

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

Кафедра сетей и устройств телекоммуникаций

***МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ БЕСПРОВОДНЫХ  
ЛОКАЛЬНЫХ СЕТЕЙ WI-FI***

Методические указания  
к лабораторной работе по дисциплине  
«Защита объектов связи от несанкционированного доступа»  
для студентов специальности  
1-98 01 02 «Защита информации в телекоммуникациях»  
всех форм обучения

Минск БГУИР 2011

УДК 004.732(076.5)

ББК 32.973.202я73

М54

С о с т а в и т е л ь

А. И. Королёв

**М54** **Методика** проектирования беспроводных локальных сетей Wi-Fi : метод. указ. к лаб. работе по дисц. «Защита объектов связи от несанкционированного доступа» для студ. спец. 1-98 01 02 «Защита информации в телекоммуникациях» всех форм обуч. / сост. А. И. Королёв. – Минск : БГУИР, 2011. – 23 с.: ил.

ISBN 978-985-488-804-0.

В методических указаниях излагается методика проектирования различных вариантов радиолиний распределенной Wi-Fi-сети. Приведены примеры расчетов функциональных элементов радиолиний Wi-Fi-сети.

**УДК 004.732(076.5)**

**ББК 32.973.202я73**

**ISBN 978-985-488-804-0**

© Королёв А. И., составление, 2011

© УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 2011

## Лабораторная работа №4

### Методика проектирования беспроводных локальных сетей Wi-Fi

*Цель работы:* получить навыки расчета и проектирования радиолинии распределенной Wi-Fi-сети на основе оборудования фирмы D-Link.

#### 1. Домашнее задание к лабораторной работе

1. По данным методическим указанием и рекомендованной литературе подготовиться к выполнению лабораторной работы.

2. Изучить состав и назначение функциональных элементов радиолиний распределенной Wi-Fi сети.

3. По заданным параметрам радиолинии рассчитать мощность радиосигнала на выходе антенно-фидерного тракта и потери мощности радиосигнала в свободном пространстве для двухточечной радиолинии.

4. По заданной чувствительности приемника выбрать и обосновать скорость передачи информации.

5. По заданным параметрам радиолинии Wi-Fi-сети определить дальность передачи информации.

#### 2. Состав лабораторной установки

В состав лабораторной установки входят три компьютера с адаптером типа DWA-125 и точка доступа типа DAP-1150.

#### 3. Состав и назначение функциональных элементов радиолинии распределенной Wi-Fi-сети

##### 3.1. Определение и назначение антенны

Антенну можно определить как проводник, используемый для излучения или улавливания электромагнитной энергии из пространства.

Для передачи сигнала радиочастотные электрические импульсы передатчика с помощью антенны преобразуются в электромагнитную энергию, которая излучается в окружающее пространство. При получении сигнала энергия электромагнитных волн, поступающих на антенну, преобразуется в радиочастотные электрические импульсы, после чего подается на приемник. Как правило, при двусторонней связи одна и та же антенна используется как для приема, так и для передачи сигнала. Такой подход возможен, потому что любая антенна с равной эффективностью поставляет энергию из окружающей среды к принимающим терминалам и от передающих терминалов в окружающую среду.

Для технически правильного выбора типа антенны и её эксплуатации необходимо знание как основных характеристик антенны, так и основ распространения электромагнитных волн в эфире.

К основным техническим характеристикам антенны относятся диаграмма направленности, поляризация и коэффициент усиления, а также тип конструкции.

### 3.2. Краткая техническая характеристика основных параметров антенны

#### 3.2.1. Диаграмма направленности антенны

Антенны излучают энергию во всех направлениях. Однако в большинстве случаев эффективность передачи сигнала для различных направлений неодинакова. Наиболее распространенным способом определения эффективности антенны является диаграмма направленности, которая представляет собой зависимость излучающих свойств антенны от пространственных координат. Диаграммы направленности антенны представляются как двухмерное поперечное сечение трехмерной диаграммы.

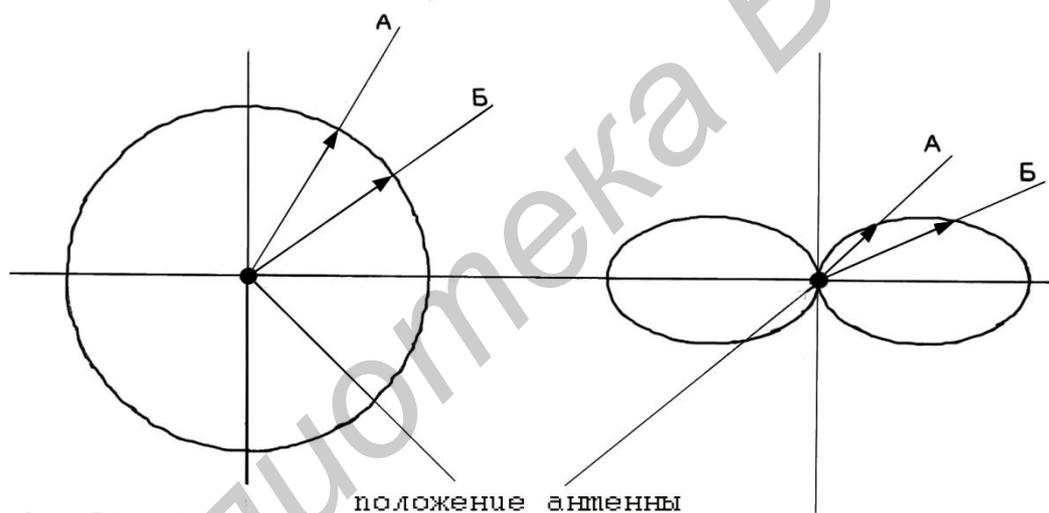


Рис. 3.1. Диаграмма направленности изотропной антенны

Рис. 3.2. Диаграмма направленности направленной антенны

Одна из наиболее простых типов диаграммы направленности соответствует идеальному случаю так называемой изотропной антенны. Под изотропной антенной понимают точку в пространстве, которая излучает энергию одинаково во всех направлениях. Диаграмма направленности для изотропной антенны представляет собой сферу, центр которой совпадает с положением антенны (рис. 3.1). Расстояние от антенны до любой точки диаграммы направленности прямо пропорционально энергии, которая была излучена антенной в данном направлении. На рис. 3.2 пред-

ставлен еще один идеализированный случай – направленная антенна с одним выделенным направлением излучения (вдоль горизонтальной оси).

Размер диаграммы направленности может быть произвольным, важно лишь, чтобы в каждом направлении были соблюдены пропорции. Чтобы на основе относительного расстояния определить приведенную мощность в заданном направлении, от точки размещения антенны до пересечения с диаграммой направленности проводят прямую линию под соответствующим углом наклона. На рис. 3.2 для двух антенн сравниваются два угла передачи сигнала (А и Б). Изотропной антенне соответствует ненаправленная круговая диаграмма; векторы А и Б равны по величине.

### 3.2.2. Типы поляризации антенны

Важной характеристикой антенны является ее поляризация. В системах радиодоступа используются антенны с вертикальной, горизонтальной и круговой (с правым и левым вращением) поляризациями (рис. 3.3).

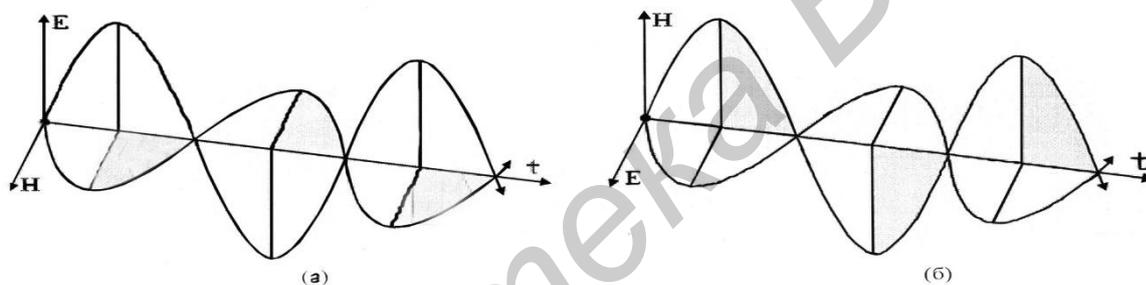


Рис. 3.3. Поляризации:

а – вертикальная; б – горизонтальная

Учет поляризации позволяет получить дополнительные энергетические преимущества при решении задач электромагнитной совместимости, планировании зон обслуживания и т. д. При заполнении определенного пространства точками доступа до предельного уровня, после которого взаимные радиопомехи начинают мешать нормальной работе сетей, достаточно изменить поляризацию антенны, затем можно продолжать наращивать радиосеть.

В плоской электромагнитной волне векторы вертикального электрического  $E$  и магнитного  $H$  полей в каждый момент времени ориентированы в пространстве определенным образом.

Поляризация электромагнитной волны является ее пространственно-временной характеристикой и определяется видом траектории, описываемой концом вектора электрического поля в фиксированной точке пространства. На

задней стороне антенн с поляризацией есть указатель в виде стрелки, который и определяет необходимую поляризацию.

На круговой или циклической поляризации электромагнитное поле вращается вокруг оси  $X$  с определенным циклом, или шагом, так, что в разных точках пространства принимает или вертикальную, или горизонтальную поляризацию. Такой вид поляризации применяется сравнительно редко.

### 3.2.3. Коэффициент усиления антенн

Коэффициент усиления является мерой направленности антенны. Данный параметр определяется как отношение мощности сигнала, излученного в определенном направлении, к мощности сигнала, излучаемого идеальной ненаправленной антенной в любом направлении.

Коэффициент усиления антенны по отношению к *дипольной* антенне обычно выражается в дБ, а по отношению к *изотропной* – в дБ<sub>i</sub>.

Впервые использованная для измерений интенсивности сигнала единица измерения децибел была названа так в честь Александра Грэма Белла. Значение в децибелах вычисляют по логарифмической шкале, что позволяет обеспечить спецификацию характеристик в широком диапазоне напряжений или мощности (формулы (3.1) и (3.2)).

$$\text{Б} = \text{Бел} = \log_{10} \left( \frac{P_1}{P_2} \right) = 2 \times \log_{10} \left( \frac{V_1}{V_2} \right), \quad (3.1)$$

$$\text{дБ} = \text{децибел} = 10 \times \log_{10} \left( \frac{P_1}{P_2} \right) = 20 \times \log_{10} \left( \frac{V_1}{V_2} \right), \quad (3.2)$$

где  $P_1$  – измеренная мощность (Вт);  $P_2$  – эталонная мощность (Вт);  $V_1$  – измеренное напряжение (В),  $V_2$  – эталонное напряжение (В).

Рассмотрим на следующих примерах взаимосвязь между уровнями мощности радиосигнала, выраженной в ваттах и децибелах соответственно.

**Пример 3.1.** Рассчитать ослабление радиосигнала, если уровень мощности радиосигнала на входе тракта передачи информации равен  $P_{\text{вх}}=100$  мВт, а на некотором расстоянии от входа тракта передачи информации равен  $P_{\text{вых}}=50$  мВт.

*Решение:* ослабление уровня радиосигнала можно определить, используя выражение (3.2):

$$L_{\text{дБ}} = 10 \lg \frac{P_{\text{вх}}}{P_{\text{вых}}} = 10 \lg \frac{100}{50} = 10 \lg 2 = 3 \text{ дБ}.$$

**Пример 3.2.** Рассчитать мощность радиосигнала на выходе антенно-фидерного тракта, состоящего из основной кабельной сборки с затуханием 12 дБ, усилителя мощности с коэффициентом усиления 35 дБ и дополнительной кабельной сборки с затуханием 10 дБ, если на вход тракта поступает радиосигнал, мощность которого составляет  $P_{\text{вх}} = 4$  мВт.

*Решение:*

1. Определим суммарное усиление антенно-фидерного тракта:

$$G_{\text{тр.}} = Y_{\text{кб1}} + G_{\text{ум}} + Y_{\text{кб2}} = (-12 + 35 - 10) = 13 \text{ дБ} ,$$

где  $Y_{\text{кб1}}$  и  $Y_{\text{кб2}}$  – затухание радиосигнала, вносимых соответственно первой и второй кабельными сборками;  $G_{\text{ум}}$  – коэффициент усиления усилителя мощности.

2. Мощность радиосигнала на выходе антенно-фидерного тракта вычисляем исходя из суммарного усиления тракта, а именно

$$G_{\text{тр.}} = 13 = 10 \lg \frac{P_{\text{вых}}}{4} .$$

Откуда получаем, что

$$P_{\text{вых}} = 4 \times 10^{1.3} = 79,8 \text{ мВт} .$$

Следует отметить, что значение в децибелах связано с относительными амплитудами или изменениями амплитуд, но никак не с абсолютными уровнями. Удобно представить *абсолютный уровень мощности* также в децибелах, тогда легко вычислять усиление или ослабление мощности сигнала по отношению к исходному сигналу.

Поэтому в качестве *эталонного уровня* выбрана величина 1 Вт, а *абсолютного уровня мощности* – дБВт или dBW (децибел-ватт). *Абсолютный уровень мощности* определяется выражением

$$\text{Мощность, дБВт} = 10 \lg \frac{\text{мощность, Вт}}{1 \text{ Вт}} .$$

На практике широко используется и другая производная единица, а именно – дБмВт (dBm) (*децибел – милливольт*). В этом случае за *эталонный уровень мощности* принимается 1 мВт.

$$\text{Мощность, дБмВт} = 10 \lg \frac{\text{мощность, мВт}}{1 \text{ мВт}} .$$

Увеличение мощности радиосигнала в одном направлении возможно за счет остальных направлений распространения радиосигнала, другими словами, увеличение мощности радиосигнала в одном направлении влечет за собой уменьшение мощности радиосигнала в других направлениях. Следует отметить,

что коэффициент усиления характеризует направленности радиосигнала, а не увеличение выходной мощности по отношению к входной (как это может показаться из его названия), поэтому данный параметр часто еще называют коэффициентом направленного действия.

### 3.3. Распространение радиосигналов

Известно, что при распространении радиосигналов, излучаемых антеннами, они могут огибать поверхность Земли, отражаться как от верхних слоев атмосферы, так и высотных зданий, или распространяться вдоль линии прямой видимости.

#### 3.3.1. Общее понятие о дифракции электромагнитных волн

При огибании поверхности Земли (рис. 3.4) путь распространения сигнала в той или иной степени повторяет контур планеты. Передача может производиться на значительные расстояния, намного превышающие пределы прямой видимости. Данный эффект имеет место для частот до 2 МГц. На способность сигналов, принадлежащих данной полосе частот, повторять кривизну земной поверхности влияет фактор *дифракции* электромагнитных волн. Данное явление связано с поведением электромагнитных волн при наличии препятствия.



Рис. 3.4. Распространение околосредних волн (частота до 2 МГц)

Рассеяние электромагнитных волн указанного диапазона в атмосфере происходит таким образом, что в верхние атмосферные слои эти волны не попадают.

### 3.3.2. Принцип распространения радиосигналов вдоль линии прямой видимости

Если частота радиосигнала превышает 30 МГц, то огибание им земной поверхности и отражение от верхних слоев атмосферы становятся невозможными. В этом случае связь должна осуществляться в пределах видимости (рис. 3.5).



Рис. 3.5. Распространение радиосигнала вдоль линии прямой видимости (частота выше 30 МГц)

При связи через спутник сигнал частотой выше 30 МГц не будет отражаться ионосферой. Такой сигнал может передаваться от наземной станции к спутнику и обратно при условии, что спутник не находится за пределами горизонта. При наземной связи передающая и принимающая антенны должны находиться в пределах эффективной линии прямой видимости. Использование термина «эффективный» связано с тем, что волны сверхвысокой частоты искривляются и преломляются атмосферой. Степень и направление искривления зависят от различных факторов. Однако, как правило, искривление сверхвысокочастотных волн повторяет кривизну поверхности Земли. Поэтому такие волны распространяются на расстояние, превышающее оптическую линию прямой видимости. Так как связь между точками доступа, работающая в стандартах 802.11a, 802.11b и 802.11g, обычно рассчитывается на линию прямой видимости, то рассмотрим, как влияет окружающая среда на полезный сигнал.

### 3.3.3. Передача радиосигнала в пределах прямой видимости

Для любой системы связи справедливо утверждение, что принимаемый сигнал отличается от переданного сигнала. Данный эффект является следствием различных искажений в процессе передачи. При передаче аналогового сиг-

нала искажения приводят к его случайному изменению, что проявляется в ухудшении качества связи. Если же передаются цифровые данные, искажения приводят к появлению двоичных ошибок – двоичная единица может преобразоваться в нуль и наоборот. Рассмотрим различные типы искажений, а также их влияние на пропускную способность каналов связи в пределах прямой видимости. Наиболее важными являются следующие типы искажений: затухание или амплитудное *искажение сигнала*; *потери в свободном пространстве*; *шум*; *атмосферное поглощение*.

#### 3.3.4. Основные факторы, приводящие к затуханию радиосигнала

При передаче радиосигнала в любой среде его интенсивность уменьшается с расстоянием. Такое *ослабление*, или *затухание*, в общем случае логарифмически зависит от расстояния. Как правило, затухание можно выразить как постоянную потерю интенсивности (в децибелах) на единицу длины. При рассмотрении затухания важны три фактора:

- 1) полученный сигнал должен обладать мощностью, достаточной для его обнаружения и интерпретации приемником;
- 2) чтобы при получении отсутствовали ошибки, мощность сигнала должна поддерживаться на уровне, в достаточной мере превышающем шум;
- 3) при повышении частоты сигнала затухание возрастает, что приводит к искажению.

Первые два фактора связаны с *затуханием интенсивности сигнала* и использованием усилителей или ретрансляторов. Для двухточечного канала связи мощность сигнала передатчика должна быть достаточной для четкого приема. В то же время интенсивность сигнала не должна быть слишком большой, т. к. в этом случае контуры передатчика или приемника могут оказаться перегруженными, что также приведет к искажению сигнала. Если расстояние между приемником и передатчиком превышает определенную постоянную, свыше которой затухание становится неприемлемо высоким, для усиления сигнала в заданных точках пространства располагаются ретрансляторы или усилители. Задача усиления сигнала значительно усложняется, если существует множество приемников, особенно если расстояние между ними и передающей станцией непостоянно.

Третий фактор известен как *амплитудное искажение*. Вследствие того, что затухание является функцией частоты, полученный сигнал искажается по сравнению с переданными, что снижает четкость приемника. Для устранения этой проблемы используются методы выравнивания искажения в определенной

полосе частот. Одним из возможных подходов может быть использование устройств, усиливающих высокие частоты в большей мере, чем низкие.

### 3.3.5. Потери мощности радиосигнала в свободном пространстве

Для любого типа беспроводной связи передаваемый сигнал рассеивается по мере его распространения в пространстве. Следовательно, мощность сигнала, принимаемого антенной, будет уменьшаться по мере удаления от передающей антенны. Для спутниковой связи упомянутый эффект является основной причиной снижения интенсивности сигнала. Даже если предположить, что все прочие причины затухания и ослабления отсутствуют, переданный сигнал будет затухать по мере распространения в пространстве. Причина этого – распространение сигнала по всё большей площади. Данный тип затухания называют *потерями в свободном пространстве* и вычисляют через отношение мощности излученного сигнала  $P_t$  к мощности полученного сигнала  $P_r$ . Для вычисления того же значения в децибелах следует взять десятичный логарифм от указанного отношения, после чего умножить полученный результат на 10.

$$\frac{P_i}{P_r} = \frac{(4\pi)^2 (d)^2}{G_r G_t \lambda^2}, \quad (3.3)$$

где  $P_t$  – мощность сигнала передающей антенны;  $P_r$  – мощность сигнала, поступающего на антенну приемника;  $\lambda$  – длина волны несущей;  $d$  – расстояние, пройденное сигналом между двумя антеннами;  $G_t$  – коэффициент усиления передающей антенны;  $G_r$  – коэффициент усиления антенны приемника.

Следовательно, если длина волны несущей и их разнесение в пространстве остаются неизменными, увеличение коэффициентов усиления передающей и приёмной антенн приводит к уменьшению потерь в свободном пространстве.

### 3.3.6. Классификация и краткая характеристика шумов

Для любой передачи данных справедливо утверждение, что полученный сигнал состоит из переданного сигнала, модифицированного различными искажениями, которые вносятся самой системой передачи, а также из дополнительных нежелательных сигналов, взаимодействующих с исходной волной во время ее распространения от точки передачи к точке приема. Эти нежелательные сигналы принято называть *шумом*. Шум является основным фактором, ограничивающим производительность системы связи.

Существует четыре категории шумов: *тепловой шум; интермодуляционный шум; перекрестные помехи; импульсные помехи.*

*Тепловой шум* является результатом теплового движения электронов. Данный тип помех оказывает влияние на все электрические приборы, а также на среду передачи электромагнитных сигналов.

Если сигналы разной частоты передаются в одной среде, может иметь место *интермодуляционный шум*. Интермодуляционным шумом являются помехи, возникающие на частотах, которые представляют собой сумму, разность или произведение частот двух исходных сигналов. Например, смешивание двух сигналов, передаваемых на частотах  $f_1$  и  $f_2$  соответственно, может привести к передаче энергии на частоте  $f_1 + f_2$ .

С *перекрестными помехами* сталкивается каждый, кто во время использования телефона слышит разговор посторонних людей. Данный тип помех возникает вследствие нежелательного объединения трактов передачи сигналов. Такое объединение может быть вызвано сцеплением близко расположенных витых пар, по которым передаются множественные сигналы. Перекрестные помехи могут возникать во время приема посторонних сигналов антеннами. Несмотря на то, что для указанного типа связи используют высокоточные направленные антенны, потерь мощности сигнала во время распространения избежать все же невозможно. Как правило, мощность перекрестных помех равна порядку (или ниже) мощности теплового шума. Все указанные выше типы помех являются предсказуемыми и характеризуются относительно постоянным уровнем мощности. Таким образом, вполне возможно спроектировать систему передачи сигнала, которая была бы устойчивой к указанным помехам.

Однако кроме вышеперечисленных типов помех существуют так называемые *импульсные помехи*, которые по своей природе являются прерывистыми и состоят из нерегулярных импульсов или кратковременных шумовых пакетов с относительно высокой амплитудой. Причин возникновения импульсных помех может быть множество, в том числе внешние электромагнитные воздействия (например молнии) или дефекты (поломки) самой системы связи.

### 3.3.7. Атмосферное снижение мощности радиосигнала

Причиной дополнительных потерь мощности сигнала между передающей и принимающей антеннами является *атмосферное поглощение*, при этом основной вклад в ослабление сигнала вносят *водные пары* и *кислород*. Дождь и туман (капли воды, находящиеся во взвешенном состоянии в воздухе) приводят к рассеиванию радиоволн и в конечном счете ослаблению сигнала. Следовательно, в областях, для которых характерно значительное выпадение осадков, необходимо либо сокращать расстояние между приемником и передатчиком, либо использовать для связи более низкие частоты.

### 3.4. Взаимосвязь между отношением $P_c/P_{ш}$ и $E_b/N_0$

Очень важной характеристикой производительности цифровых систем связи является отношение мощности сигнала  $P_c$  к мощности шумов  $P_{ш}$  ( $P_c/P_{ш}$ ) на входе приемника дискретного канала связи или отношение энергии сигнала  $E_b$  к спектральной плотности шумов  $N_0$ , необходимое для передачи одного бита информации с заданной достоверностью.

Отношение сигнал/шум – это отношение энергии сигнала на 1 бит к плотности шумов на 1 герц ( $E_b/N_0$ ). Рассмотрим сигнал, содержащий двоичные цифровые данные, передаваемые с определенной скоростью –  $B$  бит/с. Напомним, что  $1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/с}$ , и вычислим удельную энергию одного бита сигнала:  $E_b = ST_b$  (где  $S$  – мощность сигнала;  $T_b$  – время передачи одного бита). Скорость передачи данных  $B$  можно выразить в виде  $B = 1/T_b$ . Учитывая, что тепловой шум, присутствующий в полосе шириной 1 Гц, для любого устройства или проводника составляет

$$N_0 = kT \text{ (Вт/Гц)}, \quad (3.4)$$

где  $N_0$  – плотность мощности шумов в ваттах на 1 Гц полосы;  $k$  – постоянная Больцмана,  $k = 1,3803 \times 10^{-23}$  Дж/К;  $T$  – температура в Кельвинах (абсолютная температура),

то

$$\frac{E_b}{E_0} = \frac{S/B}{N_0} = \frac{S}{kTB}. \quad (3.5)$$

Отношение  $E_b/N_0$  имеет большое практическое значение, поскольку скорость появления ошибочных битов является (убывающей) функцией данного отношения. При известном значении  $E_b/N_0$ , требуемом для получения желаемого уровня ошибок, можно выбрать все прочие параметры в приведенном уравнении.

Необходимо отметить, что для сохранения требуемого значения  $E_b/N_0$  при повышении скорости передачи данных  $B$  потребуется увеличить мощность передаваемого сигнала по отношению к шуму. Довольно часто уровень мощности шума достаточен для изменения значения одного из бит данных.

Если же увеличить скорость передачи данных вдвое, биты будут «упакованы» в два раза плотнее и тот же посторонний сигнал приведет к потере двух битов информации. Следовательно, при неизменной мощности сигнала и шума увеличение скорости передачи данных влечет за собой возрастания уровня возникновения ошибок.

Рассмотрим следующий пример на определение необходимой мощности радиосигнала при следующих исходных данных.

**Пример 3.3.** Передача данных ведется со скоростью  $V = 1$  Мбит/с. Допустимое отношение  $E_b/N_0=8,4$  дБ, а вероятность ошибок по битам  $P_{\text{ош.доп}} \leq 10^{-4}$ . Требуется определить необходимую мощность радиосигнала для преодоления теплового шума с эффективной температурой  $T = 290$  К при сохранении исходных данных системы.

*Решение:*

1. По формуле (3.5) находим мощность радиосигнала:

$$S = \frac{E_b}{N_0} kTB.$$

2. Запись данного равенства через логарифмы имеет следующий вид:

$$S_{\text{дБВт}} = 10 \lg \left[ \frac{E_b}{N_0} kTB \right] = \left[ \frac{E_b}{N_0} \right] + 10 \lg(kTB).$$

3. Так как 1 Мбит = 1048576 бит, то

$$S_{\text{дБВт}} = 8,4 + 10 \lg(1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 290 \cdot 10^6) = -134,72 \text{ или } S = 10^{\frac{S_{\text{дБВт}}}{10}} = 2,703 \cdot 10^{-4} \text{ Вт.}$$

Следовательно, для того чтобы преодолеть тепловой шум, необходима мощность радиосигнала  $P_c=133,26$  дБВт.

#### 4. Расчет зоны действия радиосигнала беспроводного канала связи

##### 4.1. Расчет дальности передачи информации беспроводного канала связи

Известна формула для расчета дальности передачи информации радиосигнала. Она берется из инженерной формулы расчета потерь мощности радиосигнала

$$FSL=33+20(\lg F+\lg D), \quad (4.1)$$

где  $FSL$  (*free space loss*) – потери в свободном пространстве (дБ);  $F$  – центральная частота канала на котором работает система связи (МГц);  $D$  – расстояние между двумя точками (км).

$FSL$  определяется суммарным усилением радиосигнала системой. Оно считается следующим образом:

$$Y_{\text{дБ}}=P_{t,\text{дБВт}}+G_{t,\text{дБи}}+G_{r,\text{дБи}}-P_{\text{min},\text{дБВт}}-L_{t,\text{дБ}}-L_{r,\text{дБ}}, \quad (4.2)$$

где  $P_{t,дБмВт}$  – мощность передатчика;  $G_{t,дБи}$  – коэффициент усиления передающей антенны;  $G_{r,дБи}$  – коэффициент усиления приемной антенны;  $P_{min,дБмВт}$  – чувствительность приемника на данной скорости;  $L_{t,дБ}$  – потери сигнала в коаксиальном кабеле и разъемах передающего тракта;  $L_{r,дБ}$  – потери сигнала в коаксиальном кабеле и разъемах приемного тракта.

Для каждой скорости передачи информации приемник имеет определенную чувствительность. Для небольших скоростей (например 1–2 Мбит/с) чувствительность изменяется: от –90 до –94 дБмВт. Для высоких скоростей, чувствительность намного выше. В качестве примера в табл. 4.1 приведены несколько характеристик обычных точек доступа 802.11a,b,g.

Таблица 4.1  
Зависимость чувствительности приемника от скоростей передачи данных

| Скорость, Мбит/с | Чувствительность, дБмВт |
|------------------|-------------------------|
| 54               | –66                     |
| 48               | –71                     |
| 36               | –76                     |
| 24               | –80                     |
| 18               | –83                     |
| 12               | –85                     |
| 9                | –86                     |
| 6                | –87                     |

В зависимости от марки радиомодулей максимальная чувствительность может немного варьироваться. Ясно, что для разных скоростей максимальная дальность будет разной.

$FSL$  вычисляется по формуле

$$FSL = Y_{дБ} - SOM, \quad (4.3)$$

где  $SOM$  (*System Operating Margin*) – запас энергетике радиосвязи (дБ).

Необходимо также учитывать возможные факторы, отрицательно влияющие на дальность связи:

- температурный дрейф чувствительности приемника и выходной мощности передатчика;

- всевозможные погодные аномалии: туман, снег, дождь;
- рассогласование антенн, приемника и передатчика с соответствующими антенно-фидерными трактами.

Параметр  $SOM$  обычно берется равным 10 дБ. Считается, что 10-децибельный запас по усилению достаточен для инженерного расчета.

Центральная частота канала  $F$  берется из табл. 4.2.

Таблица 4.2

Вычисление центральной частоты

| Канал | Центральная частота, МГц |
|-------|--------------------------|
| 1     | 2412                     |
| 2     | 2417                     |
| 3     | 2422                     |
| 4     | 2427                     |
| 5     | 2432                     |
| 6     | 2437                     |
| 7     | 2442                     |
| 8     | 2447                     |
| 9     | 2452                     |
| 10    | 2457                     |
| 11    | 2462                     |
| 12    | 2467                     |
| 13    | 2472                     |
| 14    | 2484                     |

В итоге получим формулу дальности связи:

$$D = 10^{\left(\frac{FSL}{20} - \frac{33}{20} \text{tg}F\right)} \quad (4.4)$$

Рассмотрим пример на определение дальности передачи информации радиотракта на основе точки радиодоступа и беспроводного адаптера.

**Пример 4.1.** Определить расстояние, на котором будет стабильно работать связь на скоростях 54 и 6 Мбит/с для точки доступа *DWL-2100AP* и беспроводного адаптера *DWL-G123*, если их технические характеристики равны:

- мощность передатчиков *DWL-2100AP* и *DWL-G123*: 16 дБмВт;
- чувствительность *DWL-2100AP* на скорости 54 Мбит/с: –66 дБмВт;
- чувствительность *DWL-2100AP* на скорости 6 Мбит/с: –88 дБмВт;
- чувствительность *DWL-G123* на скорости 54 Мбит/с: –66 дБмВт;
- чувствительность *DWL-G123* на скорости 6 Мбит/с: –87 дБмВт;
- коэффициент усиления штатной антенны *DWL-2100AP*: 2 дБ;
- коэффициент усиления штатной антенны *DWL-G123*: 0 дБ.

Потерь в антенно-фидерном тракте, т. е. между беспроводными точками и их антеннами, нет.

*Решение:*

1. Определим дальность передачи информации на скорости 54 Мбит/с.

Параметр *FSL* равен

$$FSL = 16 + 2 - (-66) - 10 = 74 \text{ дБ.}$$

По формуле (4.4) находим дальность передачи информации беспроводного оборудования на данной скорости (в качестве примера возьмем шестой канал):

$$D_{54} = 10^{\left(\frac{74 - 33}{20} \text{tg} 2437\right)} = 0,046 \text{ км} \approx 50 \text{ м.}$$

2. Определим дальность передачи информации на скорости 6 Мбит/с.

Параметр *FSL* равен

$$FSL = 16 + 2 - (-88) - 10 = 96 \text{ дБ.}$$

По формуле (4.4) находим дальность передачи информации беспроводного оборудования на скорости  $B = 6$  Мбит/с.

$$D_6 = 10^{\left(\frac{96 - 33}{20} \text{tg} 2437\right)} = 0,579 \text{ км} \approx 580 \text{ м.}$$

Дальность передачи информации при использовании оборудования *Wi-Fi* сетей для конкретной территории существенно зависит от размеров *зоны Френеля* (центральной частоты передачи информации) и высоты антенных опор.

#### 4.2. Расчет зоны Френеля и высоты антенных опор

Радиоволна в процессе распространения в пространстве занимает объем в виде эллипсоида вращения с максимальным радиусом в середине пролета, который называют *зоной Френеля* (рис. 4.1). Естественные (земля, холмы, деревья) и искусственные (здания, столбы) преграды, попадающие в это пространство, ослабляют сигнал. Радиус первой *зоны Френеля* над предполагаемой преградой может быть рассчитан с помощью формулы

$$R = 17,3 \cdot \sqrt{\frac{1 \cdot S \cdot D}{f \cdot (S + D)}} \quad (4.5)$$

где  $R$  – радиус *зоны Френеля* (м);  $S, D$  – расстояние от антенн до самой высшей точки предполагаемого препятствия (км);  $f$  – частота (ГГц).

Подставив данные  $S, D$  и частоту канала из табл. 4.2 в формулу (4.5), получим:

$$R = 17,3 \cdot \sqrt{\frac{1 \cdot 3 \cdot 7}{2,437 \cdot (3 + 7)}} = 16 \text{ м.}$$

Следовательно, чтобы затухание сигнала было минимальным, необходимо чтобы препятствие не заходило на *зону Френеля* с радиусом 16 м.

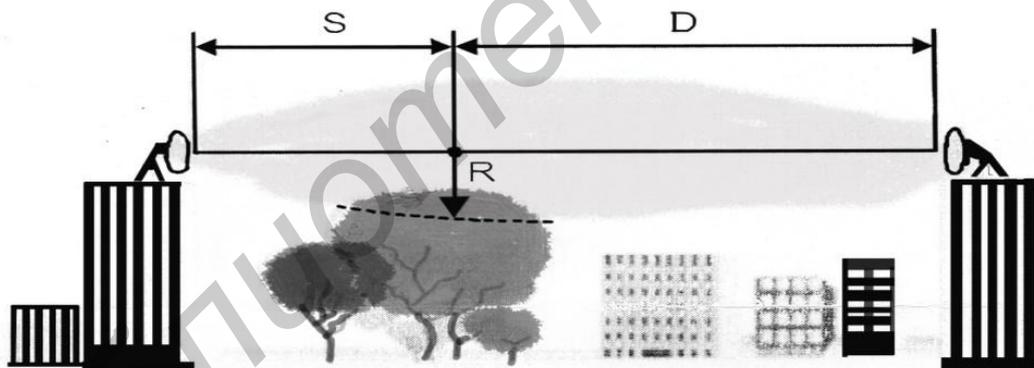


Рис. 4.1. Общий вид и параметры *зоны Френеля*

### 5. Порядок выполнения лабораторной работы

Экспериментальная часть лабораторной работы предусматривает выполнение следующих расчетов:

5.1. Для двухточечного радиотракта и заданных параметров радиолинии *Wi-Fi*-сети (табл. 5.1) определить потери мощности радиосигнала в свободном пространстве и необходимую мощность радиосигнала с учетом запаса по энергетике радиолинии.

Таблица 5.1

## Параметры радиolini Wi-Fi-сети

|           |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| $F$ , МГц | 2482 | 2472 | 2467 | 2462 | 2457 | 2452 | 2447 |
| $D$ , км  | 0,3  | 0,33 | 0,37 | 0,4  | 0,45 | 0,5  | 0,55 |

5.2. По заданной мощности радиосигнала на выходе антенно-фидерного тракта ( $P_{\text{вх. радиотракта}}$ ), допустимой мощности радиосигнала на входе адаптера абонента ( $P_{\text{вых. радиотракта}}$ ) определить ослабление сигнала (табл. 5.2).

Таблица 5.2

## Мощностные параметры радиотракта

|                                     |    |    |     |     |     |     |     |
|-------------------------------------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $P_{\text{вх. радиотракта}}$ , мВт  | 85 | 90 | 105 | 110 | 115 | 118 | 120 |
| $P_{\text{вых. радиотракта}}$ , мВт | 40 | 45 | 47  | 50  | 55  | 57  | 60  |

5.3. По заданным параметрам антенно-фидерного тракта (табл. 5.3), состоящего из двух кабельных сборок с затуханием радиосигнала соответственно  $Y_{\text{кб1}}$  и  $Y_{\text{кб2}}$  и усилителя мощности с коэффициентом усиления  $G_{\text{ум}}$ , рассчитать мощность радиосигнала на его выходе, если входная мощность радиосигнала равна  $P_{\text{вх}}$ .

Таблица 5.3

## Исходные данные антенно-фидерного тракта

|                        |     |     |     |     |     |     |     |
|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $Y_{\text{кб.1}}$ , дБ | 8   | 10  | 12  | 14  | 16  | 18  | 20  |
| $Y_{\text{кб.2}}$ , дБ | 5   | 6   | 6,5 | 7,0 | 7,5 | 8,0 | 8,5 |
| $G_{\text{ум}}$ , дБ   | 25  | 27  | 30  | 32  | 35  | 37  | 40  |
| $P_{\text{вх}}$ , дБ   | 3,0 | 3,5 | 4,0 | 4,5 | 4,0 | 3,5 | 3,0 |

5.4. Рассчитать необходимую мощность радиосигнала для преодоления теплового шума эфира для радиотракта со следующими параметрами, если  $k=1,38 \times 10^{-23}$  Дж/К=const для всех вариантов радиотрактов (табл. 5.4).

Таблица 5.4

## Исходные данные радиотрактов

|                  |           |           |           |           |           |           |           |           |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $B$ , Мбит/с     | 0,5       | 0,8       | 1,0       | 1,2       | 1,35      | 1,4       | 1,5       | 2,0       |
| $T$ , град       | 250       | 260       | 270       | 280       | 275       | 265       | 285       | 290       |
| $E_b/N_0$ , дБ   | 7,0       | 7,5       | 8,0       | 8,2       | 8,5       | 9,0       | 9,5       | 10        |
| $P_{\text{ошк}}$ | $10^{-3}$ | $10^{-4}$ | $10^{-3}$ | $10^{-4}$ | $10^{-3}$ | $10^{-4}$ | $10^{-3}$ | $10^{-4}$ |

5.5. По заданному значению чувствительности приемника адаптера *Wi-Fi*-сети (табл. 5.5), выбрать и обосновать скорость передачи данных.

Таблица 5.5

Зависимость чувствительности приемника от скорости передачи данных

| Скорость передачи данных, Мбит/с | Чувствительность приемника, дБВт |
|----------------------------------|----------------------------------|
| 1                                | 2                                |
| 54                               | -66                              |
| 48                               | -71                              |
| 36                               | -76                              |
| 24                               | -80                              |
| 18                               | -83                              |
| 12                               | -85                              |
| 9                                | -86                              |
| 6                                | -87                              |

5.6. По заданным параметрам радиолинии *Wi-Fi* сети (табл. 5.6), состоящей из адаптера к точке доступа, рассчитать дальность передачи информации.

Таблица 5.6

Исходные данные радиолинии

| Номер канала | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  |
|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $F$ , МГц    | 241 | 241 | 242 | 242 | 243 | 243 | 244 | 244 | 245 | 245 | 246 | 247 |
|              | 2   | 7   | 2   | 7   | 2   | 7   | 2   | 7   | 2   | 7   | 2   | 2   |
| $FSL$ , дБ   | 57  | 60  | 63  | 67  | 70  | 73  | 76  | 79  | 82  | 86  | 90  | 95  |

5.7. По заданным параметрам (табл. 5.7) двухточечного радиотракта *Wi-Fi*-сети рассчитать радиус первой зоны Френеля.

Таблица 5.7

Параметры двухточечного тракта *Wi-Fi*-сети

|           |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| $S$ , км  | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,9  | 1,0  | 1,1  | 1,2 |
| $D$ , км  | 0,6  | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,9  | 1,0  | 1,1  | 1,2  | 1,3  | 1,4 |
| $f$ , ГГц | 2,41 | 2,42 | 2,43 | 2,44 | 2,45 | 2,44 | 2,43 | 2,42 | 2,41 | 2,4 |

## 6. Оформление отчета по выполнению лабораторной работы

Отчет должен содержать:

- титульный лист;
- результаты домашних расчетов;
- результаты выполнения пп. 5.1–5.7.

## 7. Контрольные вопросы

1. Определение, назначение и основные параметры антенны *Wi-Fi*-сетей.
2. Пояснить принципиальное различие электромагнитных волн  $E$  и  $H$ .
3. Пояснить принципиальное различие коэффициентов усиления, выраженных в дБ и дБ<sub>i</sub>.
4. Антенно-фидерный тракт (АФТ): назначение, основные элементы, простой и расширенный АФТ.
5. Перечислить основные факторы, приводящие к ослаблению радиосигнала в свободном пространстве.
6. Пояснить взаимосвязь между отношениями  $P_{\text{с}}/P_{\text{ш}}$  и  $E_{\text{в}}/N_0$ .
7. Пояснить методику расчета зоны Френеля с учетом и без учета кривизны Земли.
8. Пояснить результаты пп. 5.1 – 5.3 выполнения лабораторной работы.
9. Пояснить результаты выполнения пп. 5.4 – 5.7 лабораторной работы.

## Литература

1. Феер, К. Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра / К. Феер; пер. с англ. – М. : Радио и связь, 2001.
2. Беспроводные сети Wi-Fi : учеб. пособие / А. В. Пролетарский [и др.]. – М. : Интернет-Университет Информационных технологий : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007.
3. Широкополосные беспроводные сети передачи информации / В. Вишневецкий [и др.]. – М. : Эко-Трендз, 2005.
4. Григорьев, В. А. Сети и системы радиодоступа / В. А. Григорьев, О. Н. Лагутенко, Ю. А. Распаев. – М. : Эко-Трендз, 2005.
5. Рошан, П. Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11 / П. Рошан, Дж. Лиэри; пер. с англ. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2004.
6. Сталлингс, В. Беспроводные линии связи и сети / В. Сталлингс; пер. с англ. – М. : Компания «АйТи»; ДМК Пресс, 2004.

Библиотека БГУИР

*Учебное издание*

## **МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ БЕСПРОВОДНЫХ ЛОКАЛЬНЫХ СЕТЕЙ WI-FI**

Методические указания  
к лабораторной работе по дисциплине  
«Защита объектов связи от несанкционированного доступа»  
для студентов специальности  
1-98 01 02 «Защита информации в телекоммуникациях»  
всех форм обучения

Составитель

**Королёв Алексей Иванович**

Редактор Н. В. Гриневич  
Корректор Е. Н. Батурчик  
Компьютерная верстка Ю. Ч. Ключкевич

---

|                                |                          |                  |
|--------------------------------|--------------------------|------------------|
| Подписано в печать 20.09.2011. | Формат 60x84 1/16.       | Бумага офсетная. |
| Гарнитура «Таймс».             | Отпечатано на ризографе. | Усл. печ. л.     |
| Уч.-изд.л. 1,3.                | Тираж 50 экз.            | Заказ 257.       |

---

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования  
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»  
ЛИ №02330/0494371 от 16.03.2009, ЛП №02330/0494175 от 03.04.2009.  
220013, Минск, П.Бровки, 6

Библиотека БГУИР