

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

Кафедра систем телекоммуникаций

В. Н. Мищенко

***ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
СИСТЕМ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ
СТАНДАРТА GSM***

Методическое пособие к практическим занятиям
по дисциплине «Системы подвижной радиосвязи и радиоопределения»
для студентов специальностей

I-45 01 01 «Многоканальные системы телекоммуникаций»,

I-45 01 02 «Радиосвязь, радиовещание и телевидение»

всех форм обучения

Минск 2008

УДК 621.396.2 (075.8)
ББК 32.884 я 73
М 71

Мищенко, В. Н.
М 71 Изучение принципов проектирования систем подвижной радиосвязи стандарта GSM : метод. пособие к практ. занятиям по дисц. «Системы подвижной радиосвязи и радиоопределения» для студ. спец. I-45 01 01 «Многоканальные системы телекоммуникаций», I-45 01 02 «Радиосвязь, радиовещание и телевидение» всех форм обуч. / В. Н. Мищенко. – Минск : БГУИР, 2008. – 42 с. : ил.

ISBN 978–985–488–271–0

Исследуются принципы и особенности проектирования систем подвижной радиосвязи стандарта GSM, рассматриваются компоненты потерь радиосигнала в этих системах. Приводятся задания для выполнения контрольных работ.

УДК 621.396.2 (075.8)
ББК 32.884 я 73

ISBN 978–985–488–271–0

© Мищенко В. Н., 2008
© УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 2008

ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

АС – абонентская станция

АФТ – антенно-фидерный тракт

БЗ – быстрые замирания

БС – базовая станция

ГИС – географическая информационная система

ДН – диаграмма направленности

ЗО – зона обслуживания

ЗП – зона покрытия

МЗ – медленные замирания

МСЭ – Международный союз электросвязи

ПО – программное обеспечение

СВЧ – сверхвысокие частоты

ССС – системы сотовой связи

УВЧ – ультравысокие частоты

УММС – усредненная медианная мощность сигнала

ЧТП – частотно-территориальное планирование

ЭМС – электромагнитная совместимость

1. ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ ЧАСТОТНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ СЕТЕЙ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ

1.1. Общие положения

Основным этапом проектирования сетей сотовой связи (ССС) является этап частотно-территориального планирования (ЧТП), в ходе которого обычно решаются следующие задачи:

- 1) выбирается конфигурация сети;
- 2) определяются места размещения базовых станций (БС);
- 3) оцениваются зоны обслуживания с заданным качеством связи;
- 4) проверяются условия обеспечения внешней и внутренней электромагнитной совместимости;
- 5) рассматривается возможность обеспечения требуемой ёмкости сети с заданной интенсивностью потерь и т.д.

Основой планирования являются общие параметры и характеристики сети: характеристики используемого стандарта, число и частоты разрешенных радиоканалов, характеристики местности с указанием желательных пунктов размещения БС, данные приёмопередающего оборудования и антенн, нагрузка на одного абонента и др.

Блок-схема ЧТП в общем случае содержит следующие этапы [2, 7]:

- 1) подготовка, анализ и ввод исходных данных;
- 2) построение исходного варианта ССС или выполнение эскизного проектирования ССС, которое включает в себя выбор типа кластера, определение пространственных параметров сети, расчёт параметров базовых станций, распределение частотного ресурса;
- 3) формирование параметра показателя качества $K(S\zeta)$;
- 4) оптимизация параметров сети, которая включает в себя привязку БС к карте местности, построение теневой карты; итеративная оптимизация параметров БС, решение и анализ вопросов электромагнитной совместимости, коррекция частотного плана;

5) определение нового значения параметра показателя качества $K(S\phi)$, опирающегося на оптимизированные параметры сети;

6) проверка условия $K(S\epsilon) > K(S\phi)$;

7) при выполнении условия п. 6 по решению заказчика проектирование может быть прекращено, подводятся результаты ЧТП;

8) если условие п. 6 не выполняется, тогда необходимо вернуться к п. 4 и выполнить действия, связанные с изменением параметров и характеристик, соответствующих этому этапу.

В общем процедура ЧТП относится к классу сложных задач многокритериальной оптимизации и заключается в выборе из нескольких вариантов векторно-сравнимых решений такого, при котором сеть обладает наилучшими значениями показателя качества $K(S)$. Среди конкретных значений показателя качества наиболее часто фигурирует общая стоимость сети, хотя могут задаваться и другие требования. Известно, что если в процессе ЧТП удаётся снизить стоимость сети на единицы или даже доли процента, то это даёт значительную экономию финансовых средств заказчика. Если в процессе решения задач синтеза вскрываются противоречия между отдельными показателями, тогда требуется принятие соответствующего решения по переводу одного или нескольких параметров в ранг второстепенных.

На этапе построения исходного варианта сети или выполнения эскизного проектирования сети используются статистические (эмпирические, полуэмпирические) или детерминированные (дифракционные, детерминистические) модели определения потерь при распространении радиосигнала. Основой статистических моделей являются данные измерений напряженности поля для конкретных местностей, диапазона частот, высот подвеса антенн БС и АС и других с последующей их обработкой. Примером статистических моделей являются модели Окамура–Хата [3], Ли [4], модель ИТУ, логарифмическая модель потерь и ряд других. Детерминированные модели основаны на учёте факторов влияния препятствий на трассе распространения

сигнала, требуют построения профиля трассы БС–АС для каждой из возможных позиций ведения связи, что в реальных условиях обуславливает необходимость проведения сложных расчётов с привлечением, как правило, специального программного обеспечения на основе использования географических информационных систем (ГИС). Примером дифракционных моделей являются следующие модели: модель с одним клином, модель Эйпштейна–Петерсона, модель Дэйгута и др.

ГИС включают в себя данные по системам связи и мониторинга, информацию о топографии и подстилающей поверхности Земли, о населенных пунктах, инфраструктуре, административные и другие данные, необходимые для решения широкого круга задач в области связи. Все перечисленные выше данные имеют территориальную «привязку» и включаются обычно в ГИС.

Разработка первых электронных ГИС невоенного назначения началась в 60-е гг. XX в. в США и Канаде. 70-е гг. отмечены интенсивным развитием ГИС. Появляются системы общего назначения. Открываются возможности формирования баз картографических данных на основе космических съемок. С распространением персональных компьютеров резко расширяется спектр областей применения ГИС, которая формально получает статус отдельной ветви информатики.

В 1992 г. Институтом исследования окружающей среды США разработана цифровая карта мира, позволяющая просматривать слои однотипных объектов (железные и шоссейные дороги, водные системы, рельеф местности, трубопроводы, линии электропередачи и др.). На рынки других стран карта поступила в варианте, ориентированном на IBM PC-совместимые компьютеры. В настоящее время рядом фирм разработаны и продаются пакеты программ узкоспециализированных ГИС. Мощные геоинформационные системы являются, как правило, собственностью правительств или ведомств, например собственностью правительства США является система управления при чрезвычайных ситуациях.

В Российской Федерации созданы и развиваются системы общего назначения, например «Новый информационный атлас России», в создании которого принимали участие Институт земельным ресурсам, Министерство геологии РФ, Госкомгеологии, Леспроект и др. [2]. Многие фирмы, разрабатывающие программные продукты, предлагают сегодня программное обеспечение (ПО) для ведения цифровых карт и специализированных геоинформационных систем.

Ключевым моментом ЧТП является определение зон обслуживания (ЗО) и зон покрытия (ЗП) радиосредств, используемых в сотовой сети. Любая система проектирования должна обеспечивать расчет:

- ЗО базовых станций по заданному уровню поля на их границе с контролем возможности обеспечения радиосвязи в пределах зоны с заданным качеством;

- ЗП базовых станций, где уровень радиосигнала не ниже заданного, но при этом не гарантируется возможность радиосвязи во всей зоне покрытия;

- зон взаимных помех (ЗВП) по основному и побочным каналам приема, определяемых наложением ЗП на ЗО базовых станций, где отношение сигналов и помех меньше защитного соотношения.

План размещения БС сети и их параметры (мощность передатчика, потери в антенном фидере, диаграмма направленности антенны, высота ее установки и ориентация) являются исходными для расчета и вводятся пользователем. План размещения БС сети и результаты расчетов ЗО и ЗП отображаются на карте.

1.2. Природа и причины замираний радиосигнала в системах подвижной связи

1.2.1. Общие характеристики замираний радиосигнала в системах подвижной связи

В системах подвижной радиосвязи обычно базовую станцию (БС) можно рассматривать как станцию с высоко поднятой антенной, в то время как антенна абонентской станции (АС) находится на уровне городской застройки. В городских условиях значительно реже встречаются ситуации, когда между БС и АС есть прямая видимость. Исследование формы принимаемого АС сигнала свидетельствует о наличии в нем глубоких замираний и квазипериодическом характере экстремумов (рис. 1.1) [12]. Принимаемый сигнал амплитудой $U(t)$ зависит как от времени (t), так и от местоположения АС (l). Поэтому на рис. 1.1 использована двойная ось абсцисс. При движении АС пространственные замирания сигнала воспринимаются как временные.

Для характеристики сигнала часто используют понятие «масштаб замираний» – расстояние по трассе между минимумами (или максимумами) огибающей сигнала. Сигнал в точке приема претерпевает быстрые замирания (БЗ) и медленные замирания (МЗ). Считается, что причина БЗ – многолучевая структура сигнала и интерференция лучей, а причина МЗ – затенение первой полузоны Френеля радиосигнала на трассе за счет особенностей рельефа местности и городской застройки.

На основании результатов измерений уровня сигнала с частотами от 50 до 11 200 МГц можно сделать следующие выводы относительно многолучевой структуры сигнала [4, 5]:

- поле в любой точке создают несколько горизонтально перемещающихся плоских волн со случайными амплитудами и углами прихода; электромагнитное поле есть результат интерференции большого числа плоских волн, при этом его лучевая структура хотя и случайна, но

сохраняется неизменной, и любые направления прихода волн в горизонтальной плоскости равновероятны;

- плоские волны поступают от стационарных рассеивателей, главным образом от окружающих зданий;

- отраженные волны статистически независимы.

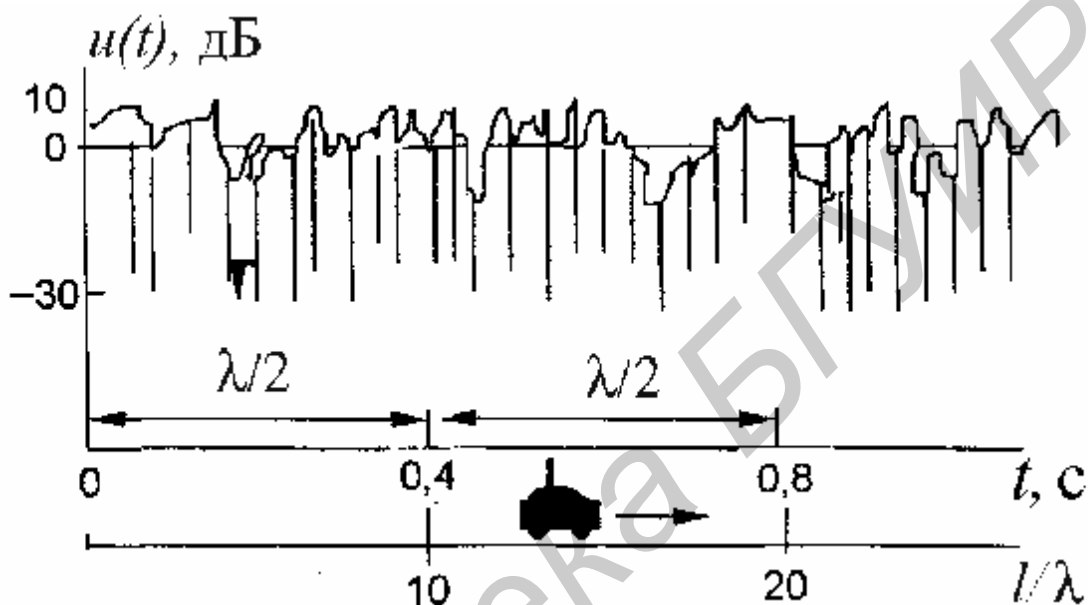


Рис. 1.1. Форма сигнала, принимаемого АС

Напряженность поля, создаваемая в каждой точке наблюдения отраженной волной, зависит от многих характеристик отражающей поверхности, таких, как ее форма и электрические свойства, неоднородность поверхности, ориентация в пространстве и др. Эти характеристики принимают случайные значения. Поэтому напряженность поля в точке наблюдения рассматривается как случайная комплексная величина.

Полагая, что сигнал в системах мобильной связи претерпевает БЗ и МЗ, представим его амплитуду:

$$U(t) = U_M(t) \cdot U_B(t), \quad (1.1)$$

где $U_M(t)$ – амплитуда огибающей сигнала, которая меняется по закону МЗ; $U_B(t)$ – амплитуда огибающей сигнала, которая меняется по закону БЗ.

Переходя к уровням сигнала, вместо (1.1) запишем

$$u(t) = u_M(t) \cdot u_B(t), \quad (1.2)$$

где

$$u_M(t) = 20 \lg U_M(t), \quad (1.3)$$

$$u_B(t) = 20 \lg U_B(t). \quad (1.4)$$

В точке приема при усреднении сигнала по быстрым замираниям находим по (1.3) для определенного момента времени t_1 медленную огибающую сигнала

$$U_{MT}(t_1) = \frac{1}{2T} \int_{t_1-T}^{t_1+T} U(t) dt, \quad (1.5)$$

где $2T$ – интервал усреднения по времени, определяемый как интервал, на котором наблюдается от 40 до 80 случаев глубоких замираний. Величина (1.5) получила еще одно название: «локальное среднее по времени».

Поскольку МЗ учитывают тот факт, что огибающая сигнала в точке приема существенно зависит от местоположения АС, определяют усреднением сигнала по оси расстояний (см. рис. 1.1), т.е. нахождением локального среднего по местоположению:

$$U_{ML}(I_1) = \frac{1}{2L} \int_{I_1-L}^{I_1+L} u(I) dI, \quad (1.6)$$

где $2L \approx 40 \cdot l$ – интервал усреднения по местоположению.

Характерный масштаб БЗ $M_{БЗ} = (0,5 \dots 3) \cdot \lambda$ или $M_{БЗ} = 20 \dots 100$ см на частоте 900 МГц ($\lambda = 33,3$ см). На интервале усреднения по местоположению наблюдается до 80 случаев глубоких быстрых замираний: $2L \approx 40\lambda = 40M_{БЗ} / (0,5 \dots 3) = (80 \dots 13)M_{БЗ}$.

Определим медленную огибающую из (1.3):

$$u_M(t) = u_{M.M} + v_M(t), \quad (1.7)$$

где $v_M(t)$ – множитель ослабления МЗ; $u_{M.M}$ – медианное значение огибающей, которое получают как результат усреднения по быстрым и медленным замираниям; $u_{M.M}$ также называют «долгосрочная медиана».

Функции $u_M(t)$ и $u_B(t)$ показаны на рис. 1.2. Первая определяет медленные изменения уровня сигнала во времени относительно медианного уровня $u_{M.M}$, вторая – быстрые колебания уровня сигнала относительно $u_M(t)$. По определению медианное значение может превышать в течение 50 %-го времени наблюдения. Нормированное медианное значение $u_M(50\%) = 0$ дБ (см. рис. 1.1).

Природа БЗ и МЗ различна, и их влияние принято рассматривать раздельно. При этом полагают, что МЗ возникают только из-за изменения местоположения АС. В таком случае $v_M(t) = v_M(I)$, и вместо (1.7) можно записать медленную огибающую сигнала в виде

$$u_M(r, I) = u_{MLT}(r, 50\%, 50\%) + v_M(I), \quad (1.8)$$

где r – расстояние между БС и АС; $u_{MLT}(r, 50\%, 50\%) = u_{M.M}$ – усредненная медианная мощность сигнала (УММС), ожидаемая в 50 % точек на расстоянии r от БС (усреднение по местоположению $L = 50\%$) и в течение 50 % -го времени наблюдения (медиана по времени $T = 50\%$).

В результате, принимая во внимание (1.7) и (1.8), вместо (1.3) получаем на расстоянии r от БС уровень огибающей сигнала

$$u(r, I, t) = u_{MLT}(r, 50\%, 50\%) + v_M(I) + v_B(t). \quad (1.9)$$

В соответствии с (1.9) запишем уровень мощности на входе приемника АС, превышаемый в L % точек, расположенных на расстоянии r от БС, и в течение T %-го времени наблюдения:

$$p_{\text{пр}}(r, L, T) = p_{\text{MLT}}(r, 50\%, 50\%) + Dp(L) + Dp(T), \quad (1.10)$$

где $p_{\text{MLT}}(r, 50\%, 50\%) = p_{\text{М}}$ – усредненное медианное значение уровня мощности, ожидаемое в 50 % точек, расположенных на расстоянии r от БС, и в течение 50 %-го времени наблюдения; $Dp(L)$ и $Dp(T)$ – отклонение значения уровня мощности от усредненного медианного значения в заданном проценте точек приема (L) и для заданного процента времени наблюдения (T) соответственно.

1.2.2. Статистические характеристики быстрых замираний

Напомним, что причина БЗ – интерференция горизонтально перемещающихся плоских волн со случайными амплитудами и фазами.

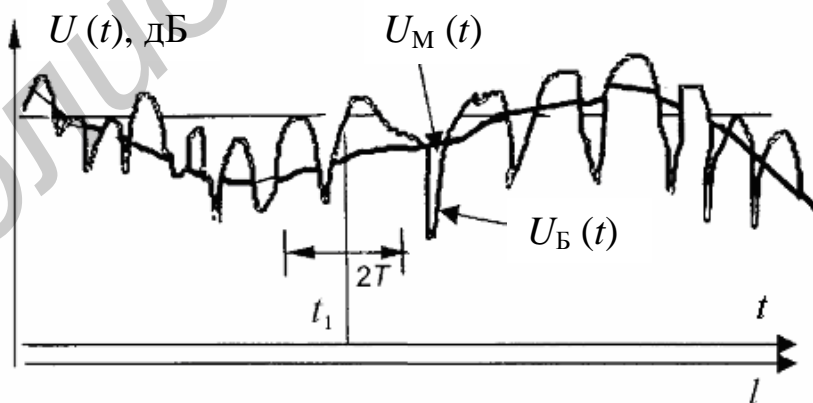


Рис. 1.2. К пояснению множителей ослабления БЗ и МЗ

Радиус района активных замираний составляет около $100l$. Это означает, что в создании отраженных сигналов на входе приемника АС активно участвуют только сигналы, отраженные от зданий, расположенных в радиусе $R_{\text{акт}} = 100l = 100 \cdot 0,33 = 33$ м при $f = 900$ МГц. Центром района активных замираний является АС, и этот район перемещается вместе с АС.

Одной из возможных моделей, которая используется для объяснения появления БЗ, является модель Релея, для которой плотность распределения описывается как

$$w(x) = \frac{x^2}{y_U^2} \exp\left(-\frac{x^2}{2y_U^2}\right) \quad (1.11)$$

где случайная величина x – огибающая сигнала, проходящего на АС; S_U^2 – дисперсия квадратурных составляющих напряженности поля. Параметр S_U^2 определяет среднюю мощность сигнала. Если рассматриваются только БЗ, тогда переменная $x = v_B(t)$ и $2S_U^2 = 1/2$. Другие модели, которые используются для описания радиосигнала в ССС, будут описаны ниже.

1.2.3. Статистические характеристики медленных замираний

МЗ сигнала наблюдаются при движении АС и фактически являются пространственными замираниями.

При высокоподнятых антеннах БС медленные замирания сигнала при движении АС вдоль улицы отражают картину теневых зон, создаваемых близко расположенными зданиями. Экспериментально (на частоте 88 МГц) были установлены два масштаба МЗ: 15...20 м и 80...90 м [13]. Первый масштаб сопоставим со средним размером «освещенных» зон,

обусловленных просветами между зданиями; второй масштаб – со средней длиной здания и отражает характерное чередование для города «освещенных» и «теневого» зон. Выше был определен интервал усреднения по местоположению. На практике его выбирают равным 20...30 м. Таким образом, МЗ – это пространственные изменения медленной огибающей сигнала, усредненные по участкам трассы 20...30 м. Для описания медленной огибающей используется локальное среднее по местоположению.

МЗ можно описать логарифмически нормальным (логнормальным) законом, имеющим плотность распределения со стандартным отклонением, зависящим от рельефа местности и характера городской застройки. Логнормальный закон означает, что по нормальному закону распределена не величина $U(t)$, а ее логарифм с любым основанием. Нормальный закон распределения записывается как

$$w(x) = \frac{1}{y\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-X)^2}{2y^2}\right), \quad (1.12)$$

где присутствуют следующие параметры: случайная величина x , ее среднее значение X и дисперсия S^2 .

В рассматриваемом случае записываем случайную величину $x = u_M(r, I) = 20 \lg U(r, I)$ и определяем ее среднее значение $x = u_{MLT}(r, 50\%, 50\%)$; $S^2 = S_L^2$ – дисперсия по местоположению. Значения дисперсии по местоположению для МЗ, полученные экспериментально различными авторами, приведены в табл. 1.1 [1] и 1.2 [3, 5]. Кроме того, для Американского континента в работах Ли [4] принимается $S_L^2 = 8$ дБ.

Таблица 1.1

Характер местности	S_L^2 , дБ
Центральные районы города	4,5
Пригород	0,5...1
Города с пересеченным рельефом местности	до 10

Таблица 1.2

Характер местности	S_L^2 , дБ, при f , ГГц			
	0,5	1	2	11
Город	6	6,5	7,3	8
Пригород	7,5	8,9	9	10

Анализ этих таблиц показывает, что величина S_L^2 находится в диапазоне значений от 0,5 до 10 дБ. С ростом частоты (см. табл. 1.2) величина дисперсии монотонно увеличивается.

1.3. Модели радиоканалов в системах подвижной радиосвязи

Среди известных моделей радиоканалов в системах подвижной радиосвязи рассматриваются модели Гаусса, Релея, Райса и др.

Модель Гаусса описывает непрерывный канал с аддитивной помехой, т.е. помехой, которая складывается линейно с информационным сигналом. В результате формируется нормальный гауссовый случайный процесс, характеризуемый одинаковым на всех частотах энергетическим спектром. Такой процесс частот называют белым шумом, поскольку по характеру его спектр близок к спектру белого света. Плотность распределения вероятностей нормального гауссового случайного процесса определяется формулой (1.12).

Модель Гаусса является наиболее простой для описания процессов при

распространении радиоволн в ССС и используется главным образом на начальных этапах проектирования.

Для описания каналов в ССС при изменении радиосигнала используются понятия глубины и скорости замирания сигнала на входе приемника. Глубину замираний принято характеризовать изменением уровня огибающей относительно ее медианного значения. Глубина замираний в ССС, как уже упоминалось, может достигать 20...30 дБ.

Скорость замираний принято характеризовать средним числом односторонних пересечений (снизу вверх или сверху вниз) в секунду огибающей сигнала с медианным уровнем. Эту величину можно также трактовать как среднюю частоту замираний или как среднее число выбросов огибающей, превышающих медианный уровень в течение 1 с. Для измерения скорости замираний обычно используют излучение непрерывной немодулированной несущей с фиксацией частоты пересечения огибающей принимаемого флуктуирующего сигнала с ее медианным уровнем. По записям флуктуирующей огибающей можно получить энергетический спектр или корреляционную функцию замираний, а по их значениям – скорость замираний.

Многочисленные экспериментальные исследования показывают, что длительность замираний зависит от частоты несущего сигнала, протяженности радиолиний, диаграмм направленности антенн, типа канала и может колебаться от нескольких секунд до 0,01...0,3 с. Как уже отмечалось, амплитуду сигнала по каждому лучу в течение длительности посылки практически можно считать неизменной случайной величиной, значение которой медленно изменяется от посылки к посылке. Фаза же этого сигнала даже при незначительных перемещениях неоднородности может меняться значительно, поворачиваясь на угол 2π каждый раз, когда путь, по которому проходит этот сигнал, изменяется всего лишь на длину волны несущего колебания. Так как неоднородности на пути каждого луча перемещаются случайно, то изменения фаз сигналов, приходящих по каждому лучу,

происходят также случайно. В некоторых случаях замирающий сигнал может содержать регулярную составляющую, обусловленную отражением и рассеянием сигналов от слоистых неоднородностей и границ раздела сред с различающимися физическими свойствами. Кроме того, при определенных условиях по некоторым направлениям возможно и когерентное распространение сигнала, когда фазы по отдельным лучам незначительно отклоняются от своего среднего значения.

Если ни одна составляющая многолучевого сигнала не содержит регулярной части (случай диффузно отраженных лучей), то канал с такими условиями распространения называют релейским. При этом распределение флуктуации подчиняется закону Релея (1.11). Если многолучевой сигнал содержит кроме диффузно отраженных компонент и регулярный (незамирающий) сигнал, то распределение флуктуации подчиняется обобщенному закону Релея (или закону Райса):

$$w(r) = (r/\sigma^2) \exp[-(r^2 + \alpha^2)/\sigma^2] \times I_0(\alpha r/\sigma^2), \quad (1.13)$$

где $\alpha = (x^2 + y^2)^{1/2}$ – огибающая (среднеквадратичное значение ожидания квадратурных компонент (по осям x и y)) регулярной составляющей; $I_0(\alpha r/\sigma^2)$ – модифицированная функция Бесселя первого рода нулевого порядка. К райсовским каналам, например, относится ряд каналов с прямой волной и остронаправленными диаграммами антенн.

Следует заметить, что более гибким инструментом при аппроксимации экспериментально получаемых распределений является закон Накагами, предложенный в 1943 году. Он известен под названием « m -распределение» или «распределение Накагами» и выглядит следующим образом:

$$w(r) = [2/\Gamma(m)](m/2\sigma^2)^m (r)^{2m-1} \exp[-(r/2\sigma^2)^2], \quad (1.14)$$

где $\Gamma(m)$ – гамма-функция.

При $m = 0,5$ из формулы (1.14) получается нормальный закон с односторонней плотностью распределения, при $m = 1$ – закон распределения Релея. При $m > 1$ распределение Накагами становится достаточно хорошей аппроксимацией закона Райса. Таким образом, распределение Накагами позволяет описать более широкий класс распределений, чем, например, закон Райса.

Существует ряд моделей каналов, учитывающих доплеровский сдвиг частоты. Известно, что при перемещении источника несущей частоты его частота изменяется на частоту Доплера, которая определяется скоростью перемещения объекта, в данном случае АС. К моделям радиоканала, учитывающим такое изменение частоты, относятся модели Джейкса (Jakes), Кларка (Clarke) и модель с учётом фединга (fading). Модель Джейкса представляет собой канал с замираниями, характерными при связи с подвижными объектами и вызванными эффектами Релея (суммирование многократно отраженных комплексных синусоид) и Доплера (девиация несущей частоты). Выходной сигнал описывается распределением флуктуаций по следующему закону:

$$y(t) = x \cdot ((a \cdot x + b)(2 \cdot N_0 + 1)^{-0,5}), \quad (1.15)$$

где x – входной сигнал.

$$a = 2 \cdot \sum_{k=1}^{N_0} \cos j_k \cdot \cos w_k t + \sqrt{2} \cdot \cos j_m \cdot \cos w_m t, \quad (1.16)$$

$$b = 2 \cdot \sum_{k=1}^{N_0} \sin j_k \cdot \cos w_k t + \sqrt{2} \cdot \sin j_m \cdot \cos w_m t, \quad (1.17)$$

$$w_k = w_m \cdot \cos(2 \cdot p \cdot k / N), \quad (1.18)$$

$$j_k = p \cdot k / (N_0 + 1), \quad (1.19)$$

$$N = 2 \cdot (2 \cdot N_0 + 1). \quad (1.20)$$

Здесь N_0 – количество отсчётов сигнала Доплера за промежуток времени,

равный $3\pi/4$; j_m – начальная фаза сигнала Доплера при максимальном значении частоты.

Известна также модель канала с эффектом фединга (fading), которая аналогична модели каналу Джейкса, с тем лишь отличием, что для расчёта комплексной формы сигнала гармонические компоненты предварительно пропускаются через взвешивающий фильтр и затем эти компоненты не складываются со входным сигналом, а перемножаются.

В модели Кларка статистические характеристики радиоволн, принимаемые подвижной АС, формируются в основном эффектами рассеивания [13]. Обычно предполагается, что передатчик является неподвижным и через антенну формирует поле с вертикальной поляризацией на несущей частоте. Считается, что поле, которое формируется в раскрыве антенны АС, представляет собой сумму большого числа плоских волн с различными азимутальными углами прихода, произвольными фазами и приблизительно одинаковыми амплитудами. Учитывая это обстоятельство, а также то, что доплеровское смещение частоты АС невелико по сравнению с частотой несущего колебания, электрическую компоненту волны в раскрыве приёмной антенны АС можно рассматривать как узкополосный случайный процесс.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ РАДИОСИГНАЛА В СОТОВЫХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ

2.1. Особенности расчета потерь при поднятых антеннах

Линии радиосвязи, входящие в состав ССС, обычно работают в диапазонах ультравысоких частот (УВЧ) и сверхвысоких частот (СВЧ) и соответственно в диапазонах дециметровых и сантиметровых волн. Параметры радиоканала, определенные при распространении радиоволн в свободном пространстве, могут быть использованы для расчета радиолинии при высокоподнятых антеннах. Последнее имеет место, когда для передающей и приемной антенны соответственно выполняется условие

$$h_1 \gg l \text{ и } h_2 \gg l,$$

где h_1, h_2 – высота антенны; l – рабочая волна.

На таких трассах уровень мощности сигнала на входе приемника $P_{с.вх} = p_0(f, r) + v(t)$, где

$$p_0(f, r) = p_n + g_1 + g_2 - (a_{св} + a_1 + a_2) - \quad (2.1)$$

уровень мощности сигнала в точке приема при распространении в свободном пространстве; p_n – уровень мощности передатчика; g_1 и g_2 – коэффициент усиления передающей и приемной антенны соответственно, выраженный в децибелах; a_1 и a_2 – потери в фидере передающей и приемной антенны соответственно; $a_{св} = (4\pi \cdot r/\lambda)^2$ – ослабление свободного пространства; r – протяженность трассы; $v(t)$ – дополнительный множитель ослабления поля для реальных трасс.

Множитель ослабления позволяет учесть влияние земной поверхности и тропосферы на поле в точке приема. Во-первых, земная поверхность может создавать отраженную волну. Во-вторых, неровности рельефа могут экранировать поле прямой волны. Наконец, кривизна земной поверхности и неровности рельефа ограничивают расстояние прямой видимости – дальность

радиогоризонта, которая определяется выражением [1, 12]

$$R_{max} \approx 4,12 \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) , \quad (2.2)$$

где R_{max} выражено в километрах, h_1, h_2 – в метрах.

Влияние тропосферы обычно разделяют на три составляющие. Во-первых, слоистые неоднородности тропосферы могут создавать отраженную волну. Во-вторых, искривляется траектория прямой волны из-за изменения диэлектрической проницаемости тропосферы по высоте. Наконец, осадки (дождь или снег) поглощают и рассеивают энергию сигнала.

Однако, как упоминалось в разд. 1, в городских условиях обычно значительно реже встречаются ситуации, когда между БС и АС есть прямая видимость и мощность принятого сигнала оказывается значительно ниже, чем в свободном пространстве. В таких ситуациях расчёты по формулам (2.1) и (2.2) дают существенные погрешности и определение величины дополнительного множителя ослабления поля вызывает большие затруднения.

Как показывают экспериментальные исследования, дополнительное ослабление в городе на частоте 900 МГц в среднем может составлять 20...30 дБ при протяженности трассы 1...10 км. Это ослабление вызвано в основном отражением и рассеянием энергии сигнала на крупных строениях.

Рельеф местности существенно влияет на уровень сигнала. Как уже отмечалось выше, известны два основных метода для учета его влияния: детерминированный и статистический. Первый позволяет рассчитать множитель ослабления по конкретному профилю пролета и широко используется для энергетических расчетов в линиях связи по схеме «от точки к точке». В этом случае медианное значение мощности сигнала в точке приема – это медианное значение, которое превышает в течение 50 %-го времени наблюдения (например, месяца). В сотовых системах, где БС должна обеспечить связь на территории соты, часто на этапе построения исходного

варианта или на этапе эскизного проектирования применяют статистические методы. Характер рельефа местности в соте оценивают параметрами, усредненными на участках трассы, обычно протяженностью 1...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 определяют УММС, по которой затем и находят значение радиуса соты.

2.2. Статистические модели определения затухания принимаемого радиосигнала

Расчет компонент потерь в сотовых системах связи включает в себя расчёт потерь при распространении радиоволн, определение потерь в элементах БС и АС и других компонент потерь. Существует несколько статистических моделей для оценки величины потерь при распространении радиоволн между БС и АС или сотовым телефоном – это модели Окамуры–Хата [3, 12], Ли [4] и др. Одной из наиболее распространенных моделей является модель Окамуры–Хата, в которой используются следующие параметры в условиях города:

- 1) диапазон частот $150 \text{ МГц} \leq f \leq 1500 \text{ МГц}$;
- 2) дальность связи (расстояние БС–АС) $1 \text{ км} < R \leq 20 \text{ км}$;
- 3) высота подъема антенны БС $30 \text{ м} < H_{\text{БС}} < 200 \text{ м}$;
- 4) высота подъема антенны АС $1 \text{ м} < H_{\text{АС}} < 10 \text{ м}$;
- 5) АС находятся на улице.

При таких условиях расчётные формулы для величины потерь радиоволн L (в дБ) имеют вид

$$L = 68,8 + 27,76 \cdot \lg(f) - 13,82 \cdot \lg(H_{\text{BC}}) + \\ + [44,9 - 6,55 \cdot \lg(H_{\text{BC}})] \cdot \lg(R) - (1,1 \cdot \lg(f) - 0,7) \cdot H_{\text{AC}} \quad (2.3)$$

Для упрощения запишем части этого выражения следующим образом:

$$C = 68,8 + 27,76 \cdot \lg(f) - 13,82 \cdot \lg(H_{\text{BC}}) - (1,1 \cdot \lg(f) - 0,7) \cdot H_{\text{AC}} \quad (2.4)$$

$$B = 44,9 - 6,55 \cdot \lg(H_{\text{BC}}) \quad (2.5)$$

В результате получим запись:

$$L = C + B \cdot \lg(R) \quad (2.6)$$

Из (2.6) окончательно получаем выражение для определения расстояния:

$$R = 10^{\frac{L-C}{B}} \quad (2.7)$$

При расчете компонент потерь в качестве L можно выбирать допустимые основные потери передачи с вероятностью 75 %, т.е. $W_{\text{доп}(75\%)}$. Далее по (2.7) находится максимальная дальность связи с вероятностью 75 % на границе зоны обслуживания.

Методику проведения расчётов в направлении БС→АС можно представить следующим образом.

1. Найдем мощность передатчика $P_{\text{прд}}$ по формуле

$$P_{\text{прд}} = 10 \lg P'_{\text{прд}} + 30 \text{ (дБм)}, \quad (2.8)$$

где $P'_{\text{прд}}$ – максимальная мощность передатчика, Вт.

2. Определим мощность излучаемого сигнала:

$$P_{\text{изл}} = P_{\text{прд}} - a_{\text{с.прд}} - a_{\text{ф.прд}} \mathcal{H}_{\text{прд}} + G_{\text{о.прд}} \text{ (дБм)}, \quad (2.9)$$

где $P_{\text{прд}}$ – максимальная мощность передатчика, дБм; $G_{\text{о.прд}}$ – максимальный

коэффициент усиления антенны в тракте передачи, дБ; коэффициент затухания сигнала в фидере $a_{ф.прд}$ длиной $H_{прд}$ в тракте передачи, дБ/м; и $a_{с.прд}$ – потери мощности в элементах АФТ (направленные ответвители, фильтры и т.д.) в тракте передачи, дБ.

3. Найдем необходимую мощность полезного сигнала с вероятностью 50 % - $P_{п.с}(50 \%)$ по формуле

$$P_{п.с}(50 \%) = P_{прм} + a_{с.прм} + a_{ф.прм} H_{прм} - G_{о.прм} \text{ (дБм)}, \quad (2.10),$$

где $P_{прм}$ – чувствительность приемника, дБм; $G_{о.прм}$ – максимальный коэффициент усиления антенны в тракте приёмника, дБ; коэффициент затухания в фидере АС $a_{ф.прм}$ длиной $H_{прм}$ в тракте приёмника, $a_{с.прм}$ – потери мощности в элементах АФТ (направленные ответвители, фильтры и т.д.) приёмника, дБ.

4. Найдем необходимую напряженность поля полезного сигнала с вероятностью 50 % - $E_{п.с}(50 \%)$ по формуле

$$E_{п.с}(50 \%) = 77,2 + 20 \lg f + P_{п.с}(50 \%) \text{ (дБ)}, \quad (2.11)$$

где f – частота сигнала, МГц. Частота f находится по известному номеру радиоканала n стандартов GSM-900 или GSM-1800 и зависит от направления передачи: АС→БС или БС→АС. Всего в стандарте GSM-900 общее количество частотных каналов равно 124 в полосах 935...960 МГц (направление БС→АС) и 890...915 МГц (направление АС→БС). Расчёт частоты приёма БС в стандарте GSM-900 производится по формуле $f_n = 890 + n \cdot 0,2$, а частоты передачи БС – по формуле $f_n = 935 + n \cdot 0,2$. В стандарте GSM-1800 другое количество частотных каналов – 374, которые распределены в диапазонах 1805...1880 МГц (направление БС→АС) и 1710...1785 МГц (направление АС→БС). Расчёт частоты приёма БС в стандарте GSM-1800 производится по формуле $f_n = 1710 + n \cdot 0,2$, а частоты передачи БС – по формуле $f_n = 1805 + n \cdot 0,2$.

5. Найдем необходимую мощность полезного сигнала на границе зоны обслуживания с вероятностью 75 % - $P_{п.с}(75 \%)$ по формуле

$$P_{п.с}(75 \%) = P_{п.с}(50 \%) + \mu(75 \%) \times \sigma \text{ (дБм)}, \quad (2.12)$$

где $\mu(75 \%)$ – параметр логнормального распределения уровней сигнала с вероятностью 75 %.

6. Найдем необходимую напряженность поля полезного сигнала на границе зоны обслуживания с вероятностью 75 % - $E_{п.с}(75 \%)$ по формуле

$$E_{п.с}(75 \%) = E_{п.с}(50 \%) + \mu(75 \%) \cdot \sigma \text{ (дБ)}, \quad (2.13)$$

где специальный параметр σ – дисперсия флуктуаций уровня сигнала, дБ.

7. Найдем допустимые основные потери передачи с вероятностью 50 % и 75 %, $W_{доп}(50 \%)$ и $W_{доп}(75 \%)$ по формулам

$$W_{доп}(50 \%) = P_{изл} - P_{п.с}(50 \%) - W_T \text{ (дБ)}, \quad (2.14)$$

$$W_{доп}(75 \%) = W_{доп}(50 \%) + \mu(75 \%) \sigma \text{ (дБ)}, \quad (2.15)$$

где W_T – величина потерь радиосигнала в теле человека, дБ.

8. Найдем максимальную дальность связи с вероятностью 75 % на границе зоны обслуживания R_{max} по формуле

$$R_{max} = 10^{(W_{доп}(75\%) - C) / B} \text{ (км)}, \quad (2.16)$$

где значение C и B определим по формулам (2.4), (2.5). Затем определим значение максимальной дальности связи $R_{max.p}$ по формуле (2.2), зная высоты подвеса антенн БС и АС, и сравним её с величиной R_{max} , найденной по формуле (2.16).

9. Найдем защитное отношение сигнал/помеха с вероятностью 75 % на границе зоны обслуживания $A_{гр}$ по формуле

$$A_{гр} = A_0 + \mu (75 \%) \sigma \sqrt{2}, \quad (2.17)$$

где величина защитного отношения сигнал/помеха с вероятностью 50 % – $A_0 = 9$ дБ.

10. Найдем максимальную дальность соканальных помех на границе зоны обслуживания $R_{п}$ по формуле

$$R_{п} = R_{max} 10^{A_{гр}/B}, \quad (2.18)$$

где значение B находят по (2.5).

При проведении расчётов в направлении АС→БС необходимо в формулы (2.8)–(2.18) подставить соответствующие параметры передатчика АС, приёмника БС, АФТ приёмника и передатчика, а также остальные необходимые параметры.

Считается, что основная модель Окамуры–Хата пригодна для расчёта затуханий на расстояниях, превышающих 1 км, и в диапазоне частот, не превышающем 1,5 ГГц. Однако известны ССС, работающие в диапазоне частот, превышающие это значение. Примерами этих систем являются ССС DCS-1800 и PCS-1900. Для описания потерь в диапазоне частот до 2 ГГц проводились исследования в рамках проекта Европейского Союза COST#231. В литературе представлены по крайней мере еще две известные модели распространения, разработанные в рамках проектов COST. Это модели COST231–Хата и COST231-Уолфиш–Икегами [6, 12].

Модель COST231-Хата разработана на базе исследований Н. Могенсена (Mogensen) с соавторами [6, 12]. Они предложили расширить модели Окамуры–Хата на частотный диапазон от 1,5 до 2 ГГц. Модель COST231–Хата справедлива для несущих частот в диапазоне от 1,5 ГГц, при высоте антенны базовой станции от 30 до 200 м, при высоте антенны АС 1 до 10 м и расстоянии

между ними от 1 до 20 км. Модель позволяет определить затухание по формуле

$$L = 46,3 + 33,91gf - 13,821g(H_{\text{БС.эфф}}) - a(H_{\text{АС}}) + (44,9 - 6,551g(H_{\text{БС.эфф}}))lgd + C, \quad (2.19)$$

где $H_{\text{БС.эфф}}$ – эффективная высота подвеса антенны БС в м, d – расстояние в км, L имеет размерность в децибелах, C – постоянная, значение которой для средних городов и пригородных районов с умеренной растительностью равно 0, для центров крупных городов $C = 3$. Формально модели Окамуры–Хата и COST231–Хата можно использовать для высоты антенны базовой станции, превышающей 30 м, однако их применение возможно и для более низких высот при условии, что соседние строения значительно ниже антенны. Модель COST231–Хата не подходит для оценки затухания сигнала при расстояниях между подвижной и базовой станциями менее 1 км. В этом случае затухание сильно зависит от топологии местности, на которой происходит распространение сигнала. Эту модель также нельзя использовать для оценки распространения сигнала по улицам с высокими строениями (по так называемым уличным каньонам).

2.3. Детерминированные модели определения затухания принимаемого радиосигнала

В детерминированных моделях с заданной точностью восстанавливается профиль трассы или ее трехмерная картина. Соответственно рассматривают метод 2D и метод 3D. Для метода 2D профиль представляет собой плоское изображение. Для метода 3D рассматривают или объем первой зоны Френеля, или объем, позволяющий учесть возможность прихода сигнала в точку приема по многим путям («трассовая» многолучевость).

Методы 2D к настоящему времени развиты в наибольшей степени [2, 7]. Для условий открытой местности строится профиль трассы, при этом

реальные препятствия аппроксимируются известными геометрическими фигурами, затем по известным формулам рассчитывается ослабление сигнала на каждом препятствии. Полученные результаты комбинируются. Основными видами геометрических фигур являются полубесконечные параболы, цилиндры и клинья, которым соответствуют разная точность и скорость расчета величины затухания сигнала. Наименьшую точность при наивысшей скорости расчета дает аппроксимация препятствия клином. Наличие или отсутствие условий прямой видимости между БС и АС определяется из геометрических соотношений на трассе распространения сигнала.

Цифровая карта местности позволяет учесть состояние рефракции атмосферы в географическом районе, что является несомненным преимуществом ГИС-технологий перед применяемыми в настоящее время статистическими методами учета влияния морфологии местности на качество связи. Например, появляется возможность расчета верхней и нижней оценки вероятности качественной связи по условиям рефракции атмосферы. Указанные методы также позволяют выявить возможности прихода в точку приема копий сигнала с большой задержкой и актуальны для условий сильнопересеченной местности и разновысотной городской застройки.

Для городских условий МСЭ рекомендовано применение модели COST231–Уолфиш–Икегами (Walfisch–Ikegami), сочетающей методы 2D и 3D [2, 12]. Эту модель применяют в случаях, когда антенна БС находится ниже линии уровня крыш городской застройки. Собственно метод Уолфиша обеспечивает компоненту 2D, а метод Икегами – 3D.

Метод Уолфиша заключается в следующем. В точке приема учитываются нижеперечисленные механизмы распространения радиоволн на трассе: дифракция поля на зданиях, аппроксимированных эквидистантной решеткой (влияние трассы); дифракция поля на кромке последнего здания на трассе и отражение поля от противоположных зданий (влияние местных условий). В модели используются усредненные значения высот зданий и ширины улиц на трассе. В общих чертах формула, описывающая потери

сигнала, состоит из трех членов: потерь на распространение в свободном пространстве; потерь на дифракцию и рассеивание волн на крышах зданий; потерь, вызванных многократной дифракцией от рядов зданий. Эти компоненты определяются по формулам и методикам, представленными в [12].

Экспериментально установлено, что модель теряет точность при больших и очень малых углах возвышения трассы и наличии значительных перепадов высот зданий на трассе. Кроме того, экспериментальные значения коэффициента отражения поля от стены противоположного здания улиц меняются в пределах 2...15 дБ.

Вклад Икегами в модель заключается в том, что учитывается возможность прихода сигнала в точку приема несколькими путями с последующим сложением копий сигнала («трассовая» многолучевость). Для данных систем можно предполагать, что в точку приема приходит до трех отраженных лучей и не более одного луча, дифрагированного на углу здания.

При использовании детерминированных моделей получила известность ГИС MapInfo фирмы Mapping Information Systems Corporation, работающая на различных компьютерных платформах и позволяющая создавать приложения, ориентированные на конкретные задачи пользователя. Разработаны компьютерные системы, использующие цифровые карты для моделирования, анализа и планирования различных систем связи и вещания. Анализ публикаций показывает, что ГИС используются в системах управления радиочастотным спектром. В частности, фирмой AURSTAR (США) разработана ГИС, предназначенная для управления радиочастотным спектром и организации сети радиомониторинга [2]. Компьютерная сеть системы охватывает множество пользователей от регионального уровня до правительственной организации, отвечающей за использование радиоспектра. Система хранит информацию в виде цифровых карт местности, которые дают представление о топографии местности, типе подстилающей поверхности, дислокации систем связи (спутниковые наземные станции, базовые станции мобильных и сотовых систем, передатчики радио- и ТВ-вещания и др.) и т.д.

3. ЭСКИЗНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОТОВОЙ СЕТИ

Для составления полного частотного плана ССС, т.е. плана внедрения конкретных номиналов частот для каждой из БС, установленных на определенной территории, необходимо предварительно определить основные параметры этого плана.

Эскизное ЧТП сводится к определению необходимого количества БС для обслуживания заданного количества абонентов, с заданным качеством, на заданной территории при условии, что оператор сети располагает определенным ресурсом радиоканалов [7, 9, 11]. Участок территории радиопокрытия, на котором осуществляется связь в фиксированной полосе частот, схематически изображается в виде правильного шестиугольника и по сходству с пчелиными сотами получил название соты [8–10, 11].

ССС основываются на возможности многократного использования выделенного ресурса при пространственном разнесении приемопередатчиков БС. Идея повторного применения частот заключается в том, что в смежных областях радиопокрытия ССС используются разные полосы разрешенного частотного диапазона, тогда как в зонах, достаточно удаленных друг от друга, допускается передача в одних и тех же частотных каналах. Возможность подобного ЧТП объясняется быстрым пространственным затуханием радиоволн дециметрового диапазона, применяемого в ССС.

При ЧТП решается задача определения оптимального расположения сот на заданной территории и назначения радиоканалов для них. Критерий оптимальности, как уже отмечалось, это минимальная стоимость сети при получении высокого качества связи.

Сота является наименьшей структурной единицей сети. В зависимости от характера ДН антенны БС сота может быть круговой (ширина ДН 360°) или секторной (ширина ДН 120° или 60°). В настоящее время наиболее популярны секторные 120-градусные соты [8–10]. Размер соты характеризуется радиусом R , определяющим зону обслуживания данной БС.

Следует подчеркнуть, что радиоизлучение БС распространяется заметно дальше расстояния R .

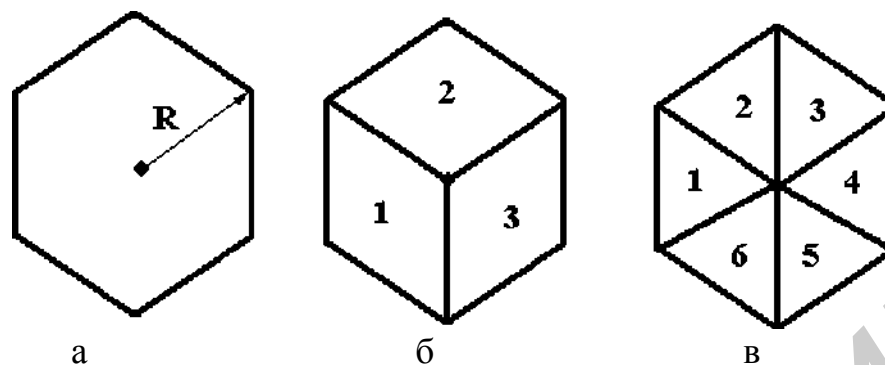


Рис. 3.1. Условное графическое изображение сот:

а – круговая сота; б – сота из трех 120-градусных сот; в – сота из шести 60-градусных сот

Использование секторных сот позволяет повысить емкость соты – одна круговая сота разбивается на несколько секторных сот (рис. 3.1). При этом зона обслуживания такой соты, определяемая радиусом R , не изменяется. Однако важно помнить, что форма реальных зон покрытия сот может сильно отличаться от этого условного образа.

Группу сот, в пределах которой отсутствует повторное использование частотных полос, называют кластером, а число этих сот – размерностью кластера [8, 12]. Кластер используется как крупная типовая структура для ЧТП. Если кластер состоит из N сот, каждая из которых содержит M секторов, то говорят, что размерность кластера ($N/(N \cdot M)$). Кластеры могут состоять из круговых сот (например, классическая «ромашка» из семи сот) или из секторных сот. На рис. 3.2 и 3.3 показана топология сотовой сети с кластерами типа 3/9 и 4/12 на основе 120-градусных сот. Сотовая топология позволяет многократно увеличить абонентскую емкость системы по сравнению с системами радиальной структуры и охватить сколь угодно большую зону обслуживания без ухудшения качества связи и расширения выделенного частотного диапазона. Вместе с тем использование сотового принципа построения предполагает и ряд усложнений, касающихся определения текущего местоположения мобильного абонента и обеспечения

непрерывности связи при перемещении его из одной соты в другую. Соответствующая процедура получила название эстафетной передачи (в английской транскрипции *handoff* или *handover*).

При ЧТП должен контролироваться и обеспечиваться низкий уровень так называемой соканальной помехи. Соканальной называют помеху в n соте, создаваемую m сотой, при условии, что n и m соты используют одинаковые радиоканалы. Снижение соканальной помехи обеспечивается максимальным разнесением одноименных сот при формировании кластеров, организацией разного направления излучения в таких сотах, выбором достаточно большого R или снижением мощности радиопередачи. По стандарту GSM требуется обеспечить отношение «сигнал/соканальная помеха» не ниже 9 дБ.

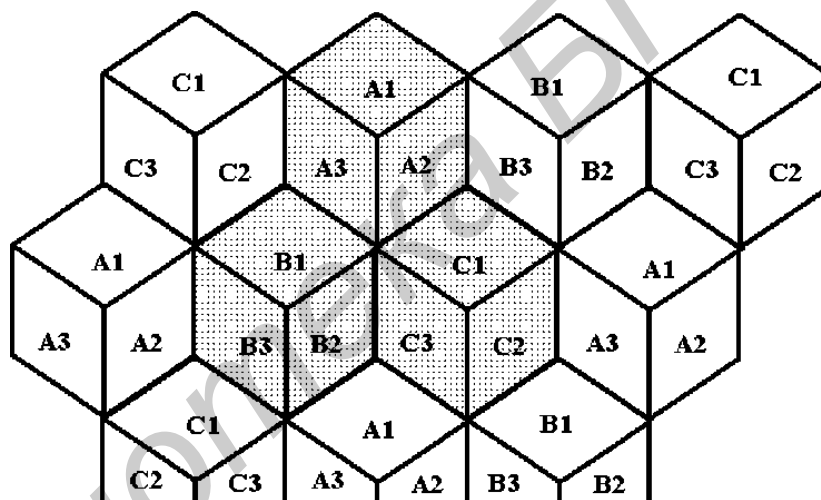


Рис. 3.2. Топология сети на основе кластера 3/9

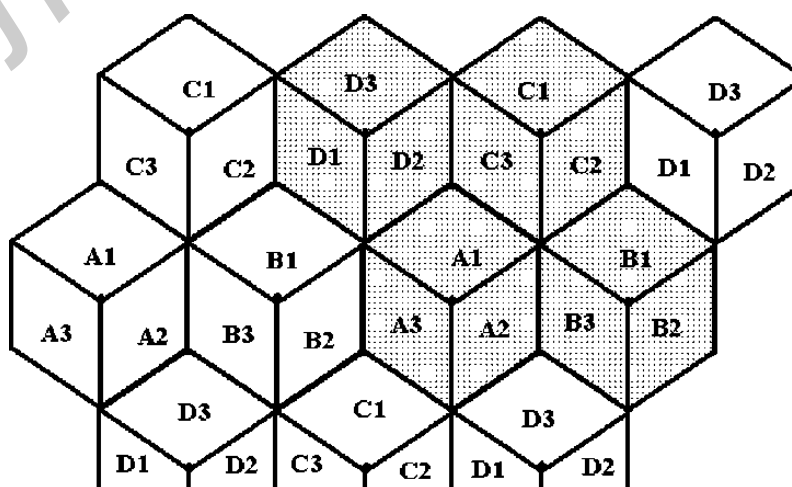


Рис. 3.3. Топология сети на основе кластера 4/12

Приведем пример эскизного ЧТП сотовой сети стандарта GSM. Исходные данные для проектирования находятся в табл. 3.1. Параметр M может принимать следующие значения: $M = 1$ при использовании антенны БС с шириной диаграммы направленности, равной 360^0 ; $M = 3$ при использовании антенны БС с шириной диаграммы направленности, равной 120^0 ; $M = 6$ при использовании антенны БС с шириной диаграммы направленности, равной 60^0 . Число абонентов n_a , которые одновременно могут в стандарте GSM использовать одну частотную полосу величиной 200 кГц, равняется 8. Часть из этих частотных каналов может использоваться для передачи служебной информации. Для всех вариантов примем число этих каналов равное 2.

Таблица 3.1

Наименование	Обозначение, единица измерения	Значение характеристики
1	2	3
Число частотных каналов, выделяемых для развертывания сотовой сети подвижной радиосвязи в данном городе	n_k , шт.	124
Размерность кластера	N	4
Число абонентов, которые одновременно могут использовать один частотный канал	n_a , чел.	8
Число абонентов, которое должно обслуживать сотовая сеть подвижной радиосвязи в данном городе	N_a , чел.	60000
Активность одного абонента в час наибольшей нагрузки	b , Эрл	0,025
Допустимая вероятность блокировки вызова в сотовой сети	p_a	0,02

1	2	3
Площадь города, в котором развернута сотовая сеть подвижной радиосвязи	$S, \text{ км}^2$	500
Число секторов обслуживания в одной соте	M	3

Используя данные, представленные в табл. 3.1, приведем пример эскизного проектирования сотовой сети.

1. Найдем число частотных каналов, которые используются для обслуживания абонентов в одном секторе одной соты по формуле

$$n_s = \text{int} \frac{n_k \cdot (n_a - 2)}{M \cdot N}, \quad (3.1)$$

$n_s = 62$.

2. Определим допустимую телефонную нагрузку в одном секторе одной соты по формуле

$$A = n_s \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \left(p_a \cdot \sqrt{p \cdot \frac{n_s}{2}} \right)^{\frac{1}{n_s}}} \right], \quad (3.2)$$

$A = 15,72$ Эрл.

3. Рассчитаем число абонентов, обслуживаемых одной базовой станцией при заданной вероятности блокировки по следующей формуле:

$$N_{\text{бс}} = M \cdot \text{int} \frac{A}{\epsilon}, \quad (3.3)$$

$N_{\text{бс}} = 1887$.

4. Определим число базовых станций в сотовой сети подвижной радиосвязи по формуле

$$K = \text{int} \frac{N_a}{N_{\text{бс}}}, \quad (3.4)$$

$K \approx 32$.

5. Найдем радиус одной соты по следующей формуле:

$$R_0 = \sqrt{\frac{S}{(p \cdot K)}}, \quad (3.5)$$

$R_0 = 2,23$ км.

6. Определим коэффициент уменьшения соканальных помех или коэффициент соканального повторения:

$$x = \sqrt{3N}, \quad (3.6)$$

$\xi = 3,46$.

7. Построим и проанализируем вариант топологии сотовой сети на основе полученных данных.

Библиотека БГУИР

4. ЗАДАНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

4.1. Задание для контрольной работы №1

В процессе расчетов по формулам (2.8)–(2.18) определяются компоненты потерь в сотовых системах радиосвязи. При выполнении расчётов следует записать полную формулу, а затем подстановку числовых данных. При этом надо учитывать, что в некоторых формулах размерность подставляемых данных отличается от системы СИ. Исходные данные для расчета выбираются из представленных ниже таблиц (табл. 4.1–4.3) в соответствии с номером варианта. Во всех вариантах расчёта величину потерь мощности в элементах антенно-фидерного тракта АС $a_{с.прм} = a_{с.прд}$ принять равной 0 дБ, коэффициент усиления антенны АС $G_{о.прм} = G_{о.прд}$ принять равным 0 дБ, величина параметра μ (75 %) = 0,68, чувствительность приемника АС равна чувствительности приёмника БС, величина потерь радиосигнала в теле человека – $W_T = 3$ дБ.

При решении задачи с вариантом расчета 111 исходные данные будут выглядеть следующим образом: максимальная мощность передатчика БС $P'_{прд} = 30$ Вт; чувствительность приемника АС $P_{прм} = -100$ дБм; максимальный коэффициент усиления антенны БС $G_{о.прд} = G_{о.прм} = 14$ дБ; коэффициент затухания в фидере БС $\alpha_{ф.прд} = \alpha_{ф.прм} = 0,2$ дБ/100 м; высота антенны БС $H_{БС} = 42$ м, потери мощности в элементах АФТ БС $\alpha_{с.прд} = \alpha_{с.прм} = 5,4$ дБ; величина параметра $s = 7,5$; номер частотного канала $n = 93$, высота антенны АС $H_{АС} = 1,7$ м; максимальная мощность передатчика АС $P'_{прд} = 0,1$ Вт. Используется вариант GSM-900, и по номеру частотного канала необходимо найти частоты дуплексного канала передачи БС \leftrightarrow АС, которые в представленных выше формулах выражаются в мегагерцах. Расчёты необходимо выполнить для двух направлений: БС \rightarrow АС и АС \rightarrow БС.

Таблица 4.1

Первая цифра номера варианта	Максимальная мощность передатчика БС, $P'_{\text{прд}}$ (Вт)	Чувствительность приемника БС (АС), $P_{\text{прм}}$ (дБм)	Максимальный коэффициент усиления антенны БС, $G_{\text{о.прд}}$ ($G_{\text{о.прм}}$), (дБ)
1	30	-100	14
2	20	-105	24
3	33	-106	25
4	25	-102	18
5	18	-107	15

Таблица 4.2

Вторая цифра номера варианта	Потери мощности в фидере БС, $\alpha_{\text{ф.прд}}$ ($\alpha_{\text{ф.прм}}$), (дБ/100 м)	Потери мощности в элементах антенно-фидерного тракта БС, $\alpha_{\text{с.прд}}$ ($\alpha_{\text{с.прм}}$), дБ	Высота антенны БС, $H_{\text{БС}}$, м
1	0,2	5,4	42
2	0,25	6,6	50
3	0,3	5,9	30
4	0,28	6,7	34
5	0,15	5,1	27

Таблица 4.3

Третья цифра номера варианта	Параметр s	Номер частотного канала, n	Высота антенны АС, $H_{\text{АС}}$, м	Максимальная мощность передатчика АС, $P'_{\text{прд}}$ (Вт)
1	7,5	93 (GSM-900)	1,7	0,1
2	8,0	257(GSM-1800)	1,8	0,2
3	7,8	46 (GSM-900)	1,4	0,25
4	6,8	345(GSM-1800)	1,5	0,15

4.2. Задание для контрольной работы №2

В процессе расчетов по формулам (3.1)–(3.6) выполняется эскизное проектирование сотовой сети подвижной радиосвязи. При выполнении расчетов следует записать полную формулу, затем произвести необходимые преобразования и обязательно подстановку числовых данных. При этом надо учитывать, что в некоторых формулах размерность подставляемых данных отличается от системы СИ. Исходные данные для расчета выбираются из представленных ниже таблиц (табл. 4.4–4.6) в соответствии с номером варианта. Например, при решении первой задачи с вариантом расчета 111 исходные данные будут выглядеть следующим образом: размерность кластера $N = 3$; количество абонентов $N_a = 140\ 000$; предполагаемая нагрузка от одного абонента $b = 0,01$ Эрл; число секторов обслуживания в одной соте $M = 1$; допустимая вероятность блокировки вызова в сотовой сети $p_a = 0,02$; площадь города, в котором развернута сотовая сеть подвижной радиосвязи, $S = 550\ \text{км}^2$; общее число частотных каналов, выделяемых для развертывания сотовой сети подвижной радиосвязи в данном городе, $n_k = 124$ (GSM-900).

Таблица 4.4

Первая цифра номера варианта	Размерность кластера, N	Количество абонентов, N_a (тыс. чел.)	Предполагаемая нагрузка от одного абонента, b (Эрл)
1	3	140	0,01
2	4	125	0,02
3	3	130	0,025
4	4	140	0,018
5	3	120	0,015

Таблица 4.5

Вторая цифра номера варианта	Число секторов обслуживания в одной соте, M	Допустимая вероятность блокировки вызова в сотовой сети, p_a
1	1	0,02
2	3	0,025
3	6	0,03
4	1	0,028
5	3	0,042

Таблица 4.6

Третья цифра номера варианта	Площадь города, в котором развернута сотовая сеть подвижной радиосвязи, S (км ²)	Число частотных каналов, выделяемых для развертывания сотовой сети подвижной радиосвязи в данном городе, n_k
1	550	124(GSM-900)
2	650	374(GSM-1800)
3	480	124(GSM-900)
4	400	374(GSM-1800)
5	575	124(GSM-900)

По заданным исходным данным следует выполнить расчеты. Выполнить рисунок, на котором показать либо полный, либо частичный план расположения сот. При этом необходимо пронумеровать секторные соты. Например, для кластера 3/9 воспользоваться символами: А1, А2, А3, В1, В2, В3, С1, С2, С3 (см. рис. 3.2). Для кластера 4/12 к упомянутым выше сотам добавляются секторные соты D1, D2, D3 (см. рис. 3.3). При использовании ненаправленных антенн ($M = 1$) используется нумерация сот буквами без цифр. Полученное значение максимального расстояния R_{max} (2.16) надо сравнить со значением радиуса соты R_0 из эскизного ЧТП. Сделать выводы о структуре и особенностях построения ССС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пономарев, Г. А. Распространение УКВ в городе / Г. А. Пономарев, А. Н. Куликов, Е. Д. Тельпуховский. – Томск : МП Раско, 1991. – 222 с.
2. Бабков, В. Ю. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование / В. Ю. Бабков, М. А. Вознюк, П. А. Михайлов. – СПб. : СПбГУТ, 2007. – 224 с.
3. Okumura, Y. Field strength and its variability in VHF and UHF land mobile radio service // Rev. ECL. 1968. – Vol. 16. – №9–10. – P. 825 – 873.
4. Ли, Уильям К. Техника подвижных систем связи / Уильям К. Ли. – М. : Радио и связь, 1985. – 392 с.
5. Связь с подвижными объектами в диапазоне СВЧ / под ред. У. К. Джейкса. – М. : Связь, 1979. – 520 с.
6. Весоловский, К. Системы подвижной радиосвязи / К. Весоловский. – М. : Горячая линия – Телеком, 2006. – 536 с.
7. Никодимов, И. Ю. Планирование сети GSM / И. Ю. Никодимов, М. И. Мансыров // Сети и системы связи. – 1999. – №13. – С. 82–87.
8. Системы мобильной связи : учеб. пособие / В. П. Ипатов и [др.]. – М. : Горячая линия – Телеком, 2003. – 272 с.
9. Быховский, М. А. Частотное планирование сотовых сетей подвижной радиосвязи / М. А. Быховский // Электросвязь. – 1993. – №8. – С. 30–32.
10. Громаков, Ю. А. Стандарты и системы подвижной радиосвязи / Ю. А. Громаков. – М. : Эко-Трендз, 1998.
11. Маковева, М. М. Системы связи с подвижными объектами : учеб. пособие для вузов / М. М. Маковева, Ю. С. Шинаков. – М. : Радио и связь, 2002. – 440 с.
12. Волков, Л. Н. Системы цифровой радиосвязи: базовые методы и характеристики : учеб. пособие / Л. Н. Волков, М. С. Немировский, Ю. С. Шинаков. – М. : Эко-Трендз, 2005. – 392 с.

СОДЕРЖАНИЕ

1. ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ ЧАСТОТНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ СЕТЕЙ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ.....	4
1.1. Общие положения.....	4
1.2. Природа и причины замираний радиосигнала в системах подвижной связи.....	8
1.2.1. Общие характеристики замираний радиосигнала в системах подвижной связи.....	8
1.2.2. Статистические характеристики быстрых замираний.....	12
1.2.3. Статистические характеристики медленных замираний.....	13
1.3. Модели радиоканалов в системах подвижной радиосвязи	15
2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ РАДИОСИГНАЛА В СОТОВЫХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ	20
2.1. Особенности расчета потерь при поднятых антеннах	20
2.2. Статистические модели определения затухания принимаемого радиосигнала.....	22
2.3. Детерминированные модели определения затухания принимаемого радиосигнала.....	27
3. ЭСКИЗНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОТОВОЙ СЕТИ.....	30
4. ЗАДАНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ	36
4.1. Задание для контрольной работы №1	36
4.2. Задание для контрольной работы №2.....	38
ЛИТЕРАТУРА.....	40

Учебное издание

Мищенко Валерий Николаевич

***ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
СИСТЕМ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ
СТАНДАРТА GSM***

Методическое пособие к практическим занятиям
по дисциплине «Системы подвижной радиосвязи и радиоопределения»
для студентов специальностей
I-45 01 01 «Многоканальные системы телекоммуникаций»,
I-45 01 02 «Радиосвязь, радиовещание и телевидение»
всех форм обучения

Редактор Н. В. Гриневич
Корректор М. В. Тезина
Компьютерная верстка Е. Г. Бабичева

Подписано в печать 20.03.2008.
Гарнитура «Таймс».
Уч.-изд. л. 2,2.

Формат 60x84 1/16.
Печать ризографическая.
Тираж 120 экз.

Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 2,67.
Заказ 52.

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. Бровки, 6