

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 21.12.2021 19:37:33
Уникальный программный ключ:
0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e945df4a4851fda56d089

МИНОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИИ

**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)**

Кафедра космического приборостроения и систем связи

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе

О.Г. Локтионова
« 13 » 02 2018 г.

Расчет дальности действия беспроводных систем

Методические указания
по выполнению практической работы №1
по курсу «Стандарты и оборудование систем мобильной связи»
для студентов направления подготовки 11.03.02

Курск 2018

УДК 621.3.095

Составитель А.Е.Севрюков

Рецензент

Доктор физико-математических наук, профессор *А.А. Гуламов*

Расчет дальности действия беспроводных систем: методические указания по выполнению практических работ по курсу «Стандарты и оборудование систем мобильной связи» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост. А.Е.Севрюков. Курск, 2018. 8 с.

Содержат методические указания по выполнению практических работ «Расчет дальности действия беспроводных систем» по курсу «Стандарты и оборудование систем мобильной связи».

Методические указания соответствуют требованиям типовой программы, утвержденной УМО по направлению подготовки «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», рабочей программы дисциплины «Стандарты и оборудование систем мобильной связи».

Предназначены для студентов направления подготовки 11.03.02 очной и заочной форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано печать *15.02* Формат 60x841/16.

Усл. печ. л. 0,7. Уч.-изд. л.0,63. Тираж 100 экз. Заказ *1915* . Бесплатно

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

Расчет дальности действия беспроводных систем.

Задание:

- 1) Произвести расчет предельной дальности беспроводных каналов диапазона 2,4 ГГц для организации связи с удаленным офисом (малые офисы находятся от главного офиса на расстояниях в 15 км).
- 2) Оценить значение мощности полезного сигнала на входе приемника.
- 3) Рассчитать высоту подвеса антенн.

Исходные данные для расчета: Рабочая частота $f = 2,4835$ ГГц

№ Варианта	Вариант радиолинии	Скорость передачи	Z - запас помехоустойчивости (дБ)	Характер поверхности
1	2	1	15	<u>идеально гладкая Земля</u>
2	3	2	10	<u>идеально гладкая Земля</u>
3	1	3	15	<u>идеально гладкая Земля</u>
4	5	5,5	5	<u>на ровном рельефе</u>
5	5	11	5	<u>на ровном рельефе</u>
6	4	3	10	<u>идеально гладкая Земля</u>
7	5	3	15	<u>идеально гладкая Земля</u>
8	3	1	15	<u>на ровном рельефе</u>
9	1	5,5	5	<u>на ровном рельефе</u>
10	3	3	15	<u>идеально гладкая Земля</u>
11	3	11	5	<u>на ровном</u>

				<u>рельефе</u>
12	5	3	10	<u>идеально</u> <u>гладкая Зем-</u> <u>ля</u>
13	4	1	15	<u>на ровном</u> <u>рельефе</u>

Порядок расчета

Возможны 5 различных вариантов радиолиний, представленные в таблице №1.

Таблица 1 – Варианты радиолиний

Вариант радиолинии	Формула для расчета Y
1. Со <u>штатными</u> антеннами без усилителей.	$R_{прд} + G_{прд} + G_{прм} - P_{min}$
2. С <u>внешними</u> антеннами без усилителей.	$R_{прд} - J_{прд} + G_{прд} + G_{прм} - J_{прм} - P_{min}$
3. С внешними антеннами и передающими усилителями.	$R_{ус} + G_{прд} + G_{прм} - J_{прм} - P_{min}$
4. С внешними антеннами и приемными усилителями.	$R_{прд} - J_{прд} + G_{прд} + G_{прм} - P_{min}$ (при $K_{прм} > J_{прм}$)
5. С внешними антеннами и приемопередающими усилителями.	$R_{ус} + G_{прд} + G_{прм} - P_{min}$ (при $K_{прм} > J_{прм}$)

Для заданного варианта радиолинии на основании данных таблиц 2-6 выбрать **тип аппаратуры и его параметры** и вычислить значение усиления линии Y (значения переменных, входящих в формулы, представлены в таблицах) и по графику, представленному на рисунке 1 определить предельную дальность.

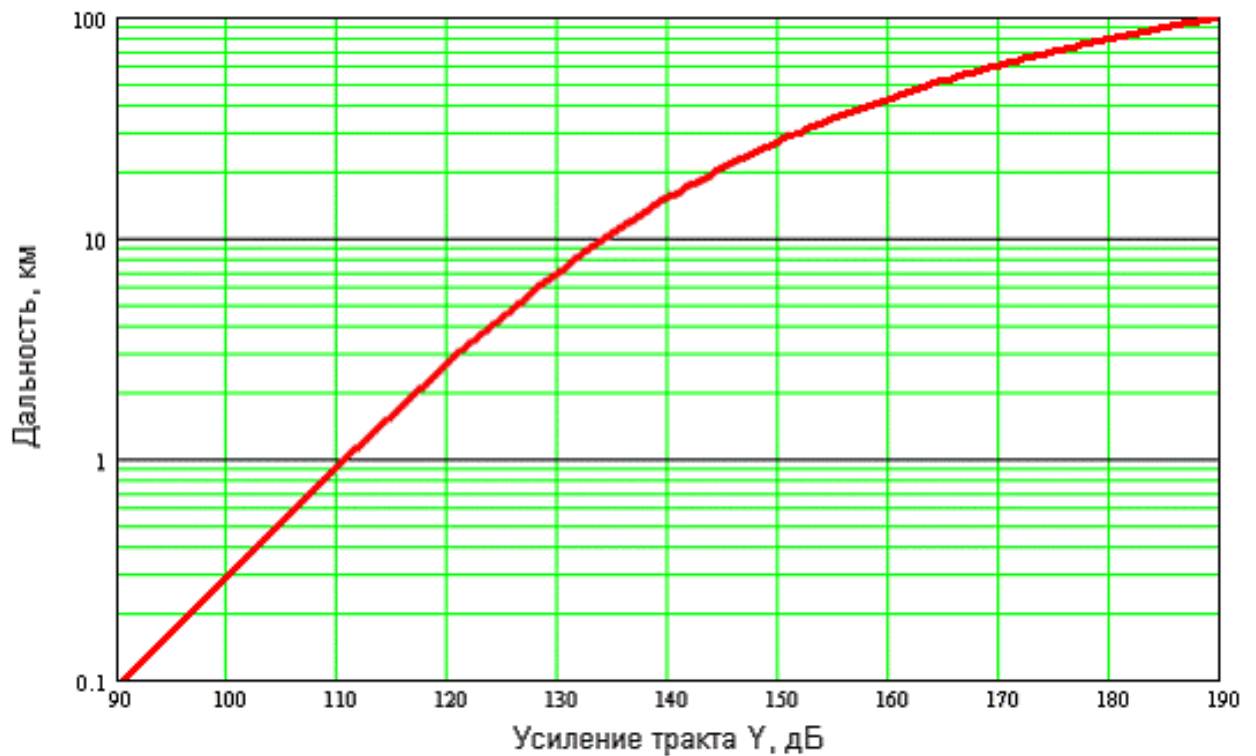


Рисунок 1. График зависимости дальности от усиления линии (Y).

Исходные данные для расчета Y

Таблица 2. Выходная мощность **P_{прд}** и коэффициенты усиления штатных антенн **G_{прд}**, **G_{прм}**.

Аппаратура	P _{прд} , дБм	G _{прд} , G _{прм} , дБ (штатные антенны)
Радиомосты Cisco-AIR, серия 350	20	2
Aironet 4800, Cisco-AIR 340	15	2
ORiNOCO (WaveLAN Turbo 11)	15	0
BreezeNET DS.11	18	2
BreezeACCESS unlimited	33	16

Таблица 3. Реальная чувствительность приемника **P_{мин}** дБм при BER=1e-5 (зависит от скорости передачи)

Аппаратура	Скорость передачи, Мбит/с			
	1	2	5,5	11
Cisco-AIR 350	-94	-91	-89	-85
Cisco AIR 340, BR500, 4800	-90	-88	-87	-84
ORiNOCO	-94	-91	-87	-82
BreezeNET DS.11	-89	-86	-84	-80

Аппаратура	Скорость передачи, Мбит/с		
	1	2	3

BreezeNET PRO.11D, BreezeLink-121	-86	-78	-72
BreezeACCESS	-81	-75	-67

Таблица 4. Погонное затухание кабеля.

Тип кабеля	J дБ/м
PK50-17-51	0.09
PK50-7-58	0.22
Belden 9913	0.24

Затухание в кабеле **J_{прд}**, **J_{прм}** определяется как произведение погонного затухания L на длину кабеля L. В расчете на одну антенну берется **L = 15 м** кабеля.

Определяем затухание в кабеле: **J_{прд} = J * L = дБ; J_{прм} = J * L = дБ.**

Таблица 5. Коэффициент усиления внешней антенны **G**

Шифр	Тип антенны	G, дБ	ДН гор, гр	ДН вер, гр
OD12-2400	Колинеарная	12	360	7
OD9-2400	Колинеарная	9	360	17
OD6-2400	Колинеарная	6	360	60
GRAD/12-2401	Колинеарная	12	360	7
GRAD/11-2400	Колинеарная	11	360	7
GRAD/7-2402	Колинеарная	7	360	30
IMAG5-2400	Автомобильная на магнитном основании	5	360	~70
GRAD/3-2403	Колинеарная	3	360	60
RM3-2400	Диполь - автомобильная	2,5	360	~180
ТТОН/11	Всенаправленная с горизонтальной поляризацией	11	360	7
OD12-2400/ODR12-Kit	Колинеарная с отражателем	14	180	7
GRAD/15-2487	Волноводно-щелевая	13	90	18
OD9-2400/ODR9-Kit	Колинеарная с отражателем	11	180	14
GRAD/10-2486	Колинеарная с отражателем	11	180	20
OD6-2400/ODR6-Kit	Колинеарная с отражателем	8	180	25
ТТSH/14	Волноводно-щелевая с горизонтальной поляризацией	14	90	12
ТТSV/14	Волноводно-щелевая	14	90	12
DC-CA/24-PGA	Параболическая	24	10	15
SCR14-2400	Уголковая	14	35	44

SCR9-2400	Угловая	9	65	75
P7F-2400S	Секторная плоская	7	60	45
DS21 - 2400	Плоская антенная решетка	21	8	15
DS16 - 2400	Плоская антенная решетка	16	20	21
DS14 - 2400	Плоская антенная решетка+ встроена грозозащита	14	32	40
DS13 - 2400	Плоская антенная решетка	13	38	40
DS10 - 2400	Плоская антенная решетка	10	38	58

Таблица 6. Характеристики усилителей

Тип усилителя	Выходная мощность, Рус, дБм	КУ приемного усилителя, дБ
МАНУС - 212-32	27	21
МАНУС - 212-4	20	16
МАНУС - 212-01В	20	14
МАНУС -212-20В1	33	25
МАНУС -212-10FFZ	30	20
MANUS -BT	30	20

Подставляя данные в общую формулу определить значения усиления линии Y :

$$Y = P_{прд} - J_{прд} + G_{прд} + G_{прм} - J_{прм} - P_{min} = \dots \text{ дБ}$$

На основании полученного значения Y по графику дальности определить расстояние до расположения малых офисов относительно главного офиса.

2. Расчет высоты установки антенн

Во-первых. Практически все радиооборудование беспроводных сетей, поступающее в Россию, работает в диапазоне частот 2,4- 2,4835 ГГц, что соответствует длине волны 12,5 см. Такие волны распространяются вдоль прямой линии, соединяющей антенны и называемой линией визирования. Из этого следует, что препятствия не должны закрывать линию визирования. Не следует забывать, что Земля круглая. Поэтому даже в степи, при абсолютно ровной поверхности, чтобы обеспечить прямую видимость, антенны необходимо поднимать.

Во-вторых. Необходимо обеспечить такие значения параметров радиолинии, чтобы мощность полезного сигнала на входе приемника была равна или немного превышала значение реальной чувствительности приемника. Если это условие не выполняется - радиолиния работать не будет. Если пре-

вышение слишком большое - увеличивается риск создания помех другим радиосредствам, работающим в том же диапазоне.

В-третьих. Необходимо знать энергетические параметры радиолинии, входящие в выражение для мощности полезного сигнала на входе приемника и реальную чувствительность приемника. Мощность полезного сигнала в точке приема определяется выражением

$$P_{\min} = P_{\text{прд}} + G_{\text{прд}} + G_{\text{прм}} + 20 \lg \lambda - 20 \lg(4\pi) - 20 \lg(r) - L_{\text{доп}} - Z$$

Где: $P_{\text{прд}}$ - выходная мощность передатчика.

$G_{\text{прд}}$ и $G_{\text{прм}}$ - коэффициенты усиления передающей и приемной антенны. Какую антенну назначить передающей, а какую приемной - разницы нет.

λ - длина волны (м).

r - дальность передачи.

$L_{\text{доп}}$ - дополнительные потери, обусловленные целым комплексом причин, включая ослабление сигнала в соединительных разъемах, потери из-за несовпадения поляризации антенн и т.п. В рассматриваемых радиолиниях обычно полагают $L_{\text{доп}} = 10$ дБ.

Z - запас помехоустойчивости к внешним помехам, величина которого определяется электромагнитной обстановкой в районе размещения радиолинии.

Кроме этого, при использовании внешних антенн, подключаемых к радиооборудованию с помощью коаксиальных кабелей, необходимо знать длину кабелей и величину погонного затухания в них, выражаемого в дБ/м. Результирующее затухание в кабелях $J_{\text{прд}}$, $J_{\text{прм}}$ добавляется к величине $L_{\text{доп}}$.

Оценить расчетное значение мощности полезного сигнала на входе приемника и сравнить его с чувствительностью выбранного типа приемной аппаратуры

Рассчитать высоту подвеса антенн.

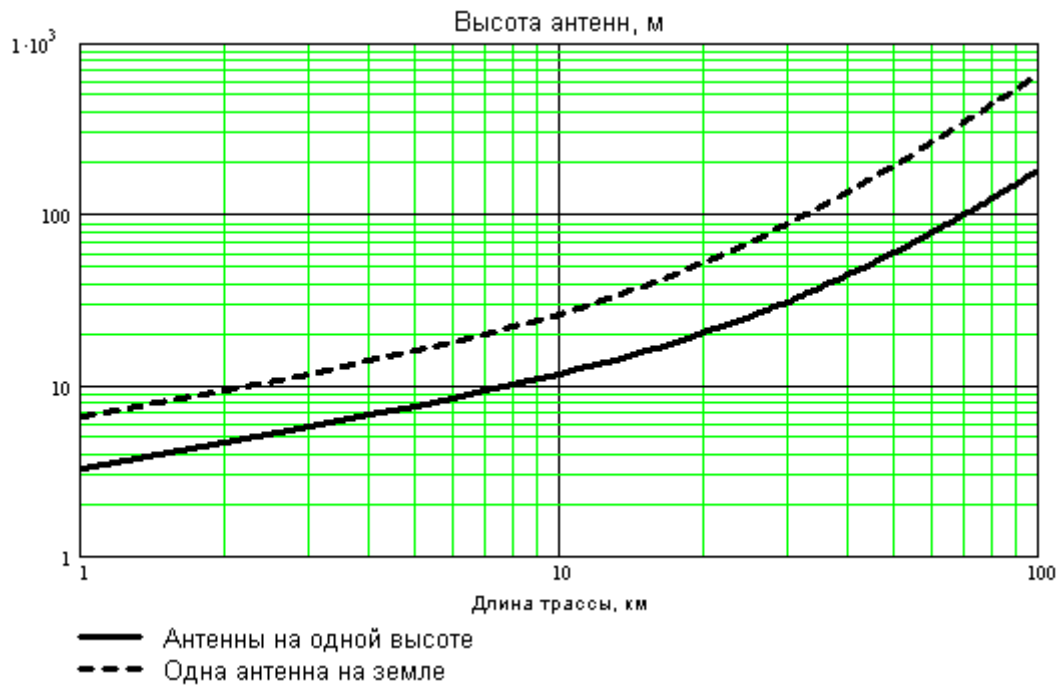
Для ориентировочной оценки на ровном рельефе при одинаковой высоте антенн использовать простую формулу, учитывающую сферичность Земли и расстояние между антеннами. Высота подвеса антенн в метрах равна:

$$h_1 = h_2 = \left(\frac{r}{8,24} \right)^2 + 4,47\sqrt{r}$$

где r - расстояние между антеннами в километрах.

Когда одна антенна находится на уровне поверхности Земли, коэффициент 8,24 в формуле надо заменить на 4,12.

Высоту установки антенн при условии идеально гладкой Земли можно определить по следующему графику.



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Юго–Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра космического приборостроения и систем связи

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
О.Г. Локтионова
«15» 02 2018 г.



Построение локальной беспроводной сети на основе стандарта IEEE 802.11b/g (WiFi)

Методические указания
по выполнению практической работы №2
по курсу «Стандарты и оборудование систем мобильной связи»
для студентов направления подготовки 11.03.02

Курск 2018

УДК 621.3.095

Составитель А.Е.Севрюков

Рецензент

Доктор физико-математических наук, профессор *А.А. Гуламов*

Построение локальной беспроводной сети на основе стандарта IEEE 802.11b/g (WiFi): методические указания по выполнению практических работ по курсу «Стандарты и оборудование систем мобильной связи» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост. А.Е.Севрюков. Курск, 2018. 5 с.

Содержат методические указания по выполнению практических работ «Построение локальной беспроводной сети на основе стандарта IEEE 802.11b/g (WiFi)» по курсу «Стандарты и оборудование систем мобильной связи».

Методические указания соответствуют требованиям типовой программы, утвержденной УМО по направлению подготовки «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», рабочей программы дисциплины «Стандарты и оборудование систем мобильной связи».

Предназначены для студентов направления подготовки 11.03.02 очной и заочной форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано печать *15.02* Формат 60x841/16.

Усл. печ. л. 0,7. Уч.-изд. л.0,63. Тираж 100 экз. Заказ *1915* . Бесплатно

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

Построение локальной беспроводной сети на основе стандарта IEEE 802.11b/g (WiFi)

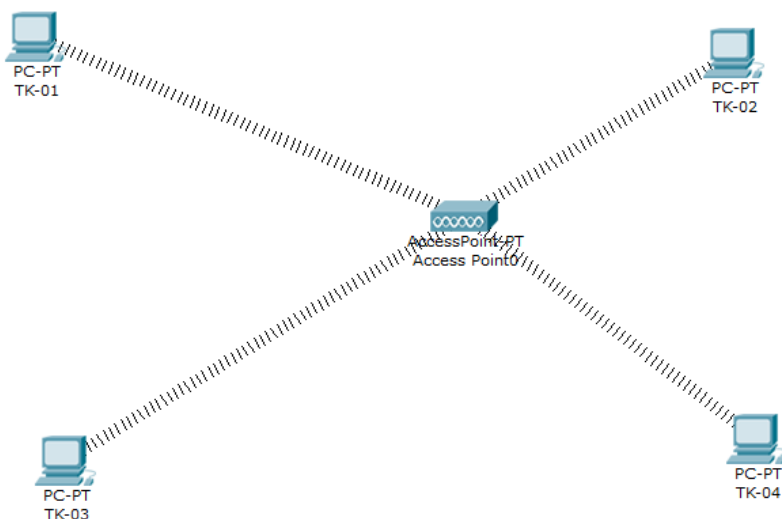
Цель работы: построение локальной беспроводной сети WiFi ;
настройка сети, оценка трафика;

Для проектирования беспроводной сети необходимо воспользоваться программой Cisco Packet Tracer.

Задание на практическую работу:

1. Построить беспроводную сеть с топологией «Звезда», для чего:
 - на поле программы переместить иконки компьютеров;
 - переименовать компьютеры ТК-01...04 соответственно;
 - перенести WiFi точку доступа в центр нашей сети;
2. Провести физическую настройку элементов сети (компьютеров и WiFi-точки доступа), для чего необходимо:
 - двойным щелчком по компьютеру, в первой вкладке открыть физическое представление компьютера.
 - нажать кнопку для его выключения, снять с него стандартное оборудование (порт Ethernet) и устанавливаем вместо него WiFi антенну, по умолчанию она находится в нижнем правом углу вкладки;
 - после замены включить компьютер;
 - проделать аналогичные процедуры с оставшимися компьютерами.

В результате получим сеть следующего вида:



3. В сформированную сеть добавить маршрутизатор, для чего на поле программы перетащить Router Generic.
4. В сформированную сеть добавить сервер, обеспечивающий выход в интернет.
5. Далее осуществить соединение точки доступа с маршрутизатором и последующим выходом в интернет.

Чтобы организовать проводное взаимодействие между точкой доступа и роутером.

- необходимо выключить точку доступа, снять с нее порт Ethernet и на его место поставить порт Fastethernet, далее включить его.

Провести физическую настройку роутера:

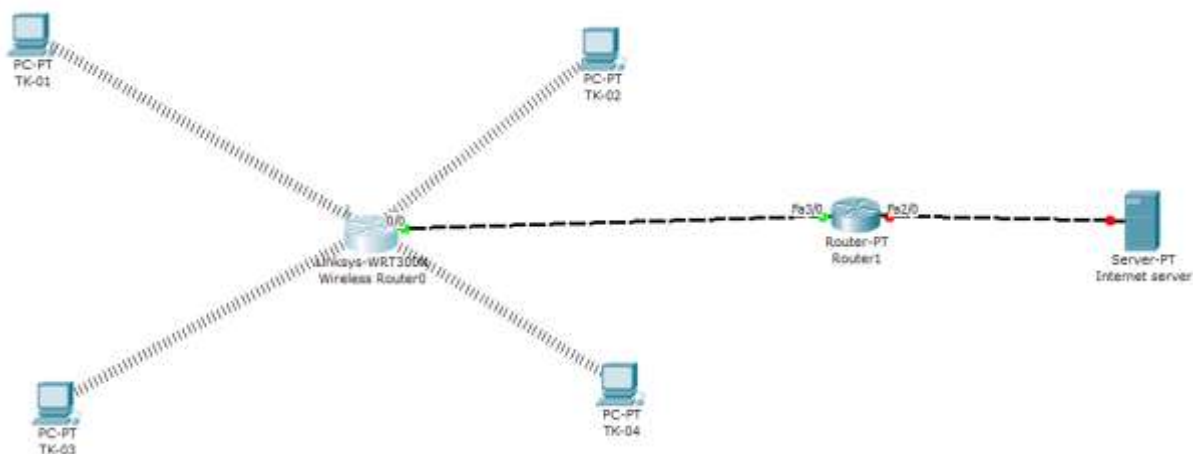
- выключив питание роутера, установить 2 порта Fastethernet, перетаскив модули PT-Router-NM-1CFE на соответствующий слот устройства.

-Далее соединяем точку доступа и роутер кабелем.

-после выставляем сервер на наше поле программы и называем его Internet Server, так же проводим процедуру замены порта на Fastethernet

-соединяем его с роутером.

В результате у нас должно получиться:



6. Проводим настройку IP адресации.

Необходимо присвоить статические IP адреса всем компьютерам.

-щелкаем на компьютер

-переходим в 3 вкладку

-назначаем статический IP

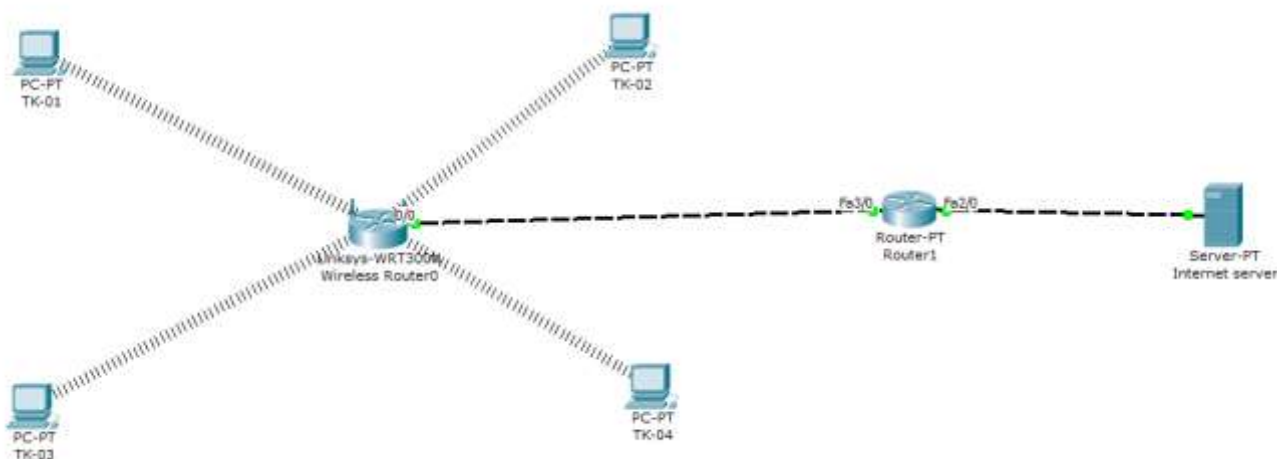
-задаем его в формате 192.168.15.1 (сеть делается с шагом 8)

-так же задаем IP адрес сервера

-задаем IP адрес портов на портах маршрутизатора

-включаем порты

В результате имеем:



Убедившись что все порты включены, IP адреса настроены верно
Проверяем работоспособность сети

1 вариант

Достижимость ТК-01 – ТК -03

Достижимость роутер-Сервер

2 вариант

Достижимость ТК-02-ТК-04

Достижимость Точка доступа –Роутер

3 вариант

Достижимость ТК-03-ТК-02





Достижимость Интернет Сервер- Роутер

4 вариант

Достижимость ТК 04-ТК-01

Достижимость ТК-03-ТК-04

Результаты отобразить следующим образом:

Fire	Last Status	Source	Destination	Type	Color	Time
	Successful	TK-02	TK-01	ICMP		0.000
	Successful	TK-02	TK-01	ICMP		0.000

Содержание отчета

Титульный лист с названием практической работы, номером варианта, фамилиями студентов и группы.

Цель работы и задание на парактическую работу.

Результаты расчетов, полученные в ПП. 1-5 задания на практическую работу.

Выводы по полученным данным расчетов.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра космического приборостроения и систем связи

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе

О.Г. Локтионова
«15» 02 2018 г.

Расчет параметров сети мобильного доступа Wi-Max

Методические указания
по выполнению практической работы №3
по курсу «Стандарты и оборудование систем мобильной связи»
для студентов направления подготовки 11.03.02

Курск 2018

УДК 621.3.095

Составитель А.Е.Севрюков

Рецензент

Доктор технических наук, профессор *В.Г. Андронов*

Расчет параметров сети мобильного доступа Wi-Max: методические указания по выполнению практических работ по курсу «Стандарты и оборудование систем мобильной связи» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост. А.Е.Севрюков. Курск, 2018. 8 с.

Содержат методические указания по выполнению практических работ «Расчет параметров сети мобильного доступа Wi-Max» по курсу «Стандарты и оборудование систем мобильной связи».

Методические указания соответствуют требованиям типовой программы, утвержденной УМО по направлению подготовки «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», рабочей программы дисциплины «Стандарты и оборудование систем мобильной связи».

Предназначены для студентов направления подготовки 11.03.02 очной и заочной форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано печать *15.02* Формат 60x841/16.

Усл. печ. л. 0,7. Уч.-изд. л.0,63. Тираж 100 экз. Заказ *1915* . Бесплатно

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

Расчет параметров сети мобильного доступа Wi-Max

Цель работы – показать, какие особенности и рекомендации стандарта IEEE 802.16e следует учитывать при моделировании сети связи, а также определить минимальный набор характеристик при проектировании сети Mobile WiMAX.

Общие исходные данные для расчета

Сеть проектируется для городского района площадью 17,6 км², высота подвеса антенн БС = 30 м, АС = 3 м. Оператору связи выделен частотный ресурс в диапазоне 3 500 МГц, ширина канала – выбрать из варианта задания.

Параметры физического уровня:

- защитный интервал OFDM-символа 1/8 от общей длины символа,
- вид модуляции со скоростью кодирования выбрать из варианта задания,
- отношение распределения ресурсов при передаче данных по направлениям вниз/вверх 3 : 1,
- для передачи системной информации отводится 20 % времени от всего времени передачи.

Оборудование БС выбрано с поддержкой технологии MIMO с двумя антеннами – на прием и передачу, мощность излучения составляет 33 дБм, КУ антенн – 16,5 дБи, 4-секторная конфигурация.

Параметры АС: чувствительность $P_{A0AC} = 95$ дБ, мощность – 27 дБм, КУ антенны – 3 дБи, расстояние от БС до АС $d=510$ м

Исходные данные для расчета по вариантам:

№ вар	Ширина канала	Вид модуляции/ скорость кодирования	Тип застройки	Ландшафт местности
1	1,25	QPSK 1/2	Пригород	Равнина
2	5,00	QPSK 3/4	Городской район	Равнина с редкими холмами
3	5,00	16QAM 1/2	Плотная городская	Равнина
4	10,00	16QAM 3/4	Пригород	Равнина
5	10,00	64QAM 1/2	Плотная городская	Равнина с редкими холмами
6	20,00	64QAM 2/3	Городской район	Равнина
7	20,00	64QAM 3/4	Плотная городская	Равнина с редкими холмами
8	1,25	QPSK 1/2	Плотная городская	Равнина

1. Чувствительность приемника

Чувствительность – одна из важнейших характеристик, под которой понимают 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. Тепловой шум зависит от ширины полосы канала (BW) и может быть вычислен по формуле

$$P_{т.ш} = -174 + 10\log(\Delta f),$$

где Δf – используемая полоса частот.

Стандарт IEEE 802.16 ориентирован на использование полос частот шириной в 1,25; 5,0; 10,0; 20,0 МГц и основан на технологии OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing – мультиплексирование посредством ортогональных несущих). За счет наличия защитного интервала между поднесущими эффективная ширина спектра сигнала несколько больше ширины канала (BW), поэтому Δf можно рассчитать как произведение ширины канала BW, числа используемых поднесущих ($N_{исп}$), полного числа поднесущих OFDM сигнала ($N_{всего}$) и коэффициента дискретизации (n) [2]. Табл. 1 содержит для каждой ширины канала значения $N_{исп}$ и $N_{всего}$.

При расчете учесть, что $N_{исп}$ состоит из суммы числа поднесущих данных ($N_{дан}$) и числа пилотных поднесущих ($N_{пилот}$). Число поднесущих данных определяется для нисходящего направления ($N_{данDL}$) и восходящего направления ($N_{данUL}$). Коэффициент дискретизации n определяет интервал между поднесущими (вместе с шириной полосы и количеством поднесущих данных) и полезное время символа. Он равен 28/25 для канала, ширина полосы которого кратна 1,25; 1,50; 2,00; 2,75 МГц. Таким образом, тепловой шум может быть определен по формуле

$$P_{тш} = -174 + 10 \log [BWn(N_{исп} / N_{всего})]. \quad (1)$$

$$P_{тш} =$$

Таблица 1- Параметры, определяемые шириной полосы канала

Ширина полосы, МГц	$N_{всего}$	$N_{исп}$	$N_{данDL}$	$N_{данUL}$
1,25	128	85	72	56
5,00	512	421	360	280
10,00	1 024	841	720	560
20,00	2 048	1 681	1 440	1 120

Отношение сигнал/шум приемника зависит от схемы модуляции. Табл. 2 содержит перечень схем модуляций, утвержденных стандартом WiMAX, и их требования к отношению сигнал/шум ($K_{с/ш}$). Значения $K_{с/ш}$ приведены для сверточного кодирования (СК) и сверточного турбокодирования (СТК). Приведенные данные справедливы для канала с аддитивным белым гауссовским шумом и коэффициентом ошибок равным 10^{-6} .

Таблица 2 - Параметры схем модуляции

Схема модуляции	$K_{с/ш}$ при СК, дБ	$K_{с/ш}$ при СТК, дБ	Количество бит на символ, $R_{сим}$
QPSK 1/2	5,0	2,5	1,0
QPSK 3/4	8,0	6,3	1,5
16QAM 1/2	10,5	8,6	2,0
16QAM 3/4	14,0	12,7	3,0
64QAM 1/2	16,0	13,8	3,0
64QAM 2/3	18,0	16,9	4,0
64QAM 3/4	20,0	18,0	4,5

Потери реализации (L_l), вызванные повышенным фазовым шумом приемника,

снижают его чувствительность, и для нормальной работы такой системы требуется более мощный радиосигнал. Значение L_I принято равным 5 дБ. Таким образом, формула для расчета необходимого уровня чувствительности приемника имеет вид

$$P_{\text{тш}} = -174 + 10\log[\text{BW}n(N_{\text{исп}}/N_{\text{всего}})] + K_{c/и} + K_{и} + L_I, \quad (2)$$

$$P_{\text{тш}} =$$

где коэффициент шума $K_{и} = 7$ дБ, согласно рекомендациям WiMAX Forum.

2. Бюджет линии

Для расчета дальности связи используется уравнение бюджета линии, которое связывает уровни мощности на входе приемника и выходной мощности передатчика, находящихся друг от друга на заданном расстоянии. При расчете дальности связи выбирается наименьшее из значений бюджета для нисходящего (DL) и восходящего (UL) направлений. Бюджет линии зависит от технических характеристик базовой и абонентской 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 - $I_{UL} = 3$ дБ [3].

Для учета того факта, что здания препятствуют распространению электромагнитных волн, кроме запаса на замирания радиосигнала $F = 10$ дБ, необходимо ввести дополнительную поправку U_C , значение которой зависит от плотности застройки. Табл. 3 содержит значения поправочного коэффициента U_C .

Таблица 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 ® АС) можно рассчитать по формуле

$$DL_{\text{БП}} = P_{\text{Tx БС}} - P_{\text{A0AC}} + G_{\text{Tx БС}} + G_{\text{RxAC}} - L_f - F - I_{DL} + U_C, \quad (3)$$

$$DL_{\text{БП}} =$$

где $P_{\text{Tx БС}}$ - излучаемая мощность передатчика БС, дБм;

P_{A0AC} - чувствительность приемника АС, дБм;

$G_{\text{TxБС}}$ - коэффициент усиления антенны передатчика БС, дБи;

G_{RxAC} - коэффициент усиления антенны приемника AC, дБи;

L_f - потери в фидере, принять равным 3 дБ;

F - замирание радиосигнала, дБ;

I_{DL} - уровень межканальной интерференции, дБ;

U_c - поправочный коэффициент типа застройки, дБ.

Для восходящего направления от абонентской станции к базовой станции (AC→BC) бюджет линии имеет вид

$$UL_{БП} = P_{Tx AC} - P_{A0B0} + G_{TxAC} + G_{RxBC} - F - I_{UL} + U_c. \quad (4)$$

$$UL_{БП} =$$

3. Модель распространения радиоволн

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 используется модель Эрцгега - Гринштейна, применяемая рабочей группой IEEE 802.16. Эта модель базируется на экспериментальных измерениях, проведенных в США. С учетом некоторого минимального расстояния d_0 уровень потерь рассчитывается по формуле

$$L = 20 \log_{10}(4\pi d_0 \lambda) + 10\gamma \log_{10}(d/d_0) + s + \Delta L_f + \Delta L_h, \quad (5)$$

$$L =$$

где d - расстояние от БС до AC ($d \geq d_0$, $d_0 = 100$ м);

λ - длина волны, м;

s - уровень затенения сигнала;

ΔL_f - поправочный коэффициент для частоты;

ΔL_h - поправочный коэффициент для высоты антенны AC, зависящий от типа местности;

$\gamma = a - bh_b + c/h_b$, где h_b - высота антенны БС.

Постоянные a , b , c зависят от ландшафта местности (табл. 4). 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.

Таблица 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 ΔL_f , ΔL_h формула (5) действительна только для частот меньше 2 ГГц и высоты антенны приемника до 2 м. Поправочный коэффициент для другой частоты ΔL_f записывается следующим образом:

$$\Delta L_f = 6 \log_{10}(f/2000), \quad (6)$$

$$\Delta L_f =$$

где f - частота радиосигнала, МГц.

Формула для вычисления поправочного коэффициента для высоты антенны ΔL_h зависит от ландшафта местности:

$$\Delta L_h = 10,8 \log_{10}(h/2) \text{ для } A \text{ и } B \text{ типов,}$$

$$\Delta L_h = -20 \log_{10}(h/2) \text{ для } C \text{ типа,} \quad (7)$$

$$\Delta L_h =$$

где h - высота антенны приемника, м.

4. Расчет скорости передачи данных на сектор

Скорость передачи данных зависит от ширины полосы канала и используемой схемы модуляции [6]. На скорость передачи данных влияют защитный интервал символа T_g , отношение распределения ресурсов вниз/вверх (DL/UL) и время передачи протокольной информации (T_h). Момент времени, в течение которого никакие данные не передаются, а посылается различная системная информация, необходимая для инициализации и синхронизации, называется временем передачи протокольной информации. Тогда по формуле (8), можно рассчитать скорость передачи данных по направлению вниз (БС \rightarrow АС):

$$R_{DL} = BW n (N_{дан DL} / N_{всего}) R_{сим} [1 - (T_h/1 + T_g)] K_{TDD DL}, \quad (8)$$

$$R_{DL} =$$

где $N_{дан DL}$ - число поднесущих для передачи данных по направлению БС \rightarrow АС;

$R_{сим}$ - количество бит на символ;

T_h - время передачи протокольной информации;

T_g - защитный интервал;

$K_{TDD DL}$ - коэффициент распределения ресурсов по направлению БС \rightarrow АС.

Для расчета скорости передачи данных по направлению вверх (АС \rightarrow БС):

$$R_{UL} = BW n (N_{дан UL} / N_{всего}) R_{сим} [1 - (T_h/1 + T_g)] K_{TDD UL}, \quad (9)$$

$$R_{UL} =$$

где $N_{дан UL}$ - число поднесущих для передачи данных по направлению АС

→БС ;

K_{TDDUL} -коэффициент распределения ресурсов UL.

При расчетах T_h принимается равным 20 % от основного времени передачи, а значение защитного интервала - 1/8 от длительности полезного символа. Стандартом IEEE 802.16e также предусматриваются значения защитного интервала 1/4, 1/8, 1/16, 1/32. Соотношение между направлениями вниз/вверх позволяет регулировать отношение скоростей. Значения $N_{дан UL}$, $N_{данDL}$, $N_{всего}$ были приведены выше в табл. 1, значение $R_{сим}$ зависит от выбранной схемы модуляции (см. табл. 2).

5. Расчет дальности связи

Для определения предельной дальности связи необходимо рассчитать суммарное усиление тракта, компенсирующее потери на трассе распространения, и по графику определить соответствующую этому значению дальность. Усиление тракта в дБ определяется по формуле (5):

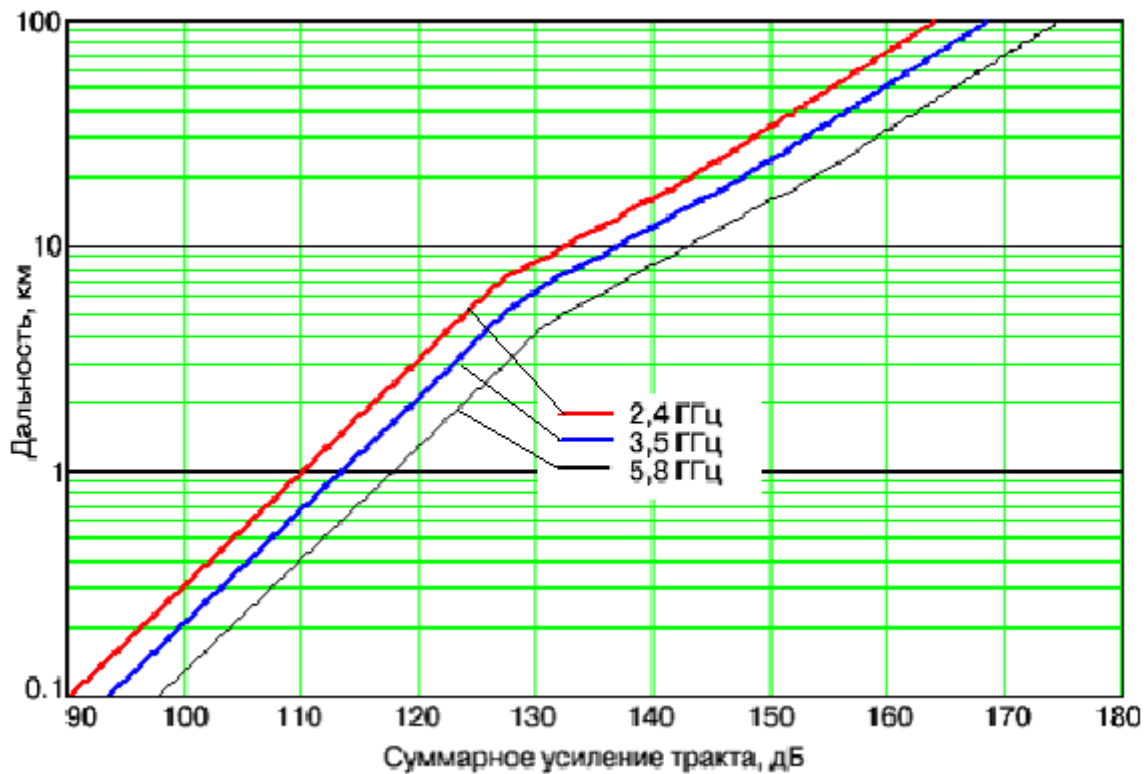


Рисунок 1 -График зависимости дальности связи от суммарного усиления тракта