

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ  
им. проф. М. А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»  
(СПбГУТ)**

---

**С. С. Владимиров**

**БЕСПРОВОДНЫЕ СИСТЕМЫ  
ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ**

**Расчет параметров БСПД на основе технологий  
802.11 и 802.16**

**Практикум**

**СПб ГУТ)))**

**Санкт-Петербург  
2019**

УДК XXX.XXX.X (XXX)

ББК XX.XX хХХ

В 57

Рецензент

— —

*Рекомендован к печати редакционно-издательским советом СПбГУТ*

**Владимиров, С. С.**

В 57 Беспроводные системы передачи данных. Расчет параметров БСПД на основе технологий 802.11 и 802.16 : практикум / С.С.Владимиров ; СПб-ГУТ. — СПб, 2019. — 27 с.

Учебное пособие призвано ознакомить студентов старших курсов с расчетом параметров БСПД, построенных на основе технологий 802.11 и 802.16. Представленный материал служит справочным и методическим пособием при выполнении курса практических работ по дисциплинам «Беспроводные системы передачи данных» и «Передача данных в беспроводных сетях».

Предназначено для студентов, обучающихся по направлениям 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника» и 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

**УДК XXX.XXX.X (XXX)**

**ББК XX.XX хХХ**

© Владимир С. С., 2019

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», 2019

## Содержание

<b>Практическая работа 1. Расчет дальности работы беспроводного канала связи 802.11</b>	<b>4</b>
1.1. Цель работы . . . . .	4
1.2. Теоретические сведения . . . . .	4
1.3. Порядок выполнения задания . . . . .	9
1.4. Контрольные вопросы . . . . .	10
<b>Практическая работа 2. Предварительное планирование беспроводной локальной сети 802.11</b>	<b>11</b>
2.1. Цель работы . . . . .	11
2.2. Теоретические сведения . . . . .	11
2.3. Порядок выполнения задания . . . . .	16
2.4. Контрольные вопросы . . . . .	19
<b>Практическая работа 3. Расчет параметров сети 802.16e (мобильный WiMAX)</b>	<b>20</b>
3.1. Цель работы . . . . .	20
3.2. Теоретические сведения . . . . .	20
3.3. Порядок выполнения задания . . . . .	25
3.4. Контрольные вопросы . . . . .	26

# Практическая работа 1

## Расчет дальности работы беспроводного канала связи 802.11

### 1.1. Цель работы

Ознакомиться со стандартами IEEE 802.11 и используемыми диапазонами частот. Научиться определять дальность работы канала связи 802.11 в зависимости от требуемой скорости передачи и используемого частотного канала.

### 1.2. Теоретические сведения

*Wi-Fi* — торговая марка объединения Wi-Fi Alliance для беспроводных сетей на базе стандарта IEEE 802.11, который объединяет набор стандартов связи для коммуникации в беспроводной локальной сетевой зоне частотных диапазонов 0,9; 2,4; 3,6 и 5 ГГц. Каждый из этих диапазонов разделяется на ряд поддиапазонов, или *каналов*. В разных странах существуют свои ограничения по использованию частотных диапазонов, поэтому и число доступных для нелицензированного использования каналов в каждой стране различно. В РФ для нелицензированного использования разрешены каналы из диапазонов 2,4 и 5 ГГц.

Параметры основных версий технологии 802.11, использующихся на территории РФ, приведены в табл. 1.1. Для стандартов 802.11n и 802.11ac в скобках указаны скорости одного потока для длительности защитного интервала 800 нс.

Таблица 1.1

Параметры основных версий технологии 802.11, использующихся на территории РФ

Стандарт 802.11	Год	Диап. ГГц	Ширина канала	Скорость потока Мбит/с	Кол. потоков	Метод модуляции
b	1999	2,4	22	1–11	1	DSSS
g	2003	2,4	20	6–54	1	OFDM
n	2009	2,4/5	20	7,2–72,2 (6,5–65)	4	OFDM
			40	15–150 (13,5–135)		
ac	2013	5	20	7,2–96,3 (6,5–86,7)	8	OFDM
			40	15–200 (13,5–180)		
			80	32,5–433,3 (29,2–390)		
			160	65–866,7 (58,5–780)		

Необходимо помнить, что приведенные максимальные скорости для каждой из технологий являются лишь верхним теоретически достижимым порогом. То есть они возможны только при работе точки доступа в идеальных «лабораторных» условиях при отсутствии внешних помех. На практике, да-

же в благоприятных условиях, реально достижимая скорость передачи может составлять от трети до половины заданной в стандарте максимальной скорости.

Диапазон 2,4 ГГц содержит всего 14 перекрывающихся каналов шириной 22 МГц каждый. Для стандарта 802.11g и более поздних ширина каждого канала установлена равной 20 МГц. Суммарно они занимают полосу частот от 2,401 ГГц до 2,495 ГГц. Распределение каналов по полосе частот приведено на рис. 1.1. В этом диапазоне одновременно доступны всего 3 неперекрывающихся 22 МГц канала. Список центральных частот каждого канала приведен в табл. 1.2.

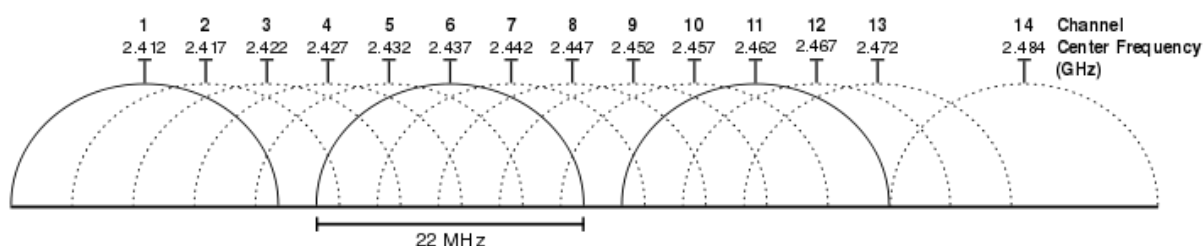


Рис. 1.1. Распределение каналов 802.11 по полосе частот в диапазоне 2,4 ГГц

Таблица 1.2

Центральные частоты каналов 802.11 в диапазоне 2,4 ГГц

Номер канала	Частота МГц	Номер канала	Частота МГц	Номер канала	Частота МГц	Номер канала	Частота МГц
1	2412	5	2432	9	2452	13	2472
2	2417	6	2437	10	2457	14	2484
3	2422	7	2442	11	2462		
4	2427	8	2447	12	2467		

На территории РФ в диапазоне 2,4 ГГц для нелицензированного использования внутри помещений разрешены каналы с 1 по 13. Регламентируется следующими документами

1. Решение ГКРЧ от 7 мая 2007 г. № 07-20-03-001 «О выделении полос радиочастот устройствам малого радиуса действия»

2. Решение ГКРЧ от 20 ноября 2014 г. № 14-29-01 «О внесении изменений в решение ГКРЧ от 7 мая 2007 г. № 07-20-03-001 «О выделении полос радиочастот устройствам малого радиуса действия»

Диапазон 5 ГГц разделен на четыре поддиапазона.

1. UNII-1: 5150–5250 МГц (доступно 4 частотных канала).
2. UNII-2: 5250–5350 МГц (доступно 4 частотных канала).
3. UNII-2 Extended: 5470–5725 МГц (доступно 11 частотных каналов).
4. UNII-3: 5725–5825 МГц (доступно 4 частотных канала).

Ширина каждого канала установлена равной 20 МГц. Список центральных частот каждого канала приведен в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Центральные частоты каналов 802.11 в диапазоне 5 ГГц

Номер канала	Частота МГц	Номер канала	Частота МГц	Номер канала	Частота МГц	Номер канала	Частота МГц
<b>Поддиапазон UNII-1</b>							
36	5180	40	5200	44	5220	48	5240
<b>Поддиапазон UNII-2</b>							
52	5260	56	5280	60	5300	64	5320
<b>Поддиапазон UNII-2 Extended</b>							
100	5500	112	5560	124	5620	136	5680
104	5520	116	5580	128	5640	140	5700
108	5540	120	5600	132	5660		
<b>Поддиапазон UNII-3</b>							
149	5745	153	5765	157	5785	161	5805

На территории РФ в диапазоне 5 ГГц для нелицензированного использования внутри помещений разрешены каналы с 36 по 64. При этом, оборудование, работающее в диапазоне 5250–5350 МГц должно быть зарегистрировано в установленном в РФ порядке. Регламентируется теми же решениями ГКРЧ, что и диапазон 2,4 ГГц.

Стандарты 802.11b и 802.11g используют по одному каналу шириной 22 (20) МГц. В стандарте 802.11n могут использоваться каналы шириной 40 МГц (два канала по 20 МГц), при этом одновременно может использоваться четыре таких канала, в теории обеспечивая предельную суммарную скорость до 600 Мбит/с. Учитывая, что в диапазоне 2,4 ГГц всего три непересекающихся 22 МГц канала (или четыре 20 МГц), использовать каналы по 40 МГц рекомендуется только в диапазоне 5 ГГц. Для сосуществования каналов шириной 20/40 МГц точка доступа стандарта 802.11n должна переходить на другой канал или переключаться на использование канала шириной в 20 МГц, если соседняя точка доступа начинает передачу в одной из половин канала 40 МГц. В стандарте 802.11ac могут использоваться каналы шириной 160 МГц (8 · 20 МГц) при одновременной работе до 8 таких каналов. Теоретическая предельная скорость при этом будет равна 6,93 Гбит/с. Главным недостатком широких каналов является большее влияние на них помех и, соответственно, меньшее расстояние передачи данных. Существует также обратная модификация каналов производителями — уменьшение их ширины до 5 или 10 МГц, что позволяет увеличить дальность передачи ценой меньшей скорости.

Метод одновременного использования нескольких каналов, используемый в 802.11n и 802.11ac, получил название MIMO (multiple input multiple output — множественный вход, множественный выход). Повышение пропуск-

ной способности происходит за счет передачи сигнала по нескольким частотным каналам и последующего приема с объединением в один поток данных. Это возможно при использовании на каждый поток собственной антенны и своего тракта приема/передачи на каждой стороне. Именно поэтому, точки доступа стандарта 802.11n, имеющие лишь одну антенну, обеспечивают теоретически достижимую скорость лишь 150 Мбит/с (1 канал шириной 40 МГц). Принято пользоваться обозначением  $M \times N$ , где  $M$  — число потоков на передачу, а  $N$  — число потоков на прием. Таким образом, для достижения максимально возможных 600 Мбит/с в технологии 802.11n необходимо использовать конфигурацию  $4 \times 4$  потока MIMO. Точка доступа при этом должна иметь 4 антенны.

### 1.2.1. Расчет дальности работы беспроводного канала связи 802.11

Расчет дальности беспроводного канала Wi-Fi выводится из формулы (1.1) расчета потерь в свободном пространстве.

$$FSL = 33 + 20(\lg F + \lg D), \quad (1.1)$$

где  $FSL$  (Free Space Loss) — потери в свободном пространстве (дБ);  $F$  — центральная частота канала, на котором работает система связи (МГц);  $D$  — расстояние между двумя Wi-Fi точками (км).

Следовательно, искомое расстояние  $D$  можно определить по формуле (1.2).

$$D = 10^{\frac{FSL-33}{20} - \lg F}. \quad (1.2)$$

Потери в свободном пространстве также можно определить по формуле (1.3), исходя из суммарного усиления системы передачи  $Y_{\text{дБ}}$ .

$$FSL = Y_{\text{дБ}} - SOM, \quad (1.3)$$

где  $SOM$  (System Operating Margin) — запас в энергетике радиосвязи (дБ), который учитывает возможные факторы, отрицательно влияющие на дальность связи, такие как:

- температурный дрейф чувствительности приемника и выходной мощности передатчика;
- всевозможные атмосферные явления: туман, снег, дождь;
- рассогласование антенны, приемника, передатчика с антенно-фидерным трактом.

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

Суммарное усиление системы передачи рассчитывается по формуле (1.4).

$$Y_{\text{дБ}} = P_{t,\text{дБм}} + G_{t,\text{дБи}} + G_{r,\text{дБи}} - P_{\text{min},\text{дБм}} - L_{t,\text{дБ}} - L_{r,\text{дБ}}, \quad (1.4)$$

где  $P_{t,дБм}$  — мощность передатчика (паспортные данные устройства);  $G_{t,дБи}$  — коэффициент усиления передающей антенны (паспортные данные устройства);  $G_{r,дБи}$  — коэффициент усиления приемной антенны (паспортные данные устройства);  $P_{min,дБм}$  — 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.

Потери сигнала в коаксиальном кабеле и трактах приема и передачи  $L_{t,дБ}$  и  $L_{r,дБ}$  необходимо учитывать только при использовании внешних вынесенных антенн. При использовании точек доступа с внутренними или подключаемыми напрямую антеннами, этими параметрами можно пренебречь.

В табл. 1.4 приведены средние показатели чувствительности для различных скоростей передачи данных в диапазоне 2,4 ГГц для 802.11g и 5 ГГц для 802.11n (канал 40 МГц).

Таблица 1.4  
Зависимость чувствительности от скорости передачи данных для 802.11g и 802.11n

Скорость Мбит/с	Чувствительность дБм	Скорость Мбит/с	Чувствительность дБм
<b>802.11g 2,4 ГГц</b>			
54	-66	18	-83
48	-71	12	-85
36	-76	9	-86
24	-80	6	-87
<b>802.11n 5 ГГц</b>			
15	-96	90	-86
30	-95	120	-83
45	-92	135	-77
60	-90	150	-74

### 1.2.2. Пример расчета дальности работы канала связи 802.11

Для примера определим дальность работы канала связи для технологии 802.11n в 40 МГц канале, объединяющем каналы 36 и 40, при скорости передачи, равной 60 Мбит/с.

#### Исходные данные.

- Мощность передатчика  $P_{t,дБм} = 16$  дБм
- Коэффициент усиления штатной антенны передатчика  $G_{t,дБи} = 3$  дБи.
- Коэффициент усиления штатной антенны приемника  $G_{r,дБи} = 1$  дБи.

Определим суммарное усиление системы передачи по формуле (1.4).

$$Y_{дБ} = 16 + 3 + 1 - (-90) = 110 \text{ дБ.}$$

По формуле (1.3) определим потери в свободном пространстве.

$$FSL = 110 - 10 = 100 \text{ дБ.}$$



Центральная полоса частот объединенного 40 МГц канала (36 + 40) согласно табл. 1.3 будет равна

$$F = 5190 \text{ МГц.}$$

Рассчитаем искомое расстояние, согласно формуле (1.2).

$$D = 10^{\frac{100-33}{20} - \lg 5190} = 0,4313 \text{ км} \approx 431 \text{ м.}$$

### Список использованных источников

1. Курс «Беспроводные сети Wi-Fi». Материал с сайта <http://www.intuit.ru>.
2. Частотные полосы и каналы Wi-Fi. Материал с сайта <http://wi-life.ru>.
3. Характеристики WiFi оборудования. Материал с сайта <http://lantorg.com>.
4. Ю. Ревич «Беспроводная точность. Подробно о Wi-Fi». Материал с сайта <http://www.dgl.ru>.

### 1.3. Порядок выполнения задания

1. Выбрать из табл. 1.5 согласно своему номеру варианта исходные данные для расчета. Все расчеты проводятся с учетом того, что используются штатные антенны точек доступа. Для технологии 802.11n и для канала 1, и для канала 2 приведены номера только первых 20 МГц «полуканалов» — 40 МГц канал они образуют в совокупности со следующим по порядку 20 МГц каналом.

Таблица 1.5

Варианты задания (указаны согласно номеру студента в журнале)

№ вар.	$P_t$ дБм	$G_t$ дБи	$G_r$ дБи	802.11g		802.11n	
				канал 1	канал 2	канал 1	канал 2
1	10	1	2	1	8	36	136
2	11	2	0	2	9	40	128
3	12	3	1	3	10	44	108
4	13	1	3	4	11	52	120
5	14	2	2	5	12	56	132
6	15	3	0	6	13	60	149
7	10	1	1	7	8	100	153
8	11	2	3	1	9	112	157
9	12	3	2	2	10	56	124
10	13	1	0	3	11	36	112
11	14	2	1	4	12	40	136
12	15	3	3	5	13	44	128
13	10	1	2	6	8	52	108
14	11	2	0	7	9	56	120
15	12	3	1	1	10	60	132
16	13	1	3	2	11	100	149
17	14	2	2	3	12	112	153
18	15	3	0	4	13	56	157

Варианты задания (указаны согласно номеру студента в журнале)

№ вар.	$P_t$ дБм	$G_t$ дБи	$G_r$ дБи	802.11g		802.11n	
				канал 1	канал 2	канал 1	канал 2
19	10	1	1	5	8	36	124
20	11	2	3	6	9	40	112
21	12	3	2	7	10	44	136
22	13	1	0	1	11	52	128
23	14	2	1	2	12	56	108
24	15	3	3	3	13	60	120
25	10	1	2	4	8	100	132
26	11	2	0	5	9	112	149
27	12	3	1	6	10	56	153
28	13	1	3	7	11	36	157
29	14	2	2	1	12	44	124
30	15	3	0	2	13	60	112

2. Для технологии 802.11g (2,4 ГГц) для каждого из заданных 20 МГц каналов рассчитать дальности работы для всех возможных скоростей передачи (табл. 1.4).

3. Для технологии 802.11n (5 ГГц) для каждого из заданных 40 МГц каналов рассчитать дальности работы для всех возможных скоростей передачи (табл. 1.4).

4. По полученным значениям дальности построить графики зависимости расстояния передачи от скорости передачи. Все четыре графика должны быть построены на одной плоскости координат.

5. Сделать выводы по результатам расчетов.

#### 1.4. Контрольные вопросы

1. Понятие Wi-Fi.
2. Сравнение технологий 802.11.
3. Частотный диапазон 2,4 ГГц.
4. Частотный диапазон 5 ГГц.
5. Объединение каналов.
6. Метод MIMO.
7. Принцип расчета дальности беспроводного канала Wi-Fi

## **Практическая работа 2**

### **Предварительное планирование беспроводной локальной сети 802.11**

#### **2.1. Цель работы**

Ознакомиться с принципами предварительного планирования беспроводной сети IEEE 802.11.

#### **2.2. Теоретические сведения**

При проектировании беспроводной сети в помещениях применяют различные подходы, которые почти всегда содержат несколько этапов.

1. Оценка количества точек доступа в зависимости от предполагаемого числа пользователей Wi-Fi и услуг, которые должны быть им предоставлены.
2. Размещение точек доступа на план-схеме помещения с учетом его размеров, материалов, из которых изготовлены стены и мебель, а также размещения пользователей.

Одним из самых простых способов определения количества точек доступа является задание фиксированного количества пользователей на точку. Например, существует рекомендация использовать одну точку доступа на 20 пользователей при отсутствии шифрования и одну точку на 15 пользователей при использовании какого-либо шифрования. Такой подход очень прост, но имеет ряд недостатков. Во-первых, такое количество точек доступа может оказаться избыточным, что приведет к лишним тратам как на само беспроводное оборудование, так и на организацию его размещения (электропитание, подключение к проводной локальной сети). Во-вторых, при большом количестве точек доступа, размещённых в одном помещении, рассчитанном на большое число пользователей (например, конференц-зал или лекторий), они могут мешать друг другу и их потребуется разносить по разным каналам, что может быть сложным при использовании диапазона 2,4 ГГц (например, если используется технология 802.11g).

Второй способ исходит из требований по уровню сигнала. Например, считается, что для доступа в Интернет (электронная почта и веб-серфинг) достаточно обеспечить на всей территории помещения уровень сигнала не хуже, чем  $-(68-70)$  дБм. Такой подход как правило требует применения специализированного программного обеспечения для предварительного расчета, либо использования измерений на месте, когда предполагаемая к использованию точка доступа размещается в разных местах помещения, и производится измерение ее сигнала на возможных точках размещения пользователей. Как правило этот способ предлагает заниженное число точек доступа, благодаря чему на практике построенная сеть может не справиться с нагрузкой. К тому

же, полное покрытие помещения может оказаться не нужным в том случае, когда пользователи компактно размещаются в одной части помещения, а другая часть помещения не используется.

Третий способ предварительного определения количества точек доступа исходит из требований по скорости доступа в зависимости от необходимых пользователям услуг. В результате таких расчетов может получиться некоторое усредненное количество точек доступа. Однако вопрос неравномерности размещения пользователей также необходимо учитывать на этапе размещения точек доступа на план-схеме помещения.

При проведении планирования необходимо также провести энергетический расчет и составить частотный план, чтобы размещенные в помещении точки доступа не влияли друг на друга, а их сигнал не выходил за границы помещения и не влиял на беспроводные сети, расположенные снаружи помещения.

### ***2.2.1. Пример оценки количества точек доступа в сети 802.11***

Для примера оценим количество точек доступа, требуемое для организации беспроводной сети в лектории. Учитывая то, что на сегодня подавляющее большинство мобильных устройств используют технологию 802.11n, будем ориентироваться на нее.

Исходные данные.

- $N = 120$  — максимальное число пользователей, одновременно работающих в сети.
- $F = 2$  Мбит/с — требуемая гарантированная скорость для одного пользователя.
- $D_T = 0,65$  — доля планшетных компьютеров и смартфонов (Tablet PC).
- $D_L = 0,35$  — доля ноутбуков (Laptop).
- $D_{2,4GHz} = 0,6$  — доля устройств, работающих в диапазоне 2,4 ГГц.
- $D_{5GHz} = 0,4$  — доля устройств, работающих в диапазоне 5 ГГц.

Планшетные компьютеры используют 20 МГц канал в один поток, что обеспечивает теоретическую скорость работы 72 Мбит/с. Реальная скорость при этом будет примерно в два раза меньше и будет равняться  $F_T = 35$  Мбит/с.

Ноутбуки используют 20 МГц канал в два потока, что обеспечивает теоретическую скорость работы 144 Мбит/с. Реальная скорость при этом будет примерно в два раза меньше и будет равняться  $F_L = 70$  Мбит/с.

Теперь определим коэффициент эфирного времени (airtime) для каждого из типов устройств.

$$A_T = \frac{F}{F_T} = 0,0571.$$
$$A_L = \frac{F}{F_L} = 0,0286.$$

Общий коэффициент эфирного времени для всех устройств каждого типа будет равен

$$A_T^{all} = A_T \cdot N \cdot D_T = 4,4538.$$
$$A_L^{all} = A_L \cdot N \cdot D_L = 1,2012.$$

Общий коэффициент эфирного времени с учетом служебного трафика будет равен

$$A = (A_T^{all} + A_L^{all}) \cdot 1,25 = 7,06875.$$

Далее необходимо определить количество радиомодулей, работающих в диапазоне 2,4 ГГц, и радиомодулей, работающих в диапазоне 5 ГГц.

$$N_{2,4GHz} = \lceil A \cdot D_{2,4GHz} \rceil = 5.$$
$$N_{5GHz} = \lceil A \cdot D_{5GHz} \rceil = 3.$$

Таким образом, для организации беспроводной сети потребуется либо 5 точек доступа, работающих в диапазоне 2,4 ГГц, и 3 точки доступа, работающих в диапазоне 5 ГГц, либо 5 двухдиапазонных точек доступа 2,4/5 ГГц с возможностью одновременной работы в обоих диапазонах.

Необходимо учитывать, что эта оценка хоть и обладает хорошей точностью, всё же является предварительной, и следовательно, при размещении точек доступа на план-схеме помещения, а также при проведении энергетического расчета и составлении частотного плана, она может быть скорректирована.

### ***2.2.2. Влияние препятствий на зону покрытия сети 802.11***

При размещении точек доступа очень важно определить, из каких материалов сделаны стены, перекрытия, конструкционные элементы и мебель в помещении, и уже с учетом этого проводить размещение оборудования и выбор антенн, которые будут использоваться вместе с точками доступа.

Например, одной из распространенных ошибок при размещении точек доступа, является установка точки с всенаправленной (омни) антенной возле металлической или железобетонной стены или конструкции. В этом случае металлическая поверхность будет отражать сигнал. Диаграмма направленности антенны изменится став направленной. Вдобавок возникнет мощное многолучевое распространение (multipath), так как половина излучаемой мощности будет уходить к металлической стене/поверхности и, отражаясь обратно, создаст интерференцию своему же полезному излучению.

Другим примером может являться размещение точки возле емкостей и труб в воде, которая интенсивно поглощает высокочастотное излучение (особенно в частотном спектре 2,4 ГГц).

Основным методом решения является вынесение точек доступа с внутренними антеннами (или самих внешних антенн) за пределы преград, обеспечивая беспрепятственное излучение с учетом диаграммы направленности антенн.

Влияние материала стен и перегородок, установленных в помещении, можно оценить по табл. 2.1, составленной по данным фирмы Zyxel.

Таблица 2.1

*Потеря эффективности сигнала 802.11 при прохождении через различные среды*

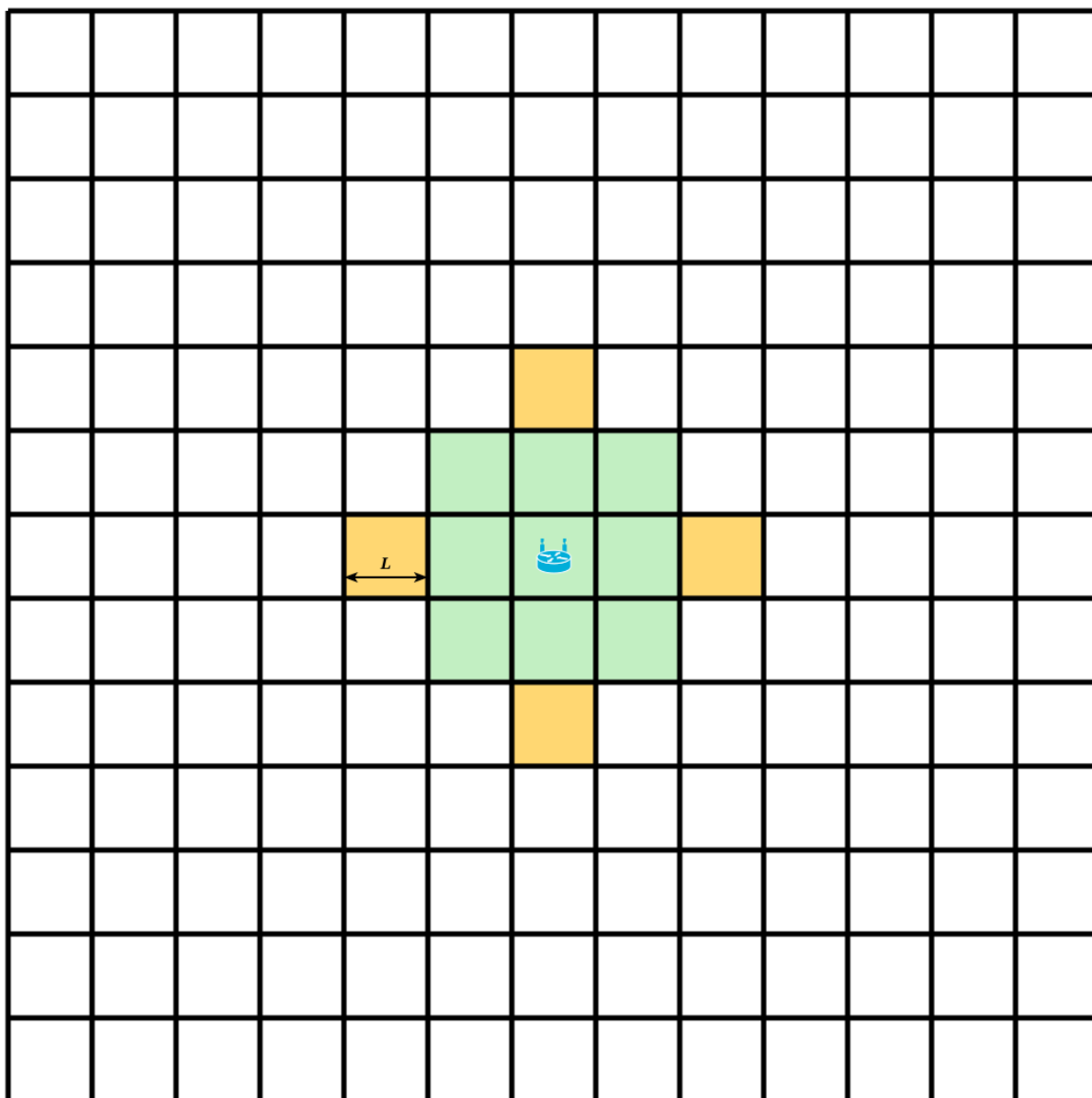
Препятствие	Дополнительные потери, дБ	Эффективное расстояние, %
Открытое пространство	0	100
Окно без тонировки (металлизированного покрытия)	3	70
Окно с тонировкой (металлизированным покрытием)	5–8	50
Деревянная стена	10	30
Межкомнатная стена (15,2 см)	15–20	15
Несущая стена (30,5 см)	20–25	10
Бетонный пол/потолок	15–25	10–15
Монолитное железобетонное перекрытие	20–25	10

Эффективное расстояние составляет величину, до которой уменьшится радиус действия после прохождения соответствующего препятствия по сравнению с открытым пространством. Например, если на открытом пространстве радиус действия Wi-Fi достигает 100 м, то после прохождения первой межкомнатной стены он уменьшится до 15% от этой величины, т. е. до 15 м, а после второй — до 15% уже от этого значения (до 2,2 м).

Также необходимо учитывать, что уровень сигнала убывает пропорционально квадрату расстояния, потому скорость быстро падает естественным путем по мере удаления от точки доступа.

Для примера рассмотрим схему, изображенную на рис. 2.1. Помещение разбито перегородками на квадратные ячейки со стороной  $L$ . В центре помещения установлена точка доступа. Необходимо определить, какие ячейки будут охвачены покрытием сети 802.11.

Предположим, что сторона каждой ячейки равна  $L = 5$  м. Перегородки изготовлены из дерева. Естественным затуханием сигнала с расстоянием пренебрегаем. Радиус покрытия сети на открытом пространстве примем равным 100 м.



*Рис. 2.1. Пример определения зоны покрытия сети 802.11 с учетом материала препятствий*

Вначале определим область действия сигнала по четырем сторонам (верх-низ-право-лево на рисунке). Как было показано ранее, после прохождения одной деревянной стены расстояние уменьшится до 15 метров. После прохождения второй — до 2,2 метров. Таким образом, будет перекрыто по две ячейки в каждую сторону.

Далее оценим область действия по диагонали. Чтобы попасть в соседнюю по диагонали ячейку, сигнал должен пройти две стены. Таким образом, по диагонали будет перекрыта лишь одна ячейка в каждую сторону. На практике необходимо будет учитывать и то, что сигнал в этом случае будет проходить не по нормали к поверхности перегородки, а по касательной, что увеличит затухание.

Оценочная зона покрытия сигнала 802.11 отмечена на рис. 2.1 зеленым цветом. Оранжевым отмечены ячейки, которые, возможно, будут не полностью перекрыты сигналом Wi-Fi.

Зная зону покрытия одной точки, можно составить предварительный план размещения точек доступа на всей территории помещения. При этом стоит учитывать, что ячейки, частично перекрытые сигналом, стоит перекрывать двумя точками доступа.

При размещении точек доступа необходимо определить частотный план, т. е. задать рабочие каналы для каждой точки так, чтобы рабочие полосы частот соседних точек доступа не пересекались. В диапазоне 5 ГГц все каналы можно считать непересекающимися. В диапазоне 2,4 ГГц используется два подхода. Первый основан на стандартной частотной сетке, показанной на рис. 1.1. Эта сетка построена с учетом ширины канала, равной 22 МГц. В ней есть всего три непересекающихся канала: 1, 6 и 11. Однако, если учесть то, что в технологии 802.11g и более новых используются каналы шириной 20 МГц, становится возможным выделить четыре непересекающихся канала: 1, 5, 9 и 13.

### *Список использованных источников*

1. В. Лаврухин «Как правильно проектировать WiFi-сеть». Материал с сайта <http://wireless.sut.ru>.
2. Проект сети стандарта WiFi для Кампуса. Материал с сайта <http://wi-life.ru>.
3. Ошибки при развертывании сетей Wi-Fi. Материал с сайта <http://wi-life.ru>.
4. Ю. Ревич «Беспроводная точность. Подробно о Wi-Fi». Материал с сайта <http://www.dgl.ru>.
5. Общие рекомендации по построению беспроводных сетей. Материал с сайта <http://zyxel.ru>.
6. Andrew von Nagy «High Capacity WLAN Requirements Gathering».

### **2.3. Порядок выполнения задания**

1. **Задание 1.** Выбрать из табл. 2.2 согласно своему номеру варианта исходные данные для расчета. Все расчеты проводятся с учетом того, что используются штатные антенны точек доступа. Применяется технология 802.11n.

*Таблица 2.2*

*Варианты задания 1 (указаны согласно номеру студента в журнале)*

№ вар.	$N$ чел.	$F$ Мбит/с	$D_T$	$D_L$	$D_{2,4GHz}$	$D_{5GHz}$
1	140	1	0,5	0,5	0,6	0,4



Продолжение табл. 2.2

Варианты задания 1 (указаны согласно номеру студента в журнале)

№ вар.	$N$ чел.	$F$ Мбит/с	$D_T$	$D_L$	$D_{2,4GHz}$	$D_{5GHz}$
2	130	1,5	0,55	0,45	0,65	0,35
3	120	2	0,6	0,4	0,7	0,3
4	130	2,5	0,65	0,35	0,6	0,4
5	140	1	0,75	0,25	0,65	0,35
6	150	1,5	0,5	0,5	0,7	0,3
7	160	2	0,55	0,45	0,6	0,4
8	140	2,5	0,6	0,4	0,65	0,35
9	130	1	0,65	0,35	0,7	0,3
10	120	1,5	0,75	0,25	0,6	0,4
11	130	2	0,5	0,5	0,65	0,35
12	140	2,5	0,55	0,45	0,7	0,3
13	150	1	0,6	0,4	0,6	0,4
14	160	1,5	0,65	0,35	0,65	0,35
15	140	2	0,75	0,25	0,7	0,3
16	130	2,5	0,5	0,5	0,6	0,4
17	120	1	0,55	0,45	0,65	0,35
18	130	1,5	0,6	0,4	0,7	0,3
19	140	2	0,65	0,35	0,6	0,4
20	150	2,5	0,75	0,25	0,65	0,35
21	160	1	0,5	0,5	0,7	0,3
22	140	1,5	0,55	0,45	0,6	0,4
23	130	2	0,6	0,4	0,65	0,35
24	120	2,5	0,65	0,35	0,7	0,3
25	130	1	0,75	0,25	0,6	0,4
26	140	1,5	0,5	0,5	0,65	0,35
27	150	2	0,55	0,45	0,7	0,3
28	160	2,5	0,6	0,4	0,6	0,4
29	140	1,5	0,65	0,35	0,65	0,35
30	150	2	0,75	0,25	0,7	0,3

2. Оценить требуемое количество точек доступа, исходя из заданных параметров.

3. **Задание 2.** Выбрать из табл. 2.3 согласно своему номеру варианта исходные данные для расчета. Все расчеты проводятся с учетом того, что используются штатные антенны точек доступа. При оценке зоны покрытия естественным затуханием сигнала с расстоянием пренебречь.

Таблица 2.3

Варианты задания 2 (указаны согласно номеру студента в журнале)

№ вар.	$P_t$ дБм	$G_t$ дБи	$G_r$ дБи	$L$ м	Тип перегородок
1	10	1	2	3	деревянные
2	11	2	0	4	межкомнатные
3	12	3	1	5	несущие

Варианты задания 2 (указаны согласно номеру студента в журнале)

№ вар.	$P_t$ дБм	$G_t$ дБи	$G_r$ дБи	$L$ м	Тип перегородок
4	13	1	3	6	деревянные
5	14	2	2	4	межкомнатные
6	15	3	0	3	несущие
7	10	1	1	4	деревянные
8	11	2	3	5	межкомнатные
9	12	3	2	6	несущие
10	13	1	0	4	деревянные
11	14	2	1	3	межкомнатные
12	15	3	3	4	несущие
13	10	1	2	5	деревянные
14	11	2	0	6	межкомнатные
15	12	3	1	4	несущие
16	13	1	3	3	деревянные
17	14	2	2	4	межкомнатные
18	15	3	0	5	несущие
19	10	1	1	6	деревянные
20	11	2	3	4	межкомнатные
21	12	3	2	3	несущие
22	13	1	0	4	деревянные
23	14	2	1	5	межкомнатные
24	15	3	3	6	несущие
25	10	1	2	4	деревянные
26	11	2	0	3	межкомнатные
27	12	3	1	4	несущие
28	13	1	3	5	деревянные
29	14	2	2	6	межкомнатные
30	15	3	0	4	несущие

4. Рассчитать радиус сети 802.11g на открытом пространстве и определить зону покрытия сети на схеме, показанной на рис. 2.1 для заданных размера ячейки и материала перегородок. Номер канала взять любой из разрешенного в РФ диапазона. Расчет радиуса провести для максимальной скорости 54 Мбит/с.

5. Распределить точки доступа 802.11g по схеме 2.1, исходя из рассчитанной зоны покрытия. Привести частотный план — указать, на каком канале должна работать каждая точка доступа. При распределении каналов использовать только те, которые разрешены на территории РФ.

6. Рассчитать радиус сети 802.11n (5 ГГц) на открытом пространстве и определить зону покрытия сети на схеме, показанной на рис. 2.1 для заданных размера ячейки и материала перегородок. Номер канала взять любой из разрешенного в РФ диапазона. Расчет радиуса провести для максимальной скорости 150 Мбит/с (ширина канала 40 МГц).

7. Распределить точки доступа 802.11n (5 ГГц) по схеме 2.1, исходя из рассчитанной зоны покрытия. Привести частотный план — указать, на каком канале должна работать каждая точка доступа. При распределении каналов использовать только те, которые разрешены на территории РФ.

8. Сделать выводы по результатам расчетов.

#### **2.4. Контрольные вопросы**

1. Этапы проектирования сети 802.11.
2. Оценка количества точек доступа 802.11.
3. Оценка зоны покрытия сети 802.11.
4. Влияние препятствий и несущих конструкций на радиосигнал.

# Практическая работа 3

## Расчет параметров сети 802.16e (мобильный WiMAX)

### 3.1. Цель работы

Ознакомиться с принципами расчета параметров сети 802.16e (технология мобильный WiMAX).

### 3.2. Теоретические сведения

#### 3.2.1. Чувствительность приемника

Под чувствительностью приемника понимается способность радиоприемника принимать слабые сигналы. На чувствительность оказывают влияние мощность тепловых шумов приемника, отношения сигнал/шум, коэффициент шума, а также потери реализации, учитывающие неидеальность приемника, ошибки квантования, фазовый шум и др.

$$S_R = P_{h.n.} + K_{SNR} + K_n + L_I, \quad (3.1)$$

где  $P_{h.n.}$  — мощность тепловых шумов приемника;  $K_{SNR}$  — отношение сигнал/шум приемника;  $K_n$  — коэффициент шума;  $L_I$  — потери реализации.

Мощность тепловых шумов (heat noise) зависит от ширины полосы канала  $B$  (bandwidth) и может быть вычислена по формуле

$$P_{h.n.} = -174 + 10 \cdot \lg(\Delta f), \quad (3.2)$$

где  $\Delta f$  — используемая полоса частот, Гц.

Стандарт IEEE 802.16e ориентирован на использование полос частот шириной в 1,25; 5,0; 10,0; 20,0 МГц и основан на технологии OFDM. За счет наличия защитного интервала между поднесущими эффективная ширина спектра сигнала несколько больше ширины канала  $B$ , поэтому  $\Delta f$  рассчитывается как произведение ширины канала  $B$  (Гц), коэффициента дискретизации  $n$  и отношения числа используемых поднесущих  $N_{use}$  к полному числу поднесущих OFDM сигнала  $N_{all}$ :

$$\Delta f = B \cdot n \cdot \frac{N_{use}}{N_{all}}. \quad (3.3)$$

Количество используемых поднесущих  $N_{use}$  и полное число поднесущих OFDM сигнала  $N_{all}$  для каждой ширины канала приведены в табл. 3.1. Количество используемых поднесущих  $N_{use}$  состоит из суммы числа поднесущих данных  $N_{data}$  и числа пилотных поднесущих  $N_{pilot}$ . Число поднесущих данных определяется отдельно для нисходящего направления  $N_{DLdata}$  и восходящего направления  $N_{ULdata}$ .

Коэффициент дискретизации  $n$  определяет интервал между поднесущими (вместе с шириной полосы и количеством поднесущих данных) и полезное время символа. Для канала, ширина полосы которого кратна 1,25; 1,50; 2,00; 2,75 МГц, он равен  $\frac{28}{25}$ .

Таблица 3.1

Количество поднесущих для разных значений ширины канала IEEE 802.16e

Ширина полосы $B$ , МГц	$N_{all}$	$N_{use}$	$N_{DLdata}$	$N_{ULdata}$
1,25	128	85	72	56
5,00	512	421	360	280
10,00	1024	841	720	560
20,00	2048	1681	1440	1120

Отношение сигнал/шум приемника  $K_{SNR}$  зависит от схемы модуляции. Перечень схем модуляций, утвержденных стандартом WiMAX, и их требования к отношению сигнал/шум  $K_{SNR}$  для сверточного кодирования (СК) и сверточного турбокодирования (СТК) приведены в табл. 3.2. Приведенные данные справедливы для канала с аддитивным белым гауссовским шумом и коэффициентом ошибок равным  $10^{-6}$ . В данной работе использовать для нечетных вариантов сверточное кодирование (СК), а для четных — сверточное турбокодирование (СТК).

Таблица 3.2

Параметры схем модуляции IEEE 802.16e

Схема модуляции	$K_{SNR}$ для СК, дБ	$K_{SNR}$ для СТК, дБ	Кол-во бит на символ $R_{symp}$
QPSK $1/2$	5,0	2,5	1,0
QPSK $3/4$	8,0	6,3	1,5
QAM-16 $1/2$	10,5	8,6	2,0
QAM-16 $3/4$	14,0	12,7	3,0
QAM-64 $1/2$	16,0	13,8	3,0
QAM-64 $2/3$	18,0	16,9	4,0
QAM-64 $3/4$	20,0	18,0	4,5

Коэффициент шума  $K_n$ , согласно рекомендациям WiMAX Forum принимается равным 7 дБ.

Потери реализации  $L_I$ , вызванные, например, повышенным фазовым шумом приемника, снижают его чувствительность, и для нормальной работы такой системы требуется более мощный радиосигнал. Значение  $L_I$  принято равным 5 дБ.

### 3.2.2. Бюджет линии

Для расчета дальности связи используется уравнение бюджета линии, которое связывает уровни мощности на входе приемника и выходной мощ-

ности передатчика, находящихся друг от друга на заданном расстоянии. При расчете дальности связи выбирается наименьшее из значений бюджета для нисходящего (downlink, DL) и восходящего (uplink, UL) направлений. Бюджет линии зависит от технических характеристик базовой (БС, bs) и абонентской мобильной (МС, ms) станций. Замирания сигнала не учитываются моделью распространения радиоволн, поэтому их следует учесть при расчете бюджета линии (запас на замирания  $F$  составляет 10 дБ).

На границах секторов в канал связи вносит искажения межканальная интерференция, уровень которой принят: для нисходящего канала  $I_{DL} = 2$  дБ, для восходящего канала  $I_{UL} = 3$  дБ.

Для учета того факта, что здания препятствуют распространению электромагнитных волн, вводят дополнительную поправку  $U_C$ , значение которой зависит от плотности застройки. Значения поправочного коэффициента  $U_C$  для разных типов застройки приведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Значения поправочного коэффициента  $U_C$

Тип застройки	$U_C$ , дБ
Сельская местность	5
Пригород	0
Городской район	-3
Плотная городская застройка	-4

Бюджет линии для нисходящего направления от базовой станции к абонентской станции (БС  $\rightarrow$  МС) рассчитывается по формуле

$$P_{DL} = P_{Txbs} - S_{Rms} + G_{Txbs} + G_{Rxms} - L_f - F - I_{DL} + U_C, \quad (3.4)$$

где  $P_{Txbs}$  — излучаемая мощность передатчика БС, дБм;  $S_{Rms}$  — чувствительность приемника МС, дБм;  $G_{Txbs}$  — коэффициент усиления антенны передатчика БС, дБи;  $G_{Rxms}$  — коэффициент усиления антенны приемника МС, дБи;  $L_f$  — потери в фидере, дБ;  $F$  — замирание радиосигнала, дБ;  $I_{DL}$  — уровень межканальной интерференции нисходящего канала, дБ;  $U_C$  — поправочный коэффициент типа застройки, дБ.

В работе для расчетов использовать величину потерь в фидере  $L_f$ , равную 2 дБ.

Для восходящего направления от абонентской станции к базовой станции (МС  $\rightarrow$  БС) бюджет линии имеет вид

$$P_{UL} = P_{Txms} - S_{Rbs} + G_{Txms} + G_{Rxbs} - F - I_{UL} + U_C. \quad (3.5)$$

### 3.2.3. Расчет потерь на трассе радиосигнала

Для расчета оптимального расстояния от базовой станции до абонента необходимо оценить уровень потерь при распространении радиоволн. Потери на трассе при распространении электромагнитных волн в реальной среде определяют уменьшение уровня мощности сигнала. Эти потери не должны превышать энергетический бюджет линии (минимальный из двух значений). Для расчета уровня потерь на трассе радиосигнала рабочая группа IEEE 802.16 использует модель Эрцега–Гринштейна, которая базируется на экспериментальных измерениях, проведенных в США. С учетом некоторого минимального расстояния  $d_0$  уровень потерь рассчитывается по формуле

$$L = 20 \cdot \lg(4\pi d_0 / \lambda) + 10 \cdot \gamma \cdot \lg(d / d_0) + s + \Delta L_f + \Delta L_h, \quad (3.6)$$

где  $d$  — расстояние от БС до МС ( $d \geq d_0$ ,  $d_0 = 100$  м);  $\lambda$  — длина волны, м;  $s$  — уровень затенения сигнала;  $\Delta L_f$  — поправочный коэффициент для частоты;  $\Delta L_h$  — поправочный коэффициент для высоты антенны МС, зависящий от типа местности;  $\gamma = a - b \cdot h_{bs} + c / h_{bs}$ , где  $h_{bs}$  — высота антенны БС.

Постоянные  $a$ ,  $b$ ,  $c$  зависят от ландшафта местности. Уровень затенения сигнала  $s$ , изменяющийся по логнормальному закону распределения с нулевым средним, также зависит от типа ландшафта местности: **A** — холмистая местность, умеренный лес; **B** — равнина с редкими холмами; **C** — равнина, редкий лес. Значения постоянных  $a$ ,  $b$ ,  $c$  и уровня затенения сигнала  $s$  приведены в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Параметры, зависящие от ландшафта местности

Параметр	A	B	C
$a$	4,6	4,0	3,6
$b$	0,0075	0,0065	0,0050
$c$	12,6	17,1	20,0
$s$ , дБ	10,6	9,6	8,2

Без использования поправочных коэффициентов  $\Delta L_f$  и  $\Delta L_h$  формула (3.6) действительна только для частот меньше 2 ГГц и высоты антенны приемника до 2 м.

Поправочный коэффициент для другой частоты  $\Delta L_f$  вычисляется по формуле

$$\Delta L_f = 6 \cdot \lg\left(\frac{f}{2}\right), \quad (3.7)$$

где  $f$  — частота радиосигнала, ГГц.

Формула для вычисления поправочного коэффициента для высоты антенны  $\Delta L_h$  зависит от ландшафта местности:

$$\Delta L_h = \begin{cases} -10,8 \cdot \lg(h_{ms}/2) & \text{для А и В типов ландшафта,} \\ -20 \cdot \lg(h_{ms}/2) & \text{для С типа ландшафта,} \end{cases} \quad (3.8)$$

где  $h_{ms}$  — высота антенны приемника МС, м.

Значение высоты антенны БС лежит в пределах от 10 до 80 м, а высоты антенны МС — от 2 до 10 м.

### 3.2.4. Расчет скорости передачи данных

Скорость передачи данных зависит от ширины полосы канала и используемой схемы модуляции. На скорость передачи данных влияют защитный интервал символа  $T_g$ , отношение распределения ресурсов вниз/вверх (DL/UL) и время передачи протокольной информации  $T_h$ , под которым понимается момент времени, в течение которого никакие данные не передаются, а посылается различная системная информация, необходимая для инициализации и синхронизации.

Скорость передачи данных (в бит/с) по направлению вниз (БС  $\rightarrow$  АС) рассчитывается по формуле

$$R_{DL} = B \cdot n \cdot \frac{N_{DLdata}}{N_{all}} \cdot R_{symb} \left[ 1 - \frac{T_h}{1 + T_g} \right] \cdot K_{DLtd}, \quad (3.9)$$

где  $N_{DLdata}$  — число поднесущих для передачи данных по направлению БС  $\rightarrow$  АС;  $R_{symb}$  — количество бит на символ в используемой схеме модуляции;  $K_{DLtd}$  — коэффициент распределения ресурсов по направлению БС  $\rightarrow$  АС.

Скорость передачи данных (в бит/с) по направлению вверх (АС  $\rightarrow$  БС) рассчитывается по формуле

$$R_{UL} = B \cdot n \cdot \frac{N_{ULdata}}{N_{all}} \cdot R_{symb} \left[ 1 - \frac{T_h}{1 + T_g} \right] \cdot K_{ULtd}, \quad (3.10)$$

где  $N_{ULdata}$  — число поднесущих для передачи данных по направлению АС  $\rightarrow$  БС;  $K_{ULtd}$  — коэффициент распределения ресурсов UL.

При расчетах  $T_h$  обычно принимается равным 20% ( $T_h = 1/5$ ) от основного времени передачи, а значение защитного интервала  $T_g = 1/8$  от длительности полезного символа. Всего, стандартом IEEE 802.16e предусматриваются четыре основных значения защитного интервала  $1/4$ ,  $1/8$ ,  $1/16$ ,  $1/32$ .

Соотношение между направлениями вниз/вверх позволяет регулировать отношение скоростей. WiMAX определяет отношение DL/UL в пределах от 3:1 к 1:1 для различных типов трафика. При выполнении лабораторной работы рекомендуется использовать значение 3:1, при котором  $K_{DLtd} = 3/4$ , а  $K_{ULtd} = 1/4$ .



### Список использованных источников

1. Дмитриев, В.Н. Особенности расчета параметров сети Mobile WiMAX / В.Н. Дмитриев, И.Г. Шалаев // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. № 2. 2010. 129–134 с.
2. Сотовые системы связи [Электронный ресурс] / А. Берлин // НОУ ИНТУИТ: [сайт]. URL: <http://www.intuit.ru/studies/courses/551/407/info>
3. Стандарт 802.16e. Характеристики физического уровня [Электронный ресурс] // Портал о современных технологиях мобильной и беспроводной связи: [сайт]. URL: <http://1234g.ru/wimax/standart-802-16e-kharakteristiki-fizicheskogo-urovnya>
4. WiMAX System Evaluation Methodology. Version 2.1 // WiMAX Forum. 2008. 209 p.

### 3.3. Порядок выполнения задания

1. Выбрать из табл. 3.5 согласно своему номеру варианта исходные данные для расчета.

Таблица 3.5

Варианты задания (указаны согласно номеру студента в журнале)

№ вар.	$f$ ГГц	$B$ МГц	Схема модуляции	$h_{bs}$ м	$P_{Txbs}$ дБм	$G_{Txbs}$ дБи	$G_{Rxbs}$ дБи	$h_{ms}$ м	$P_{Txms}$ дБм	$G_{Txms}$ дБи	$G_{Rxms}$ дБи
1	2,3	1,25	QPSK $1/2$	10	30	15	15	2	25	2	2
2	2,4	5,00	QPSK $3/4$	20	31	15,5	15,5	3	26	3	3
3	2,5	10,0	QAM-16 $1/2$	30	32	16	16	4	27	1	1
4	2,6	20,0	QAM-16 $3/4$	40	33	16,5	16,5	5	28	2	2
5	2,7	1,25	QAM-64 $1/2$	50	34	17	17	6	27	3	3
6	3,4	5,00	QAM-64 $2/3$	60	35	15	15	7	26	1	1
7	3,5	10,0	QAM-64 $3/4$	10	30	15,5	15,5	8	25	2	2
8	3,6	20,0	QPSK $1/2$	20	31	16	16	9	26	3	3
9	3,7	1,25	QPSK $3/4$	30	32	16,5	16,5	2	27	1	1
10	3,8	5,00	QAM-16 $1/2$	40	33	17	17	3	28	2	2
11	2,3	10,0	QAM-16 $3/4$	50	34	15	15	4	27	3	3
12	2,4	20,0	QAM-64 $1/2$	60	35	15,5	15,5	5	26	1	1
13	2,5	1,25	QAM-64 $2/3$	10	30	16	16	6	25	2	2
14	2,6	5,00	QAM-64 $3/4$	20	31	16,5	16,5	7	26	3	3
15	2,7	10,0	QPSK $1/2$	30	32	17	17	8	27	1	1
16	3,4	20,0	QPSK $3/4$	40	33	15	15	9	28	2	2
17	3,5	1,25	QAM-16 $1/2$	50	34	15,5	15,5	2	27	3	3
18	3,6	5,00	QAM-16 $3/4$	60	35	16	16	3	26	1	1
19	3,7	10,0	QAM-64 $1/2$	10	30	16,5	16,5	4	25	2	2
20	3,8	20,0	QAM-64 $2/3$	20	31	17	17	5	26	3	3
21	2,3	1,25	QAM-64 $3/4$	30	32	15	15	6	27	1	1
22	2,4	5,00	QPSK $1/2$	40	33	15,5	15,5	7	28	2	2
23	2,5	10,0	QPSK $3/4$	50	34	16	16	8	27	3	3
24	2,6	20,0	QAM-16 $1/2$	60	35	16,5	16,5	9	26	1	1

Варианты задания (указаны согласно номеру студента в журнале)

№ вар.	$f$ ГГц	$B$ МГц	Схема модуляции	$h_{bs}$ м	$P_{Txbs}$ дБм	$G_{Txbs}$ дБи	$G_{Rxbs}$ дБи	$h_{ms}$ м	$P_{Txms}$ дБм	$G_{Txms}$ дБи	$G_{Rxms}$ дБи
25	2,7	1,25	QAM-16 $3/4$	10	30	17	17	2	25	2	2
26	3,4	5,00	QAM-64 $1/2$	20	31	15	15	3	26	3	3
27	3,5	10,0	QAM-64 $2/3$	30	32	15,5	15,5	4	27	1	1
28	3,6	20,0	QAM-64 $3/4$	40	33	16	16	5	28	2	2
29	3,7	1,25	QPSK $1/2$	50	34	16,5	16,5	6	27	3	3
30	3,8	5,00	QPSK $3/4$	60	35	17	17	7	26	1	1

2. Для заданных параметров рассчитать чувствительность приемников БС и МС.

3. Рассчитать бюджет линии для нисходящего и восходящего направлений для каждого из четырех типов застройки (табл. 3.3) и выбрать значение для расчета дальности связи.

4. Рассчитать и построить графики зависимости величины потерь на трассе радиосигнала от расстояния  $d$  между БС и МС (диапазон 100–2000 м, точки через 100 м) для трех типов ландшафта (табл. 3.4). Графики строить на одном рисунке. На этой же координатной плоскости построить прямые, соответствующие рассчитанному в предыдущем пункте бюджету линии для каждого из типов застройки. Сделать выводы о дальности передачи для каждого сочетания типа застройки и типа ландшафта.

5. Рассчитать скорость передачи данных для каждого из направлений.

6. Сделать выводы по результатам расчетов.

7. Сформировать в рукописном или печатном виде отчет по работе, в который включить: процедуру расчетов при этом расчет потерь для одного из значений  $d$  и одного типа ландшафта, а также расчеты по прочим пунктам должны быть приведены подробно; таблицы результатов; графики; выводы по результатам расчетов.

### 3.4. Контрольные вопросы

1. Расчет чувствительности приемника.
2. Расчет бюджета линии.
3. Расчет потерь в радиоканале.
4. Расчет скорости передачи данных

**Владимиров Сергей Сергеевич**

**БЕСПРОВОДНЫЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ. РАСЧЕТ  
ПАРАМЕТРОВ БСПД НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ 802.11 И 802.16**

**Практикум**

Редактор *Х. Х. Хxxxxxxxxx*

План изданий 20XX г., п. XX

Подписано к печати XX.XX.20XX  
Объем X,XX печ. л. Тираж XX экз. Заказ XXX

Редакционно-издательский отдел СПбГУТ  
193232 СПб., пр. Большевиков, 22  
Отпечатано в СПбГУТ