

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

« 15 » 03 2021
О.Г. Локтионова
«Юго-Западный
государственный
университет»
(ЮЗГУ)
1034637015786

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ

Методические указания
по выполнению лабораторных работ
по курсу «Беспроводные системы связи»
для студентов направления подготовки 11.03.02

Курск 2021

УДК 621.3.095

Составитель А.Е.Севрюков

Рецензент

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

Исследование параметров беспроводных сетей: методические указания по выполнению лабораторных работ по курсу «Беспроводные системы связи» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост. А.Е.Севрюков. Курск, 2021. 106 с.

Содержат методические указания по выполнению лабораторных работ «Исследование параметров беспроводных сетей» по курсу «Беспроводные системы связи».

Методические указания соответствуют требованиям типовой программы по направлению Инфокоммуникационные технологии и системы связи и рабочей программы дисциплины «Беспроводные системы связи».

Предназначены для студентов направления подготовки 11.03.03 очной формы обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано печать *15.03* Формат 60x841/16.
Усл. печ. л. 6,16. Уч.-изд. л.5,58 Тираж 100 экз. Заказ *403*. Бесплатно
Юго-Западный государственный университет.
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

Лабораторная работа №1

Организация беспроводной связи по стандарту *Bluetooth*

Цель: научиться применять устройства *Bluetooth* для передачи информации: физически устанавливать соединение и программно реализовывать передачу данных.

Средства для выполнения работы:

- аппаратные: два компьютера; два устройства Bluetooth.
- программные: ОС Windows XP

Теоретические сведения

Bluetooth – это технология передачи данных по радиоканалам на короткие расстояния, позволяющая осуществлять связь беспроводных телефонов, компьютеров и различной периферии даже в тех случаях, когда нарушается требование прямой видимости.

Первый стандарт *Bluetooth 1.0*. был выпущен в декабре 1999 г. Технология названа в честь датского короля Гарольда Блатана (пер. с датского «синий зуб» на английский «blue tooth»), объединившего в X веке земли Дании и Норвегии и прославившийся тем, что умел находить общий язык с князьями-вассалами.

Первоначально технология задумывалась как средство простого соединения ПК и телекоммуникационных устройств мобильных телефонов. Но оказалась настолько удачной, что ее развитие видится весьма перспективным.

Специалисты предполагают два направления использования *Bluetooth*. *Первое* — домашние сети, включающие в себя различную электронную технику, в частности компьютеры, телевизоры и т. п. *Второе* — локальные сети офисов небольших фирм, где стандарт *Bluetooth* может прийти на смену традиционным проводным технологиям.

Расстояние, на которое может быть установлено соединение *Bluetooth* – невелико и составляет от 10 до 30 м. В настоящее время

разработчики пытаются его увеличить хотя бы до 100 м. Зато для **Bluetooth** не требуется прямой видимости или направленной антенны, соединение может быть установлено через стену, при условии, что она не экранирована.

Главной особенностью *интерфейса Bluetooth* является то, что поддерживающие его устройства соединяются друг с другом автоматически, стоит им только оказаться в пределах досягаемости.

Основу архитектуры **Bluetooth** составляет **пикосеть (piconet)**, состоящая из одного *главного узла (M)* и нескольких (до семи) *подчиненных узлов (S)*, расположенных в радиусе 10 м. В одной и той же комнате, если она достаточно большая, могут располагаться несколько пикосетей.

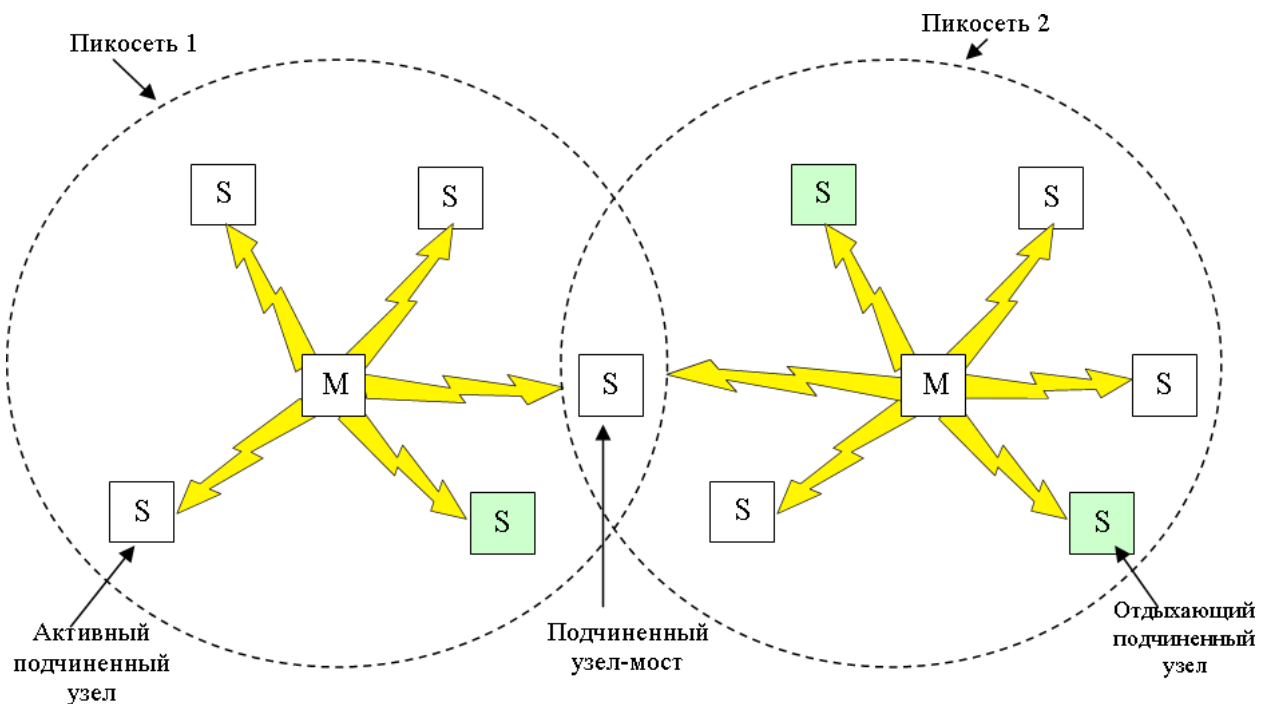


Рисунок 4. Две пикосети могут, соединившись, сформировать *рассеянную сеть*

Более того, они могут даже связываться друг с другом посредством *моста* (специального узла), как показано на рисунке 4.

Несколько объединенных вместе пикосетей составляют **рассеянную сеть (scatternet)**. Помимо семи активных подчиненных узлов, один главный узел может поддерживать до 255 так называемых

мых отдыхающих узлов. Это устройства, которые главный узел перевел в режим пониженного энергопотребления (за счет чего продлевается ресурс их источников питания).

В таком режиме узел может только отвечать на запросы активации или на сигнальные последовательности от главного узла. Существуют еще два промежуточных режима энергопотребления – приостановленный и анализирующий.

Такое решение с главным и подчиненными узлами оказалось очень простым и дешевым в реализации, несмотря на то, что подчиненные узлы получились неразговорчивыми — они лишь выполняют то, что им прикажет главный узел.

В основе пикосетей лежит принцип централизованной системы с временным уплотнением. Главный узел контролирует временные интервалы и распределяет очередность передачи данных каждым из подчиненных узлов. Связь существует только между подчиненным и главным узлами. Прямой связи между подчиненными узлами нет.

Большинство сетевых протоколов просто предоставляют каналы связи между коммуникационными единицами и оставляют прикладное использование этих каналов на усмотрение разработчиков. В противоположность этому, например, спецификация Bluetooth V1.1, называет 13 поддерживаемых приложений и для каждого из них предоставляет свой набор протоколов, называемые профилями.

Профиль – основа, на которой строятся реальные приложения. Его главная задача состоит в создании канала между главным и подчиненными узлами.

Довольно общим является *профиль определения сервиса*, используемый для определения того, какие сервисы могут быть предоставлены другими устройствами. Вся аппаратура системы **Bluetooth** должна поддерживать два описанных ниже профиля. Все прочие являются необязательными.

Профиль последовательного порта — это транспортный протокол, который используется большинством других профилей. Он эмулирует последовательный канал и полезен при работе с приложениями, которым требуется этот канал.

Профиль общего объектного обмена определяет клиент-серверные взаимоотношения, возникающие при обмене данными. Клиенты инициируют операции, но подчиненная станция может выступать либо в роли клиента, либо в роли сервера.

Следующая группа *профилей* имеет *отношение к сетям*. *Профиль доступа к ЛВС* позволяет устройству **Bluetooth** подсоединиться к стационарной вычислительной сети. Он позволяет ноутбуку соединяться с мобильным телефоном, имеющим встроенный модем.

Профиль «Факс» позволяет беспроводным факс-машинам отсылать/получать факсы при помощи мобильного телефона.

Три профиля относятся к телефонии. *Профиль беспроводной телефонии* обеспечивает связь телефонной трубки с базой. Сейчас домашний телефон не может использоваться в качестве мобильного, даже если он не имеет совсем никаких проводов, однако в будущем, эти два устройства обязательно будут объединены.

Профиль Intercom позволяет двум телефонам соединяться друг с другом наподобие раций. *Профиль Гарнитура* представляет собой приложение, позволяющее устройствам **hands-free** держать связь с базой (телефоном).

Последние три профиля (Передача объектов, Передача файлов, Синхронизация) предназначены для организации обмена данными между беспроводными устройствами. Объекты могут представлять собой электронные визитные карточки, изображения или файлы с данными.

Пока *недостатком* технологии **Bluetooth** является сравнительно низкая скорость передачи данных (720 кбит/с), поэтому она не способна обеспечить передачу видеосигнала.


Начиная с 2001 г. вышло несколько версий **Bluetooth**. Наиболее существенным изменением в технологии стало введение аутентификации и, как следствие, шифрования передаваемых файлов с целью усиления системы защиты беспроводной сети.

Bluetooth-устройство включает в себя радиоприемник и радиопередатчик, которые работают в диапазоне частот от 2400 до 2483,5 МГц (этот диапазон в большинстве стран мира является открытым и свободным от лицензирования). Используемые частоты определяют возможности Bluetooth по передаче данных. Ширина канала для устройств **Bluetooth** составляет 723,2 кбит/с в асинхронном режиме.

Прежде чем установить сеанс связи, устройства **Bluetooth** должны обменяться криптографическими ключами, подтверждающими идентичность устройства и его владельца. Дальнейшие операции разрешаются только при совпадении ключей обеих сторон. При этом используется упрощенный механизм аутентификации, предполагающий, что каждое устройство выполняет в этом процессе роль либо ведущего (master), генерирующего ключ, либо ведомого (slave), осуществляющего проверку ключа.



Выполнение работы

Задание 1. Подключите и настройте устройства Bluetooth.

1. Физически подключите устройства **Bluetooth** к USB-разъемам компьютеров.
Если ранее это устройство не устанавливалось на компьютере, то будет произведен поиск драйверов и их установка. В итоге в области уведомления появится значок .
2. Откройте диалоговое окно **Устройства Bluetooth (Пуск/Панель управления/Устройства Bluetooth)**.
3. Установите **Bluetooth**-имя для первого компьютера:
 - перейдите на вкладку **Оборудование**;
 - дважды щелкните по элементу **USB Bluetooth Wireless Adapter**;
 - на вкладке **Дополнительно**, введите имя этого компьютера (*Comp_1*);

- примените параметры кнопкой **ОК**.
- 4. Аналогично установите **Bluetooth**-имя *Comp_2* для второго компьютера.
- 5. Разрешите обнаружение компьютеров другими устройствами **Bluetooth**, установив на вкладке **Параметры** флажок **Включить обнаружение**.
- 6. Выполните обнаружение **Bluetooth**-устройств:
 - перейдите на вкладку **Устройства**;
 - щелкните по кнопке **Добавить**;
 - установите флажок **Устройство установлено и готово к обнаружению** и закройте окно кнопкой **Далее**.
После этого появится список обнаруженных устройств. Там должен отображаться другой компьютер.
 - выберите другой компьютер (*Comp_1*) и щелкните по кнопке **Далее**;
 - выберите **Выбрать ключ доступа самостоятельно** и введите в поле любое значение (например, 123). Закройте окно кнопкой **Далее**.
На другом компьютере будет выведено сообщение о необходимости ввести ключ доступа.
 - Введите тот же ключ, что и на первом компьютере - (123) и закройте текущее окно кнопкой **Далее**.
 - сбросьте флажок **Выключить обнаружение**;
 - примените параметры кнопкой **Готово**.

Задание 2. Передайте файл с одного компьютера на другой:

1. Подготовьте на первом компьютере файл в формате **RTF**, содержащий сведения о технологии **Bluetooth**.
2. Подготовьте второй компьютер для приема файлов. Для этого щелкните по значку  и выберите команду **Принять файл**.
3. Передайте файл:
 - вызовите диалоговое окно **Мастера передачи файлов** на первом компьютере (щелкните по значку  и выберите **Отправить файл**);
 - выберите получателя вашего файла, для чего щелкните по кнопке **Обзор** и выберите имя другого компьютера, щелкните **Далее**;

- выберите файл для передачи, для этого щелкните по кнопке **Обзор** и перейдите в папку с файлом и дважды щелкните по нужному файлу;
 - инициализируйте передачу кнопкой **Далее**;
 - завершите передачу файла кнопкой **Готово**.
4. Примите полученный файл на другом компьютере:
- щелкните по кнопке **Обзор** и перейдите в вашу папку, щелкните **Далее**;
 - завершите приме файла кнопкой **Готово**.
5. Проверьте полученный файл, открыв его в текстовом процессоре.

Задание 3. Установите и настройте Личную сеть (PAN):

1. Откройте окно свойств **Bluetooth**:
 - на первом компьютере откройте окно **Сетевые подключения**;
 - вызовите контекстное меню элемента **Сетевое подключение Bluetooth** и выберите команду **Свойства**.
2. Перейдите на вкладку **Общие**.
3. Установите адрес этого компьютера вручную:
 - откройте диалоговое окно свойств элемента **Протокол Интернета (TCP/IP)**;
 - выберите **Использовать следующий IP-адрес**;
 - введите в поле **IP-адрес** – 192.168.0.1;
 - введите в поле **Маска подсети** – 255.255.255.0;
 - примените параметры кнопкой **ОК**.
4. Закройте текущее окно кнопкой **ОК**.
5. Аналогично установите адрес другого компьютера. Используйте следующие данные:
 - **IP-адрес** – 192.168.0.2;
 - **Маска подсети** – 255.255.255.0.
6. Подключите **Личную сеть Bluetooth**:
 - вызовите контекстное меню индикатора **Bluetooth** в области уведомления и выберите команду **Присоединиться к личной сети (PAN)**;
 - выберите другой компьютер и щелкните **Подключить**.

Лабораторная работа № 2

Организация соединений при помощи инфракрасной связи

Цель: научиться использовать инфракрасные адаптеры для организации соединений: аппаратно и программно осуществлять передачу данных.

Средства для выполнения работы:

- аппаратные: два компьютера, расположенных на небольшом расстоянии друг от друга; два инфракрасных адаптера (ИК адаптера).
- программные: ОС Windows XP

Теоретические сведения

Инфракрасная связь к началу 90-х годов заняла прочное место в ряду возможных способов передачи информации. В 1990 г. компания Hewlett-Packard (HP) разработала собственную конструкцию инфракрасного порта для переносных и карманных устройств. Летом 1993 г. по инициативе Hewlett-Packard образовалась Ассоциация передачи данных в инфракрасном диапазоне **IrDA (Infrared Data Association)**. В настоящее время разработаны различные стандарты: **IrDA 1.1**, **IrDA 2.0**, **IrMC**, **IrBus** и другие спецификации для облегчения процесса синхронизации устройств, использующих инфракрасную связь.

IrDA теоретически не предусматривает возможность построения беспроводных сетей на основе протоколов инфракрасной связи.

Цель создания IrDA – осуществление взаимодействия между стационарными и переносными устройствами на небольших (до 10 м) расстояниях, а так же организация беспроводных служебных коммуникаций типа «точка-точка», например ПК-принтер, ПК-устройство ввода. Функциональные возможности, обеспечиваемые инфракрасной связью, включают в себя передачу файлов, печать в инфракрасный порт (**IrLPT**), передачу изображений через инфракрасную связь (**Ir-TranP**) и инфракрасные сети (**IrNET** и **IrComm**). Кроме того, **API Winsock** (стандарт на интерфейс программирования (**API**), регламентирующий использование **TCP/IP** в **Windows**) протокол **IrDA** поддерживает приложения, создаваемые другими производителями программного и аппаратного обеспечения. Эти организации продают программы, использующие **Winsock API** (или собственные интерфейсы) для обеспечения инфракрасной связ-

зи с принтерами, модемами, цифровыми пейджерами, личными цифровыми помощниками, электронными камерами, органайзерами, сотовыми телефонами и компьютерами.

При использовании ИК связи можно условно выделить следующие виды соединения: 1) прямое соединение и 2) локальная сеть.

В первом случае компьютеры способны обмениваться только файлами, причем на одном компьютере необходимо инициировать передачу файлов, а на другом принять файл.

Во втором случае между двумя компьютерами устанавливается одноранговая локальная сеть со всеми преимуществами обычной локальной сети (предоставление ресурсов в сеть, использование сетевых ресурсов, удаленное управление, сетевое вещание и т.п.).

Передача данных через инфракрасные (ИК) соединения реализована в соответствии со стандартами и протоколами IrDA, которые призваны обеспечить использование недорогих компонентов и низкие требования к электропитанию, а также возможность установки соединения посредством направления устройств друг на друга.

Производители ноутбуков первыми предложили встраивать инфракрасные порты в компьютеры. Предложенный и внедренный в 1995 г. фирмами IBM и Hewlett-Packard стандарт IrDA 2.0 обеспечивает передачу данных со скоростью до 4 Мбит/с, что делает ее привлекательной, учитывая невысокую стоимость.

Инфракрасные приемопередатчики в настоящее время устанавливаются практически на всех новых переносных компьютерах. К компьютерам, не имеющим встроенного ИК-адаптера, может быть подключено внешнее ИК-устройство.

IrDA представляет собой полудуплексную технологию передачи данных с ограниченным радиусом действия. Протоколы **IrDA** задают процедуры, поддерживающие инициализацию связи, определение адреса устройства, установку соединения и согласование скорости передачи данных, обмен данными, разрыв соединения, прекращение связи и разрешение конфликтов адресов устройств. В оригинальном издании стандарта **IEEE 802.11** определены три физических носителя:

- Расширенный спектр прямого распространения (*Direct-Sequence Spread Spectrum, DHSS*), работающий в частотном диапазоне 2,4 ГГц со скоростью передачи.

- Расширенный спектр со скачкообразной перестройкой частоты (*Frequency-Hopping Spread Spectrum, FHSS*), работающий в частотном диапазоне 2,4 ГГц со скоростью передачи данных от 1 Мбит/с до 2 Мбит/с.
- Сигнал инфракрасного диапазона со скоростью передачи до 2 Мбит/с с длиной волны от 0,85 до 0,95 мкм.

При передаче в инфракрасном диапазоне при скорости передачи 1 Мбит/с используется схема кодирования с группировкой 4-х бит в 16-битное кодовое слово, содержащее 15 нулей и 1 единицу. Это т.н. код Грея. Одно из его свойств заключается в том, что небольшая ошибка в синхронизации может привести в худшем случае к ошибке в одном бите выходной последовательности. При скорости передачи 2 Мбит/с уже 2 бита кодируются в 4-х битное кодовое слово, также имеющее всего одну единицу.

Большинство ИК-адаптеров, поддерживают асинхронную последовательную передачу данных с максимальной скоростью либо 115,2 Кбит/с, либо 4 Мбит/с, в некоторых случаях — 16 Мбит/с.

Для организации соединения необходимо наличие двух инфракрасных ИК-адаптеров и настроенные операционные системы на компьютерах, к которым подключены ИК-адаптеры.

Стандарты **IrDA** официально признаны компанией *Microsoft*, которая обеспечивает в своих операционных системах полную поддержку устройств, удовлетворяющих этим стандартам.

Выполнение работы

Задание 1. Соедините компьютеры с помощью инфракрасной связи и настройте параметры связи.

1. Физически подключите **ИК-адаптеры** к компьютерам.
2. Расположите оба **ИК-адаптера** в пределах прямой видимости. *Через некоторое время оба компьютера выведут сообщение о том, что обнаружен соседний компьютер. При этом в области уведомления появится значок инфракрасной связи. Этот значок указывает только на наличие инфракрасного устройства в пределах радиуса действия. Канал передачи данных создается при обмене данными через связь с помощью программы инфракрасной связи или другой программы.*
3. На одном из компьютеров откройте диалоговое окно **Инфракрасная связь** (*Пуск/ Панель управления/ Инфракрасная связь*).

4. Настройте параметры ИК-адаптера:

- откройте диалоговое окно **свойств ИК-адаптера** - вкладка **Оборудование**, кнопка *Свойства*;
- запретите отключение питания этого устройства. Для этого в левом списке выберите раздел **PowerDown** а в правом раскрывающемся списке значение – *Disabled*;
- установите максимальную скорость передачи – 4000000 (раздел **Speed Enable**);
- установите максимальную скорость получения данных. Для этого в разделе **Receive Mode** установите значение *Fast*;
- примените параметры, щелкнув по кнопке **ОК**.

5. Измените папку для получаемых файлов:

- перейдите на вкладку **Инфракрасные устройства**;
- щелкните по кнопке *Обзор* и выберите свою папку;
- примените параметры кнопкой **ОК**.

6. Аналогично измените папку для перемещаемых изображений (вкладка **Перемещаемые изображения**).

7. Примените параметры и закройте диалоговое окно **Инфракрасная связь**.

8. Аналогично настройте второй компьютер.

Задание 2. Отправьте с одного компьютера на другой документ в формате *RTF*, содержащий расшифровку аббревиатуры **IrDA**.

1. Подготовьте файл (можно воспользоваться справкой ОС);
2. Откройте диалоговое окно передачи файлов по инфракрасной связи (щелчок по значку инфракрасной связи в области уведомления) и перейдите в папку с подготовленным файлом.
3. Выделите файл и щелкните по кнопке *Отправить*;
4. Примите файл на другом компьютере. Для этого в появившемся сообщении щелкните по кнопке *Да*
5. Дождитесь окончания передачи файла.
6. Проверьте полученный файл (откройте в текстовом процессоре).

Задание 3. Организуйте прямое соединение компьютеров посредством инфракрасной связи.

1. Настройте *ведомый* компьютер:

- вызовите **Мастера новых подключений** (*Пуск/Панель управления/Сетевые подключения/Мастер новых подключений*);
 - установите *Тип сетевого подключения*. Для этого выберите **Установить прямое подключение к другому компьютеру** и закройте текущее окно кнопкой *Далее*;
 - установите **режим работы компьютера** - *Принимать входящие подключения* и закройте окно кнопкой *Далее*;
 - выберите **устройство связи** - *ИК-порт* и закройте окно кнопкой *Далее*;
 - установите *запрет для VPN* - **Запретить виртуальные частные соединения**, закройте окно кнопкой *Далее*;
 - определите/добавьте пользователя, которому будет разрешен доступ к компьютеру. Для этого добавьте нового пользователя, например, с именем *user* и паролем *user*;
 - щелкните по кнопке **Добавить**:
 - введите в поле **Пользователь** – *<имя пользователя>* (*user*);
 - введите в поле **Пароль** – *<пароль нового пользователя>* (*user*);
 - введите в поле **Подтверждение** – *<повторение введенного пароля>* (*user*);
 - закройте окно кнопкой **ОК**;
 - установите диапазон IP-адресов для вашего соединения:
 - откройте окно **Свойства:Протокол Интернета (ТСР/ПР)**, используя двойной щелчок по элементу списка *Протокол Интернета (ТСР/ПР)*;
 - выберите **Указать адреса ТСР/ПР явным образом**;
 - введите в поле **С** начало диапазона, например, 192.168.150.11;
 - введите в поле **ПО** конец диапазона, например, 192.168.150.12;
 - закройте окно кнопкой **ОК**;
 - закройте окно **Программы работы с сетью** кнопкой *Далее*;
 - завершите работу мастера кнопкой **Готово**.
2. Настройте *ведущий* компьютер:

- все действия до установки режима работы, выполняйте аналогично настройке ведомого компьютера;
- выберите **роль** вашего компьютера в соединении. Для этого активизируйте радиокнопку **Ведущий компьютер** и закройте окно кнопкой **Далее**;
- введите **имя подключения**, например, имя ведомого компьютера;
- установите **порт**, через который осуществляется соединение. Для этого выберите в списке **ИК-порт**;
- закройте мастер кнопкой **Готово**;
- закройте диалоговое окно **Подключение** кнопкой **Отмена**;

3. Установите соединение с ведомым компьютером:

- откройте диалоговое окно **Подключение** (**Пуск/Панель управления/Сетевые подключения/Прямой параллельный порт**);
- введите в поле **Пользователь**, имя пользователя, которому разрешен доступ к ведомому компьютеру (*user*);
- введите в поле **Пароль**, пароль пользователя (*user*);
- инициализируйте подключение кнопкой **Подключение**.

Лабораторная работа №3

Расчет оптимальных энергетических параметров беспроводной сети

Цель: научиться производить расчёты предельной дальности связи для организации беспроводных каналов диапазона 2,4 ГГц

Расчет дальности действия беспроводных систем.

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

| № Варианта | Вариант радиолинии | Скорость передачи | Z - запас помехоустойчивости (дБ) | Характер поверхности |
|------------|--------------------|-------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| 1/16 | 2 | 1 | 15 | <u>идеально гладкая Земля</u> |
| 2/17 | 3 | 2 | 10 | <u>идеально гладкая Земля</u> |
| 3/18 | 1 | 3 | 15 | <u>идеально гладкая Земля</u> |
| 4/19 | 5 | 5,5 | 5 | <u>на ровном рельефе</u> |
| 5/20 | 5 | 11 | 5 | <u>на ровном рельефе</u> |
| 6/21 | 4 | 3 | 10 | <u>идеально гладкая Земля</u> |
| 7/22 | | 2 | 15 | <u>идеально гладкая Земля</u> |
| 8/23 | | 11 | 15 | <u>на ровном рельефе</u> |
| 9/24 | | 1 | 10 | <u>идеально гладкая Земля</u> |
| 10/25 | | 2 | 15 | <u>на ровном рельефе</u> |
| 11/26 | | 1 | 5 | <u>на ровном рельефе</u> |
| 12/27 | | 3 | 10 | <u>идеально гладкая Земля</u> |
| 13/28 | | 5,5 | 10 | <u>идеально гладкая Земля</u> |
| 14/29 | | 11 | 15 | <u>на ровном рельефе</u> |
| 15/30 | | 5,5 | 5 | <u>идеально гладкая Земля</u> |

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.

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. | $P_{\text{прд}} + G_{\text{прд}} + G_{\text{прм}} - P_{\text{min}}$ |
| 2. С <u>внешними</u> антеннами без усилителей. | $P_{\text{прд}} - J_{\text{прд}} + G_{\text{прд}} + G_{\text{прм}} - J_{\text{прм}} - P_{\text{min}}$ |
| 3. С внешними антеннами и передающими усилителями. | $P_{\text{ус}} + G_{\text{прд}} + G_{\text{прм}} - J_{\text{прм}} - P_{\text{min}}$ |
| 4. С внешними антеннами и приемными усилителями. | $P_{\text{прд}} - J_{\text{прд}} + G_{\text{прд}} + G_{\text{прм}} - P_{\text{min}}$ (при $K_{\text{прм}} > J_{\text{прм}}$) |
| 5. С внешними антеннами и приемо-передающими усилителями. | $P_{\text{ус}} + G_{\text{прд}} + G_{\text{прм}} - P_{\text{min}}$ (при $K_{\text{прм}} > J_{\text{прм}}$) |

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.

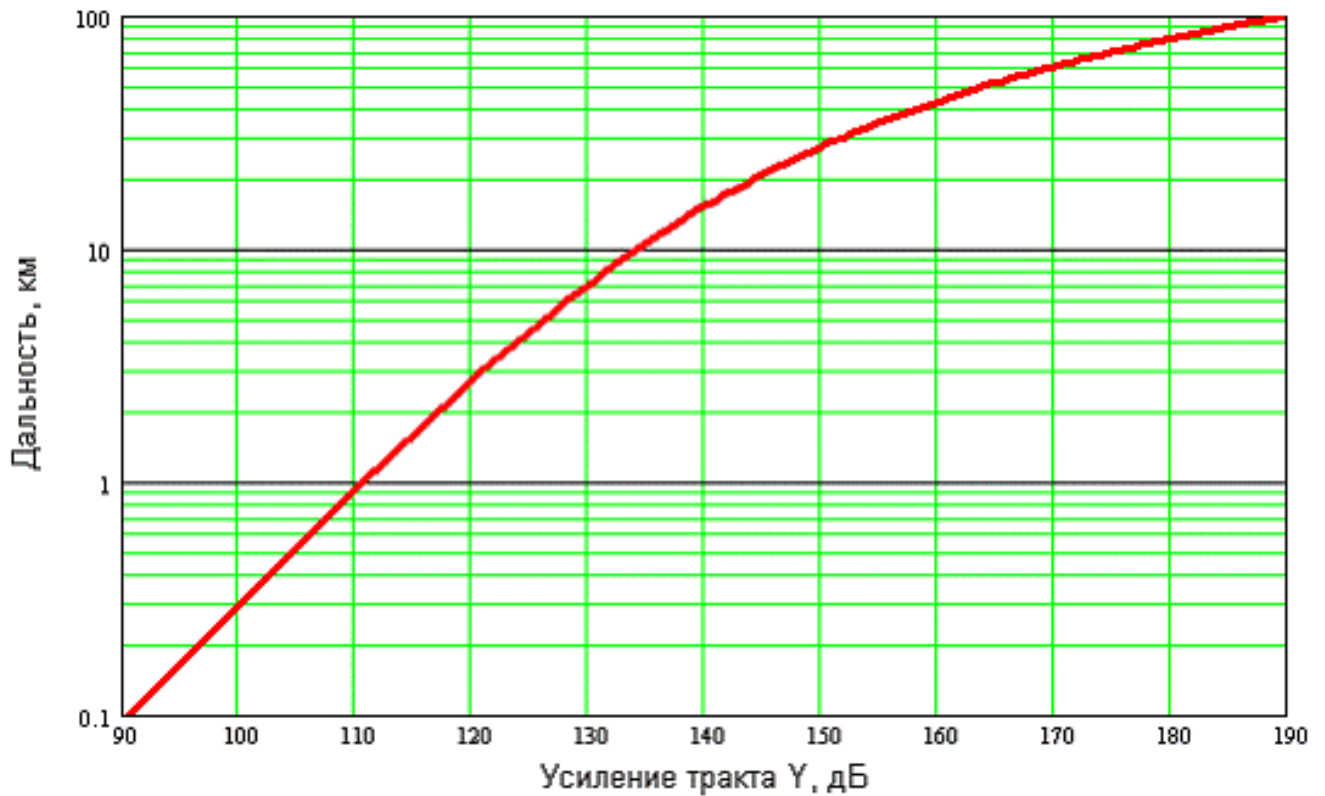


Рисунок 1. График зависимости дальности от усиления линии (Y).

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_{min} 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 | Ж 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: $J_{прд} = J * L = \dots$ дБ; $J_{прм} = J * L = \dots$ 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 | Уголковая | 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+встроенная 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 :

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

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

2. Расчет высоты установки антенн

Пояснение

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 превышение 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.

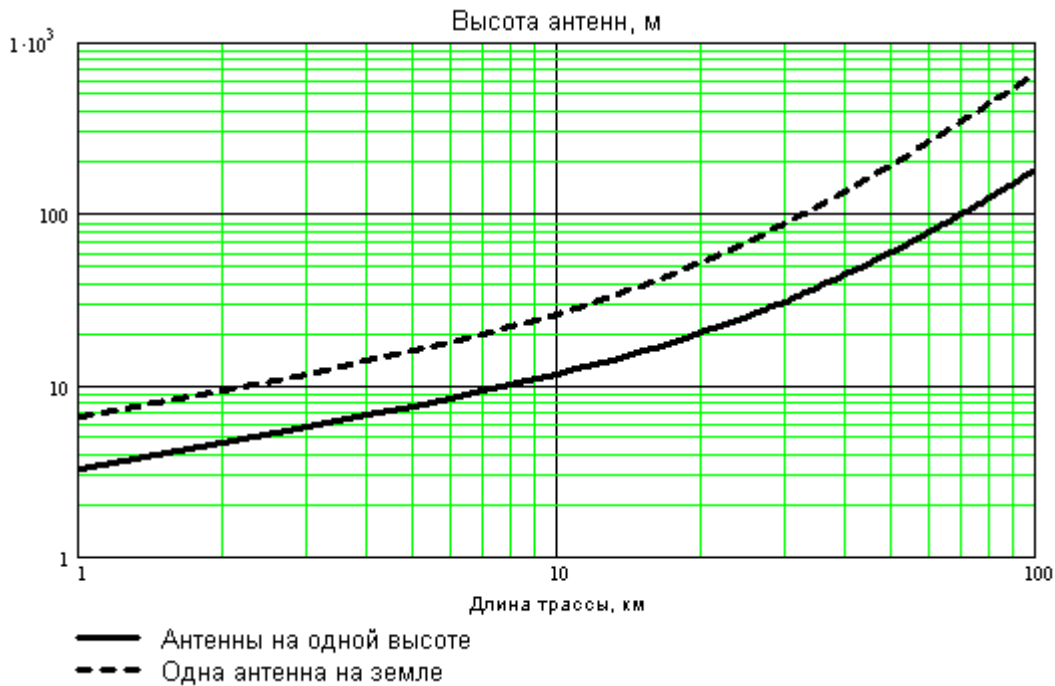
Для ориентировочной оценки на ровном рельефе при одинаковой высоте антенн использовать простую формулу, учитывающую сферичность Земли и расстояние между антеннами. Высота подвеса антенн в метрах равна:

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

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.



Лабораторная работа № 4

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

1 Цель работы: построение беспроводной локальной сети WiFi с использованием программного пакета Cisco Packet Tracer; настройка сети, оценка пакетного трафика сети.

2 Теоретические сведения

Разработкой и поддержкой стандарта 802.11 занимается комитет Wi-Fi Alliance. Термин Wi-Fi (Wireless Fidelity) используется в качестве общего имени для стандарта 802.11, а также всех последующих спецификаций, относящихся к беспроводным локальным сетям (wireless LAN).

Стандарт IEEE 802.11. активно развивается и включает в себя множество спецификаций. Стандарт 802.11a рассчитан на работу в частотном диапазоне 5 ГГц. Скорость передачи данных до 54 Мбит/с, то есть примерно в пять раз быстрее сетей 802.11b. Это наиболее широкополосный стандарт из семейства. К его недостаткам относят большую потребляемую мощность радиопередатчиков для частот 5 ГГц, а также меньший радиус действия (100 м). Стандарт 802.11b благодаря ориентации на диапазон 2,4 ГГц завоевал наибольшую популярность у производителей оборудования. В качестве базовой радиотехнологии в нем используется метод расширенного спектра прямого распространения DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum), который отличается высокой устойчивостью к искажению данных, помехам, в том числе преднамеренным, а также к обнаружению. Поскольку оборудование 802.11b, работающее на максимальной скорости 11 Мбит/с, имеет меньший радиус действия, чем на более низких скоростях, то им предусмотрено автоматическое понижение скорости при ухудшении качества сигнала. Пропускная способность (теоретическая 11 Мбит/с, реальная – от 1 до 6 Мбит/с) отвечает требованиям большинства приложений. Расстояния – до 300 м, но на практике – до 160 м.

Спецификация 802.11d устанавливает универсальные требования к физическому уровню (процедуры формирования каналов,

псевдослучайные последовательности частот и т.д.). Спецификация 802.11e позволит создавать мультисервисные беспроводные сети для корпораций и индивидуальных потребителей. При сохранении полной совместимости с действующими стандартами 802.11a и 802.11b она расширяет их функциональность за счет обслуживания потоковых мультимедиа-данных и гарантированного качества услуг. Спецификация 802.11f описывает протокол обмена служебной информацией между точками доступа IAPP (*Inter-Access Point Protocol*). Спецификация 802.11h предусматривает возможность дополнения действующих спецификаций алгоритмами эффективного выбора частот для офисных и уличных беспроводных сетей, а также средствами управления использованием спектра, контроля излучаемой мощности и генерации соответствующих отчетов.

Стандарт 802.11g является стандартом, регламентирующим метод построения wireless LAN, функционирующих в не лицензируемом частотном диапазоне 2,4 ГГц. Максимальная скорость передачи данных в беспроводных сетях 802.11g составляет 54 Мбит/с. Оборудование, поддерживающее этот стандарт, обеспечивает одновременное подключение к сети устройств стандартов 802.11g и 802.11b, поскольку он представляет собой развитие последнего и обратно совместим с ним. В числе преимуществ 802.11g отмечается низкая потребляемая мощность, большие расстояния (до 300 м) и высокая проникающая способность сигнала.

Существует несколько технологий беспроводных сетей, использующих как *радио-*, так и *инфракрасные волны*. Основное преимущество таких сетей – возможность объединения разного оборудования.

Беспроводные сети могут иметь две логические топологии:

- Точка - точка доступа (Infrastructure) - звездообразная - применяется в устройствах стандарта **802.11 b/g** и **RadioLAN**. Здесь точка доступа (узловой передатчик) играет роль концентратора, поскольку все компьютеры соединяются через нее, а не взаимодействуют друг с другом напрямую. При такой топологии несколько сетевых адаптеров могут быть объединены одной точкой доступа, либо несколько точек доступа соединены с одной точкой доступа. Этот режим применяется для создания локальной беспроводной сети из нескольких пользователей, для соединения этой сети с про-

водной сетью (например, для выхода в Интернет), для соединения между собой нескольких проводных сетей.

– Точка - точка (Ad-hoc). Два сетевых адаптера либо две точки доступа соединяются между собой. Метод применяется для непосредственного соединения двух компьютеров либо при организации радио-моста между двумя проводными сетями. Эта топология используется в устройствах HomeRF (*Home Radio Frequently – домашний радиодиапазон*) и применяется в устройствах Bluetooth. Такие устройства напрямую соединяются друг с другом и не требуют никаких узловых передатчиков или других устройств, подобных концентратору, для взаимодействия друг с другом.

Таким образом, оборудование беспроводных сетей включает в себя узловые передатчики (точки беспроводного доступа Access Point) и беспроводные адаптеры для каждого абонента. Точки доступа выполняют роль концентраторов, обеспечивающих связь между абонентами и между собой, а также функцию мостов, осуществляющих связь с кабельной локальной сетью и с Интернет. Несколько близкорасположенных точек доступа образуют зону доступа Wi-Fi (*Hotspot*), в пределах которой все абоненты, снабженные беспроводными адаптерами, получают доступ к сети.

Метод доступа к такой сети – множественный доступ с предотвращением коллизий CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*). Сеть строится по сотовому принципу. В сети предусмотрен механизм роуминга, то есть поддерживается автоматическое подключение к точке доступа и переключение между точками доступа при перемещении абонентов, хотя строгих правил роуминга стандарт не устанавливает.

Стандарт **IEEE 802.11** предусматривает, что все беспроводные сети (wireless LAN) должны предоставлять девять типов сервисов (услуг). Их можно разделить на две категории: *сервисы распределения* (пять из девяти) и *станционные* (четыре сервиса).

Сервисы распределения связаны с управлением станциями, находящимися в данной соте, и взаимодействием с внешними станциями.

Станционные сервисы имеют отношение к управлению активностью внутри одной соты.

Пять сервисов распределения предоставляются базовой станцией и имеют дело с мобильностью станций при их входе в соту или выходе из нее:

- *Ассоциация.* Используется мобильными станциями для подключения к базовым станциям (БС). Мобильная станция передает идентификационную информацию и сообщает о своих возможностях (поддерживаемой скорости передачи данных, необходимости *PCF-услуг*, или опроса) и требованиях по управлению электропитанием. Базовая станция может принять или отвергнуть мобильную станцию. Если последняя принята, она должна пройти идентификацию.

- *Дизассоциация.* По инициативе мобильной или базовой станции может быть произведена дизассоциация, то есть разрыв отношений. Это требуется при выключении станции или ее уходе из зоны действия БС. Впрочем, базовая станция также может быть инициатором дизассоциации, если, например, она временно выключается для проведения технического обслуживания.

- *Реассоциация.* С помощью этого сервиса станция может сменить БС. Очевидно, данная услуга используется при перемещении станции из одной соты в другую. Если она проходит корректно и без сбоев, то при переходе никакие данные не теряются.

- *Распределение.* С помощью этой услуги определяется маршрутизация кадров (единицы данных, которыми обмениваются компьютеры в сети Ethernet), посылаемых базовой станции. Если адрес назначения является локальным с точки зрения БС, то кадры следуют просто напрямую (передаются в эфире). В противном случае их необходимо пересылать по проводной сети.

- *Интеграция.* Если кадру нужно пройти через сеть, не подчиняющуюся стандарту 802.11 и использующую дру-

гую схему адресации и/или формат кадра, то на помощь приходит данный сервис. Он реализует трансляцию форматов.

Оставшиеся четыре сервиса — это внутренние услуги соты. Они предоставляются после прохождения ассоциации. Ниже перечислены станционные сервисы:

- *Идентификация.* Поскольку беспроводные коммуникации подразумевают очень легкое подключение к сети и возможность приема/отправки данных любыми станциями, попавшими в зону действия БС, то возникает необходимость идентификации. Только после идентификации станции разрешается обмен данными. После принятия мобильной станции в ряды текущих абонентов соты базовая станция посылает специальный кадр запроса, позволяющий понять, знает ли станция присвоенный ей секретный ключ (пароль). Подтверждение осуществляется путем шифрования кадра запроса и отсылки его назад базовой станции. Если шифрование выполнено корректно, мобильная станция получает нормальные права доступа к сети.

- *Деидентификация.* Если станция, работавшая в сети, покидает ее, она должна произвести деидентификацию. После выполнения данного сервиса она больше не сможет использовать ячейку.

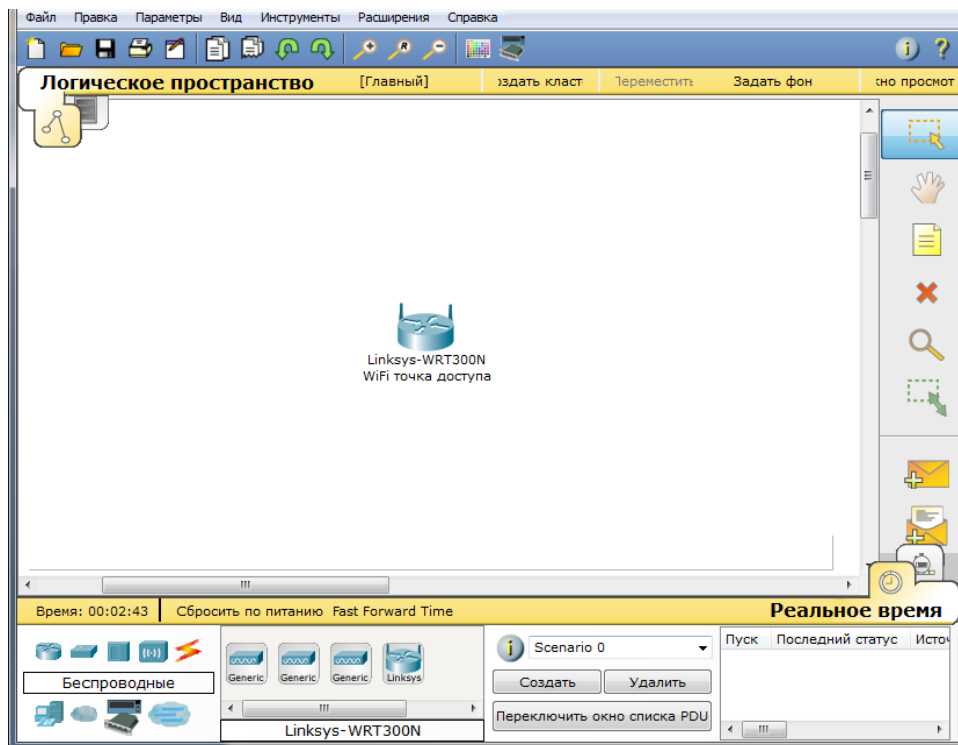
- *Конфиденциальность.* Чтобы сохранить передаваемые по сети данные, их необходимо шифровать. Данный сервис осуществляет операции по шифрации и дешифрации информации. Применяется алгоритм *RC4*, изобретенный Рональдом Ривестом (*Ronald Rivest*).

- *Доставка данных.* Именно этот сервис является ключевым во всей работе сети, поскольку **стандарт 802.11** существует для обмена данными.

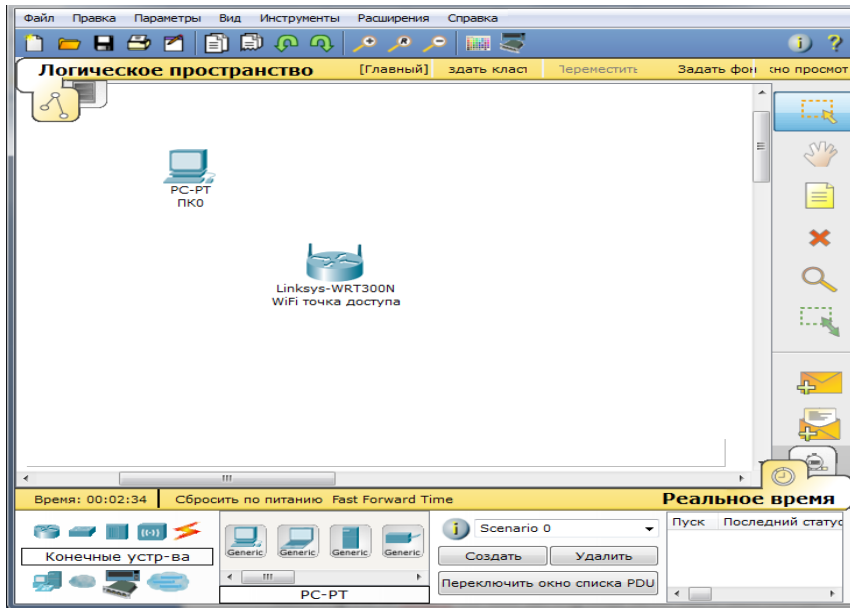
3 Лабораторное задание

3.1 Построить беспроводную сеть Wi-Fi с топологией «Звезда», состоящую из точки доступа и 4-х абонентских устройств, для чего:

- в центр поля программы «Логическое пространство» переместить из поля устройств, размещенном в нижней левой области окна программы, иконку беспроводного маршрутизатора и переименовать его WiFi точка доступа;



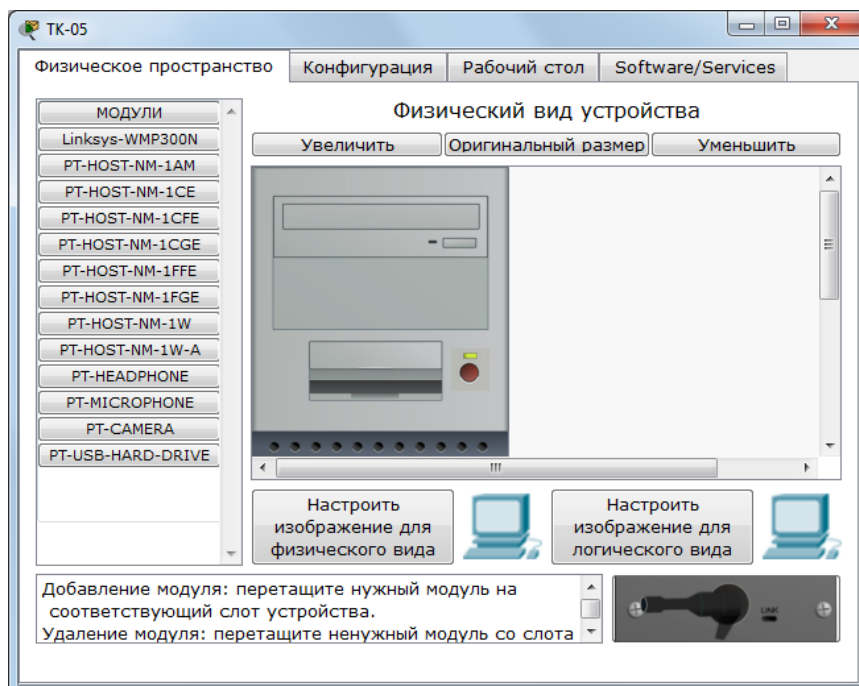
- на поле программы «Логическое пространство» переместить из поля устройств 4 иконки компьютеров;



- переименовать компьютеры ТК-01...04 соответственно.

Провести физическую настройку элементов сети (компьютеров и WiFi-точки доступа), для чего необходимо:

а) двойным щелчком по иконке компьютера, в диалоговом окне открыть вкладку «Физическое пространство» компьютера.



Во вкладке необходимо:

- нажать кнопку для выключения компьютера, снять с него стандартное оборудование (порт Ethernet) и установить вместо него

модуль Linksys-WMP300N (иконка модуля по умолчанию находится в нижнем правом углу вкладки);

- после замены включить компьютер;

б) проделать аналогичные процедуры с оставшимися компьютерами.

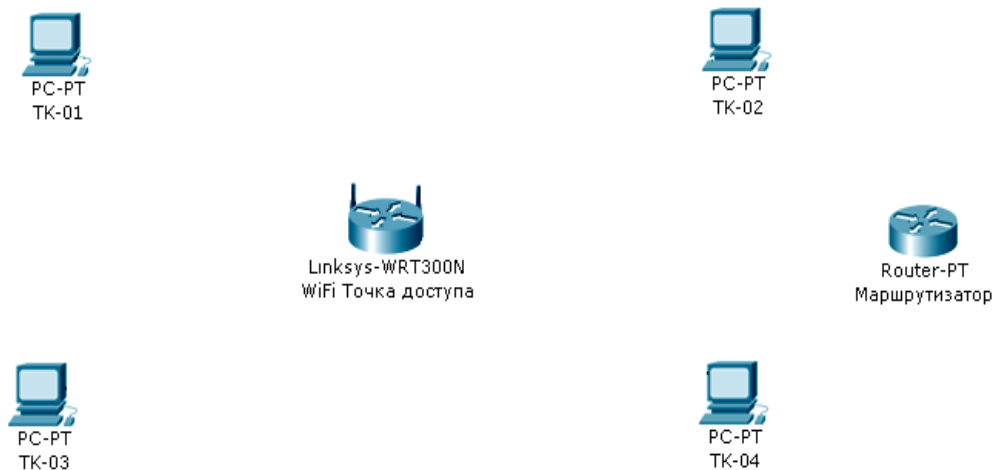
В результате на поле программы «Логическое пространство» получим сеть следующего вида:



3.2 В сформированную сеть добавить:

– маршрутизатор (Router Generic);

для чего на поле программы, аналогично п.п. 3.1, перетащить иконки соответствующего элемента сети.



3.3 Осуществить соединение WiFi точки доступа с маршрутизатором и последующим выходом в интернет.

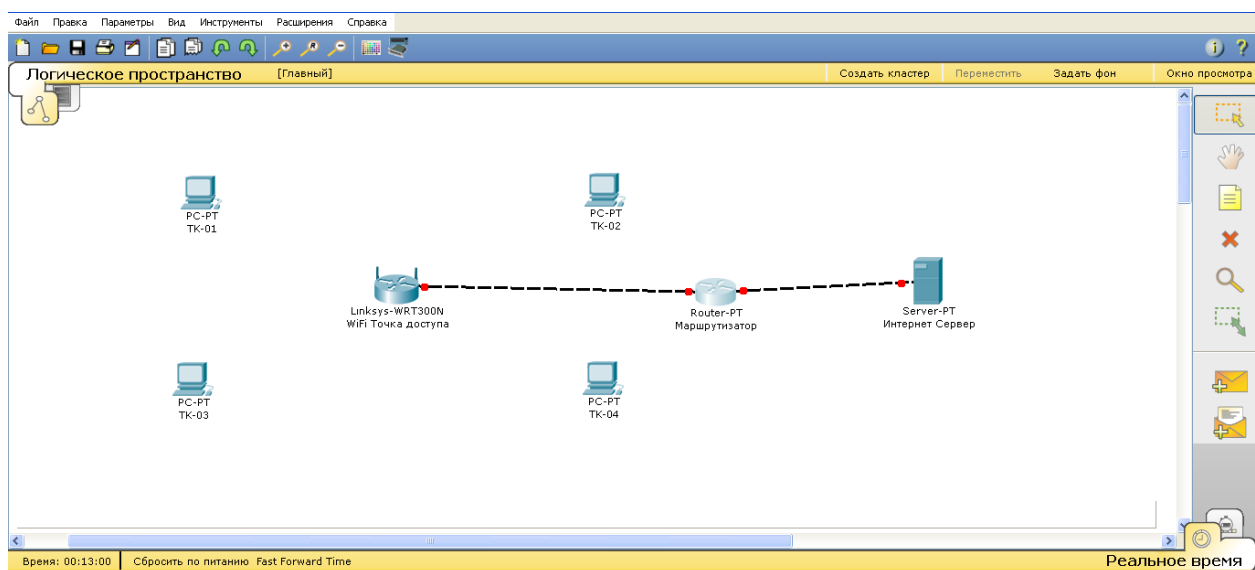
Для организации проводного соединения точки доступа и роутера необходимо провести физическую настройку маршрутизатора для чего:

- выключив питание маршрутизатора, установить 2 порта Fastethernet, перетащив модули PT-Router-NM-1CFE на соответствующий слот устройства;
- включить питание устройства.

Далее соединить WiFi точку доступа и роутер кабелем. Для этого в поле устройств, нажав на иконку ⚡, выбрать автоматический тип соединения и соединить вышеуказанные устройства.

После выставить на поле программы сервер и переименовать его «Интернет сервер». Провести процедуру замены порта на FastEthernet. Аналогично, описанной выше методике, соединить сервер с маршрутизатором.

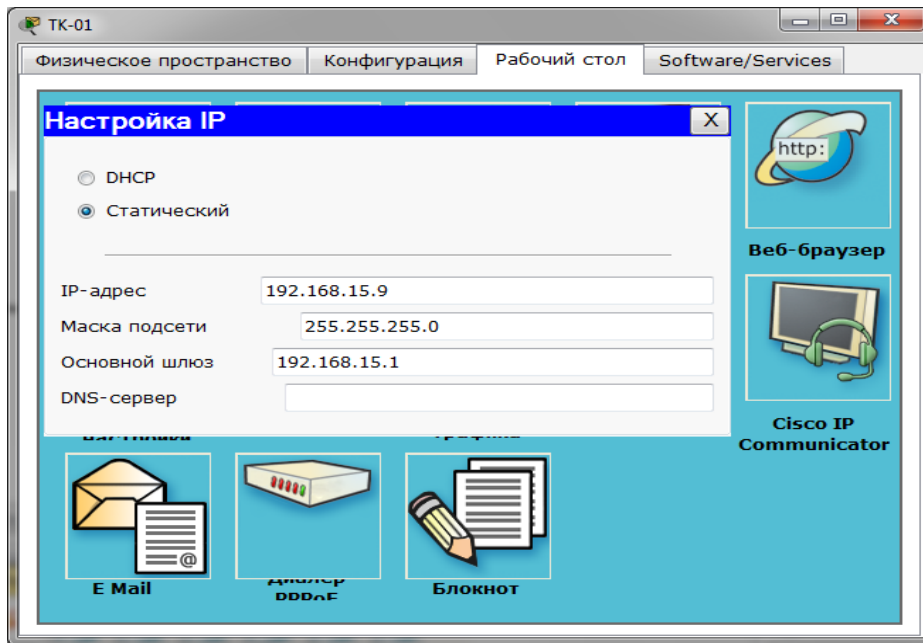
В результате должна получиться сеть следующего вида:



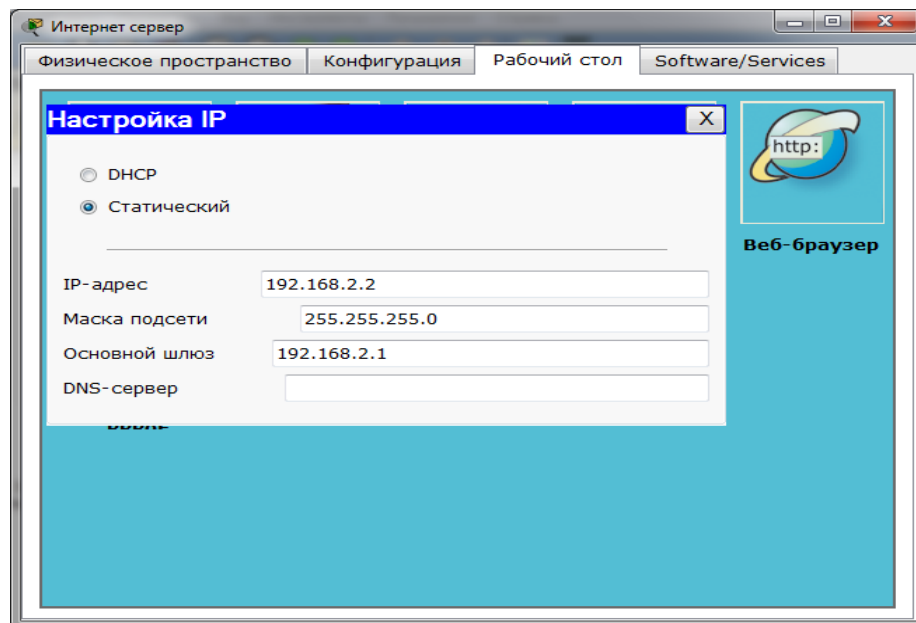
3.4 Провести настройку IP адресации.

Необходимо присвоить статические IP адреса всем компьютерам. Для чего:

- щелкнуть кнопкой мыши на компьютер;
- перейти во вкладку «Рабочий стол»;
- назначить статический IP адрес;
- IP адрес задать в формате 192.168.15.9 (сеть делается с шагом 8).

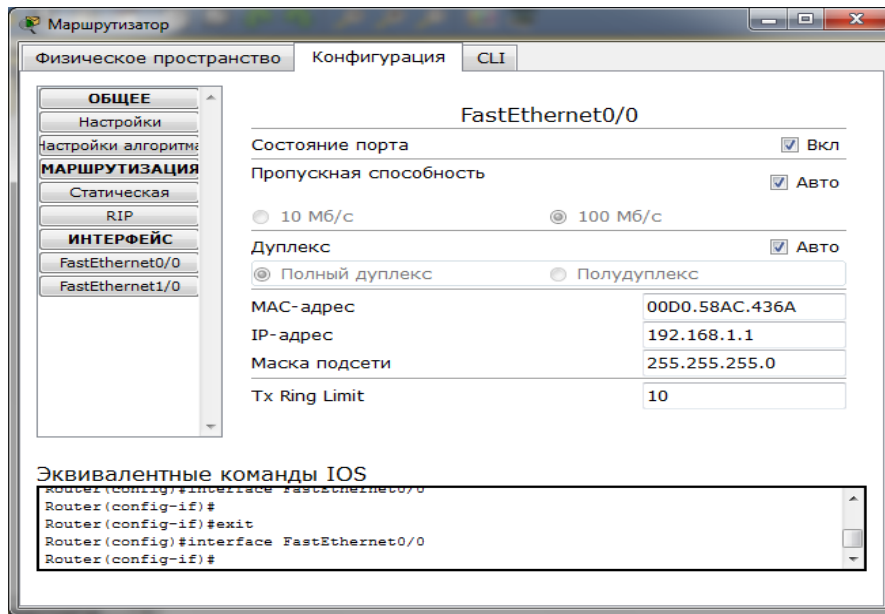


Так же задать IP адрес сервера

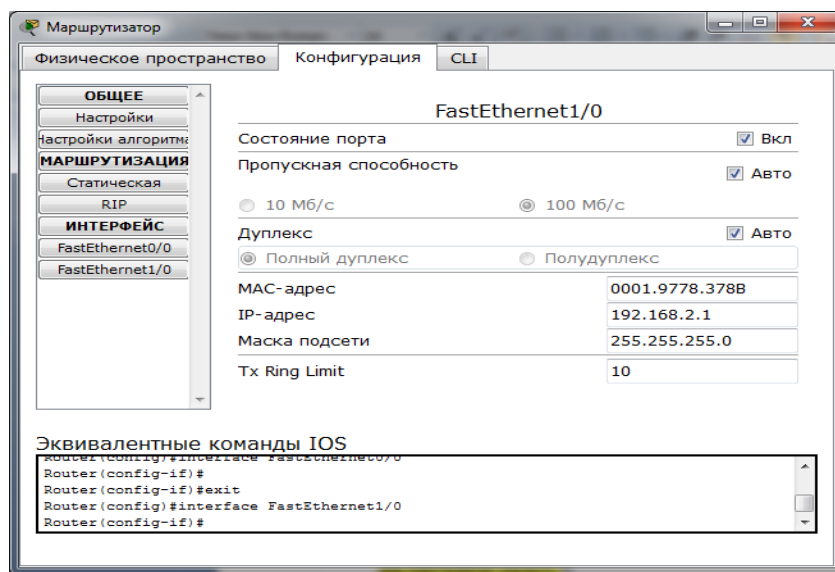


Задать IP адреса портов на портах маршрутизатора:

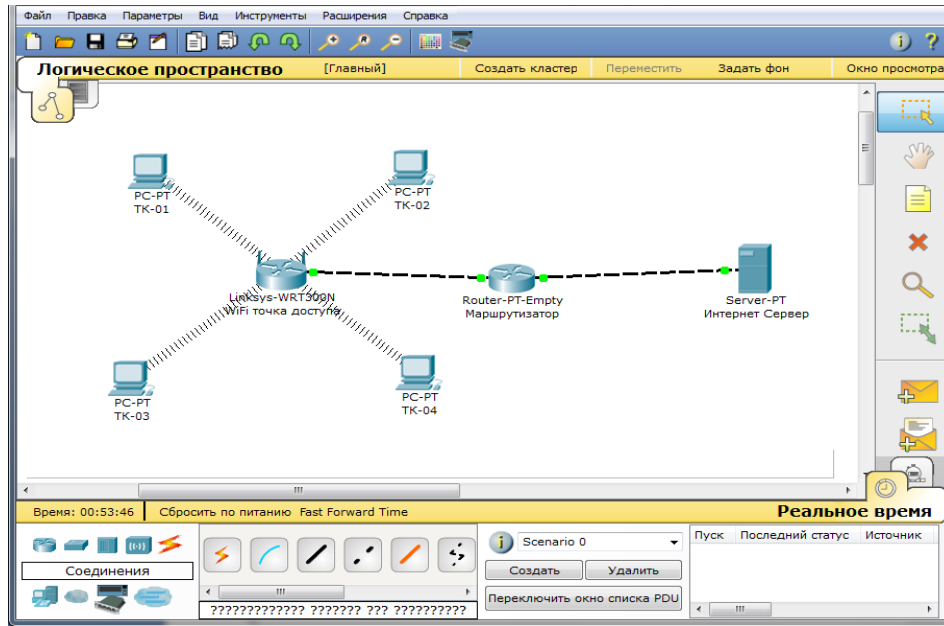
- щелкнуть кнопкой мыши на маршрутизатор;
- перейти во вкладку «Конфигурация»;
- выбрать порт FastEthernet 0/0;
- назначить статический IP и включить порт.



- выбирать порт FastEthernet 1/0 и назначить статический IP-адрес. Включить порт.



В результате в поле программы «Логическое пространство» получим сеть следующего вида:



3.5 Убедившись, что все порты включены, IP адреса настроены верно, проверить работоспособность сети.

1 вариант:

- достижимость ТК -01 – ТК -03;
- достижимость маршрутизатор – интернет сервер.

2 вариант:


- достижимость ТК-02 – ТК-04
- достижимость WiFi точка доступа – маршрутизатор

3 вариант:





- достижимость ТК-03 – ТК-02
- достижимость интернет сервер- маршрутизатор

4 вариант:

- достижимость ТК 04 – ТК-01
- достижимость ТК-03 – ТК-04

Для проверки необходимо в правой области окна программы выбрать иконку  и щелкнуть на необходимые элементы сети в соответствующей последовательности.

Результаты отобразить в виде таблицы, находящейся в нижней правой области программы.

| Пуск | Последний статус | Источник | Назначение | Тип | Цвет | Время (сек) |
|---|------------------|----------|------------|------|---|-------------|
|  | Успешно | TK-01 | TK-02 | ICMP |  | 0.000 |
|  | Успешно | TK-01 | TK-02 | ICMP |  | 0.000 |

Содержание отчета

- 1 Титульный лист с названием лабораторной работы, номером варианта, фамилиями студентов и группы.
- 2 Цель работы и задание на лабораторную работу.
- 3 Результаты, полученные в п.п. 1-5 задания на лабораторную работу.
- 4 Выводы по полученным результатам.

Контрольные вопросы

- 1 Что такое беспроводная локальная сеть (WLAN)? Каковы преимущества использования WLAN вместо проводной локальной сети?
- 2 Что такое точка доступа? Сколько пользователей одновременно поддерживает одна точка доступа и почему?
- 3 Какие алгоритмы шифрования используются в стандарте IEEE 802.11. Какой алгоритм шифрования данных в локальной сети является обязательным для стандарта IEEE 802.11
- 4 Для чего использует модифицированный протокол Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA),
- 5 В чем заключается технология расширения спектра методом прямой последовательности (DSSS).
- 6 В чем заключается технология расширения спектра методом скачкообразной перестройки частоты (FHSS)
- 7 Особенности локальной сети, построенной по топологии Ad Hoc, IBSS (Independent Basic Service Set) или режим Peer to Peer.
- 8 Особенности локальной сети, построенной по топологии BSS (Basic Service Set)
- 9 Особенности локальной сети, построенной по топологии ESS (Extended Service Set)

Лабораторная работа № 5

Конфигурирование и настройка сети Wi-Fi с топологией BSS

Цель работы

Получение практических навыков создания сетей Wi-Fi с топологией BSS, а также исследование влияния различных факторов на пропускную способность беспроводной локальной сети.

1 Краткая информация о топологии BSS

Топология *Basic Service Set* – (BSS) беспроводной локальной сети является известной по системам мобильной связи топологией «точка – множество точек». При использовании такой топологии все пользовательские станции находятся в зоне действия точки доступа (*Access Point* – AP). Все пакеты, передаваемые от одной абонентской станции к другой, поступают сначала на точку доступа, а затем на станцию-получателя.

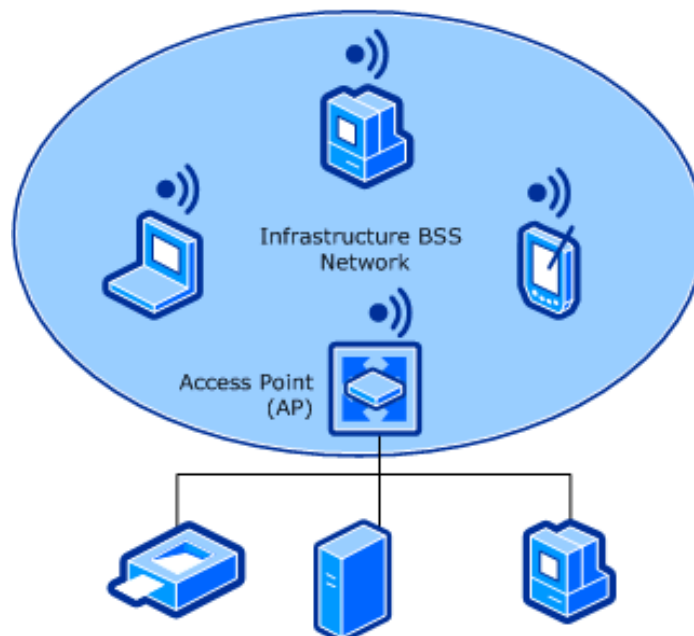


Рисунок 1 - Топология BSS

Точка доступа обеспечивает подключение абонентских станций сети Wi-Fi к проводной сети (например, к сети Ethernet).

Часто производители оборудования называют также эту топологию **Инфраструктурой** (*Infrastructure*).

2 Лабораторное задание

Пользуясь приведенным ниже описанием настройки точки доступа и станций пользователя:

- а) Изучить настройки радиointерфейса точки доступа.
- б) Развернуть сеть Wi-Fi с заданными преподавателем характеристиками.
- в) Измерить среднюю пропускную способность сети с одной точкой доступа и двумя станциями.
- г) Оценить влияние механизма RTS/CTS и режима фрагментации на пропускную способность сети.
- д) Оценить влияние соканальных сетей Wi-Fi на пропускную способность сети.
- е) Исследовать влияние количества подключенных абонентских станций на пропускную способность сети. Зафиксировать, как пропускная способность делится между станциями.

3 Указания к выполнению работы

Внимание!

*Перед выполнением лабораторной работы рекомендуется приостановить работу антивируса Kaspersky. Для этого достаточно выбрать значок антивируса на панели задач, нажать правой кнопкой мыши и выбрать пункт **Приостановка защиты и контроля...***

В результате выполнения работы в лаборатории должна быть развернута беспроводная локальная сеть с топологией BSS (Infrastructure). Все исследования будут проводиться в этой сети.

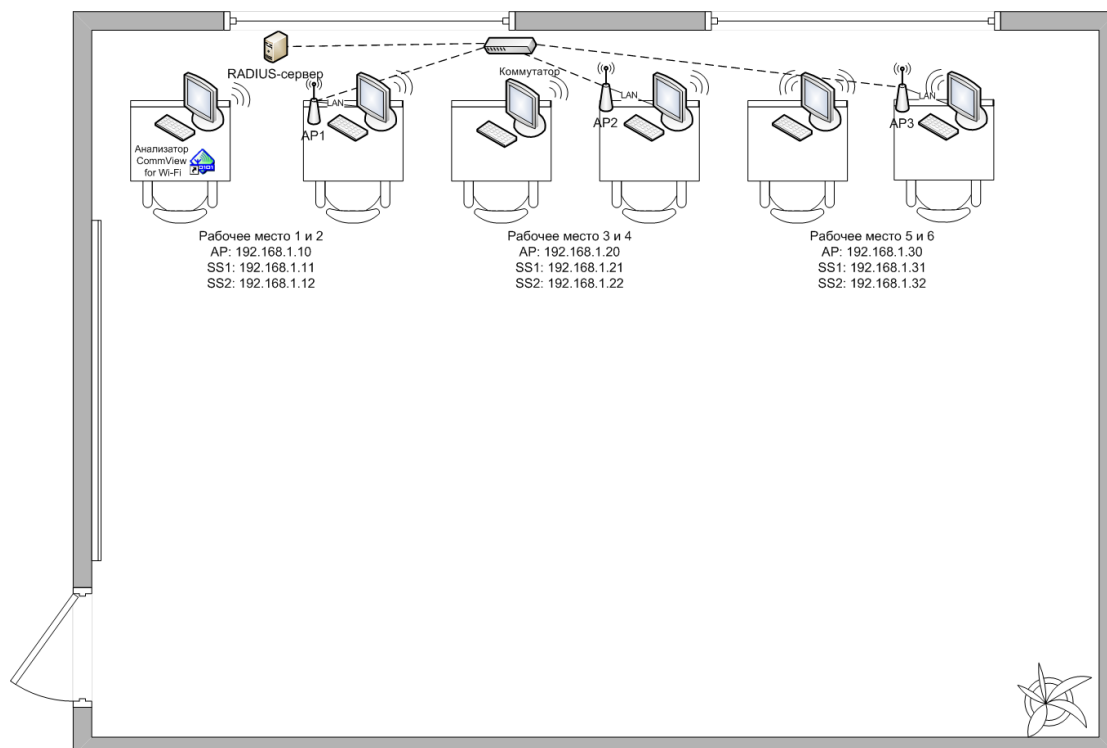


Рисунок 2 - Схема лабораторного помещения:

4.1 Подключение к точке доступа

Для настройки точки доступа можно использовать специальное программное обеспечение, поставляемое на диске, который прилагается к точке доступа при ее покупке. Однако для удобства пользователей точка доступа может быть сконфигурирована с помощью программы Internet Explorer (или любого другого интернет-браузера). Во втором случае возможна и удаленная настройка точки доступа.

а) Задайте на проводном сетевом интерфейсе ПК, с которого осуществляется настройка точки доступа, следующие IP-адреса и маски подсетей:

Таблица Ошибка! Текст указанного стиля в документе отсутствует. **IP-адреса и маски подсетей**

| Параметр настройки | Задание для бригады | | |
|--------------------|---------------------|---------------|---------------|
| | 1 | 2 | 3 |
| IP-адрес ПК | 192.168.0.19 | 192.168.0.29 | 192.168.0.39 |
| Маска подсети | 255.255.255.0 | 255.255.255.0 | 255.255.255.0 |

б) Подключите точку доступа к порту Ethernet ПК с помощью кабеля.

в) Запустите программу MS Internet Explorer (или любой другой браузер) и введите в поле адреса следующий IP-адрес: **http://192.168.0.1**.

Внимание! В случае использования прокси-сервера для локальных подключений может потребоваться добавить исключения для адреса точки доступа. Для этого необходимо открыть свойства обозревателя (Alt+X) Internet Explorer и перейти в раздел **Подключения/Настройка сети / Дополнительно**. В окне **Исключения** следует прописать адреса точек доступа, используемых в лабораторной работе. Например: 192.168.1.* - исключает все адреса подсети.

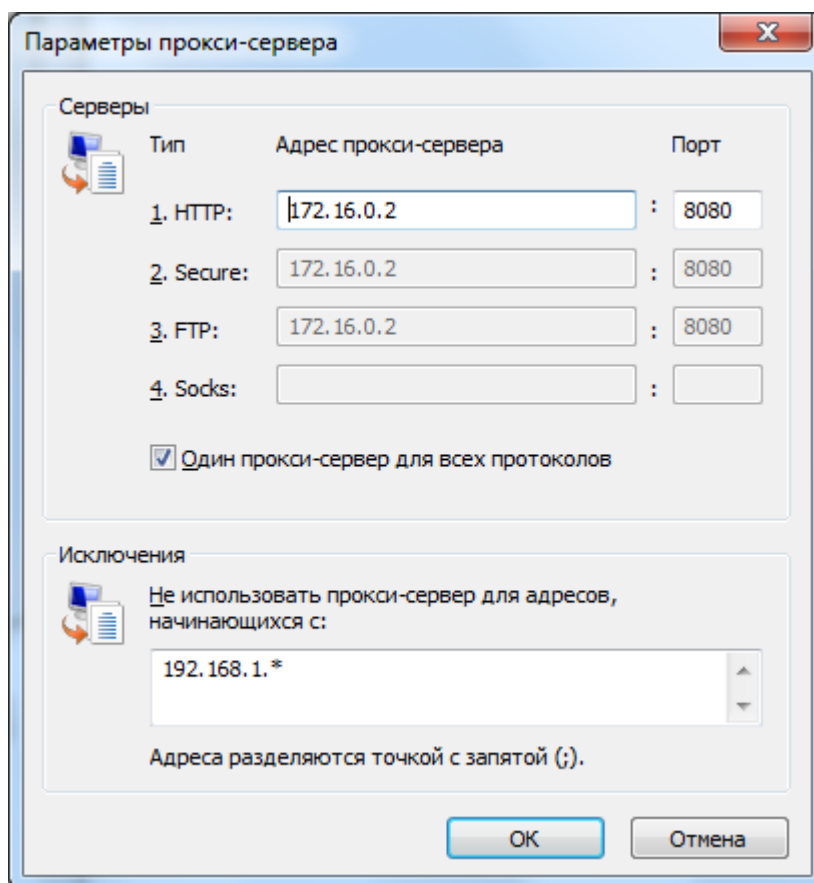


Рисунок 3 – Окно параметров прокси-сервера

г) Введите имя пользователя **admin**, пароль **admin**.

д) Пользуясь приложением к данной работе и открытым в окне браузера интерфейсом настройки точки доступа, ознакомьтесь с основными элементами управления и группами настроек.

4.2 Развертывание сети с топологией BSS

Для создания беспроводной сети с топологией BSS необходимо настроить точку доступа и абонентские станции. Настройка точки доступа производится через web-интерфейс, настройка абонентских станций — с помощью средств ОС.

Вначале следует настроить точку доступа, а затем приступить к настройке абонентских станций.

Каждая бригада настраивает сеть со следующими параметрами:

Таблица 1 – Параметры для настройки сети

| Параметр настройки | Задание для бригады | | |
|--------------------|---------------------|---------------|---------------|
| | 1 | 2 | 3 |
| Режим работы | Access Point | | |
| SSID | group1 | group2 | group3 |
| Канал | 2 | 4 | 8 |
| IP-адрес AP | 192.168.1.10 | 192.168.1.20 | 192.168.1.30 |
| IP-адреса SS | 192.168.1.11 | 192.168.1.21 | 192.168.1.31 |
| | 192.168.1.12 | 192.168.1.22 | 192.168.1.32 |
| IP-адрес ПК | 192.168.1.19 | 192.168.1.29 | 192.168.1.39 |
| Маска подсети | 255.255.255.0 | 255.255.255.0 | 255.255.255.0 |

1. Подключитесь к точке доступа через web-интерфейс (см. п. 0).
2. Перейдите в пункт меню **Wireless -> Wireless Settings**.
3. В поле **SSID** введите идентификатор зоны обслуживания в соответствии с заданием для вашей бригады (таблица 1).
4. В поле **Region** из выпадающего списка выберите **Russia**.
5. В поле **Channel** из выпадающего списка выберите номер канала в соответствии с заданием для вашей бригады (таблица 1).
6. Нажмите на кнопку **Save**, чтобы сохранить настройки.

7. Перейдите в пункт меню **Network -> LAN**.
8. В поле **IP Address** введите IP-адрес точки доступа в соответствии с заданием для вашей бригады (таблица 1).
9. В поле **Subnet Mask** введите маску подсети в соответствии с заданием для вашей бригады (таблица 1).
10. Нажмите на кнопку **Save**, чтобы сохранить настройки.
11. Перейдите в пункт меню **System tools -> Reboot** и нажмите на кнопку **Reboot**. Начнется перезагрузка точки доступа, чтобы применить все сделанные настройки.
12. Отключите точку доступа от ПК. Она должна работать автономно.
13. Настройте IP-адреса и маски подсетей на абонентских станциях в соответствии с заданием для вашей бригады (таблица 1). Настройка должна производиться для беспроводного соединения.
14. Подключите абонентские станции к точке доступа SSID вашей бригады.
15. С помощью команды `ping` проверьте, что станции слышат друг друга. Для этого в командной строке Windows введите команды `ping 192.168.1.XXX -t`, где вместо **XXX** подставляйте значения адресов точки доступа и других абонентских станций.

4.3 Измерение пропускной способности сети

Пропускная способность сети Wi-Fi с топологией BSS определяется скоростью передачи на физическом уровне, а также методом доступа станций к общей среде передачи.

1. Начните передачу большого файла (рекомендуемый объем ~200 Мбайт) с одной абонентской станции на другую.
2. На каждой из станций нажмите на комбинацию клавиш **CTRL+SHIFT+ESC**, перейдите во вкладку **Сеть** и наблюдайте скорость приема/передачи информации.
3. Вычислите пропускную способность сети.

4.4 Исследование влияния механизма RTS/CTS и режима фрагментации на пропускную способность

Механизм RTS/CTS призван устранить последствия проблемы «скрытого узла» в сети Wi-Fi. При этом пропускная способность сети, использующей механизм RTS/CTS, будет ниже. Это связано с дополнительной передачей служебных пакетов RTS и CTS через радиоканал.

Режим фрагментации позволяет повысить вероятность доставки фрейма через зашумленную среду. При этом пропускная способность сети с фрагментацией фреймов будет ниже. Это связано с передачей дополнительных заголовков фрагмента внутри кадра.

1. Включите на точке доступа режим RTS/CTS. Для этого перейдите в пункт меню **Wireless -> Wireless Advanced**. Установите в поле **RTS Threshold** значение 1, т.е. механизм RTS/CTS будет включаться для передачи любых фреймов длиной более 1 байта.
2. Нажмите на кнопку **Save**, чтобы сохранить настройки.
3. Перейдите в пункт меню **System tools -> Reboot** и нажмите на кнопку **Reboot**. Начнется перезагрузка точки доступа, чтобы применить все сделанные настройки.
4. Пользуясь указаниями из п. 4.3, проведите измерение пропускной способности сети.
5. Сравните результаты, полученные в данном эксперименте и в эксперименте из п. 4.3.
6. Отключите на точке доступа режим RTS/CTS. Для этого перейдите в пункт меню **Wireless -> Wireless Advanced**. Установите в поле **RTS Threshold** значение 2346.
7. Включите на точке доступа режим фрагментации. Для этого перейдите в пункт меню **Wireless -> Wireless Advanced**. Установите в поле **Fragmentation Threshold** значение 256, т.е. механизм фрагментации будет включаться для передачи любых фреймов длиной более 256 байт. Причем каждый превышающий пороговое значение фрейм будет разделен на фрагменты по 256 байт.
8. Нажмите на кнопку **Save**, чтобы сохранить настройки.

9. Перейдите в пункт меню **System tools -> Reboot** и нажмите на кнопку Reboot. Начнется перезагрузка точки доступа, чтобы применить все сделанные настройки.

10. Пользуясь указаниями из п. 4.3, проведите измерение пропускной способности сети.

11. Сравните результаты, полученные в данном эксперименте и в эксперименте из п. 0.

4.5 Оценка влияния соканальных сетей Wi-Fi на пропускную способность сети

Пропускная способность беспроводной сети также зависит от наличия соседних сетей, работающих на одном частотном канале.

1. Настройте точки доступа в соответствии с параметрами, приведенными в таблица 2

2. Пользуясь указаниями из п. 4.3, проведите измерение пропускной способности сетей в бригадах 1 и 2, а также 3 и 4. **Важно, чтобы передача файлов в бригадах 1 и 2, а также 3 и 4 велась одновременно.**

3. Сравните результаты, полученные в данном эксперименте и в эксперименте из п. 4.3.

Таблица 2 – Параметры для настройки сети

| Параметр настройки | Задание для бригады | | |
|--------------------|---------------------|---------------|---------------|
| | 1 | 2 | 3 |
| Режим работы | Access Point | | |
| SSID | group1 | group2 | group3 |
| Канал | 2 | 2 | 2 |
| IP-адрес AP | 192.168.1.10 | 192.168.1.20 | 192.168.1.30 |
| IP-адреса SS | 192.168.1.11 | 192.168.1.21 | 192.168.1.31 |
| | 192.168.1.12 | 192.168.1.22 | 192.168.1.32 |
| Маска подсети | 255.255.255.0 | 255.255.255.0 | 255.255.255.0 |

4.6 Оценка влияния числа станций на пропускную способность сети

Благодаря использованию механизма CSMA/CA пропускная способность сети равномерно распределяется между всеми абонентскими станциями.

1. Подключите абонентские станции бригады 1 и 3 к точке доступа бригады 2. Таким образом, к точке доступа бригады 2 будут подключены 6 абонентских станции.

2. На каждой из абонентских станций нажмите на комбинацию клавиш **CTRL+SHIFT+ESC**, перейдите во вкладку **Сеть**.

3. Начните передачу большого файла (рекомендуемый объем ~200 Мбайт) с абонентской станции 192.168.1.11 на 192.168.1.12.

4. Параллельно начните передачу большого файла (рекомендуемый объем ~200 Мбайт) с абонентской станции 192.168.1.11 на 192.168.1.21.

5. Параллельно начните передачу большого файла (рекомендуемый объем ~200 Мбайт) с абонентской станции 192.168.1.22 на 192.168.1.31.

6. Наблюдайте скорость приема/передачи информации на каждой станции.

4 Содержание отчета.

1. Схема типичной сети Wi-Fi с топологией BSS.

2. Выводы и обоснования полученных результатов по пунктам 4.3 - 4.6. В выводах и обоснованиях основной акцент необходимо сделать на причинах, получения именно такого результата.

Приложение А.

Характеристики оборудования

В качестве точки доступа в этой и последующих лабораторных работах используем беспроводной маршрутизатор TP-Link TL-WR841ND, а в качестве абонентских станций — ПК с установленными беспроводными сетевыми платами TP-Link TL-WN951N. Характеристики указанного оборудования представлены в приведенных ниже таблицах.

Таблица А.1 - Технические характеристики беспроводного адаптера TP-Link TL-WN951N

| | |
|----------------------------|--|
| Поддерживаемые стандарты | IEEE 802.11n IEEE 802.11g IEEE 802.11b |
| Мощность (EIRP) | <20 дБм |
| Антенны | 3 всенаправленных антенны по 2 дБи |
| Рабочие температуры | 0° - 40° С |
| Диапазон частот | 2,4000 ГГц – 2,4835 ГГц |
| Скорости передачи данных | IEEE 802.11n — до 300 Мбит/с IEEE 802.11g — до 54 Мбит/с IEEE 802.11b — до 11 Мбит/с |
| Чувствительность приемника | 270 Мбит/с: -68 дБм @10% PER 130 Мбит/с: -68 дБм @10% PER 108 Мбит/с: -68 дБм @10% PER 54 Мбит/с: -68 дБм @10% PER 11 Мбит/с: -85 дБм @8% PER 6 Мбит/с: -88 дБм @10% PER 1 Мбит/с: -90 дБм @8% PER |
| Вид модуляции | DBPSK, DQPSK, CCK, OFDM, 16-QAM, 64-QAM |

Таблица А.2 - Технические характеристики беспроводного маршрутизатора TP-Link TL-WR841ND

| | |
|---|---|
| Поддерживаемые стандарты | IEEE 802.11n IEEE 802.11g IEEE 802.11b IEEE 802.3 |
| Мощность (EIRP) | <20 дБм |
| Рабочие температуры | 0° С - 40° С |
| Диапазон частот | 2,4000 ГГц – 2,4835 ГГц |
| Скорости передачи данных по радиоканалу | IEEE 802.11n — до 300 Мбит/с IEEE 802.11g — до 54 Мбит/с IEEE 802.11b — до 11 Мбит/с |
| Чувствительность приемника | 270 Мбит/с: -68 дБм при 10% PER 130 Мбит/с: -68 дБм при 10% PER 108 Мбит/с: -68 дБм при 10% PER 54 Мбит/с: -68 дБм при 10% PER 11 Мбит/с: -85 дБм при 8% PER 6 Мбит/с: -88 дБм при 10% PER 1 Мбит/с: -90 дБм при 8% PER |
| Антенны | 2 всенаправленных антенны по 5 дБи |

Приложение Б

Описание настроек радиointерфейса беспроводного маршрутизатора TP-Link TL-WR841ND

Беспроводной маршрутизатор TP-Link TL-WR841ND включает в себя точку доступа Wi-Fi. Настройка точки доступа производится через web-интерфейс. Ниже описаны основные настройки и элементы управления беспроводной частью маршрутизатора. Остальные настройки не рассматриваются, т.к. не входят в область данного лабораторного практикума. Для получения более подробных сведений по настройке маршрутизатора можно обратиться к руководству пользователя на устройство.

Главное окно web-интерфейса настройки маршрутизатора (см. рисунок б.) содержит несколько областей: главное меню (слева), основное окно (в центре) и помощь (справа).

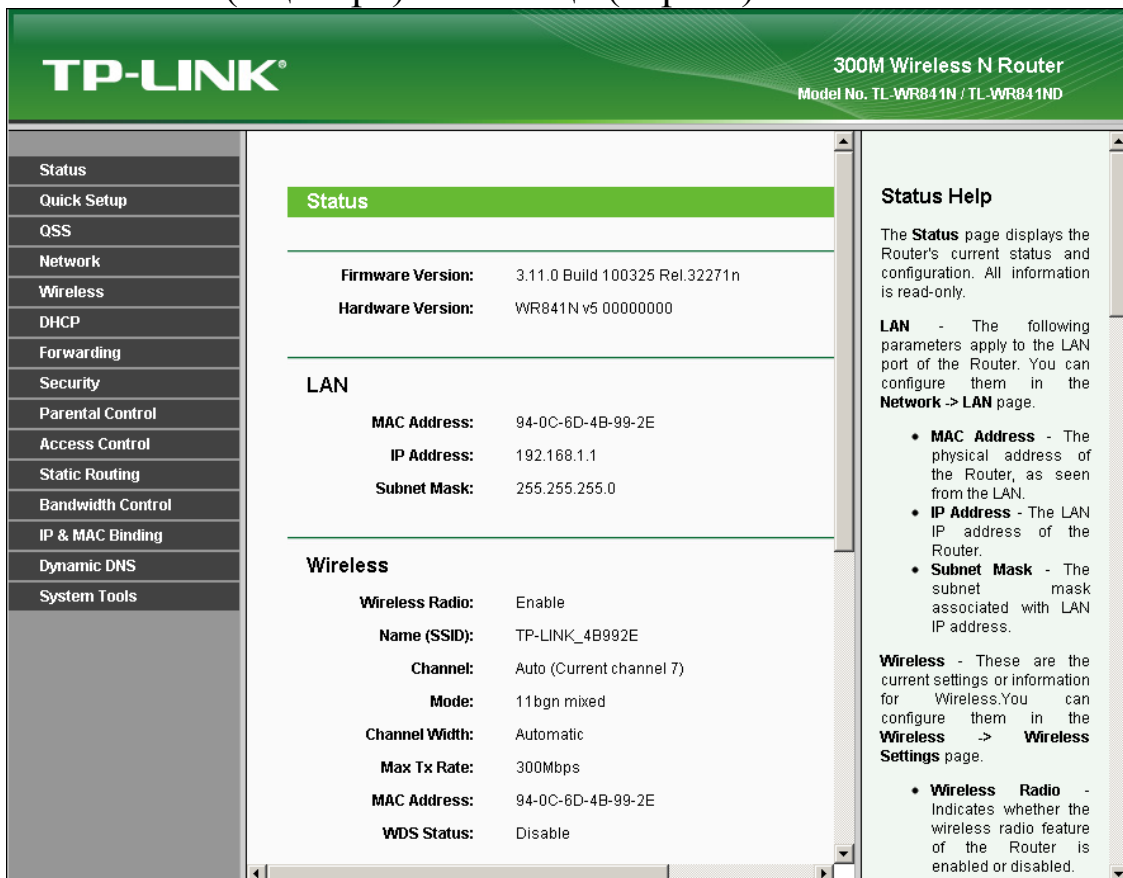


Рисунок Б.1 - Главное окно настройки маршрутизатора

Настройки точки доступа Wi-Fi расположены в меню **Wireless**. После выбора этого пункта меню открывается окно с ба-

зовыми настройками беспроводного интерфейса маршрутизатора (см. рисунок а.Б.2).

Wireless Settings

SSID:

Region:

Warning: Ensure you select a correct country to conform local law. Incorrect settings may cause interference.

Channel:

Mode:

Channel Width:

Max Tx Rate:

Enable Wireless Router Radio

Enable SSID Broadcast

Enable WDS

SSID(to be bridged):

BSSID(to be bridged): Example:00-1D-0F-11-22-33

Key type:

WEP Index:

Auth type:

Password:

Рисунок Б.2 - Базовые настройки беспроводного интерфейса маршрутизатора

В данном окне можно указать следующие параметры настройки:

1. **SSID** (*идентификатор зоны обслуживания*). Точка доступа передает данный идентификатор в кадрах маяка, который принимают все пользовательские станции в зоне обслуживания. По SSID абонентские станции могут выбрать сеть, к которой они хотят

подключиться. Именно этот идентификатор высвечивается в окне поиска доступных точек доступа при настройке абонентских станций. Другими словами он представляет собой «название» зоны обслуживания сети Wi-Fi.

2. **Region** (*регион*). В разных странах существуют ограничения по числу разрешенных радиоканалов и уровню излучаемой мощности устройств Wi-Fi. В данном поле можно выбрать страну, где сейчас работает точка доступа. При этом число разрешенных каналов и максимальный уровень мощности будут выставлены на устройстве автоматически.

3. **Channel** (*канал*). В данном поле задается номер канала, на который настроена точка доступа. В России пользователь может выбрать один из 13 стандартных каналов, указанных в спецификациях IEEE 802.11.

Канал может быть задан автоматически. При этом точка доступа просканирует диапазон на наличие других устройств Wi-Fi, работающих рядом. Для этого следует выбрать в поле режим **Auto** (*автоматическая установка канала*).

При выборе канала вручную необходимо учитывать другие точки доступа, которые работают поблизости. Для того чтобы посмотреть, какие точки доступа включены рядом, можно использовать ПО CommView for Wi-Fi или другие программные продукты (например NetStumbler или InSSIDer). При этом следует избегать установленного по умолчанию канала 6, так как именно на этом канале наиболее вероятна работа других точек доступа.

4. **Mode** (*режим работы физического уровня*). Точка доступа позволяет работать в рамках одного определенного физического уровня или их комбинации:

- a. **11b only** — только в режиме IEEE 802.11b
- b. **11g only** — только в режиме IEEE 802.11g
- c. **11n only** — только в режиме IEEE 802.11n
- d. **11bg mixed** — в режимах IEEE 802.11b и 802.11g
- e. **11bgn mixed** — в режимах IEEE 802.11b, 802.11g и IEEE 802.11n

5. **Channel Width** (*ширина радиоканала*). В поле может быть задана определенная ширина радиоканала 20 или 40 МГц, а также автоматический выбор ширины канала (*Automatic*).

6. **Max Tx Rate** (*максимальная скорость передачи на физическом уровне*). Пользователь может выбрать одну из перечисленных скоростей передачи. Следует обратить внимание, что скорость выбирается на физическом уровне. Т.е. эта скорость определяет вид множественного доступа, модуляции и кодирования, а значит и помехоустойчивость.

7. **Enable Wireless Router Radio** (*включить беспроводной интерфейс*). Включает или отключает беспроводной интерфейс маршрутизатора.

8. **Enable SSID Broadcast** (*включить широковещание SSID*). Включает или отключает передачу SSID в широковещательном режиме в кадрах маяка.

9. **Enable WDS** (*включить режим WDS*). Включает или отключает режим WDS (режим распределенной беспроводной системы — один из способов организации сети с топологией ESS). При включении данной опции в окне появляется еще несколько настроек, описанных ниже.

10. **SSID (to be bridged)** (SSID другой точки доступа в ESS-сети). Здесь указывают SSID другой точки доступа, с которой производится соединение по топологии ESS.

11. **BSSID (to be bridged)** (MAC-адрес другой точки доступа в ESS-сети).

При наличии шифрования в радиоканале между точками доступа необходимо настроить его параметры:

12. **Key type** (*тип ключа*). Можно выбрать, с помощью какого алгоритма будет производиться шифрование: WEP или WPA.

13. **WEP Index** (*индекс ключа WEP*). Задает, какой номер ключа WEP используется для шифрования.

14. **Auth type** (*тип аутентификации*). Задает тип аутентификации при использовании шифрования WEP: открытая или совместно используемыми ключами.

15. **Password** (*пароль*). В данное поле вводится ключ WEP или пароль WPA.

Для настройки шифрования и аутентификации необходимо перейти в пункт меню **Wireless -> Wireless Security**.

Рисунок Б.3 - Окно настроек шифрования и аутентификации

В данном окне можно указать следующие параметры настройки:

1. **Disable Security** (*отключить функции защиты*). Выбор данной опции позволяет отключить шифрование и аутентификацию в радиоканале.

2. **WEP** (*настройка защиты по технологии WEP*). Выбор данной опции позволяет включить механизм защиты WEP и настроить его параметры:

а. **Type** (*тип аутентификации*). Можно выбрать один из методов: **Open System** — *открытая*, **Shared Key** — *с помощью совместно используемых ключей*.

б. **WEP Key Format** (формат ключа шифрования). Можно выбрать, в каком формате будет введен ключ: **Hexadecimal** (*шестнадцатеричный формат*) или **ASCII** (*формат ASCII*).

с. **Key Selected** (*выбранные ключи*). В данной области можно указать сам ключ и его длину в поле **Key Type** (*64, 128 или 152 бит*). Всего может быть задано до 4 различных ключей в полях **Key 1 – Key 4**. При этом одновременно использоваться может только один ключ.

3. **WPA/WPA2** (*настройка защиты по технологии WPA/WPA2*). Выбор данной опции позволяет включить механизм защиты WPA и настроить его параметры:

а. **Version** (*версия протокола WPA*). Можно выбрать либо WPA, либо WPA2.

б. **Encryption** (*шифрование*). Можно выбрать либо TKIP, либо AES.

с. **Radius Server IP** (*IP-адрес сервера RADIUS*).

д. **Radius Server Port** (*порт сервера RADIUS*).

е. **Radius Password** (*пароль для сервера RADIUS*).

ф. **Group Key Update Period** (*период обновления группового ключа*).

4. **WPA-PSK/WPA2-PSK** (*настройка защиты по технологии WPA-PSK/WPA2-PSK*). Выбор данной опции позволяет включить механизм защиты WPA и настроить его параметры:

а. **Version** (*версия протокола WPA*). Можно выбрать либо WPA-PSK, либо WPA2-PSK.

б. **Encryption** (*шифрование*). Можно выбрать либо TKIP, либо AES.

с. **PSK Password** (*пароль*).

д. **Group Key Update Period** (*период обновления группового ключа*).

Важным дополнительным средством обеспечения безопасности в беспроводной сети является фильтрация по MAC-адресам.

Для настройки фильтрации перейдите в меню **Wireless -> Wireless MAC Filtering** (см. рисБ.4).

Wireless MAC Filtering

Wireless MAC Filtering: **Disabled**

Filtering Rules

Allow the stations not specified by any enabled entries in the list to access.

Deny the stations not specified by any enabled entries in the list to access.

| ID | MAC Address | Status | Description | Modify |
|----|-------------------|---------|------------------|---|
| 1 | 66-44-77-88-98-52 | Enabled | TP-LINK_Wireless | Modify Delete |
| 2 | 00-00-00-00-00-11 | Enabled | TP-LINK_903J | Modify Delete |

Рисунок Б.4 - Настройка фильтрации по MAC-адресам

Для включения фильтрации по MAC-адресам необходимо нажать на кнопку **Enable** в поле **Wireless MAC Filtering**.

Фильтр может работать в двух режимах: разрешение подключения перечисленных станций к точке доступа (**Allow**) или запрещение подключения перечисленных станций (**Deny**).

Для того чтобы добавить определенный MAC-адрес в список, необходимо нажать на кнопку **Add New...** При этом на экране появится окно (см. **Ошибка! Источник ссылки не найден.**), в котором необходимо ввести MAC-адрес станции (в поле **MAC Address**), комментарий к записи (в поле **Description**) и состояние записи (в поле **Status**).

Add or Modify Wireless MAC Address Filtering entry

MAC Address:

Description:

Status:

Рисунок Б.5 - Добавление фильтра по MAC-адресу

Для настройки дополнительных параметров беспроводного интерфейса перейдите в меню **Wireless -> Wireless Advanced** (см. **Ошибка! Источник ссылки не найден.**).

Wireless Advanced

Transmit Power:

Beacon Interval: (40-1000)

RTS Threshold: (1-2346)

Fragmentation Threshold: (256-2346)

DTIM Interval: (1-255)

Enable WMM

Enable Short GI

Enable AP Isolation

Рисунок Б.6 - Настройка дополнительных параметров радиоинтерфейса

В данном окне можно указать следующие параметры настройки:

1. **Transmit Power** (*мощность излучения*). – используют для установки одной из возможных мощностей излучения. В данной точке доступа предусмотрено три градации мощности излучения: высокий, средний и низкий.

2. **Beacon Interval** (*маячковый интервал*) – номинальный период¹ следования кадров маяка в мс. Рекомендованное значение для этого параметра составляет 100 мс.

3. **RTS Threshold** (*длина пакета, при которой происходит активация механизма RTS/CTS*). Устанавливает минимальное значение длины кадра в байтах, для передачи которого будет использован механизм RTS/CTS.

4. **Fragmentation Threshold** (*длина фрагмента*) – значение длины пакета в байтах, при превышении которой данный пакет будет фрагментирован. По умолчанию эта длина составляет 2346 байт.

5. **DTIM Interval** (*интервал Delivery Traffic Indication Message*) – установка счетчика окон для прослушивания широковещательных и групповых сообщений в маячковых интервалах. По умолчанию для данного счетчика устанавливают значение, равное 1.

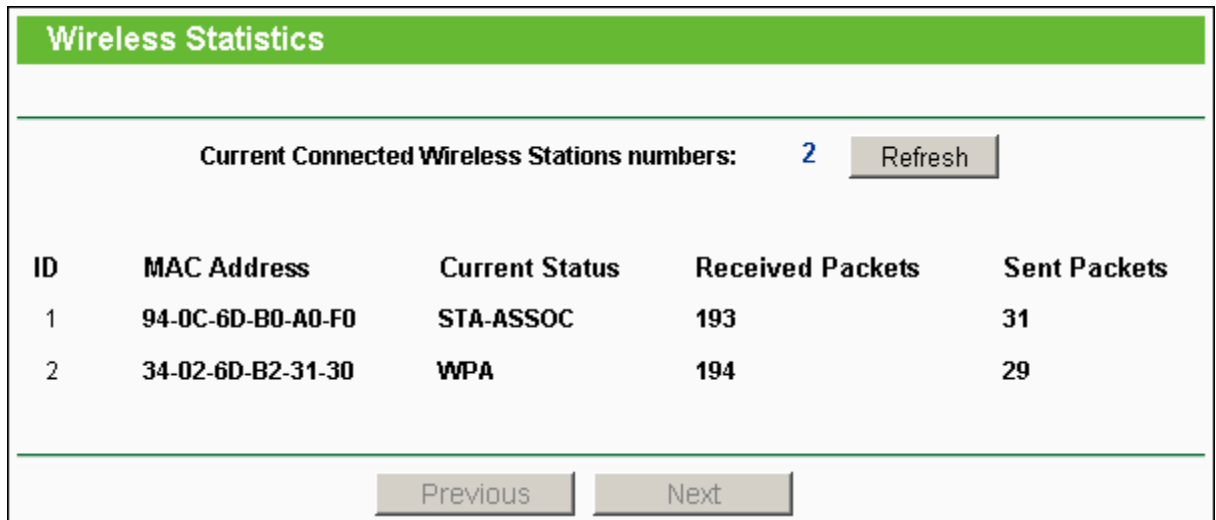
6. **Enable WMM** (*включить поддержку QoS*). Позволяет включить или отключить поддержку спецификации IEEE 802.11e, вводящей приоритеты обслуживания станций и различные типы трафика для обеспечения QoS. Данный режим необходимо использовать при передаче мультимедиа трафика.

7. **Enable Short GI** (*использовать короткий защитный интервал OFDM-символов*). Позволяет включить или отключить использование короткого защитного интервала OFDM-символов. При включении данной опции маршрутизатор будет использовать короткие защитные интервалы 400 нс вместо стандартных 800 нс. При этом повысится скорость передачи на физическом уровне, но упадет помехоустойчивость системы.

8. **Enable AP Isolation** (*включить изоляцию точки доступа*). Позволяет включить или отключить дополнительную функцию защиты абонентских станций. При включении данной функции абонентские станции, подключенные к одной точке доступа, не смогут получать доступ друг к другу. Этот режим может использоваться при развертывании сети в общественных местах.

¹ На практике период следования кадров маяка может оказаться непостоянным. Передача кадра маяка может быть задержана, если в отведенный для этого момент среда занята передачей другого кадра. В таком случае кадр маяка будет передан по окончании передачи другого кадра.

Для просмотра статистики по использованию точки доступа необходимо перейти в пункт меню **Wireless -> Wireless Statistics** (см. **Ошибка! Источник ссылки не найден.Б.7**).



The screenshot displays the 'Wireless Statistics' interface. At the top, there is a green header with the text 'Wireless Statistics'. Below the header, the text 'Current Connected Wireless Stations numbers:' is followed by the number '2' and a 'Refresh' button. A table with five columns is shown below: 'ID', 'MAC Address', 'Current Status', 'Received Packets', and 'Sent Packets'. The table contains two rows of data. At the bottom of the interface, there are two buttons: 'Previous' and 'Next'.

| ID | MAC Address | Current Status | Received Packets | Sent Packets |
|----|-------------------|----------------|------------------|--------------|
| 1 | 94-0C-6D-B0-A0-F0 | STA-ASSOC | 193 | 31 |
| 2 | 34-02-6D-B2-31-30 | WPA | 194 | 29 |

Рисунок Б.7 - Статистика использования точки доступа

Приложение В.

Описание настройки абонентских станций TP-Link TL-WN951N

Настройку станций пользователя осуществляют средствами ОС Windows 7. Для настройки необходимо кликнуть левой кнопкой мыши на значке беспроводного соединения рядом с часами Windows. При этом на экране появится окно со списком беспроводных сетей, работающих рядом с данной абонентской станцией (см. **рисунок б.ошибка! текст указанного** стиля в документе отсутствует.).

Для настройки беспроводного соединения необходимо нажать на ссылку **Центр управления сетями и общим доступом**. На экране появится окно настройки сетей и подключений. Для добавления нового беспроводного подключения требуется перейти по ссылке **Настройка нового подключения или сети** и выбрать пункт **Подключение к беспроводной сети вручную** (см. **рисунок б.22**).

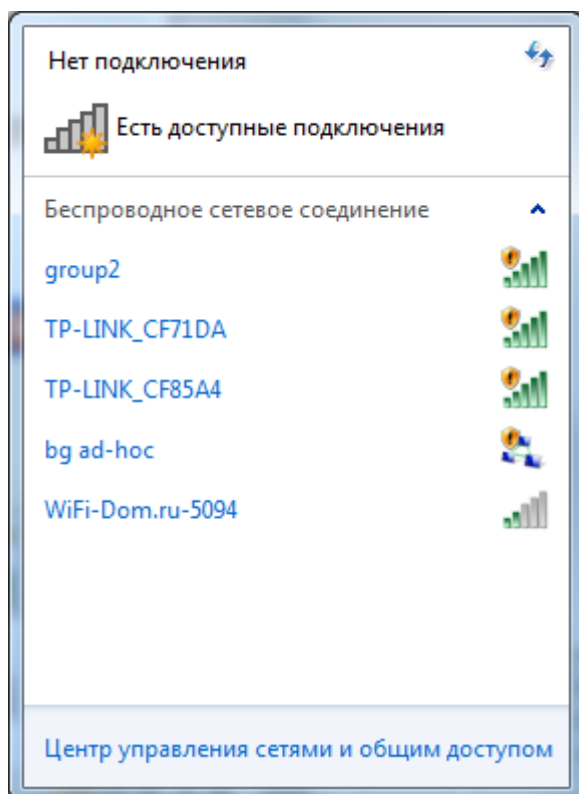


Рисунок В.1 - Окно обзора беспроводных сетей

В открывшемся окне можно указать следующие параметры соединения (см. **рисунок 6.3В.3**):

1. **Имя сети (SSID)**. Имя беспроводной сети, к которой будет производиться подключение. При работе в сети BSS имя должно совпадать с именем, заданным на точке доступа. При организации сети Ad-hoc (см. работу **Ошибка! Источник ссылки не найден.**) имя должно быть одинаковым для всех абонентских станций, объединяемых в сеть.

2. **Тип безопасности**. При выборе режима шифрования WEP или WPA-PSK необходимо ввести ключ сети.

3. **Тип шифрования**.

4. **Запускать это подключение автоматически** – настройка позволяет автоматически подключаться к беспроводной сети, при обнаружении ее в радиусе работы адаптера ПК.

5. **Подключаться, даже если сеть не производит широковещательную передачу** -

После заполнения настроек, требуется нажать кнопку **Далее**. Управление созданными сетями осуществляется в разделе **Панель управления\Сеть и Интернет\Управление беспроводными сетями**.

Для создания одноранговой сети типа ad-hoc при создании нового подключения требуется выбрать раздел **Настройка беспроводной сети компьютер-компьютер**.

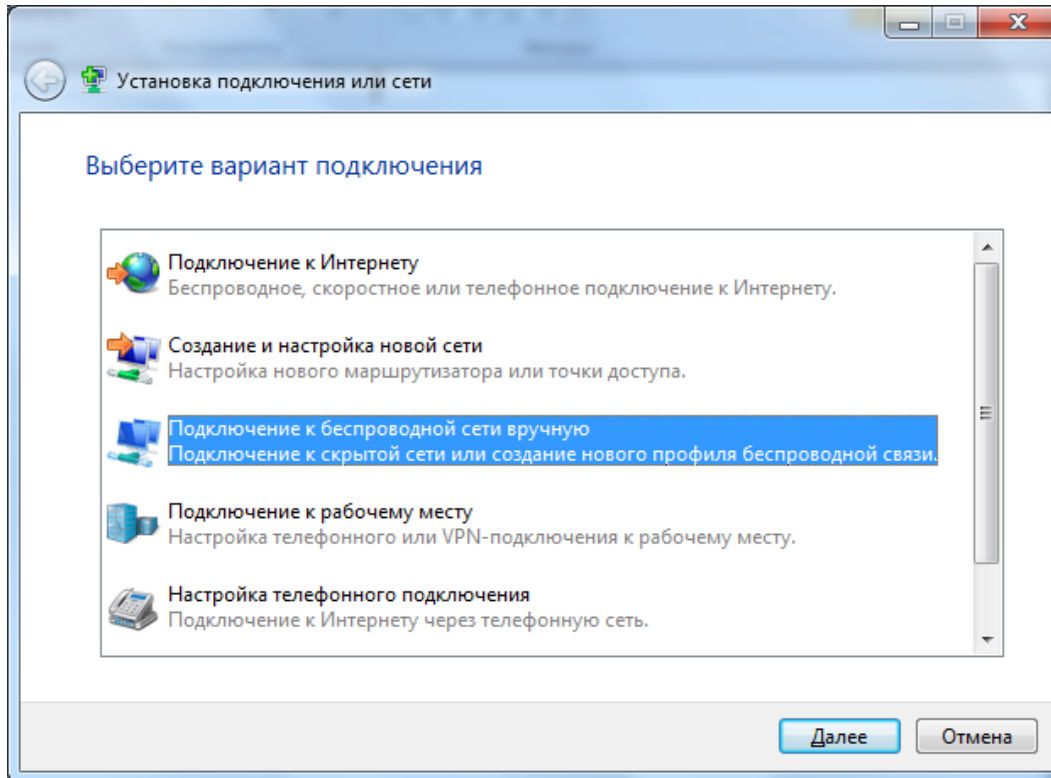


Рисунок В.2 - Окно создания подключения или сети

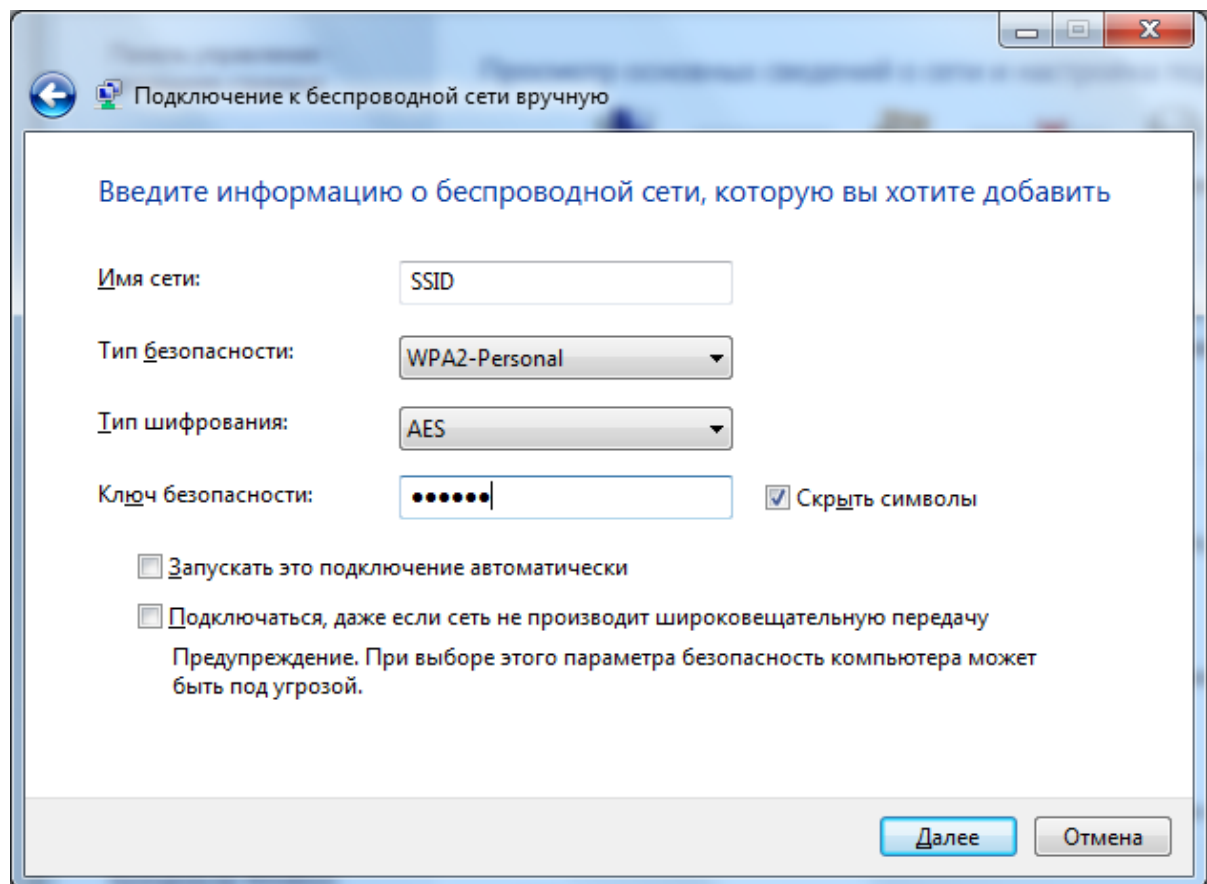


Рисунок В.3 - Создание профиля беспроводной сети

Контрольные вопросы

1. Какое отличие между стандартом IEEE 802.11a и стандартом IEEE 802.11b?
2. Каково значение максимальной скорости в стандарте IEEE 802.11b?
3. Какие методы многостанционного доступа используются в сети Wi-Fi?
4. В каком частотном диапазоне функционируют сети wireless LAN.

Лабораторная работа № 6

Конфигурирование и настройка сети Wi-Fi с топологией IBSS (Ad-hoc)

1 Цель работы

Получение практических навыков создания сетей Wi-Fi с топологией IBSS (Ad-hoc), а также исследование влияния различных факторов на пропускную способность беспроводной локальной сети.

2 Краткая информация о топологии IBSS (Ad-hoc)

Топология Independent Basic Service Set – (IBSS) беспроводной локальной сети является простой одноранговой сетью, состоящей только из абонентских станций Wi-Fi. При использовании такой топологии все пользовательские станции общаются между собой напрямую.

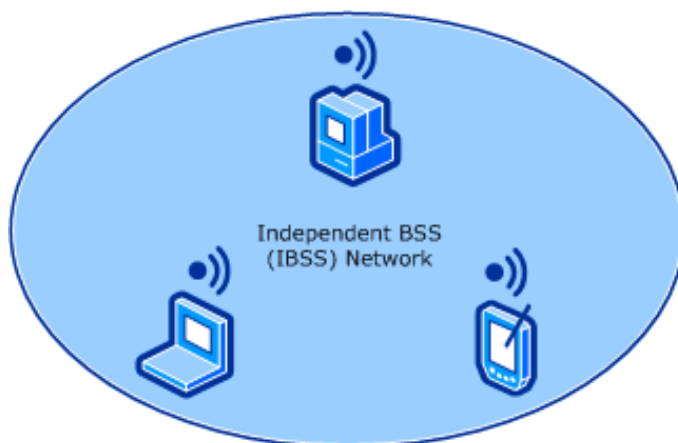


Рисунок 1 - Топология Ad-hoc

3 Практическое задание

Пользуясь приведенным ниже описанием настройки станций пользователя:

1. Развернуть сеть Wi-Fi с топологией Ad-hoc с заданными пре-подавателем характеристиками.

2. Измерить среднюю пропускную способность сети.
3. Исследовать влияние количества подключенных абонентских станций на пропускную способность сети. Зафиксировать, как пропускная способность делится между станциями.

4 Указания к выполнению работы

Внимание!

*Перед выполнением лабораторной работы рекомендуется приостановить работу антивируса Kaspersky. Для этого достаточно выбрать значок антивируса на панели задач, нажать правой кнопкой мыши и выбрать пункт **Приостановка защиты и контроля...***

В результате выполнения работы в лаборатории должна быть развернута беспроводная локальная сеть с топологией IBSS (Ad-hoc). Все исследования будут проводиться в этой сети.

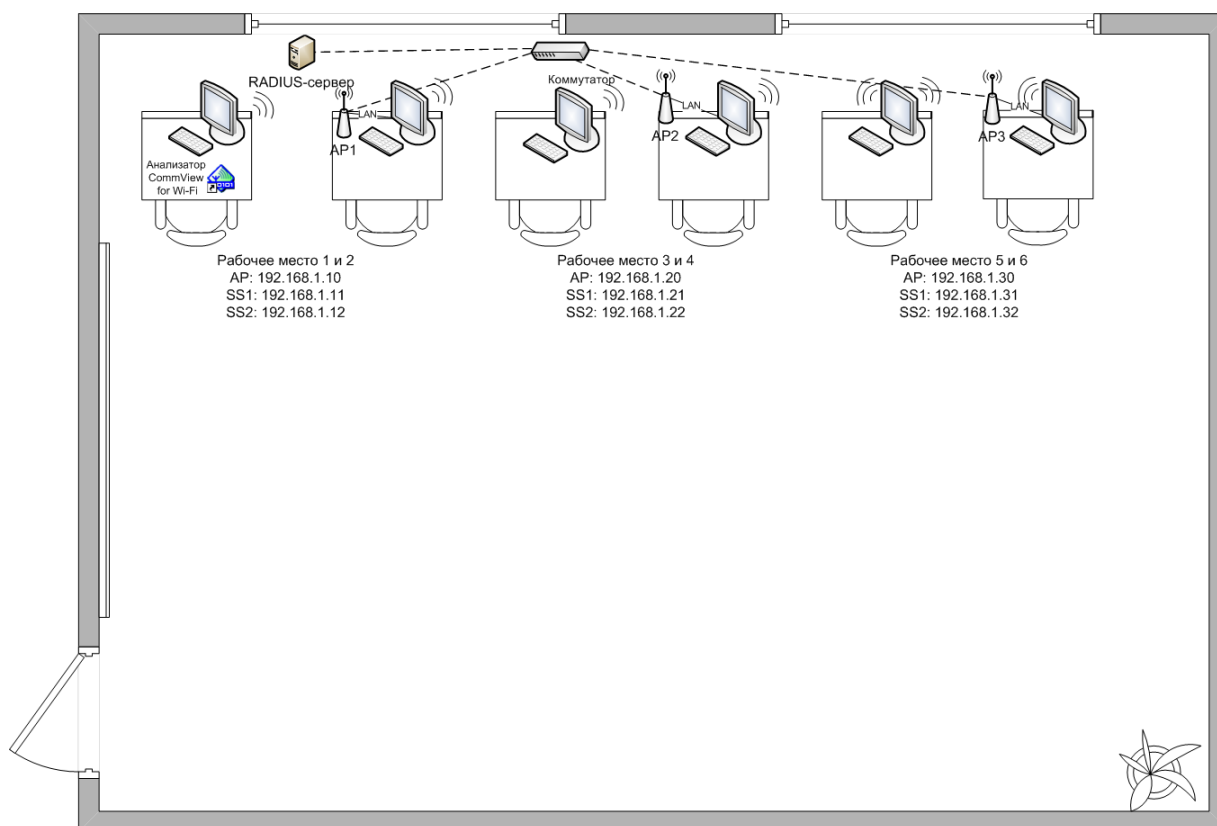


Рисунок 2 - Схема лабораторного помещения:

4.1 Развертывание сети с топологией IBSS (Ad-hoc)

Для создания беспроводной сети с топологией IBSS (Ad-hoc) необходимо настроить абонентские станции. Настройка абонентских станций производится с помощью средств ОС.

Каждая бригада настраивает сеть со следующими параметрами:

Таблица 1 – Параметры сети

| Параметр настройки | Задание для бригады | | |
|--------------------|---------------------|---------------|---------------|
| | 1 | 2 | 3 |
| SSID | group1 | group2 | group3 |
| Канал | 2 | 4 | 8 |
| IP-адреса SS | 192.168.1.11 | 192.168.1.21 | 192.168.1.31 |
| | 192.168.1.12 | 192.168.1.22 | 192.168.1.32 |
| Маска подсети | 255.255.255.0 | 255.255.255.0 | 255.255.255.0 |

1. Настройте IP-адреса и маски подсетей на абонентских станциях в соответствии с заданием для вашей бригады. Настройка должна производиться для беспроводного соединения.
2. Кликните правой кнопкой мыши на значке беспроводного соединения и выберите пункт **Центр управления сетями и общим доступом**.
3. В области **Изменение сетевых параметров** выбрать раздел **Настройка нового подключения или сети**.
4. В открывшемся окне выбрать **Настройку беспроводной сети компьютер-компьютер**.
5. В открывшемся окне нажмите **Далее**.
6. Введите **Имя сети (SSID)** вашей бригады, отключите проверку подлинности и шифрование данных. В нижней части экрана поставьте отметку в поле **Сохранить параметры этой сети**. Нажмите на кнопку **Далее**. Мастер настройки автоматически произведет настройку сети.
7. Кликните левой кнопкой мыши на значке беспроводного соединения рядом с часами. В открывшемся окне выберите сеть

с SSID вашей бригады и нажмите на кнопку подключить. Должно быть установлено соединение.

8. С помощью команды **ping** проверьте, что станции слышат друг друга. Для этого в командной строке Windows введите команды **ping 192.168.1.XXX -t**, где вместо **XXX** подставляйте значения адресов второй абонентской станции вашей бригады.

4.2 Измерение пропускной способности сети

Пропускная способность сети Wi-Fi с топологией IBSS (Ad-hoc) определяется скоростью передачи на физическом уровне, а также методом доступа станций к общей среде передачи.

1. Начните передачу большого файла (рекомендуемый объем ~200 Мбайт) с одной абонентской станции на другую.
2. На каждой из станций нажмите на комбинацию клавиш **CTRL+SHIFT+ESC**, перейдите во вкладку **Сеть** и наблюдайте скорость приема/передачи информации.
3. Вычислите пропускную способность сети.

4.3 Оценка влияния числа станций на пропускную способность сети

Благодаря использованию механизма CSMA/CA пропускная способность сети равномерно распределяется между всеми абонентскими станциями.

1. Подключите абонентские станции бригад 2, 3 и 4 ad-hoc сети бригады 1. Таким образом, все 8 абонентских станций будут подключены к одной ad-hoc сети.
2. На каждой из абонентских станций нажмите на комбинацию клавиш **CTRL+SHIFT+ESC**, перейдите во вкладку **Сеть**.
3. Начните передачу большого файла (рекомендуемый объем ~200 Мбайт) с абонентской станции 192.168.1.11 на 192.168.1.12.

4. Параллельно начните передачу большого файла (рекомендуемый объем ~200 Мбайт) с абонентской станции 192.168.1.21 на 192.168.1.22.
5. Параллельно начните передачу большого файла (рекомендуемый объем ~200 Мбайт) с абонентской станции 192.168.1.31 на 192.168.1.32.
6. Наблюдайте скорость приема/передачи информации на каждой станции.

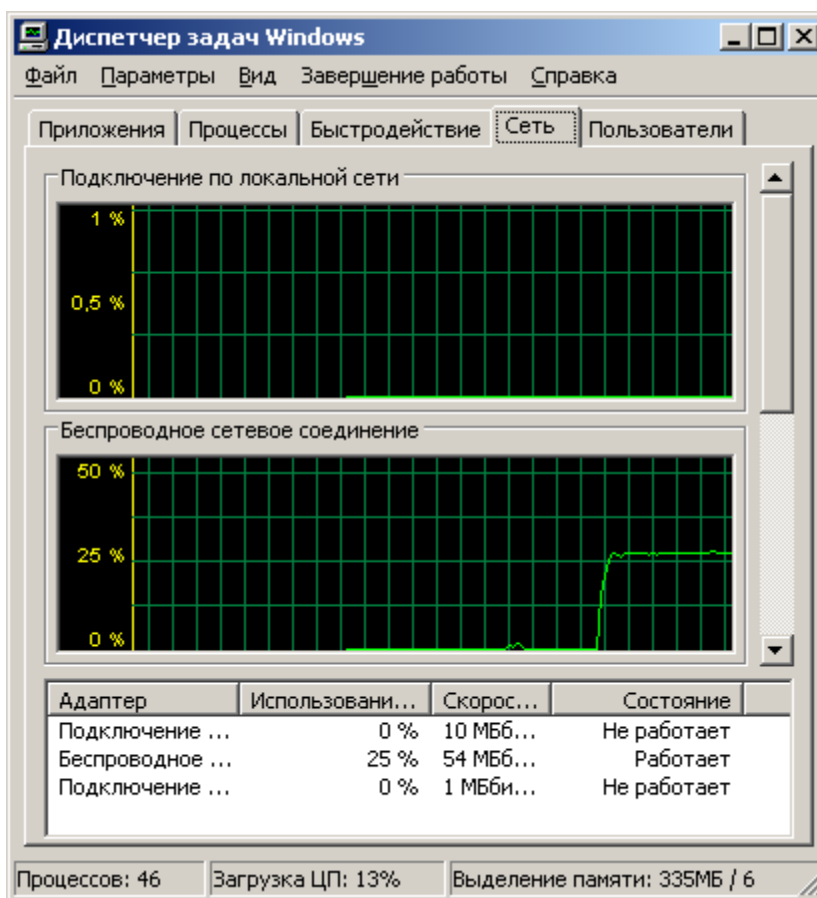


Рис.2 - Закладка Сеть в Диспетчере задач Windows

5 Содержание отчета

1. Структурная схема исследуемой сети.
2. Графики изменения реальной скорости передачи от времени.
3. Выводы на основе графиков изменения реальной скорости передачи от времени.

Приложение А.

Характеристики оборудования

В качестве абонентских станций используются ПК с установленными беспроводными сетевыми платами TP-Link TL-WN951N. Характеристики указанного оборудования представлены в приведенных ниже таблицах.

Таблица А1 - Технические характеристики беспроводного адаптера TP-Link TL-WN951N

| | |
|----------------------------|--|
| Поддерживаемые стандарты | IEEE 802.11n IEEE 802.11g IEEE 802.11b |
| Мощность (EIRP) | <20 дБм |
| Антенны | 3 всенаправленных антенны по 2 дБи |
| Рабочие температуры | 0° - 40° С |
| Диапазон частот | 2,4000 ГГц – 2,4835 ГГц |
| Скорости передачи данных | IEEE 802.11n — до 300 Мбит/с IEEE 802.11g — до 54 Мбит/с IEEE 802.11b — до 11 Мбит/с |
| Чувствительность приемника | 270 Мбит/с: -68 дБм @10% PER 130 Мбит/с: -68 дБм @10% PER 108 Мбит/с: -68 дБм @10% PER 54 Мбит/с: -68 дБм @10% PER 11 Мбит/с: -85 дБм @8% PER 6 Мбит/с: -88 дБм @10% PER 1 Мбит/с: -90 дБм @8% PER |
| Вид модуляции | DBPSK, DQPSK, CCK, OFDM, 16-QAM, 64-QAM |

Приложение Б

Описание настройки абонентских станций TP-Link TL-WN951N

Настройку станций пользователя осуществляют средствами ОС Windows 7. Для настройки необходимо кликнуть левой кнопкой мыши на значке беспроводного соединения рядом с часами Windows. При этом на экране появится окно со списком беспроводных сетей, работающих рядом с данной абонентской станцией (см. **рисунок б.ошибка! текст указанного стиля в документе отсутствует.**).

Для настройки беспроводного соединения необходимо нажать на ссылку **Центр управления сетями и общим доступом**. На экране появится окно настройки сетей и подключений. Для добавления нового беспроводного подключения требуется перейти по ссылке **Настройка нового подключения или сети** и выбрать пункт **Подключение к беспроводной сети вручную** (см. **рисунок б.22**).

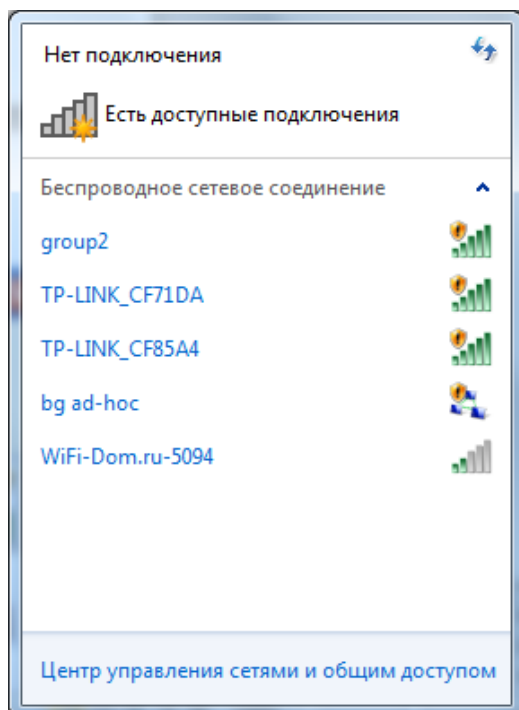


Рисунок Б.1 - Окно обзора беспроводных сетей

В открывшемся окне можно указать следующие параметры соединения (см. **рисунок б.3Б.3**):

6. **Имя сети (SSID).** Имя беспроводной сети, к которой будет производиться подключение. При работе в сети BSS имя должно совпадать с именем, заданным на точке доступа. При организации сети Ad-hoc (см. работу **Ошибка! Источник ссылки не найден.**) имя должно быть одинаковым для всех абонентских станций, объединяемых в сеть.

7. **Тип безопасности.** При выборе режима шифрования WEP или WPA-PSK необходимо ввести ключ сети.

8. **Тип шифрования.**

9. **Запускать это подключение автоматически** – настройка позволяет автоматически подключаться к беспроводной сети, при обнаружении ее в радиусе работы адаптера ПК.

10. **Подключаться, даже если сеть не производит широковещательную передачу** -

После заполнения настроек, требуется нажать кнопку **Далее**. Управление созданными сетями осуществляется в разделе **Панель управления\Сеть и Интернет\Управление беспроводными сетями**.

Для создания одноранговой сети типа ad-hoc при создании нового подключения требуется выбрать раздел **Настройка беспроводной сети компьютер-компьютер**.

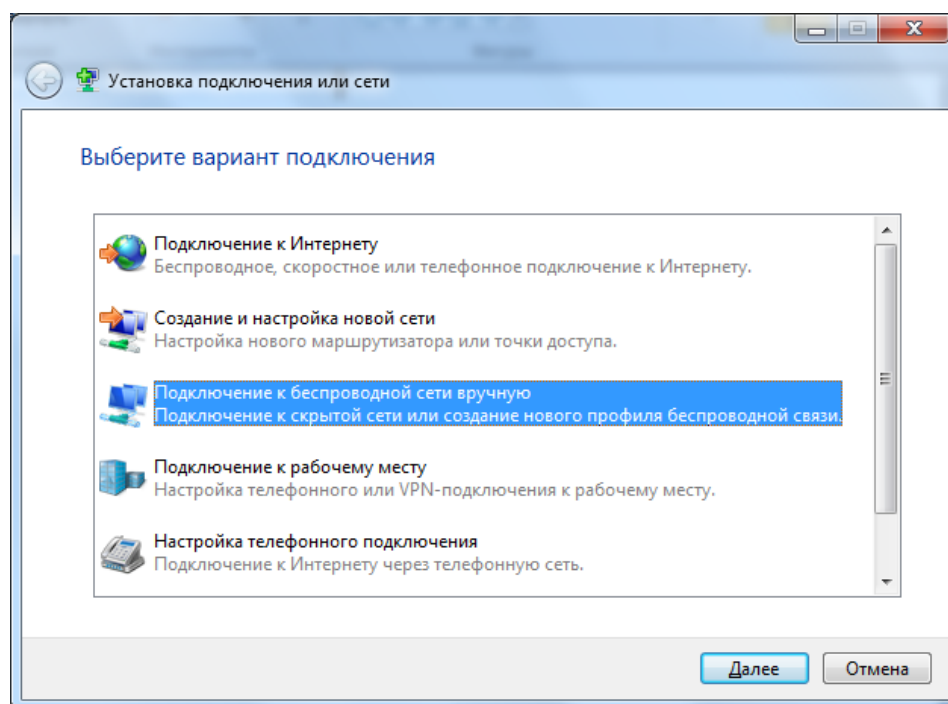


Рисунок Б.2 - Окно создания подключения или сети

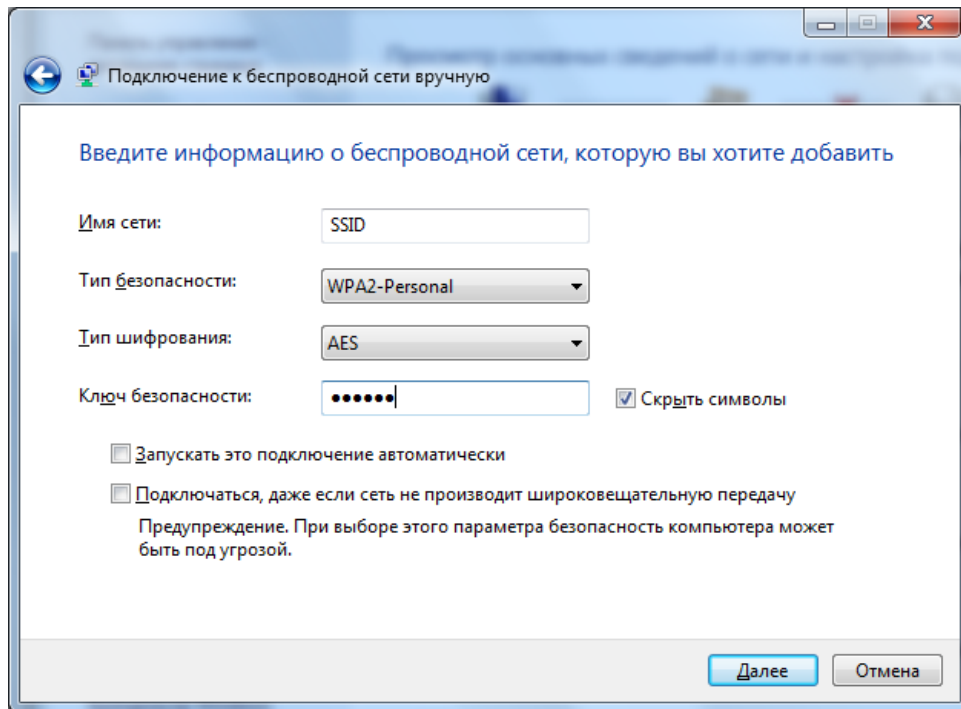


Рисунок Б.3 - Создание профиля беспроводной сети

Лабораторная работа № 7

Конфигурирование и настройка сети Wi-Fi с топологией ESS

1 Цель работы

Получение практических навыков создания сетей Wi-Fi с топологией ESS, а также исследование влияния различных факторов на пропускную способность беспроводной локальной сети.

2 Краткое описание топологии ESS

Топология *Extended Service Set* – (ESS) беспроводной локальной сети является более сложным методом построения распределенных сетей Wi-Fi. Данная топология позволяет создавать беспроводные сети, состоящие из нескольких точек доступа. При этом станции, подключенные к одной из точек, могут общаться со станциями, подключенными к другим точкам.

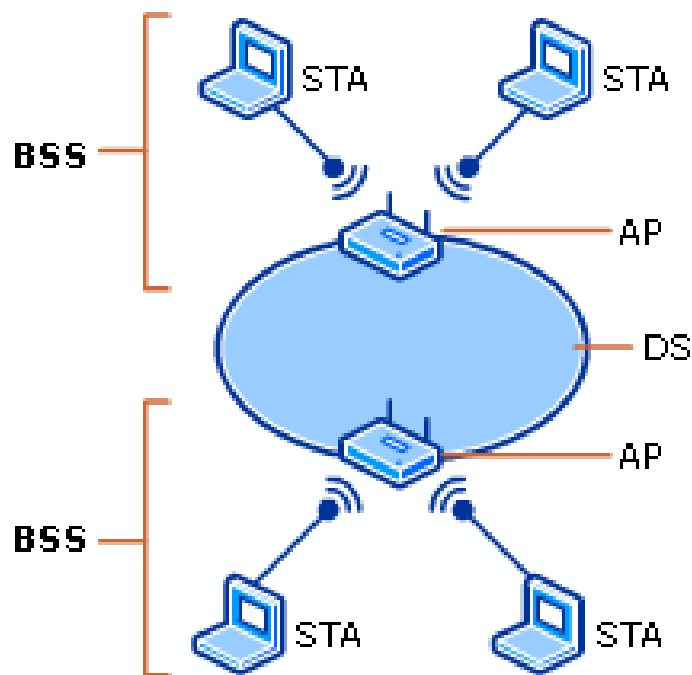


Рисунок 2 - Топология BSS

Точки доступа объединяются между собой с помощью распределительной системы (Distribution System – DS). В спецификациях стандарта IEEE 802.11 не оговаривается какой должна быть распределительная система. На практике чаще всего она создается с помощью проводной технологии Ethernet.

3 Лабораторное задание

Пользуясь описанием настройки точки доступа и станций пользователя (Приложения А, Б):

1. Развернуть сеть Wi-Fi с топологией ESS с заданными преподавателем характеристиками. Убедиться в том, что станции подключенные к одной точке доступа, могут передавать информацию на станции, подключенные к другим точкам доступа.
2. Измерить пропускную способность сети ESS.
3. Изучить влияние точек доступа, работающих на одном канале, на пропускную способность сети ESS.

4 Указания к выполнению работы

Внимание!

Перед выполнением лабораторной работы рекомендуется приостановить работу антивируса Kaspersky. Для этого достаточно выбрать значок

*антивируса на панели задач, нажать правой кнопкой мыши и выбрать пункт **Приостановка защиты и контроля...***

4.1 Развертывание сети ESS

1. Настроить точки доступа и абонентские станции в соответствии с заданием.

1.1 Подключение к точке доступа

Для настройки точки доступа можно использовать специальное программное обеспечение, поставляемое на диске, который прилагается к точке доступа при ее покупке. Однако для удобства пользователей точка доступа может быть сконфигурирована с помощью программы Internet Explorer (или любого другого интернет-браузера). Во втором случае возможна и удаленная настройка точки доступа.

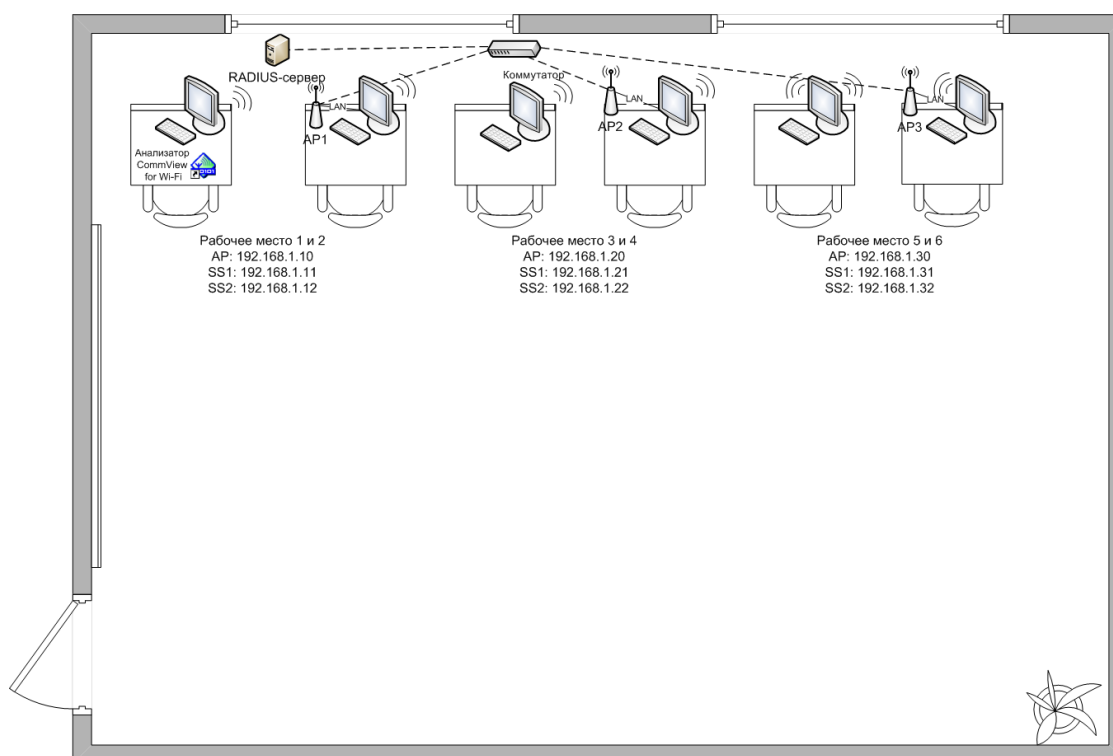


Рисунок 2 - Схема лабораторного помещения:

е) Задайте на проводном сетевом интерфейсе ПК, с которого осуществляется настройка точки доступа, следующие IP-адреса и маски подсетей:

Таблица 3 - IP-адреса и маски подсетей

| Параметр настройки | Задание для бригады | | |
|--------------------|---------------------|---------------|---------------|
| | 1 | 2 | 3 |
| IP-адрес ПК | 192.168.0.19 | 192.168.0.29 | 192.168.0.39 |
| Маска подсети | 255.255.255.0 | 255.255.255.0 | 255.255.255.0 |

ж) Подключите точку доступа к порту Ethernet ПК с помощью кабеля.

з) Запустите программу MS Internet Explorer (или любой другой браузер) и введите в поле адреса следующий IP-адрес: <http://192.168.0.1>.

и) Введите имя пользователя **admin**, пароль **admin**.

к) Пользуясь приложением к данной работе и открытым в окне браузера интерфейсом настройки точки доступа,

ознакомьтесь с основными элементами управления и группами настроек.

1.2 Приступить к настройке абонентских станций.

Каждая бригада настраивает сеть со следующими параметрами:

Таблица 4 – Параметры сети

| Параметр настройки | Задание для бригады | | |
|--------------------|---------------------|---------------|---------------|
| | 1 | 2 | 3 |
| Режим работы | Access Point | | |
| SSID | group1 | group2 | group3 |
| Канал | 2 | 4 | 8 |
| IP-адрес AP | 192.168.1.10 | 192.168.1.20 | 192.168.1.30 |
| IP-адреса SS | 192.168.1.11 | 192.168.1.21 | 192.168.1.31 |
| | 192.168.1.12 | 192.168.1.22 | 192.168.1.32 |
| IP-адрес ПК | 192.168.1.19 | 192.168.1.29 | 192.168.1.39 |
| Маска подсети | 255.255.255.0 | 255.255.255.0 | 255.255.255.0 |

16. Подключитесь к точке доступа через web-интерфейс (см. п. Подключение к точке доступа).

17. Перейдите в пункт меню **Wireless -> Wireless Settings**.

18. В поле **SSID** введите идентификатор зоны обслуживания в соответствии с заданием для вашей бригады (таблица 1).

19. В поле **Region** из выпадающего списка выберите **Russia**.

20. В поле **Channel** из выпадающего списка выберите номер канала в соответствии с заданием для вашей бригады (таблица 1).

21. Нажмите на кнопку **Save**, чтобы сохранить настройки.

22. Перейдите в пункт меню **Network -> LAN**.

и) В поле **IP Address** введите IP-адрес точки доступа в соответствии с заданием для вашей бригады (таблица 1).

к) В поле **Subnet Mask** введите маску подсети в соответствии с заданием для вашей бригады (таблица 1).

л) Нажмите на кнопку **Save**, чтобы сохранить настройки.

м) Перейдите в пункт меню **System tools -> Reboot** и нажмите на кнопку **Reboot**. Начнется перезагрузка точки доступа, чтобы применить все сделанные настройки.

н) Отключите точку доступа от ПК. Она должна работать автономно.

о) Настройте IP-адреса и маски подсетей на абонентских станциях в соответствии с заданием для вашей бригады (таблица 1). Настройка должна производиться для беспроводного соединения.

п) Подключите абонентские станции к точке доступа SSID вашей бригады.

р) С помощью команды `ping` проверьте, что станции слышат друг друга. Для этого в командной строке Windows введите команды `ping 192.168.1.XXX -t`, где вместо **XXX** подставляйте значения адресов точки доступа и других абонентских станций.

2. Подключить все точки доступа к коммутатору Ethernet с помощью кабелей.

3. На одном из ПК, подключенном к точке доступа по беспроводному соединению, открыть браузер и подключиться к веб-интерфейсу точки доступа.

4. Убедиться, что каждая точка доступа «слышит» все остальные точки доступа. Для этого перейдите в пункт меню **System Tools -> Diagnostic** и отправьте ping-запросы на все соседние точки доступа.

5. С каждой из абонентских станций с помощью команды `ping` проверить видимость всех сетевых устройств сети ESS (своей и других бригад).

4.2 Измерение пропускной способности сети

1. Начните передачу большого файла (рекомендуемый объем ~200 Мбайт) с абонентской станции 192.168.1.11 на станцию 192.168.1.21.

2. На каждой из станций нажмите на комбинацию клавиш **CTRL+SHIFT+ESC**, перейдите во вкладку **Сеть** и наблюдайте скорость приема/передачи информации.

3. Начните передачу большого файла (рекомендуемый объем ~200 Мбайт) с абонентской станции 192.168.1.32 на станцию 192.168.1.22.

4. Начните передачу большого файла (рекомендуемый объем ~200 Мбайт) с абонентской станции 192.168.1.12 на станцию 192.168.1.31.

5. Вычислите пропускную способность сети.

4.3 Изучение влияния точек доступа, работающих на одном канале, на пропускную способность сети

1. Настроить точки доступа и абонентские станции в соответствии с заданием лабораторной работы.

2. С каждой из абонентских станций с помощью команды `ping` проверить видимость всех сетевых устройств сети ESS (своей и других бригад).

3. Повторить измерение пропускной способности сети по аналогии с п. 0.

4. Зафиксировать изменение скорости передачи информации между станциями, работающими на одном канале.

5 Содержание отчета

Отчет к лабораторной работе должен содержать структурную схему исследуемой сети, графики изменения реальной скорости передачи от времени, а также выводы на их основе.

Приложение А

Описание настроек радиointерфейса беспроводного маршрутизатора TP-Link TL-WR841ND

Беспроводной маршрутизатор TP-Link TL-WR841ND включает в себя точку доступа Wi-Fi. Настройка точки доступа производится через web-интерфейс. Ниже описаны основные настройки и элементы управления беспроводной частью маршрутизатора. Остальные настройки не рассматриваются, т.к. не входят в область данного лабораторного практикума. Для получения более подробных сведений по настройке маршрутизатора можно обратиться к руководству пользователя на устройство.

Главное окно web-интерфейса настройки маршрутизатора (см. рисунок б.) содержит несколько областей: главное меню (слева), основное окно (в центре) и помощь (справа).

The screenshot displays the TP-Link web interface for a 300M Wireless N Router (Model No. TL-WR841N / TL-WR841ND). The interface is organized into three main vertical sections:

- Left Panel (Navigation Menu):** Contains a list of configuration categories: Status, Quick Setup, QSS, Network, Wireless, DHCP, Forwarding, Security, Parental Control, Access Control, Static Routing, Bandwidth Control, IP & MAC Binding, Dynamic DNS, and System Tools.
- Center Panel (Main Configuration Area):**
 - Status:** Shows Firmware Version: 3.11.0 Build 100325 Rel.32271n and Hardware Version: WR841N v5 00000000.
 - LAN:** Shows MAC Address: 94-0C-6D-4B-99-2E, IP Address: 192.168.1.1, and Subnet Mask: 255.255.255.0.
 - Wireless:** Shows Wireless Radio: Enable, Name (SSID): TP-LINK_4B992E, Channel: Auto (Current channel 7), Mode: 11bgn mixed, Channel Width: Automatic, Max Tx Rate: 300Mbps, MAC Address: 94-0C-6D-4B-99-2E, and WDS Status: Disable.
- Right Panel (Status Help):** Provides explanatory text and a list of bullet points:
 - LAN:** Explains that parameters apply to the LAN port and can be configured in the Network -> LAN page.
 - MAC Address:** Explains it is the physical address of the Router.
 - IP Address:** Explains it is the LAN IP address of the Router.
 - Subnet Mask:** Explains it is the subnet mask associated with the LAN IP address.
 - Wireless:** Explains these are current settings or information for Wireless, which can be configured in the Wireless -> Wireless Settings page.
 - Wireless Radio:** Explains it indicates whether the wireless radio feature is enabled or disabled.

Рисунок А. Ошибка! Текст указанного стиля в документе отсутствует. - Главное окно настройки маршрутизатора

Настройки точки доступа Wi-Fi расположены в меню **Wireless**. После выбора этого пункта меню открывается окно с базовыми настройками беспроводного интерфейса маршрутизатора (см. рисунок а.А.2).

Wireless Settings

SSID: TP-LINK_4B992E

Region: United States

Warning: Ensure you select a correct country to conform local law. Incorrect settings may cause interference.

Channel: Auto

Mode: 11bgn mixed

Channel Width: Automatic

Max Tx Rate: 300Mbps

Enable Wireless Router Radio

Enable SSID Broadcast

Enable WDS

SSID(to be bridged):

BSSID(to be bridged): Example:00-1D-0F-11-22-33

Key type: None

WEP Index: 1

Auth type: open

Password:

Рисунок А.2 - Базовые настройки беспроводного интерфейса маршрутизатора

В данном окне можно указать следующие параметры настройки:

16. **SSID** (*идентификатор зоны обслуживания*). Точка доступа передает данный идентификатор в кадрах маяка, ко-

торый принимают все пользовательские станции в зоне обслуживания. По SSID абонентские станции могут выбрать сеть, к которой они хотят подключиться. Именно этот идентификатор высвечивается в окне поиска доступных точек доступа при настройке абонентских станций. Другими словами он представляет собой «название» зоны обслуживания сети Wi-Fi.

17. **Region** (*регион*). В разных странах существуют ограничения по числу разрешенных радиоканалов и уровню излучаемой мощности устройств Wi-Fi. В данном поле можно выбрать страну, где сейчас работает точка доступа. При этом число разрешенных каналов и максимальный уровень мощности будут выставлены на устройстве автоматически.

18. **Channel** (*канал*). В данном поле задается номер канала, на который настроена точка доступа. В России пользователь может выбрать один из 13 стандартных каналов, указанных в спецификациях IEEE 802.11.

Канал может быть задан автоматически. При этом точка доступа просканирует диапазон на наличие других устройств Wi-Fi, работающих рядом. Для этого следует выбрать в поле режим **Auto** (*автоматическая установка канала*).

При выборе канала вручную необходимо учитывать другие точки доступа, которые работают поблизости. Для того чтобы посмотреть, какие точки доступа включены рядом, можно использовать ПО CommView for Wi-Fi или другие программные продукты (например NetStumbler или InSSIDer). При этом следует избегать установленного по умолчанию канала 6, так как именно на этом канале наиболее вероятна работа других точек доступа.

19. **Mode** (*режим работы физического уровня*). Точка доступа позволяет работать в рамках одного определенного физического уровня или их комбинации:

- a. **11b only** — только в режиме IEEE 802.11b
- b. **11g only** — только в режиме IEEE 802.11g
- c. **11n only** — только в режиме IEEE 802.11n

d. **11bg mixed** — в режимах IEEE 802.11b и 802.11g

e. **11bgn mixed** — в режимах IEEE 802.11b, 802.11g и IEEE 802.11n

20. **Channel Width** (*ширина радиоканала*). В поле может быть задана определенная ширина радиоканала 20 или 40 МГц, а также автоматический выбор ширины канала (*Automatic*).

21. **Max Tx Rate** (*максимальная скорость передачи на физическом уровне*). Пользователь может выбрать одну из перечисленных скоростей передачи. Следует обратить внимание, что скорость выбирается на физическом уровне. Т.е. эта скорость определяет вид множественного доступа, модуляции и кодирования, а значит и помехоустойчивость.

22. **Enable Wireless Router Radio** (*включить беспроводной интерфейс*). Включает или отключает беспроводной интерфейс маршрутизатора.

23. **Enable SSID Broadcast** (*включить широковещание SSID*). Включает или отключает передачу SSID в широковещательном режиме в кадрах маяка.

24. **Enable WDS** (*включить режим WDS*). Включает или отключает режим WDS (режим распределенной беспроводной системы — один из способов организации сети с топологией ESS). При включении данной опции в окне появляется еще несколько настроек, описанных ниже.

25. **SSID (to be bridged)** (SSID другой точки доступа в ESS-сети). Здесь указывают SSID другой точки доступа, с которой производится соединение по топологии ESS.

26. **BSSID (to be bridged)** (MAC-адрес другой точки доступа в ESS-сети).

При наличии шифрования в радиоканале между точками доступа необходимо настроить его параметры:

27. **Key type** (*тип ключа*). Можно выбрать, с помощью какого алгоритма будет производиться шифрование: WEP или WPA.

28. **WEP Index** (*индекс ключа WEP*). Задает, какой номер ключа WEP используется для шифрования.

29. **Auth type** (*тип аутентификации*). Задаёт тип аутентификации при использовании шифрования WEP: открытая или с совместно используемыми ключами.

30. **Password** (*пароль*). В данное поле вводится ключ WEP или пароль WPA.

Для настройки шифрования и аутентификации необходимо перейти в пункт меню **Wireless -> Wireless Security**.

Wireless Security

Disable Security

WEP

Type: Automatic

WEP Key Format: Hexadecimal

| Key Selected | WEP Key | Key Type |
|------------------------------|---------|----------|
| Key 1: <input type="radio"/> | | Disabled |
| Key 2: <input type="radio"/> | | Disabled |
| Key 3: <input type="radio"/> | | Disabled |
| Key 4: <input type="radio"/> | | Disabled |

WPA/WPA2

Version: Automatic

Encryption: Automatic

Radius Server IP:

Radius Port: 1812 (1-65535, 0 stands for default port 1812)

Radius Password:

Group Key Update Period: 0 (in second, minimum is 30, 0 means no update)

WPA-PSK/WPA2-PSK

Version: Automatic

Encryption: Automatic

PSK Password:

(You can enter ASCII characters between 8 and 63 or Hexadecimal characters between 8 and 64.)

Group Key Update Period: 0 (in second, minimum is 30, 0 means no update)

Рисунок А.3 - Окно настроек шифрования и аутентификации

В данном окне можно указать следующие параметры настройки:

5. **Disable Security** (*отключить функции защиты*). Выбор данной опции позволяет отключить шифрование и аутентификацию в радиоканале.

6. **WEP** (*настройка защиты по технологии WEP*). Выбор данной опции позволяет включить механизм защиты WEP и настроить его параметры:

а. **Type** (*тип аутентификации*). Можно выбрать один из методов: **Open System** — *открытая*, **Shared Key** — *с помощью совместно используемых ключей*.

б. **WEP Key Format** (*формат ключа шифрования*). Можно выбрать, в каком формате будет введен ключ: **Hexadecimal** (*шестнадцатеричный формат*) или **ASCII** (*формат ASCII*).

с. **Key Selected** (*выбранные ключи*). В данной области можно указать сам ключ и его длину в поле **Key Type** (*64, 128 или 152 бит*). Всего может быть задано до 4 различных ключей в полях **Key 1 – Key 4**. При этом одновременно использоваться может только один ключ.

7. **WPA/WPA2** (*настройка защиты по технологии WPA/WPA2*). Выбор данной опции позволяет включить механизм защиты WPA и настроить его параметры:

а. **Version** (*версия протокола WPA*). Можно выбрать либо WPA, либо WPA2.

б. **Encryption** (*шифрование*). Можно выбрать либо TKIP, либо AES.

с. **Radius Server IP** (*IP-адрес сервера RADIUS*).

д. **Radius Server Port** (*порт сервера RADIUS*).

е. **Radius Password** (*пароль для сервера RADIUS*).

ф. **Group Key Update Period** (*период обновления группового ключа*).

8. **WPA-PSK/WPA2-PSK** (*настройка защиты по технологии WPA-PSK/WPA2-PSK*). Выбор данной опции позволяет включить механизм защиты WPA и настроить его параметры:

а. **Version** (*версия протокола WPA*). Можно выбрать либо WPA-PSK, либо WPA2-PSK.

б. **Encryption** (*шифрование*). Можно выбрать либо TKIP, либо AES.

с. **PSK Password** (*пароль*).

d. **Group Key Update Period** (*период обновления группового ключа*).

Важным дополнительным средством обеспечения безопасности в беспроводной сети является фильтрация по MAC-адресам. Для настройки фильтрации перейдите в меню **Wireless -> Wireless MAC Filtering** (см. рисунок А.4).

Wireless MAC Filtering

Wireless MAC Filtering: **Disabled**

Filtering Rules

Allow the stations not specified by any enabled entries in the list to access.

Deny the stations not specified by any enabled entries in the list to access.

| ID | MAC Address | Status | Description | Modify |
|----|-------------------|---------|------------------|---|
| 1 | 66-44-77-88-98-52 | Enabled | TP-LINK_Wireless | Modify Delete |
| 2 | 00-00-00-00-00-11 | Enabled | TP-LINK_903J | Modify Delete |

Рисунок А.4 - Настройка фильтрации по MAC-адресам

Для включения фильтрации по MAC-адресам необходимо нажать на кнопку **Enable** в поле **Wireless MAC Filtering**.

Фильтр может работать в двух режимах: разрешение подключения перечисленных станций к точке доступа (**Allow**) или запрещение подключения перечисленных станций (**Deny**).

Для того чтобы добавить определенный MAC-адрес в список, необходимо нажать на кнопку **Add New...** При этом на экране появится окно (см. **Ошибка! Источник ссылки не найден.** унок А.5), в котором необходимо ввести MAC-адрес станции (в поле **MAC**

Address), комментарий к записи (в поле **Description**) и состояние записи (в поле **Status**).

The screenshot shows a web interface for adding or modifying a wireless MAC address filtering entry. The title bar is green and contains the text 'Add or Modify Wireless MAC Address Filtering entry'. Below the title bar, there are three input fields: 'MAC Address' (empty), 'Description' (empty), and 'Status' (set to 'Enabled'). At the bottom, there are two buttons: 'Save' and 'Back'.

Рисунок А.5 - Добавление фильтра по MAC-адресу

Для настройки дополнительных параметров беспроводного интерфейса перейдите в меню **Wireless -> Wireless Advanced** (см. **Ошибка! Источник ссылки не найден.**).

The screenshot shows the 'Wireless Advanced' configuration page. The title bar is green and contains the text 'Wireless Advanced'. Below the title bar, there are several configuration options: 'Transmit Power' (set to 'High'), 'Beacon Interval' (100), 'RTS Threshold' (2346), 'Fragmentation Threshold' (2346), and 'DTIM Interval' (1). There are also three checkboxes: 'Enable WMM' (checked), 'Enable Short GI' (checked), and 'Enable AP Isolation' (unchecked). At the bottom, there is a 'Save' button.

Рисунок А.6 - Настройка дополнительных параметров радиоинтерфейса

В данном окне можно указать следующие параметры настройки:

9. **Transmit Power** (*мощность излучения*). – используют для установки одной из возможных мощностей излучения. В дан-

ной точке доступа предусмотрено три градации мощности излучения: высокий, средний и низкий.

10. **Beacon Interval** (*маячковый интервал*) – номинальный период² следования кадров маяка в мс. Рекомендованное значение для этого параметра составляет 100 мс.

11. **RTS Threshold** (*длина пакета, при которой происходит активация механизма RTS/CTS*). Устанавливает минимальное значение длины кадра в байтах, для передачи которого будет использован механизм RTS/CTS.

12. **Fragmentation Threshold** (*длина фрагмента*) – значение длины пакета в байтах, при превышении которой данный пакет будет фрагментирован. По умолчанию эта длина составляет 2346 байт.

13. **DTIM Interval** (*интервал Delivery Traffic Indication Message*) – установка счетчика окон для прослушивания широковещательных и групповых сообщений в маячковых интервалах. По умолчанию для данного счетчика устанавливают значение, равное 1.

14. **Enable WMM** (*включить поддержку QoS*). Позволяет включить или отключить поддержку спецификации IEEE 802.11e, вводящей приоритеты обслуживания станций и различные типы трафика для обеспечения QoS. Данный режим необходимо использовать при передаче мультимедиа трафика.

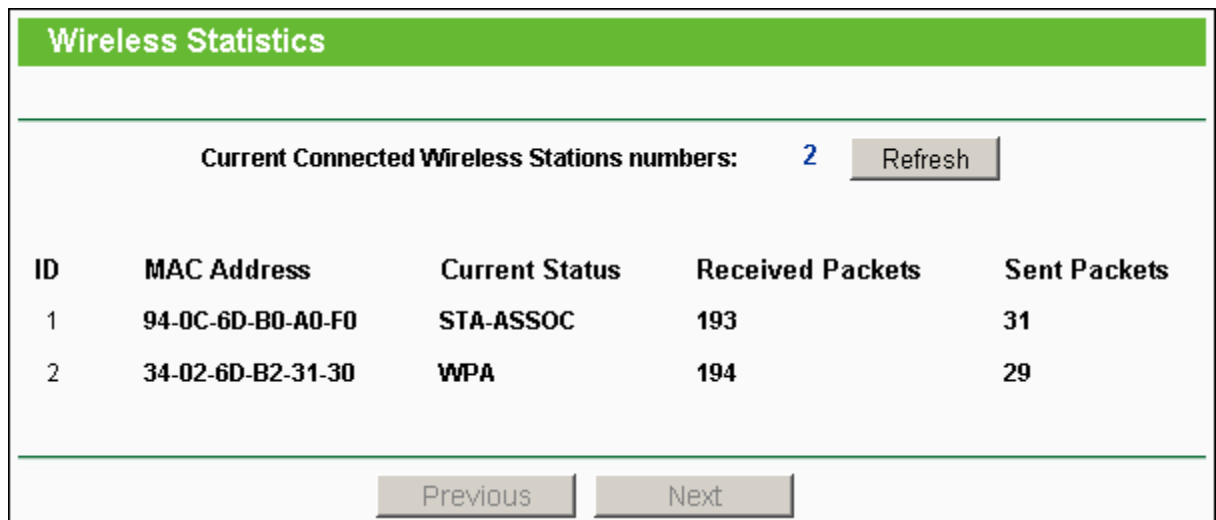
15. **Enable Short GI** (*использовать короткий защитный интервал OFDM-символов*). Позволяет включить или отключить использование короткого защитного интервала OFDM-символов. При включении данной опции маршрутизатор будет использовать короткие защитные интервалы 400 нс вместо стандартных 800 нс. При этом повысится скорость передачи на физическом уровне, но упадет помехоустойчивость системы.

16. **Enable AP Isolation** (*включить изоляцию точки доступа*). Позволяет включить или отключить дополнительную функцию защиты абонентских станций. При включении данной функции абонентские станции, подключенные к одной точке доступа, не

² На практике период следования кадров маяка может оказаться непостоянным. Передача кадра маяка может быть задержана, если в отведенный для этого момент среда занята передачей другого кадра. В таком случае кадр маяка будет передан по окончании передачи другого кадра.

смогут получать доступ друг к другу. Этот режим может использоваться при развертывании сети в общественных местах.

Для просмотра статистики по использованию точки доступа необходимо перейти в пункт меню **Wireless -> Wireless Statistics** (см. **Ошибка! Источник ссылки не найден.** унок А.7).



The screenshot shows a web interface titled "Wireless Statistics". At the top, there is a green header bar with the title. Below the header, the text "Current Connected Wireless Stations numbers:" is followed by the number "2" and a "Refresh" button. A table with five columns is displayed: "ID", "MAC Address", "Current Status", "Received Packets", and "Sent Packets". The table contains two rows of data. At the bottom of the interface, there are "Previous" and "Next" buttons.

| ID | MAC Address | Current Status | Received Packets | Sent Packets |
|----|-------------------|----------------|------------------|--------------|
| 1 | 94-0C-6D-B0-A0-F0 | STA-ASSOC | 193 | 31 |
| 2 | 34-02-6D-B2-31-30 | WPA | 194 | 29 |

Рисунок А.7 - Статистика использования точки доступа

Приложение Б

Описание настройки абонентских станций TP-Link TL-WN951N

Настройку станций пользователя осуществляют средствами ОС Windows 7. Для настройки необходимо кликнуть левой кнопкой мыши на значке беспроводного соединения рядом с часами Windows. При этом на экране появится окно со списком беспроводных сетей, работающих рядом с данной абонентской станцией (см. рисунок б.ошибка! текст указанного стиля в документе отсутствует.).

Для настройки беспроводного соединения необходимо нажать на ссылку **Центр управления сетями и общим доступом**. На экране появится окно настройки сетей и подключений. Для добавления нового беспроводного подключения требуется перейти по ссылке **Настройка нового подключения или сети** и выбрать пункт **Подключение к беспроводной сети вручную** (см. см. рисунок б.ошибка! текст указанного стиля в документе отсутствует.2).

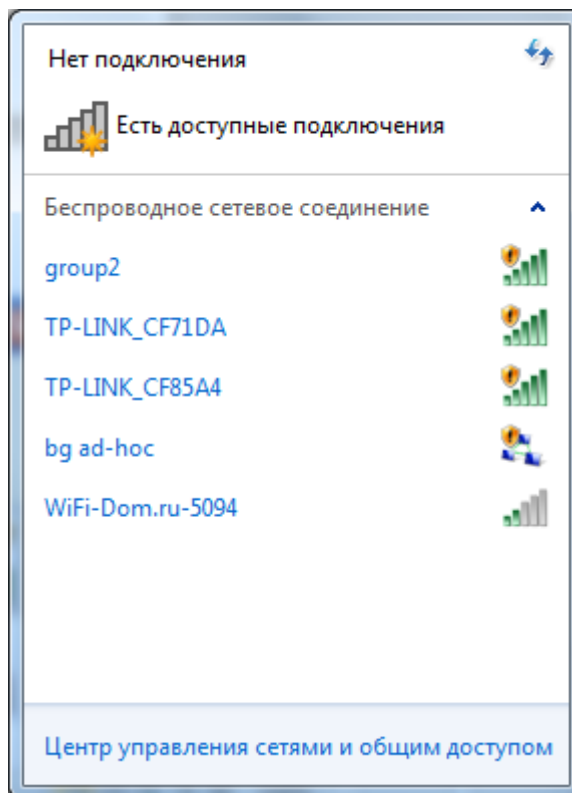


Рисунок Б.Ошибка! Текст указанного стиля в документе отсутствует. - Окно обзора беспроводных сетей

В открывшемся окне можно указать следующие параметры соединения (см. рисунок б.3):

11. **Имя сети (SSID).** Имя беспроводной сети, к которой будет производиться подключение. При работе в сети BSS имя должно совпадать с именем, заданным на точке доступа. При организации сети Ad-hoc имя должно быть одинаковым для всех абонентских станций, объединяемых в сеть.

12. **Тип безопасности.** При выборе режима шифрования WEP или WPA-PSK необходимо ввести ключ сети.

13. **Тип шифрования.**

14. **Запускать это подключение автоматически** – настройка позволяет автоматически подключаться к беспроводной сети, при обнаружении ее в радиусе работы адаптера ПК.

15. **Подключаться, даже если сеть не производит широковещательную передачу**

После заполнения настроек, требуется нажать кнопку **Далее**. Управление созданными сетями осуществляется в разделе **Панель управления\Сеть и Интернет\Управление беспроводными сетями**.

Для создания одноранговой сети типа ad-hoc при создании нового подключения требуется выбрать раздел **Настройка беспроводной сети компьютер-компьютер**.

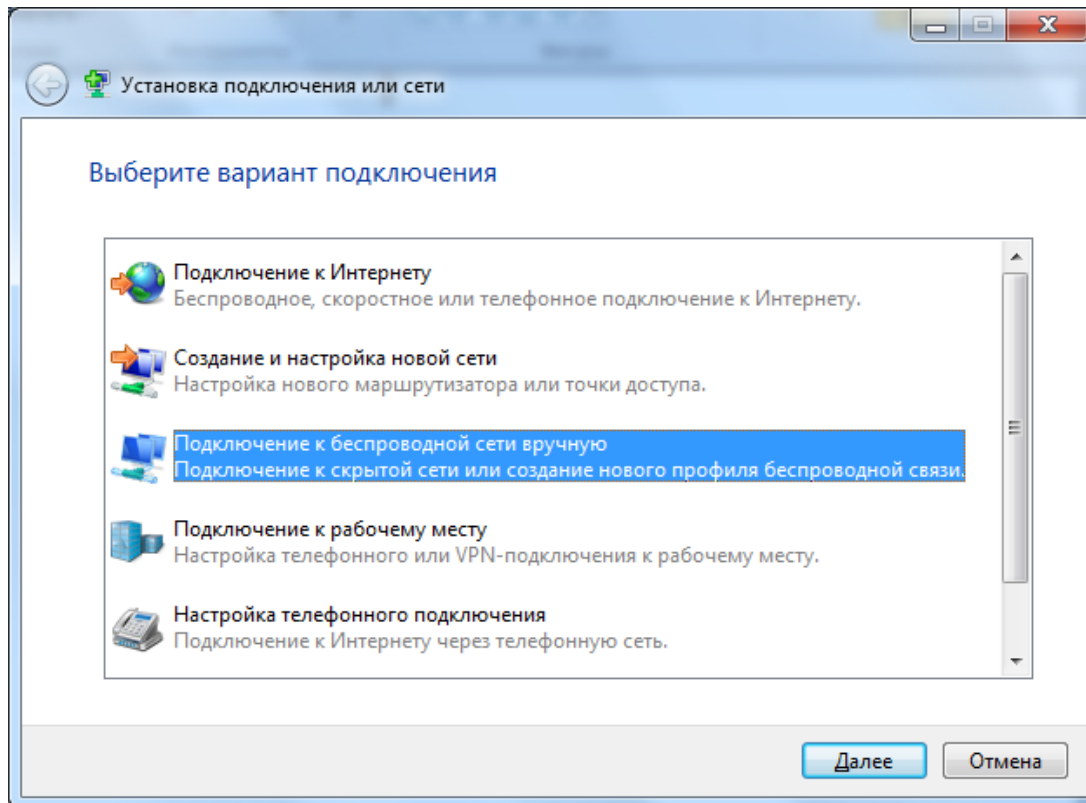


Рисунок Б.2 - Окно создания подключения или сети

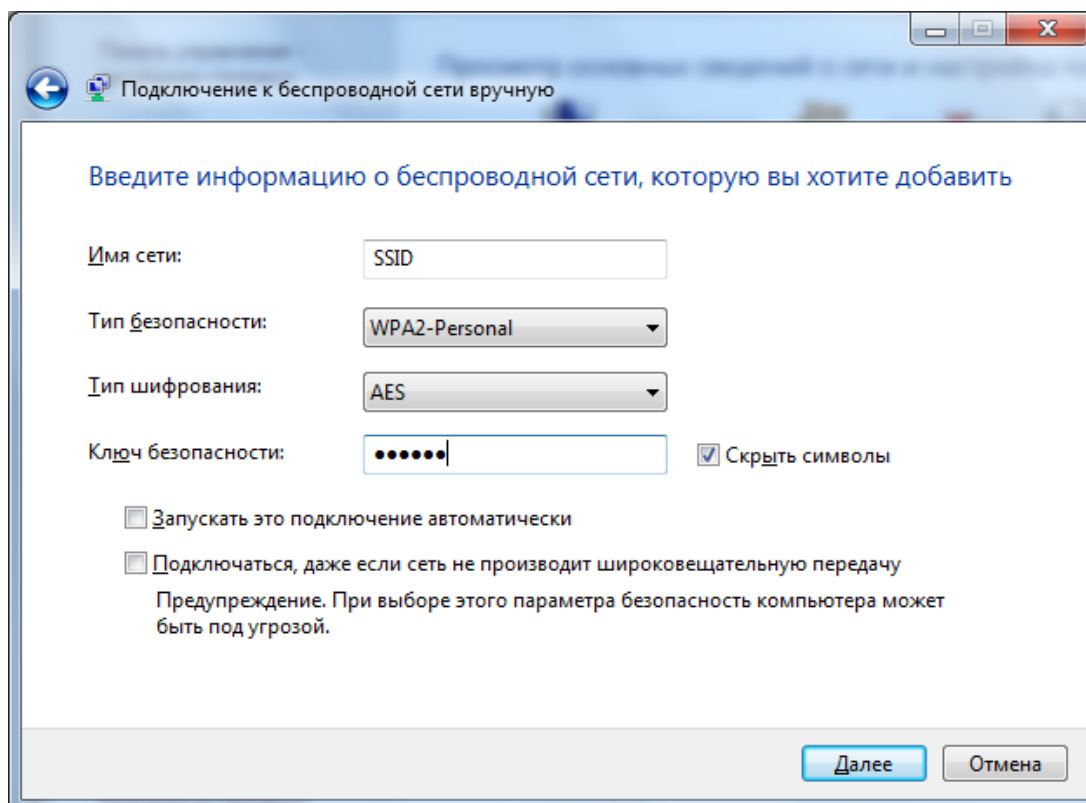


Рисунок Б.3 - Создание профиля беспроводной сети

Контрольные вопросы

1. В чем заключается механизм защиты WEP?
2. Точка доступа позволяет работать в рамках определенного физического уровня или их комбинации, какого?
3. В России пользователь может выбрать один из скольких стандартных каналов, указанных в спецификациях IEEE 802.11?

Лабораторная работа №8

Расчет параметров сети мобильного доступа WiMAX

Цель работы:

1. Показать, какие особенности и рекомендации стандарта IEEE 802.16e следует учитывать при моделировании сети связи, а также определить минимальный набор характеристик для проектирования сети Mobile WiMAX.

2. Провести расчет сети беспроводного доступа заданного района города, либо прилегающей к городу сельской местности при заданных исходных данных.

Общие исходные данные для расчета

Сеть проектируется для городского района площадью – выбрать из варианта задания Приложение А, высоты подвеса антенн БС и АС – выбрать из варианта задания Приложение А. Оператору связи выделен частотный ресурс в диапазоне – выбрать из варианта задания Приложение А, ширина канала – выбрать из варианта задания Приложение А.

а) 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.

б) Параметры БС: Оборудование БС выбрано с поддержкой технологии MIMO с двумя антеннами – на прием и передачу, мощность излучения выбрать из варианта задания Приложение А, КУ антенн – выбрать из варианта задания Приложение А, конфигурация - 4-секторная.

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

Варианты индивидуальных исходных данных для выполнения работы приведены в Приложении А (Таблицы А1, А2, А3).

Теоретические сведения

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 рассчитывается как произведение ширины канала BW , числа используемых поднесущих ($N_{исп}$), полного числа поднесущих OFDM сигнала ($N_{всего}$) и коэффициента дискретизации (n) [1]. Значения исходных данных для каждой ширины канала $N_{исп}$ и $N_{всего}$ содержатся в таблице 1.

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

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

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. Таблица 2 содержит перечень схем модуляций, утвержденных стандартом WiMAX, и их требования к отношению сигнал/шум ($K_{c/u}$). Значения $K_{c/u}$ 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 | $K_{c/u}$ при СК, дБ | $K_{c/u}$ при СТК, дБ | Количество бит на символ, $R_{\text{сим}}$ |
|-----------------|----------------------|-----------------------|--|
| 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_I), 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

$$P_{\text{прм } 0} = -174 + 10\log[BWn(N_{\text{исп}}/N_{\text{всего}})] + K_{c/ш} + K_{ш} + L_l, \quad (2)$$

где коэффициент шума $K_{ш} = 7$ 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 [2].

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. Таблица 3 содержит значения поправочного коэффициента U_C .

Таблица 3 - Значения поправочного коэффициента U_C от типа застройки

| 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

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

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

P_{A0AC} - чувствительность приемника АС, дБм;

$G_{Tx \text{ БС}}$ - коэффициент усиления антенны передатчика БС, дБ;

G_{RxAC} - коэффициент усиления антенны приемника АС, дБ;

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 (АС → БС) бюджет линии имеет вид

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

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

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

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

λ - длина волны, м;

s - уровень затенения сигнала;

ΔL_f - поправочный коэффициент для частоты;

ΔL_h - поправочный коэффициент для высоты антенны АС, 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 (таблица 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:

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

где f - частота радиосигнала, МГц.

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

$$\begin{aligned} \Delta L_h &= 10,8 \log_{10}(h/2) \text{ для } A \text{ и } B \text{ типов,} \\ \Delta L_h &= -20 \log_{10}(h/2) \text{ для } C \text{ типа,} \end{aligned} \quad (7)$$

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. 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 [2,3]. Тогда по формуле (8), можно рассчитать скорость передачи данных по направлению вниз (БС \rightarrow АС):

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

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):

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

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

$K_{TDD UL}$ - 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 802.16е также предусматриваются значения защитного интервала 1/4, 1/8, 1/16, 1/32. Соотношение между направлениями вниз/вверх позволяет регулировать отношение скоростей. Значения $N_{дан UL}$, $N_{дан DL}$, $N_{всего}$ были приведены выше в таблице 1, значение $R_{сим}$ зависит от выбранной схемы модуляции (смотреть таблицу 2) [4].

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):

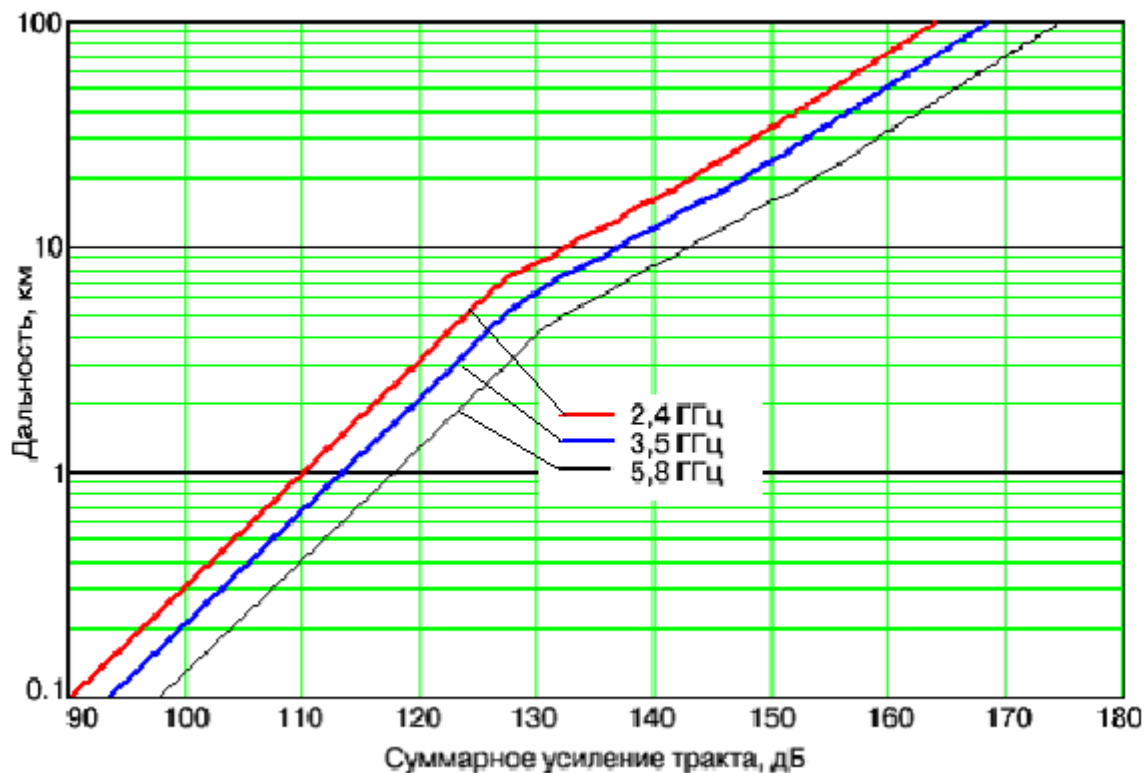


Рисунок 1 -График зависимости дальности связи от суммарного усиления тракта

6. Расчет количества БС

Расчет количества БС для заданной зоны обслуживания осуществить исходя из предположения, что вся площадь зоны покрытия сети WiMax должна быть покрыта БС с площадью обслуживания одной БС, равной

$$S_{\text{БС}} = \frac{3}{2} * \sqrt{3} * R_{\text{БС}}^2 \quad (10)$$

где $R_{\text{БС}}$ (км) – радиус зоны обслуживания одной БС, полученный на основании графика, представленного на рисунке 1.

Тогда, минимальное количество БС, необходимое для покрытия заданной территории определяется из выражения

$$N_{\text{БС}} \geq S_z / S_{\text{БС}} * 1,2 \quad (11)$$

Порядок выполнения работы

На основе исходных данных, определенных в соответствии с вариантом задания, провести расчет минимального набора характеристик для проектирования сети Mobile WiMAX.

а) Используя данные таблиц 1 и 2 провести расчет чувствительности приемника базовой станции в соответствии с формулой 2.

При расчете чувствительности, для нечетных вариантов, использовать значения $K_{c/w}$ (таблица 2) для сверточного кодирования (СК), для четных вариантов – значения $K_{c/w}$ (таблица 2) для сверточного турбокодирования (СТК).

б) Для расчета дальности связи провести расчет значений бюджета для нисходящего (DL) и восходящего (UL) направлений в соответствии с формулой (2). При расчете учесть значения поправочного коэффициента U_C , определяемого исходя из плотности застройки для заданного варианта.

в) Для расчета оптимального расстояния от базовой станции до абонента необходимо рассчитать уровень потерь при распространении радиоволн по формуле (5). При расчете для заданного варианта учесть значения поправочных коэффициентов, определяемых типом местности и частотой радиосигнала (формулы (6) и (7)).

г) Используя исходные данные, определяющие: длительность защитного интервала символа T_g , отношение распределения ресурсов вниз/вверх (DL/UL) и время передачи протокольной информации (T_h), по формулам (8) и (9), рассчитать скорость передачи данных по направлению вниз (БС → АС) и по направлению вверх (АС → БС).

д) На основании расчетов суммарного усиления тракта, компенсирующего потери на трассе распространения, по графику, представленному на рисунке 1, определить соответствующую этому значению дальность связи $R_{БС}$ (км).

е) Используя полученные значения радиуса зоны обслуживания одной БС, рассчитать минимальное количество БС, необходимое для покрытия заданной территории.

Содержание отчета

По результатам выполнения работы в отчете нужно представить:

- а) исходные данные в соответствии с вариантом.
- Номер зачетной книжки
 - № варианта.....
 - Исходные данные для расчета, по форме, представленной ниже

| | |
|--|------|
| Территория зоны обслуживания | .... |
| Ландшафт местности | .... |
| Частотный диапазон (МГц) | .... |
| Высота антенны базовой станции H_{Base} , (м) | .... |
| Высота антенны мобильной станции H_{Mobile} , (м) | .... |
| Площадь зоны обслуживания S_z , (Км ²) | .... |
| Данные оборудования базовой станции: | .... |
| - Мощность передатчика БС дБм | .... |
| - К-т усиления приемной/передающей антенны, дБ | .... |
| - Ширина канала | .... |
| - Вид модуляции | .... |
| - Вид кодирования/скорость кодирования | .... |

б) Ход производимых расчетов.

в) Таблицу результатов расчетов для выбранных исходных данных.

| | |
|--|------|
| Чувствительности приемника базовой станции | .... |
| Скорость передачи данных по направлению вниз (БС →АС) (Кбит/сек) | .... |
| Скорость передачи данных по направлению вверх (АС →БС) (Кбит/сек) | .... |
| Бюджет нисходящего (DL) направления (дБ) | .... |
| Бюджет восходящего (UL) направления (дБ) | .... |
| Дальность связи $R_{БС}$ (км) | .... |
| Количество БС | .... |

Приложение А
Исходные данные

Таблица А1 - Варианты исходных данных для выполнения работы

| Вариант* | | Ландшафт местности | Частотный диапазон, МГц | Высота антенны базовой станции H_{Base} , м | Высота антенны мобильной станции H_{Mobile} , м | Площадь зоны обслуживания S_z , Km^2 |
|----------|-------------------------------------|------------------------------------|-------------------------|---|---|--|
| 1 | Городская застройка (большой город) | Равнина | 2300 | 40 | 2.6 | 120 |
| 2 | Пригород | Равнина с редкими холмами | 3530 | 50 | 1.5 | 40 |
| 3 | Сельский открытый участок | Равнина | 2350 | 80 | 1.6 | 30 |
| 4 | Городская застройка (средний город) | Холмистая местность | 2500 | 55 | 1.6 | 60 |
| 5 | Городская застройка (большой город) | Равнина с редкими холмами | 2670 | 35 | 2.5 | 170 |
| 6 | Пригород | Равнина, редкий лес | 5840 | 60 | 1.5 | 80 |
| 7 | Сельский открытый участок | Равнина с редкими холмами | 2680 | 45 | 1.6 | 40 |
| 8 | Городская застройка (средний город) | Равнина | 2550 | 34 | 2.5 | 45 |
| 9 | Городская застройка (большой город) | Равнина, редкий лес | 3600 | 45 | 2.6 | 80 |
| 10 | Пригород | Равнина | 2400 | 90 | 1.6 | 60 |
| 11 | Сельский открытый участок | Холмистая местность, умеренный лес | 2550 | 45 | 1.5 | 15 |
| 12 | Городская застройка (средний город) | Холмистая местность | 5850 | 40 | 2.3 | 65 |
| 13 | Сельский открытый участок | Равнина | 2680 | 45 | 1.5 | 45 |
| 14 | Пригород | Холмистая местность, умеренный лес | 2300 | 65 | 1.6 | 70 |
| 15 | Сельский открытый участок | Равнина с редкими холмами | 2540 | 80 | 1.5 | 35 |

| | | | | | | |
|----|-------------------------------------|------------------------------------|------|-----|-----|-----|
| 16 | Городская застройка (средний город) | Равнина | 2650 | 40 | 1.5 | 55 |
| 17 | Городская застройка (средний город) | Равнина | 5860 | 30 | 2.5 | 35 |
| 18 | Городская застройка (большой город) | Холмистая местность, умеренный лес | 2300 | 45 | 1.5 | 90 |
| 19 | Городская застройка (большой город) | Равнина с редкими холмами | 3550 | 40 | 1.6 | 70 |
| 20 | Пригород | Равнина с редкими холмами | 2350 | 50 | 1.6 | 45 |
| 21 | Сельский полуоткрытый | Холмистая местность, умеренный лес | 2660 | 60 | 1.5 | 20 |
| 22 | Городская застройка (средний город) | Равнина с редкими холмами | 5800 | 35 | 2.6 | 19 |
| 23 | Городская застройка (большой город) | Равнина | 2595 | 120 | 2.5 | 100 |
| 24 | Пригород | Равнина, редкий лес | 2540 | 75 | 1.5 | 50 |
| 25 | Сельский полуоткрытый | Холмистая местность, умеренный лес | 2650 | 85 | 1.6 | 35 |

*Вариант определяется по формуле:

$V = \frac{\text{сумма первой и последней цифр зачетной книжки}}{\text{разность первой и последней цифр зачетной книжки}}$

Таблица А2 - Данные оборудования базовой станции

| Вариант антенн** | Мощность передатчика БС $P_{Tx\ BC}$ дБм | К-т усиления приемной/передающей антенны, $G_{Tx\ BC} / G_{Rx\ BC}$ дБ | Потери в фидере L_f дБ |
|------------------|--|--|--------------------------|
| 1 | 20 | 13 | 3 |
| 2 | 27 | 18 | 3 |
| 3 | 25 | 16 | 3 |
| 4 | 23 | 12 | 3 |
| 5 | 26 | 14 | 3 |
| 6 | 22 | 16 | 3 |
| 7 | 28 | 14 | 3 |
| 8 | 25 | 11 | 3 |
| 9 | 20 | 16 | 3 |
| 10 | 23 | 13 | 3 |
| 11 | 25 | 12 | 3 |

| | | | |
|----|----|----|---|
| 12 | 22 | 15 | 3 |
| 13 | 20 | 13 | 3 |
| 14 | 25 | 12 | 3 |
| 15 | 25 | 16 | 3 |
| 16 | 23 | 11 | 3 |
| 17 | 26 | 12 | 3 |
| 18 | 22 | 12 | 3 |
| 19 | 20 | 16 | 3 |
| 20 | 26 | 18 | 3 |
| 21 | 20 | 16 | 3 |
| 22 | 23 | 10 | 3 |
| 23 | 25 | 15 | 3 |
| 24 | 22 | 13 | 3 |
| 25 | 20 | 18 | 3 |

Вариант определяется как сумма последней и предпоследней цифры зачетной книжки

Таблица А3 - Исходные данные по виду модуляции и скорости кодирования для расчета по вариантам

| № вар* | Ширина канала | Вид модуляции/ скорость кодирования | № вар* | Ширина канала | Вид модуляции/ скорость кодирования |
|--------|---------------|--|--------|---------------|--|
| 1 | 1,25 | QPSK 1/2 | 2 | 5,00 | 16QAM 1/2 |
| 3 | 5,00 | QPSK 3/4 | 4 | 10,00 | 16QAM 3/4 |
| 5 | 5,00 | 16QAM 1/2 | 6 | 1,25 | QPSK 1/2 |
| 7 | 10,00 | 16QAM 3/4 | 8 | 5,00 | QPSK 3/4 |
| 9 | 10,00 | 64QAM 1/2 | 10 | 20,00 | 64QAM 3/4 |
| 11 | 20,00 | 64QAM 2/3 | 12 | 1,25 | QPSK 1/2 |
| 13 | 20,00 | 64QAM 3/4 | 14 | 5,00 | 16QAM 1/2 |
| 15 | 1,25 | QPSK 1/2 | 16 | 10,00 | 16QAM 3/4 |
| 17 | 5,00 | 16QAM 1/2 | 18 | 10,00 | 16QAM 3/4 |
| 19 | 10,00 | 16QAM 3/4 | 20 | 1,25 | QPSK 1/2 |
| 21 | 10,00 | 64QAM 1/2 | 22 | 5,00 | QPSK 3/4 |
| 23 | 5,00 | 16QAM 1/2 | 24 | 20,00 | 64QAM 3/4 |
| 25 | 10,00 | 16QAM 3/4 | | | |

*Вариант определяется по формуле:

Вариант = [(сумма первой и последней цифр зачетной книжки) - (разность первой и последней цифр зачетной книжки)]

Список использованных источников

1. Шахнович, И. Современные технологии беспроводной связи [Текст] / И. Шахнович. - 2-е изд., испр. и доп. - М. : Техносфера, 2006. - 288 с. - (Мир связи). - ISBN 5-9483670-9 :
2. Шахнович И. Архитектура сети WiMAX: основные элементы и принципы. – Первая миля, 2009, №1, с.6–15.
3. В. Вишнеvский, С. Портной, И. Шахнович. Энциклопедия WiMAX путь к 4G: Учебное пособие. Техносфера, Москва, 2009;
4. http://www.geysertelecom.ru/rus/products/full/alvarion_breezemaх/breezemaх
5. А.Иванов, С.Портной Оборудование WiMAX – решение компании Alvarion – Первая миля, 2009, №2, с. 32-39.