

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования**

**«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ
СООБЩЕНИЯ ИМПЕРАТОРА НИКОЛАЯ II»**

Кафедра: «Железнодорожная автоматика, телемеханика и связь»
(название кафедры)

Авторы: Кнышев И. П., д.тех.н., профессор
(ф.и.о., ученая степень, ученое звание)

**Методические указания и задания
к курсовой работе по дисциплине
«Системы связи с подвижными объектами»**

(название дисциплины)

Направление/специальность: 23.05.05 (190901.65) Системы обеспечения
движения поездов

Профиль/специализация: «Телекоммуникационные системы и сети
железнодорожного транспорта» (СТ)

Квалификация (степень) выпускника: инженер путей сообщения

Москва 2016 г.

Курсовая работа «Расчет параметров системы связи стандарта GSM-R» по дисциплине «Системы связи с подвижными объектами» включает два раздела:

- 1) расчет абонентской нагрузки в соте системы связи стандарта GSM-R;
- 2) сравнительный расчет зон покрытия по трем моделям распространения радиоволн.

В первом разделе рассчитывается абонентская нагрузка, а также определяются форма зоны покрытия (соты), содержащая одну (при круговой диаграмме направленности антенной системы) или несколько – $M_{\text{БС}}$ (при использовании секторных антенн) базовых станций (БС).

Во втором разделе рассчитывается зона покрытия сети подвижной связи по трем моделям распространения радиоволн.

1. Расчет абонентской нагрузки в зоне (соте)

При расчете абонентской нагрузки A и, следовательно, емкости соты используется модель Эрланга для систем с отказами. В этом случае вероятность отказа в обслуживании (вероятность поступления вызова в момент занятости всех каналов) вычисляется как:

$$p_n = \frac{\frac{A^n}{n!}}{\sum_{i=0}^n \frac{A^i}{i!}}, \quad (1.1)$$

где A – нагрузка в соте; n – общее число каналов системы связи БС соты.

Так, например, при среднем числе вызовов $m_{\text{ср}} = 8$ вызовов в минуту и средней длительностью разговора $t_{\text{ср}} = 0,75$ мин получим $A = m_{\text{ср}} t_{\text{ср}} = 6$ Эрл. Зависимость вероятности отказа в обслуживании p_n от числа каналов n при нагрузке $A = 6$ Эрл приведена на рис. 1.1. При допустимой вероятности отказа $p_{\text{доп}} \leq 0,01$ число каналов в соте должно быть $n_c \geq 13$.

Аналитически выразить из (1.1) значение n при заданной величине $p_{\text{доп}}$ не представляется возможным, однако, используя формулу Стирлинга, можно получить приближенный вариант уравнения (1.1):

$$p_n \cong \exp \left\{ -A \left[1 - \exp \left(\frac{-n \ln(1.7811A)}{A - 0.5} \right) \right] \right\} \left(\frac{Ae}{n} \right)^n (2\pi n)^{-0.5}$$

Графики зависимости между числом каналов n и величиной поступающей нагрузки A , при допустимой вероятности отказа в обслуживании p_n приведены на рис. 1.2.

Очевидно, что для снижения количества отказов в обслуживании и, тем самым, улучшения качества обслуживания, количество каналов в каждой соте

необходимо брать с запасом. Но это удорожает систему и приводит к дефициту радиочастотного ресурса.

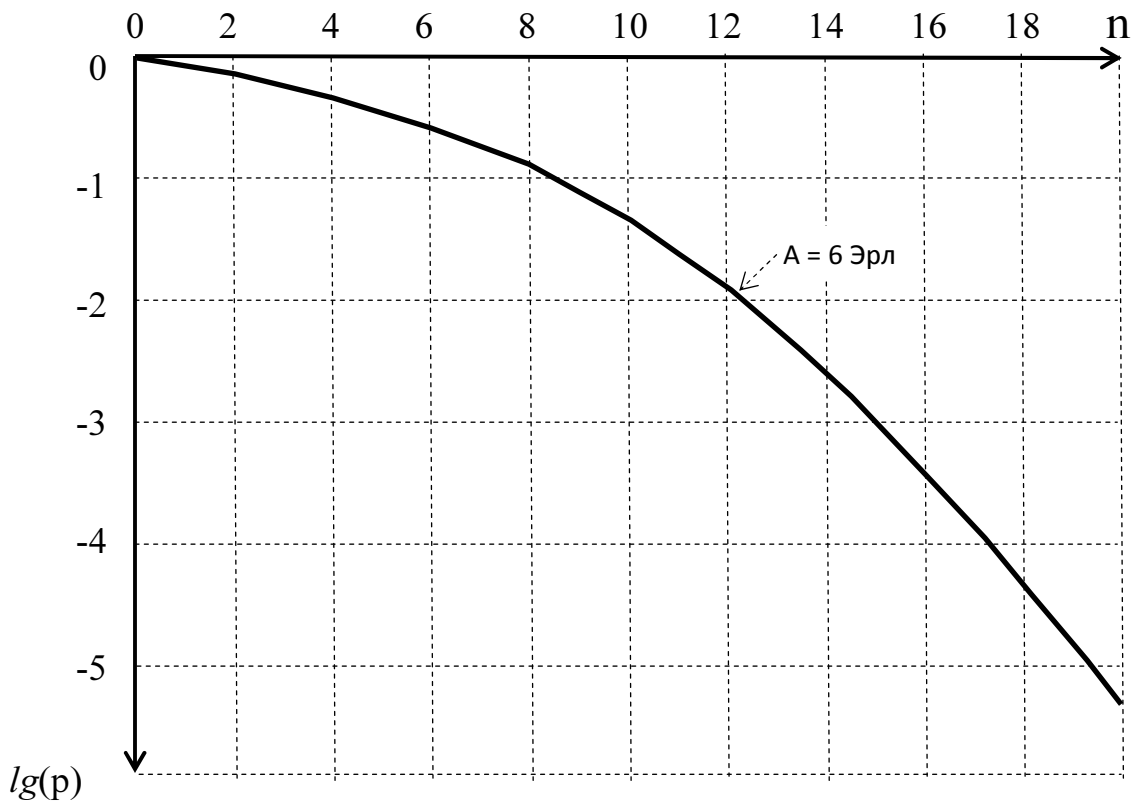


Рис. 1.1. Вероятность отказа в обслуживании абонента

Требуемое число каналов в соте n_c задает необходимое число несущих частот БС, на каждой из которых организовано $N_{\text{лк}}$ логических каналов (временных слотов). Для стандарта GSM (GSM-R) $N_{\text{лк}} = 8$, следовательно, число несущих частот $N_f = \text{ext}[n_c/N_{\text{лк}}]$, где функция $\text{ext}[x]$ – это минимальное целое число, большее или равное x . Тогда, для рассмотренного выше примера, $N_f = \text{ext}[13/8] = 2$. На каждую рабочую частоту необходим свой приемопередатчик, а надежная и качественная работа БС обеспечивается при совместной работе 2 – 3 приемопередатчиков (не более). В этой связи, в сотах с большой нагрузкой используют направленные (секторные) антенны, делящие соту на $m_{\text{сект}}$ секторов, в каждом из которых своя БС (см. рис. 1.3). Количество секторов $m_{\text{сект}}$ определяется шириной диаграммы направленности (ДНД) используемых антенн – $\theta_{\text{ант}}$. В реальных системах используют антенны с $\theta_{\text{ант}} \in \{120^0; 90^0; 60^0\}$ (см. табл. 2.11), для которых $m_{\text{сект}} \in \{3; 4; 6\}$ соответственно. На рис. 1.3 условно показано расположение секторных антенн с $\theta_{\text{ант}} = 60^0$, при которых $m_{\text{сект}} = 6$.

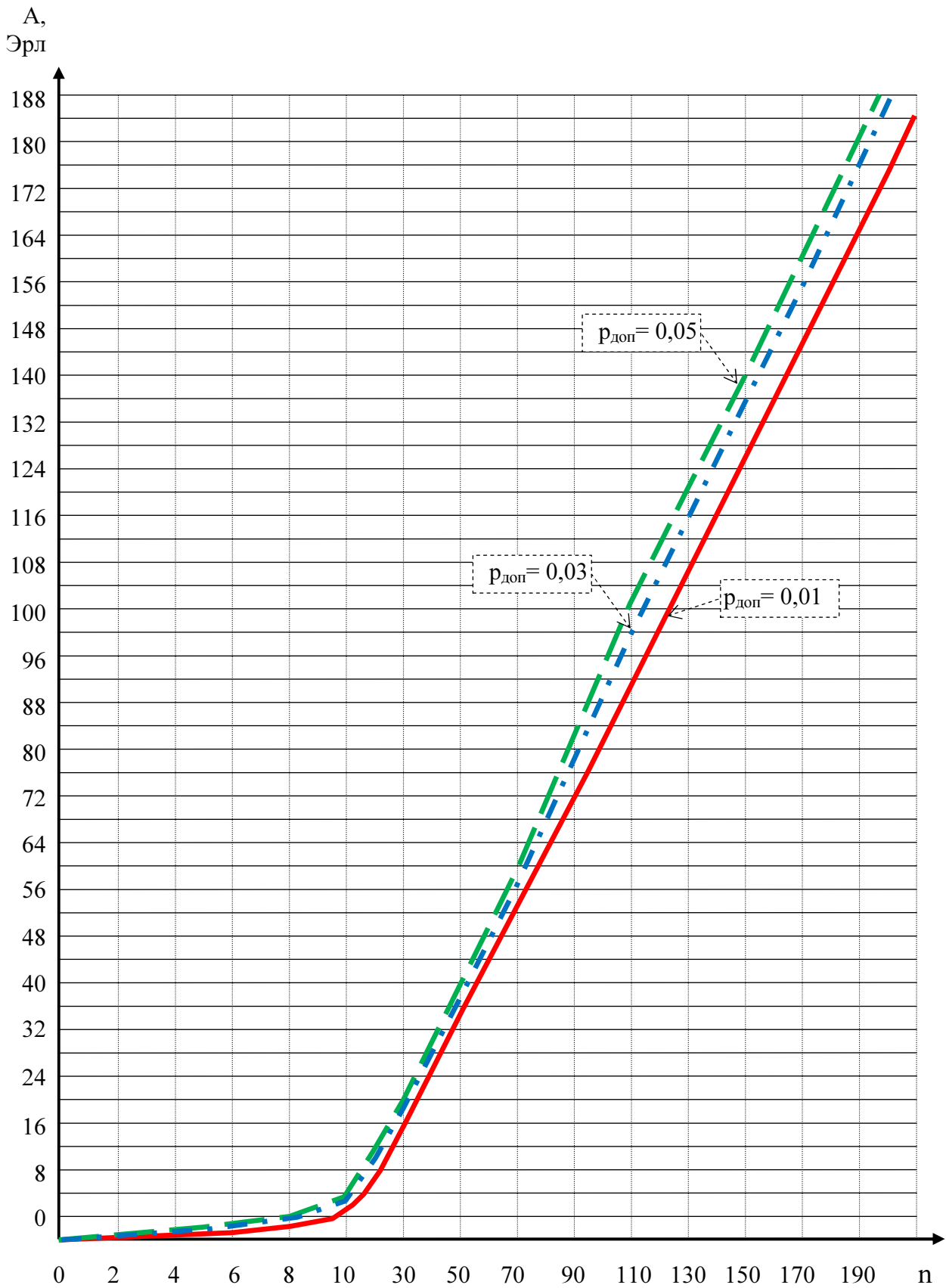


Рис. 1.2. Зависимость величины поступающей нагрузки от числа каналов

Задание к разделу 1.

1. Используя исходные данные, приведенные в табл. 1.1, рассчитать нагрузку A и построить график зависимости вероятности отказа в обслуживании абонента от числа используемых каналов (по образцу рис. 1.1).

2. По допустимой вероятности отказа в обслуживании, заданной в табл. 1.1, определить необходимое число каналов и количество рабочих частот БС. Определить, какие (круговые или секторные) антенны необходимо использовать и количество секторов в сети.

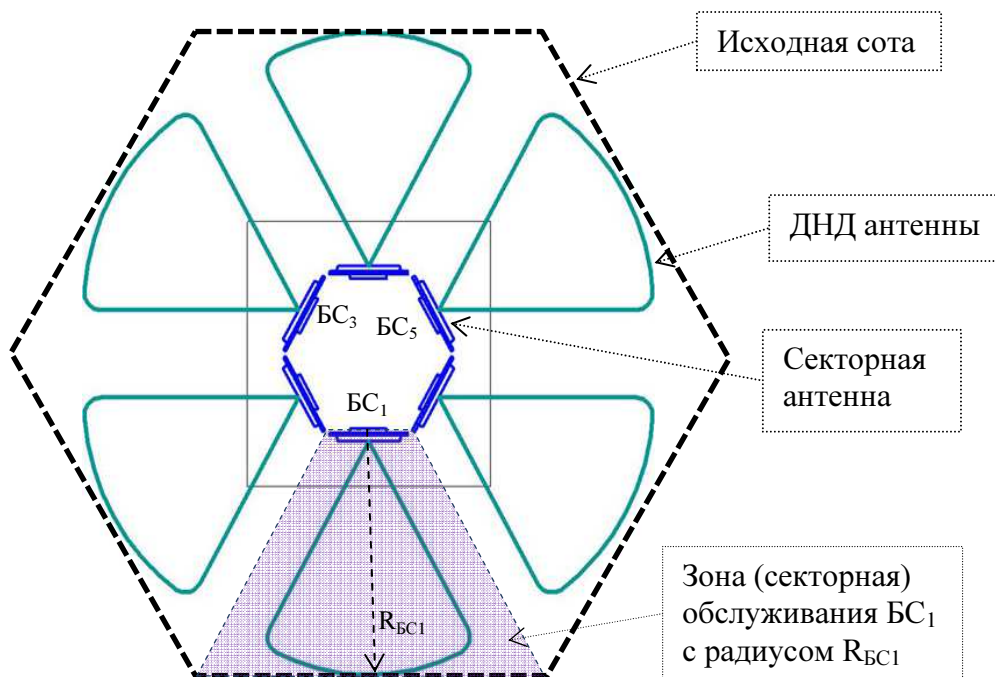


Рис. 1.3. Соты с секторными антеннами и зонами обслуживания БС

Исходные данные к разделу 1.

Таблица 1.1

| Последняя цифра шифра | $m_{ср}$, вызов/мин | Средняя длительность разговора, мин | Пред-последняя цифра шифра | Допустимая вероятность отказа в обслуживании, $p_{доп}$ |
|-----------------------|----------------------|-------------------------------------|----------------------------|---|
| 1 | 2 | 2,0 | 1 | 0,01 |
| 2 | 3 | 1,5 | 2 | 0,009 |
| 3 | 5 | 3,0 | 3 | 0,03 |
| 4 | 7 | 5,0 | 4 | 0,006 |
| 5 | 9 | 4,5 | 5 | 0,04 |
| 6 | 4 | 1,0 | 6 | 0,007 |
| 7 | 6 | 2,5 | 7 | 0,005 |
| 8 | 8 | 4,0 | 8 | 0,008 |
| 9 | 10 | 3,5 | 9 | 0,02 |
| 0 | 13 | 1,0 | 0 | 0,015 |

2. Сравнительный расчет зон покрытия системы связи GSM-R по трем моделям распространения

При проектировании сети подвижной связи зона покрытия определяется мощностью поля, создающего сигнал в антенне, установленной на крыше подвижной единицы (или в терминале подвижного абонента). Требование по минимальному значению уровня сигнала на входе приемника с определенной вероятностью должно выполняться в пределах всей зоны покрытия. Фактическое значение уровня сигнала зависит от флуктуаций, вызываемых естественными условиями распространения.

В системе GSM-R должно обеспечиваться минимальные значения вероятности связи и уровня сигнала на входе приемника, зависящие от характера передаваемых сообщений и требований к качеству (надежности) связи. Эти значения приведены в табл. 2.1.

Существует ряд моделей для прогнозирования уровня радиосигнала в системах подвижной радиосвязи. Очень существенно на уровень сигнала влияет рельеф местности. Известны два основных метода для учета его влияния: детерминированный и статистический. Первый позволяет рассчитать множитель ослабления по конкретному профилю пролета. Он широко используется для энергетических расчетов в линиях связи по схеме «от точки к точке», например в радиорелейных линиях связи. В этом случае медианное значение мощности сигнала в точке приема – это то, которое превышает в течение 50% времени наблюдения (например, месяца).

Таблица 2.1

| Тип системы связи | Вероятность связи в зоне покрытия, % | Уровень мощности радиосигнала, дБмкВ/м (дБм) |
|---|--------------------------------------|--|
| Передача речи и данных, некритичных с точки зрения безопасности | 95 | 38,5 (–98) |
| Передачи данных систем управления движением поездов | | |
| со скоростями ≤ 220 км/ч | 95 | 41,5 (–95) |
| со скоростями > 220 , но ≤ 280 км/ч | 95 | 41,5 (–95) ... 44,5 (–92) |
| со скоростями > 280 , но ≤ 300 км/ч | 95 | 44,5 (–92) |
| со скоростями > 300 км/ч | 95 | 51,5 (–85) |

Примечание: Указанная вероятность покрытия означает, что с вероятностью минимум 95% в каждой точке любого интервала (длина 100 м) измеренный уровень мощности радиосигнала должен быть более или равен значениям, указанным выше. Указанные уровни покрытия учитывают максимальную потерю в 3дБ между антенной и входом приемника и дополнительный запас в 3дБ для прочих факторов, таких как деградация или старение.

В сотовых системах, когда БС должна обеспечить связь на территории соты, часто применяют статистический метод, при котором параметры рельефа (высота препятствий, их форма и взаимное расположение, наклон местности и т.п.) также считаются случайными величинами. Характер рельефа местности в соте оценивают параметрами, усредненными на участках трассы протяженностью 5...10 км.

Выбор энергетических параметров в сотовых системах радиосвязи должен обеспечить уверенный прием в зоне обслуживания БС. В точках приема на границе соты уровни сигнала будут различными вследствие неодинакового влияния застройки и рельефа местности. Поэтому в сотовых системах радиосвязи путем усреднения по двум параметрам: по времени и по местоположению определяют усредненную медианную мощность сигнала (УММС). УММС – это такое значение, которое ожидается в течение 50% времени наблюдения и в 50% точек приема, находящихся на расстоянии r от передающей станции. Рассчитать значения УММС можно тремя способами: по модели Окамуры – Хата, по модели Ли «от зоны к зоне» и по формуле Введенского. За основу возьмем модель Окамуры – Хата. Ее часто применяют при расчете зоны покрытия базовой станции, так как она рекомендована Международным Консультативным Комитетом по Радиосвязи (МККР) и довольно проста в применении.

2.1. Расчет по модели Окамуры – Хата

В модели Хата эмпирические зависимости и экспериментальные данные, полученные Окамурой, представлены в виде аппроксимирующих формул. Уровень УММС представляется как:

$$p_m(r) = P_n + g_1 + g_2 - a_1 - a_2 - a_{Mx}(f, r, h_{BC}, h_{AC}),$$

где P_n – уровень мощности передатчика,

g_1, g_2 – коэффициенты усиления передающей и приемной антенн соответственно,

a_1, a_2 – потери в фидере передающей и приемной антенн соответственно,

$a_{Mx}(f, r, h_{BC}, h_{AC})$ – суммарное ослабление радиосигнала при распространении для модели Хата при статистическом учете параметров местности (a выражено в дБ, r – в км.):

- для города — $a_{Mx}(f, r, h_{BC}, h_{AC}) = A + B \lg(r)$;
- для пригородной зоны — $a_{Mx}(f, r, h_{BC}, h_{AC}) = A + B \lg(r) - C$;
- для открытой местности — $a_{Mx}(f, r, h_{BC}, h_{AC}) = A + B \lg(r) - D_F$.

Здесь аппроксимирующие коэффициенты:

$$A = A(f, h_1, h_2) = 69,55 + 26,16 \lg(f) - 13,82 \cdot \lg(h_{BC}) - \alpha(h_{AC});$$

$$B = B(h_{BC}) = [44,9 - 6,55 \lg(h_{BC})];$$

$$C = C(f) = 2[\lg(f/28)^2] + 5,4;$$

$$D_F = D_F(f) = 4,78[\lg(f)]^2 - 19,33 \lg(f) + 40,94;$$

$\alpha(h_{AC})$ – параметр, учитывающий влияние высоты антенны АС. Для крупных городов этот параметр слабо зависит от частоты, однако используются две аппроксимирующие формулы:

$$\alpha(h_{AC}) = 8,28[\lg(1,5h_{AC})]^2 - 1,1 \text{ — при } f > 200 \text{ МГц,}$$

$$\alpha(h_{AC}) = 3,2[\lg(11,75 h_{AC})]^2 - 4,97 \text{ — при } f > 400 \text{ МГц;}$$

для средних и малых городов этот параметр зависит от частоты:

$$\alpha(h_{AC}) = (1,1 \cdot \lg(f) - 0,7)h_{AC} - [1,56 \cdot \lg(f) - 0,8].$$

В формулах для аппроксимирующих коэффициентов принято:

f – частота излучения БС, МГц;

h_{BC} и h_{AC} – высоты установки антенн БС и АС, м.

Модель Окамура – Хата применяют при значениях параметров в пределах, указанных в табл. 2.2.

Таблица 2.2

| | Область применения модели Окамура – Хата | |
|----------------------|--|----------------------|
| | Основная | Расширенная |
| Рабочая частота, МГц | От 150 до 1500 | Совпадает с основной |
| Высота антенны БС, м | От 30 до 200 | От 1,5 до 400 |
| Высота антенны АС, м | От 1 до 20 | До 80 |

Пример. Для расчетов примем характер трассы как открытую местность, так как предполагается, что застройка в соте будет составлять не более 1% территории. Рассчитаем ослабление сигнала на трассе, используя модель Окамуры – Хата и следующие начальные условия:

– $f = 900$ МГц (система GSM-900),

– $h_{AC} = 1,7$ м,

– три БС с высотами установки антенн $h_{BC1} = 150$ м, $h_{BC2} = 200$ м, $h_{BC3} = 250$ м.

В примере имеем:

$$D_F(f) = 4,78 \cdot \lg[(f)^2] - 19,33 \cdot \lg(f) + 40,94;$$

$$\alpha(f) = - [1,56 \cdot \lg(f) - 0,8] + [1,1 \cdot \lg(f) - 0,7] \cdot h_{AC};$$

$$A_{mx1}(r) = 69,55 + 26,16 \cdot \lg(f) - 13,82 \cdot \lg(h_{BC1}) - \alpha(f) + [44,9 - 6,55 \cdot \lg(h_{BC1})] \cdot \lg(r) - D_F(f);$$

$$A_{mx2}(r) = 69,55 + 26,16 \cdot \lg(f) - 13,82 \cdot \lg(h_{BC2}) - \alpha(f) + [44,9 - 6,55 \cdot \lg(h_{BC2})] \cdot \lg(r) - D_F(f);$$

$$A_{mx3}(r) = 69,55 + 26,16 \cdot \lg(f) - 13,82 \cdot \lg(h_{BC3}) - \alpha(f) + [44,9 - 6,55 \cdot \lg(h_{BC3})] \cdot \lg(r) - D_F(f).$$

Графики зависимости величины затухания сигнала на трассе от дальности r приведены на рис. 2.1, а значения для некоторых дальностей – в табл. 2.3.

Упрощенные уравнения суммарного ослабления радиосигнала для трех указанных случаев можно представить в следующем виде:

$$A_{mx1}(r) = 90,68 + 30,647 \cdot \lg(r);$$

$$A_{mx2}(r) = 88,954 + 29,828 \cdot \lg(r);$$

$$A_{mx3}(r) = 87,612 + 29,193 \cdot \lg(r).$$

Для того чтобы определить уровень сигнала в точке приема нужно выяснить значения остальных параметров в формуле. Примем равными:

- затухание в фидере антенны БС — 1дБ/100м и общее затухание ~ 2дБ;
- коэффициент усиления антенны БС — 6дБ (секторная антенна);
- затухание в фидере АС — 0дБ;
- коэффициент усиления антенны АС — 0дБ (всенаправленная);
- мощность сигнала БС прием максимальной и равной $P_n = 320 \text{ Вт} = 55\text{дБм}$.

Результаты расчетов суммарного затухания на трассе в дБм. Таблица 2.3

| $h_{\text{БС}}, \text{ м}$ | $r, \text{ км}$ | | | | | |
|----------------------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 |
| 150 | 136,0 | 140,0 | 143,0 | 145,2 | 147,2 | 149,0 |
| 200 | 133,0 | 136,7 | 139,6 | 142,0 | 144,0 | 145,7 |
| 250 | 130,7 | 134,4 | 137,2 | 139,5 | 141,5 | 143,2 |

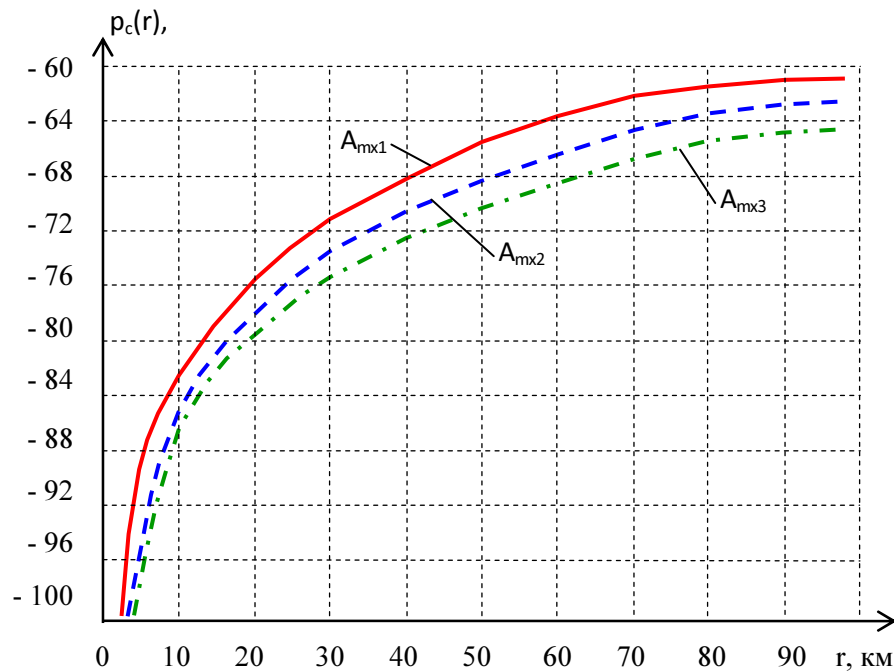


Рис. 2.1 Графики затуханий на трассе

При заданных параметрах значения УММС будут равны:

$$p_{m1}(r) = -31,6 - 30,65 \cdot \lg(r) \quad \text{— для } h_{\text{БС}} = 150 \text{ м};$$

$$p_{m2}(r) = -29,9 - 29,8 \cdot \lg(r) \quad \text{— для } h_{\text{БС}} = 200 \text{ м};$$

$$p_{m3}(r) = -28,6 - 29,2 \cdot \lg(r) \quad \text{— для } h_{\text{БС}} = 250 \text{ м}.$$

Значения УММС для некоторых дальностей приведены в табл. 2.4, а графики зависимости уровня сигнала от расстояния r — на рис. 2.2.

Значения УММС на трассе в дБм

Таблица 2.4

| h _{БС} , м | r, км | | | | | |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 |
| 150 | - 77,0 | - 81,0 | - 84,0 | - 86,2 | - 88,2 | - 90,0 |
| 200 | - 74,0 | - 77,7 | - 80,6 | - 83,0 | - 85,0 | - 86,7 |
| 250 | - 71,7 | - 75,4 | - 78,2 | - 80,5 | - 82,5 | - 84,2 |

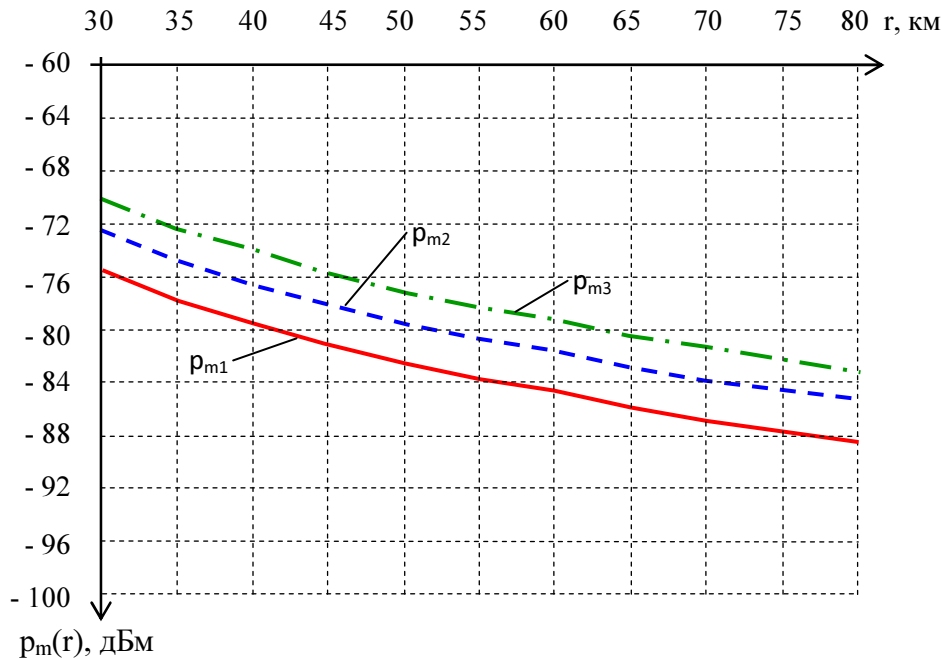


Рис. 2.2. Зависимость УММС (дБм) от расстояния между БС и АС

2.2. Расчет по модели Ли

В моделях Ли местность классифицируют по следующим признакам:

- по инфраструктуре, сформированной человеком (характер застройки):
 - открытая территория,
 - пригородная зона,
 - городская застройка;
- по естественным свойствам (характер трассы):
 - гладкая, холмистая,
 - трасса над водной поверхностью,
 - трасса через лиственные леса.

Модель Ли «от зоны к зоне» создана на основании результатов измерений уровня сигнала (локального среднего), опубликованного разными авторами для зон с различным характером застройки. Согласно этой модели на входе приемника АС уровень УММС:

$$P_m(r) = p_m^* + \alpha_1 - \gamma \cdot lg(r^*) + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5, \quad (2.1)$$

где r^* – протяженность трассы, выраженная в милях;

p_m^* – уровень УММС в точке, отстоящей от БС на 1 милю, измеренный при стандартных энергетических параметрах аппаратуры;

γ – наклон кривой потерь распространения, дБ/декада, который численно равен ослаблению сигнала при увеличении длины трассы в 10 раз;

$\alpha_1, \dots, \alpha_5$ – поправочные коэффициенты; вводятся в случае, когда технические параметры радиointерфейса отличаются от стандартных параметров модели. Величины этих параметров приведены в табл. 2.5.

После подстановки поправочных коэффициентов в формулу (2.1) и перевода несистемных единиц (фут, миля) в СИ, формула для расчета уровня сигнала приобретает вид:

$$p_m(r) = p_m + P_{\text{БС}} - \gamma \cdot \lg(r) - 80,31 + 0,204 \cdot \gamma + 20 \cdot \lg(h_1) + 10 \cdot \lg(h_2) + g_1 + g_2. \quad (2.2)$$

Таблица 2.5

| Энергетический параметр | Стандартное значение параметра | Поправочный коэффициент |
|--|--------------------------------|--------------------------------------|
| Уровень мощности передатчика БС ($P_{\text{БС}}$, дБм) | $P_{\text{БС}} = 40$ дБм | $\alpha_1 = P_{\text{БС}} - 40$ |
| Высота антенны БС (h_1) | $h_1^* = 100$ футов (30 м) | $\alpha_2 = 20 \cdot \lg(h_1/h_1^*)$ |
| Коэффициент усиления антенны БС (g_1 , дБ) | 6 дБ | $\alpha_3 = g_1 - 6$ |
| Высота антенны АС (h_2 , м) | $h_2^* = 10$ футов (3 м) | $\alpha_4 = 10 \cdot \lg(h_2/3)$ |
| Коэффициент усиления антенны АС (g_2 , дБ) | 0 дБ | $\alpha_5 = g_2$ |

Для определения параметров модели использованы результаты измерений мощности сигнала на разных трассах, полученные при стандартных значениях энергетических параметров аппаратуры, указанных в табл. 2.6. Измерения выполнены для диапазона 900 МГц.

Параметры для модели Ли

Таблица 2.6.

| Номер трассы | Наименование трассы | p_m , дБм | γ , дБ/декада |
|--------------|------------------------|-------------|----------------------|
| 1 | Свободное пространство | -45 | 20 |
| 2 | Открытая | -49 | 43,5 |
| 3 | Типовая пригородная | -61,7 | 38,4 |
| 4 | Крупный город | -70 | 36,8 |
| 5 | Мегаполис | -77...-84 | 48...30,5 |

Подставим в (2.2) выражение параметры для открытой местности и параметры аппаратуры из модели Хата:

- затухание в фидере антенны БС примем равным 1дБ/100м и общее затухание ~ 2 дБ;
- коэффициент усиления антенны БС — 6 дБ (секторная антенна);

- затухание в фидере АС — 0 дБ;
- коэффициент усиления антенны АС — 0 дБ (всенаправленная);
- мощность БС примем максимальной, равной $P_n = 320 \text{ Вт} = 55 \text{ дБм}$.

Уровень сигнала будет описываться выражениями:

– при высоте антенны БС равной 150 м:

$$p_c(r) = -49 + 55 - 43,5 \cdot \lg(r) - 80,31 + 8,87 + 20 \cdot \lg(150) + 10 \cdot \lg(1,7) + 6 - 2,$$

$$p_c(r) = -15,6 - 43,5 \cdot \lg(r);$$

– при высоте антенны БС равной 200 м:

$$p_c(r) = -49 + 55 - 43,5 \cdot \lg(r) - 80,31 + 8,87 + 20 \cdot \lg(200) + 10 \cdot \lg(1,7) + 6 - 2,$$

$$p_c(r) = -13,1 - 43,5 \cdot \lg(r);$$

– при высоте антенны БС равной 250 м:

$$p_c(r) = -49 + 55 - 43,5 \cdot \lg(r) - 80,31 + 8,87 + 20 \cdot \lg(250) + 10 \cdot \lg(1,7) + 6 - 2,$$

$$p_c(r) = -11,14 - 43,5 \cdot \lg(r).$$

Результаты расчетов УММС для некоторых расстояний r представлены в табл. 2.7, а график зависимости – на рис. 2.3.

Уровни УММС (дБм) для модели Ли

Таблица 2.7

| $h_{\text{БС}}, \text{ м}$ | $r, \text{ км}$ | | | | | |
|----------------------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 |
| 150 | -79,9 | -85,3 | -89,5 | -92,6 | -95,9 | -98,4 |
| 200 | -77,4 | -82,8 | -87,0 | -90,0 | -93,4 | -95,9 |
| 250 | -75,4 | -80,8 | -85,0 | -88,5 | -91,4 | -93,9 |

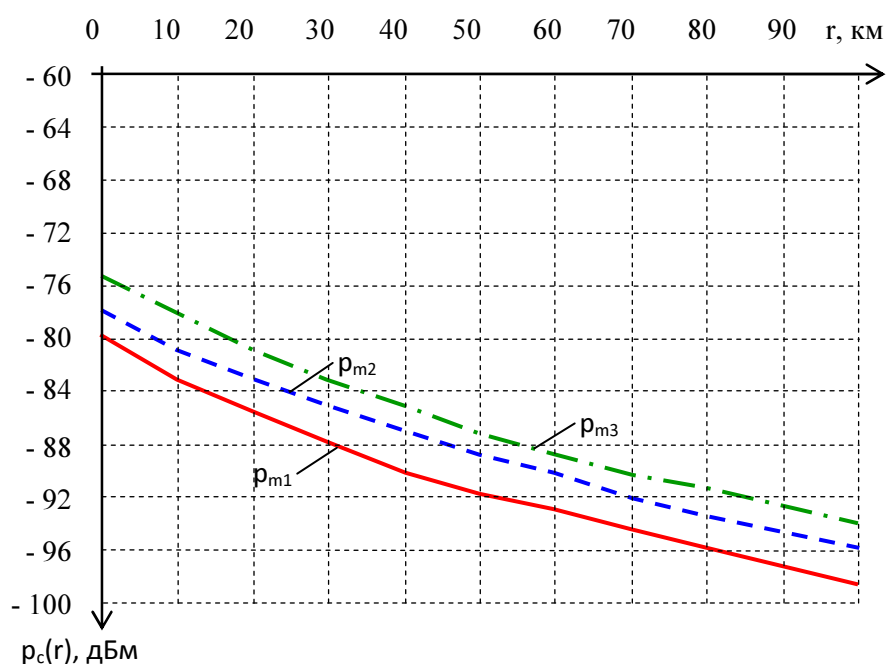


Рис. 2.3. Зависимость УММС от расстояния между БС и АС для модели Ли

2.3. Расчет по формуле Введенского

Уровень напряженности электромагнитного поля определяется выражением:

$$(2.3)$$

где h_{BC} – высота подвеса передающей антенны БС, м;
 h_{AC} – высота подвеса приемной антенны, м;
 D_A – коэффициент усиления антенны, раз;
 λ – длина волны несущей радиосигнала, м;
 r – расстояние между станциями, км;
 P – мощность передатчика, мВт.

В используемом оборудовании сопротивление входной цепи приемника $R_n = 50$ Ом. При этом в антенне наводится напряжение:

$$U = E\lambda/\pi,$$

где E – напряженность поля радиосигнала, В/м.

При согласовании сопротивлений антенны и входной цепи приемника мощность сигнала на входе приемника: $P_c = U^2/(4R_n)$.

Уровень мощности сигнала на входе приемника, выраженный в децибелах по отношению к 1 мВт:

$$P_v = 20 \cdot \lg(E) + 10 \cdot \lg[(\lambda/\pi)^2] + 10 \cdot \lg(1/4R_n) + 30 - 120, \text{ дБм},$$

где E – напряженность поля радиосигнала, мкВ/м.

После преобразований: $P_c = 20 \cdot \lg(E) + 10 \cdot \lg(\lambda/\pi)^2 - 113,$

где $\lambda = 3 \cdot 10^8 / f;$

f – несущая частота, МГц.

Подставляя в последнее выражение формулу Введенского (2.3), получим:

Для рассматриваемых примеров определим УММС:

$$p_v(r) = -9,00 - 40 \cdot \lg(r) \text{ — для } h_{BC} = 150 \text{ м},$$

$$p_v(r) = -6,95 - 40 \cdot \lg(r) \text{ — для } h_{BC} = 200 \text{ м},$$

$$p_v(r) = -4,45 - 40 \cdot \lg(r) \text{ — для } h_{BC} = 250 \text{ м}.$$

Результаты расчетов по этим соотношениям представлены в виде табл. 2.8 и графиков на рис. 2.4.

Уровни УММС, (дБм), по формуле Введенского

Таблица 2.8

| $h_{BC}, \text{ м}$ | $r, \text{ км}$ | | | | | |
|---------------------|-----------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 |
| 150 | - 68,1 дБм | - 73,1 дБм | - 77,0 дБм | - 80,1 дБм | - 82,8 дБм | - 85,1 дБм |

| | | | | | | |
|-----|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 200 | - 65,6 дБм | - 70,6 дБм | - 74,5 дБм | - 77,6 дБм | - 80,3 дБм | - 82,6 дБм |
| 250 | - 63,7 дБм | - 68,7 дБм | - 72,5 дБм | - 75,7 дБм | - 78,4 дБм | - 80,7 дБм |

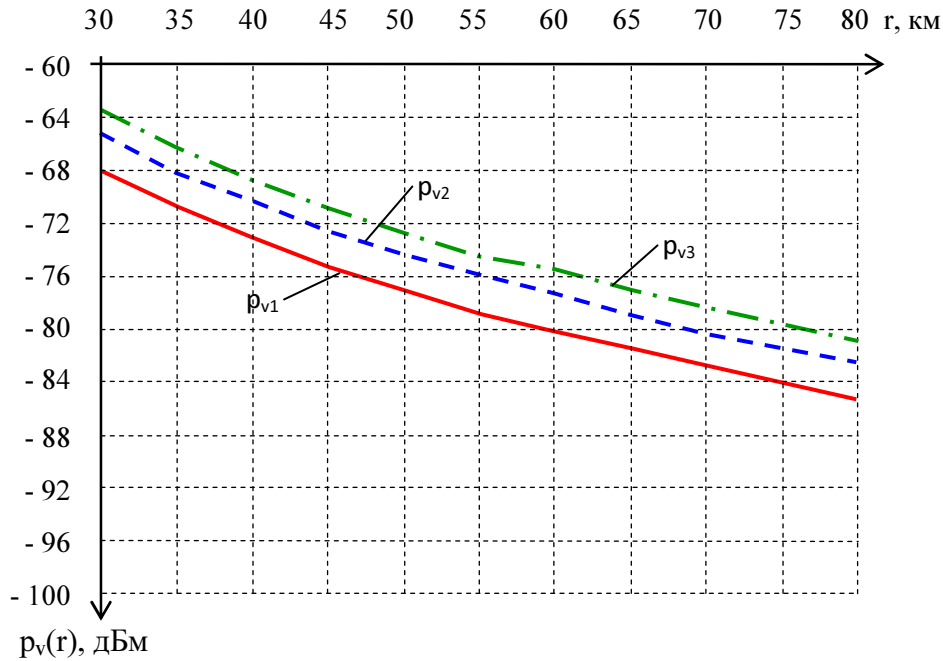


Рис. 2.4. Зависимости УММС (дБм) от расстояния между БС и АС для формулы Введенского

Задание к разделу 2.

1. Используя исходные данные, приведенные в табл. 2.9 и табл. 2.11, рассчитать зависимость УММС от расстояния r между БС и АС, построить графики этой зависимости (по образцу рис. 2.2 – рис. 2.4) для трех моделей: Окамура-Хата, Ли и Введенского, совместив их на одном рисунке. Коэффициент направленного действия антенны БС необходимо использовать в соответствии с её типом (круговая или секторная), полученным в разделе 1, значением $m_{\text{сект}}$ и данными табл. 1.12.

2. По допустимому минимальному уровню сигнала из табл. 2.1 и количеству секторов в соте, определенному в разделе 1, определить радиус зоны покрытия для трех моделей.

Исходные данные к разделу 2.

При расчете считать высоту установки антенны АС $h_{АС} = 4$ м, а коэффициент усиления $g_{АС} = 0$ дБ.

Таблица 2.9

| | Назначение системы связи | Максимальная скорость движения поездов, км/час | Мощность передатчика БС, Вт/дБм | Тип трассы |
|---|--|--|---------------------------------|------------------------|
| 0 | Передача данных в системе управления движением | 200 | 320/55 | Свободное пространство |
| 1 | Передача речи и данных общего назначения | 200 | 200/53 | Открытая |
| 2 | Передача данных в системе управления движением | 250 | 100/50 | Пригород |
| 3 | Передача данных в системе управления движением | 280 | 60/47,8 | Крупный город |
| 4 | Передача данных в системе управления движением | 300 | 40/46 | Мегаполис |
| 5 | Передача речи и данных общего назначения | 220 | 320/55 | Крупный город |
| 6 | Передача данных в системе управления движением | 250 | 200/53 | Пригород |
| 7 | Передача данных в системе управления движением | 280 | 100/50 | Открытая |
| 8 | Передача данных в системе управления движением | 300 | 60/47,8 | Свободное пространство |
| 9 | Передача речи и данных общего назначения | 250 | 40/46 | Мегаполис |

Таблица 2.10

| Предпоследняя цифра шифра | Суммарное затухание в фидере БС, дБ | Высота подвеса антенны, м | | Рабочая частота, МГц |
|---------------------------|-------------------------------------|---------------------------|-----|----------------------|
| | | БС | АС | |
| 0 | 1 | 40 | 1,5 | 900 |
| 1 | 1,5 | 60 | 2 | 900 |
| 2 | 2 | 80 | 4 | 1500 |
| 3 | 3,5 | 100 | 7 | 1500 |

| Предпоследняя цифра шифра | Суммарное затухание в фидере БС, дБ | Высота подвеса антенны, м | | Рабочая частота, МГц |
|---------------------------|-------------------------------------|---------------------------|-----|----------------------|
| | | БС | АС | |
| 4 | 4 | 160 | 4 | 1500 |
| 5 | 5 | 40 | 2 | 1500 |
| 6 | 5,5 | 60 | 1,5 | 900 |
| 7 | 2,5 | 80 | 7 | 900 |
| 8 | 3 | 100 | 2 | 1500 |
| 9 | 4,5 | 160 | 4 | 900 |

Таблица 2.11

| Тип ДНД антенны | Ширина ДНД, $\theta_{\text{ант}}$, градусы | Число секторов, $m_{\text{сект}}$ | Коэффициент усиления g , дБи |
|-----------------|---|-----------------------------------|--------------------------------|
| Круговая | 360 | 1 | 2 - 10 |
| Секторная | 120 | 3 | 6 - 11 |
| Секторная | 90 | 4 | 12 - 14 |
| Секторная | 60 | 6 | 11 - 17 |

Примечание. Значение коэффициента усиления D_A [в раз], и g [в дБ], связаны соотношениями: $g = 10 \lg(D_A)$ и $D_A = 10^{0,1g}$.

3. Содержание и объем курсовой работы

Пояснительная записка курсовой работы, объемом не менее 15 страниц текста, должна содержать:

Титульный лист;

Содержание;

Введение;

Основную часть, включающую в себя:

– результат выполнения задания первого раздела,

– результат выполнения задания второго раздела;

Заключение;

Список использованной литературы.

Литература

1. Системы мобильной связи. Учебное пособие для вузов/ В.П. Ипатов, В.К. Орлов, И.М. Самойлов, В.Н. Смирнов. –М.: Горячая линия – Телеком. 2003. 272 с.
2. Карташевский В.Г., Семенов С.Н., Фирстова Т.В. Сети подвижной связи. – М.: Эко – Трендз. 2001.