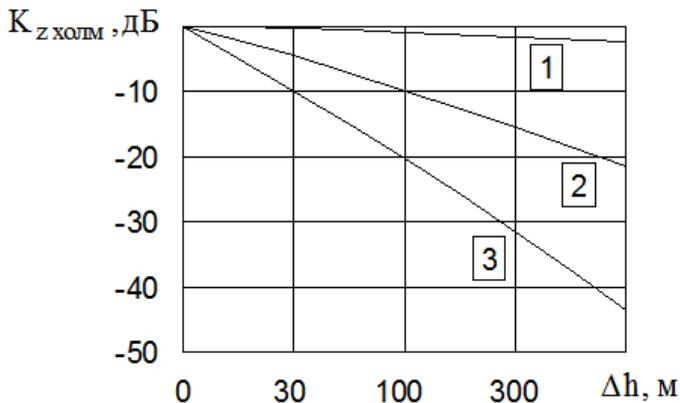


Рис. 9. Поправочный коэффициент для холмистой (горной) трассы.

Местонахождение МС: 1 – у вершины холма;

2 – промежуточное положение; 3 – у основания холма

1.3 Модель Окамуры-Хата

Хата обобщил результаты многочисленных экспериментальных измерений Окамуры и получил эмпирические формулы для расчета средних потерь сигнала $L_p(r, f, h_{BC}, h_{MC})$ при распространении радиоволны [1,6].

УММС на входе приемника МС с учетом значения L_p :

$$P_{\text{м}}(r, f, h_{BC}, h_{MC}) = P_{BC} + G_{BC} + G_{MC} - [L_p(r, f, h_{BC}, h_{MC}) + \eta_{BC}]. \quad (16)$$

Результаты расчета по модели Хата совпадают с результатами Окамуры с точностью до 1дБ в пределах так называемой «основной области», которая характеризуется диапазоном частот (150...1500) МГц, протяженностью трассы (1...20) км, высотой антенны БС (30...200) м, высотой антенны МС (1...10) м.

В приведенных ниже формулах: L_p [дБ]; r [км]; f [МГц]; h_{BC} [м]; h_{MC} [м].

$$L_p = 70,65 - 13,82 \lg(h_{BC}) + 26,16 \lg(f) - 8,29 [\lg(1,54 h_{MC})]^2 + \\ + [44,9 - 6,55 \lg(h_{BC})] \lg(r) \quad (17)$$

– при $200 \text{ МГц} \leq f \leq 400 \text{ МГц}$ для «большого» города («большой город» характеризуется плотной застройкой зданиями, не менее 50% которых имеют 5 этажей и более, а некоторые можно отнести к «небоскрегам»);

$$L_p = 74,52 - 13,82 \lg(h_{BC}) + 26,16 \lg(f) - 3,2 [\lg(11,75 h_{MC})]^2 + \\ + [44,9 - 6,55 \lg(h_{BC})] \lg(r) \quad (18)$$

– при $400 \text{ МГц} \leq f \leq 1500 \text{ МГц}$ для «большого» города;

$$L_p = 68,75 - 13,82 \lg(h_{BC}) + 27,72 \lg(f) - [1,11 \lg(f) - 0,7] h_{MC} + \\ + [44,9 - 6,55 \lg(h_{BC})] \lg(r) \quad (19)$$

– для «среднего и малого города» («средний и малый город» характеризуется плотной застройкой зданиями, более 50% которых имеют 4-5 этажей);

$$L_p = 63,35 - 13,82 \lg(h_{BC}) + 27,72 \lg(f) - 2 [\lg(f / 28)]^2 - \\ - [1,1 \lg(f) - 0,7] h_{MC} + [44,9 - 6,55 \lg(h_{BC})] \lg(r) \quad (20)$$

– для «пригорода» («пригород» – крупный населенный пункт с низкой плотностью застройки жилых домов и хозяйственных построек высо-

той 3-4 этажа);

$$L_p = 32,81 - 13,82 \lg(h_{BC}) + 46,05 \lg(f) - 4,78 [\lg(f)]^2 - \\ - [1,1 \lg(f) - 0,7] h_{MC} + [44,9 - 6,55 \lg(h_{BC})] \lg(r) \quad (21)$$

– для «сельской местности» («сельская местность» характеризуется наличием открытых участков длиной не менее 300 м, чередующихся с 1-2 этажными домами);

$$L_p = 27,81 - 13,82 \lg(h_{BC}) + 46,05 \lg(f) - 4,78 [\lg(f)]^2 - \\ - [1,1 \lg(f) - 0,7] h_{MC} + [44,9 - 6,55 \lg(h_{BC})] \lg(r) \quad (22)$$

– для «открытой местности» («открытая местность» – открытые участки местности с возможным наличием отдельно стоящих деревьев).

С несколько большей погрешностью приведенную модель Хата можно использовать для «расширенной области», которая характеризуется диапазоном частот (150...1500) МГц, протяженностью трассы (1...80) км, высотой антенны БС (30...400) м, высотой антенны МС (1...10) м.

1.4 Модель COST 231–Хата

Появление сотовых систем мобильной связи, работающих на частотах около 2 ГГц, стимулировало появление модели COST 231–Хата, которая применяется в диапазоне (1500...2000) МГц при протяженности трассы (1...20) км, высоте антенны БС (30...200) м, высоте антенны МС (1...10) м [6]:

$$L_p = 48,5 - 13,82 \lg(h_{BC}) + 35,41 \lg(f) - [1,1 \lg(f) - 0,7] h_{MC} + \\ + [44,9 - 6,55 \lg(h_{BC})] \lg(r) \quad (23)$$

– для центра столичного города;

$$L_p = 45,5 - 13,82 \lg(h_{BC}) + 35,41 \lg(f) - [1,1 \lg(f) - 0,7] h_{MC} + \\ + [44,9 - 6,55 \lg(h_{BC})] \lg(r) \quad (24)$$

– для среднего города и пригородного центра с умеренной плотностью посадки деревьев;

$$L_p = 9,56 - 13,82 \lg(h_{BC}) + 53,73 \lg(f) - [1,1 \lg(f) - 0,7] h_{MC} - \\ - 4,78 [\lg(f)]^2 + [44,9 - 6,55 \lg(h_{BC})] \lg(r) \quad (25)$$

– для сельской местности;

$$L_p = 4,56 - 13,82 \lg(h_{BC}) + 53,73 \lg(f) - [1,1 \lg(f) - 0,7] h_{MC} - \\ - 4,78 [\lg(f)]^2 + [44,9 - 6,55 \lg(h_{BC})] \lg(r) \quad (26)$$

– для открытой местности.

Модели Хата не учитывают характера местности (наклон трассы, трасса земля-вода, трасса с холмами и горами). Однако этот учет может быть проведен с использованием результатов Окамуры (с использованием зависимостей, приведенных на рис. 6-9).

Заметим, что формулы (17)-(26) могут быть представлены в виде:

$$L_p = A + B \lg(r). \quad (27)$$

Из (27) следует, что радиус зоны обслуживания БС может быть выражен следующим образом:

$$r = 10^{(L_p - A)/B}. \quad (28)$$

1.5 Особенности коротких трасс

В горизонтальной плоскости антенны БС имеют либо круговую диаграмму направленности, либо секторную. В вертикальной плоскости для получения наибольшего коэффициента усиления у антенны БС формируется узкая диаграмма направленности.

В моделях Окамуры и Хата наименьшая длина трассы выбрана равной 1 км. Это обусловлено тем, что на более коротких трассах возможно попадание МС в зону тени из-за особенностей диаграммы направленности антенны БС в вертикальной плоскости, характеризующейся углом θ (рис. 10).

Из построений, изображенных на рисунке, видно, что $\theta = \beta$, где β – угол места для антенны МС. По мере приближения МС к БС, β увеличивается и, следовательно, увеличивается ослабление сигнала, принимаемого антенной МС.

Для нахождения ослабления сигнала за счет диаграммы направленности, необходимо знать форму диаграммы направленности антенны БС в вертикальной плоскости $\alpha(\theta)$ и угол места β .

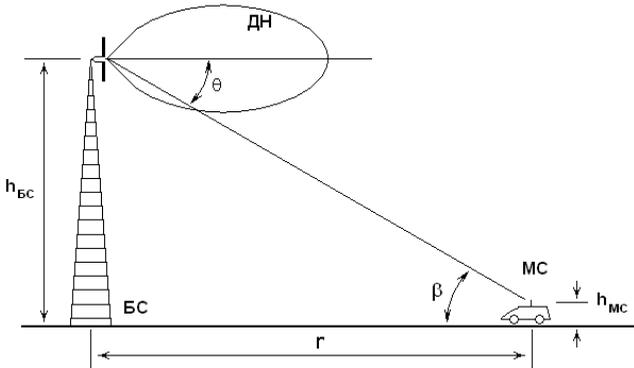


Рис. 10. К пояснению ослабления сигнала при малых углах места (при коротких трассах)

Например, для простого симметричного вертикального волнового вибратора (длина вибратора $l = \lambda$) с коэффициентом усиления 6 дБ диаграмма направленности $\alpha(\theta)$ по напряженности излучаемого поля определяется формулой [7]:

$$\alpha(\theta) = \frac{1 + \cos[\pi \sin(\theta)]}{\cos(\theta)}. \quad (29)$$

Используя (29), нетрудно показать, что ширина диаграммы направленности волнового вибратора по уровню половинной мощности $\Delta\theta_{0,5} = 2\theta_{0,5} = 48^\circ$. Следовательно уровень излучаемой им мощности уменьшается в 2 раза при $\beta = 24^\circ$.

Величину β можно определить, зная высоту антенны БС, высоту антенны МС и дальность между БС и МС (см. рис. 10):

$$\beta = \arctg[(h_{БС} - h_{МС}) / r]. \quad (30)$$

2 ЗАДАЧИ

2.1 С использованием модели Окамуры рассчитать усредненную медианную мощность сигнала (УММС) в антенне мобильной станции (МС) от базовой станции (БС) системы сотовой телефонии NMT на расстояниях 1 км, 3 км, 5 км, 10 км; 20 км; 30 км для квазигладкого городского района, если: высота антенны БС $h_{BC} = 50 м$; высота антенны мобильной станции (МС) $h_{MC} = 1,5 м$; мощность передатчика БС $P_{BC} = 4 Вт$; коэффициенты усиления антенн БС и МС $G_{BC} = 6 дБ$, $G_{MC} = 0 дБ$; потери в фидере БС $\eta_{BC} = 1 дБ$; частота передаваемого сигнала $f = 460 МГц$.

Ответы: -105,7; -121,0; -128,1; -138,7; -153,3; -168,8 [дБВт].

2.2 С использованием модели Окамуры-Хата рассчитать усредненную медианную мощность сигнала (УММС) в антенне мобильной станции (МС) от базовой станции (БС) системы сотовой телефонии NMT на расстояниях 1 км, 3 км, 5 км, 10 км; 20 км; 30 км для «среднего» города, если: высота антенны БС $h_{BC} = 50 м$; высота антенны мобильной станции (МС) $h_{MC} = 1,5 м$; мощность передатчика БС $P_{BC} = 4 Вт$; коэффициенты усиления антенн БС и МС $G_{BC} = 6 дБ$, $G_{MC} = 0 дБ$; потери в фидере БС $\eta_{BC} = 1 дБ$; частота передаваемого сигнала $f = 460 МГц$.

Ответы: -104,7; -120,8; -128,3; -138,5; -148,6; -154,6 [дБВт].

2.3 С использованием модели Окамуры рассчитать усредненную медианную мощность сигнала (УММС) в антенне мобильной станции (МС) от базовой станции (БС) системы сотовой телефонии GSM на расстояниях 1 км, 3 км, 5 км, 10 км; 20 км; 30 км для квазигладкого городского района, если: высота антенны БС $h_{BC} = 50 м$; высота антенны мобильной станции (МС) $h_{MC} = 1,5 м$; мощность передатчика БС $P_{BC} = 4 Вт$; коэффициенты усиления антенн БС и МС $G_{BC} = 6 дБ$, $G_{MC} = 0 дБ$; потери в фидере БС $\eta_{BC} = 1 дБ$; частота передаваемого сигнала $f = 900 МГц$.

Ответы: -113,5; -128,8; -135,9; -146,5; -161,1; -176,6 [дБВт].

2.4 С использованием модели Окамуры-Хата рассчитать усредненную медианную мощность сигнала (УММС) в антенне мобильной станции (МС) от базовой станции (БС) системы сотовой телефонии GSM на расстояниях 1 км , 3 км , 5 км , 10 км ; 20 км ; 30 км для «среднего» города, если: высота антенны БС $h_{\text{БС}} = 50\text{ м}$; высота антенны мобильной станции (МС) $h_{\text{МС}} = 1,5\text{ м}$; мощность передатчика БС $P_{\text{БС}} = 4\text{ Вт}$; коэффициенты усиления антенн БС и МС $G_{\text{БС}} = 6\text{ дБ}$, $G_{\text{МС}} = 0\text{ дБ}$; потери в фидере БС $\eta_{\text{БС}} = 1\text{ дБ}$; частота передаваемого сигнала $f = 900\text{ МГц}$.

Ответы: $-112,3$; $-128,4$; $-135,9$; $-146,1$; $156,2$; $162,2$ [дБВт].

2.5 С использованием модели COST 231-Хата найти дальность обслуживания базовой станцией (БС) мобильных станций (МС), находящихся на борту морского судна, если: БС находится на берегу моря; $h_{\text{БС}} = 50\text{ м}$; дальность связи на открытой местности в сторону суши 5 км ; сотовая связь организована в диапазоне 1800 МГц .

Ответ: $11,75\text{ км}$.

2.6 Определить, во сколько раз нужно увеличить мощность базовой станции (БС) стандарта GSM-900, находящейся в «среднем» городе на холмах, где средняя высота неровностей $\Delta h = 30\text{ м}$, чтобы радиус зоны обслуживания БС (r) был примерно такой же, как и в «среднем» квазигладком городе (считать, что для «среднего» квазигладкого города радиус зоны обслуживания БС $r \approx 10\text{ км}$).

Ответ: приблизительно в 10 раз.

2.7 Базовая станция (БС) стандарта NMT-900 находится на верхней части холма, имеющего конусную форму, и обслуживает «средний» квазигладкий город, расположенный на склоне холма. Средний угол склона $\varphi_{\text{cp}} = 10^\circ$, длина около 10 км . Определить, во сколько раз нужно изменить мощность БС, чтобы радиус ее зоны обслуживания был примерно такой же для «среднего» квазигладкого города, расположенного на ровной местности.

Ответ: уменьшить приблизительно в 2,2 раза.

2.8 Вертикальный волновой вибратор с коэффициентом усиления 6 дБ базовой станции (БС) стандарта GSM-1800 имеет высоту подвеса 200 м . Рассчитать, во сколько раз изменится мощность сигнала в антенне мобильной станции (МС), высота которой $1,5 \text{ м}$, при приближении МС к БС с расстояния 500 м до 10 м на открытой местности.

Ответ: уменьшится на $70,1 \text{ дБ}$.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Маковеева М.М., Шинаков Ю.С. Системы связи с подвижными объектами: Учебн. пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 2002. – 440 с.
2. Системы мобильной связи: Учебное пособие для вузов / В.П. Ипатов, В.К. Орлов, И.М. Самойлов, В.Н. Смирнов; под ред. В.П. Ипатова – М.: Горячая линия – Телеком, 2003. – 272 с.
3. Цифровые и аналоговые системы передачи: Учебник для вузов. / В.И. Иванов, В.Н. Гордиенко, Г.Н. Попов и др.; под ред. В.И. Иванова. – М.: Горячая линия – Телеком, 2003. – 232 с.
4. Попов В.И. Основы сотовой связи стандарта GSM. – М.: Эко-Трендз, 2005. – 296 с.
5. Феер К. Беспроводная связь. Методы модуляции и расширения спектра: Пер. с англ. / Под ред. В.И. Журавлева. -М.: Радио и связь, 2000. – 520 с.
6. Милютин Е.Р., Василенко Г.О., Сиверс М.А., Волков А.Н., Певцов Н.В. Методы расчета поля в системах связи дециметрового диапазона. – СПб.: Триада, 2003. – 159 с.
7. Беньковский З., Липинский Э. Любительские антенны коротких и ультракоротких волн: Пер. с польск. / Под ред. О.П. Фролова. – М.: Радио и связь, 1983. – 480 с.