

Министерство образования и науки Российской Федерации  
«Южно-Уральский государственный университет»  
(национальный исследовательский университет)  
Высшая школа электроники и компьютерных наук  
Кафедра «Инфокоммуникационных технологий»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой  
Даровских С.Н

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2017 г.

### **Проектирование сети Wi-Fi офисного здания**

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ЮУрГУ - Д 11.03.02.17.121.00 ПЗ

Руководитель работы  
Новиков В.В. \_\_\_\_\_

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2017 г.

Автор работы  
студент группы КЭ-438  
Осипов В.К.

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2017 г.

Нормоконтролер  
Спицына В.Д. \_\_\_\_\_

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2017г.

Челябинск  
2017



## РЕФЕРАТ

Осипов В.К. Проектирование сети Wi-Fi офисного здания -

Челябинск: ЮУрГУ, КЭ, 2017, 46 с. -

Библиографический список – 9 наименов.

В данном дипломном проекте рассмотрен план и обоснование разработки сети беспроводной связи на основе стандарта Wi-Fi 802.11ac 2-х этажного офисного здания.

В дипломе так же представлены параметры стандарта, отличие его от других стандартов, схема проектирования сети и характеристики оборудования.

					<i>ЮУрГУ-Д 11.03.02.17.121.00 ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Осипов В.К.</i>			<i>Организация сети Wi-Fi В офисном здании</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		<i>Новиков В.В.</i>					3	46
<i>Н. Контр.</i>		<i>Спицына В.Д.</i>				<i>ЮУрГУ, кафедра ИКТ</i>		
<i>Утверд.</i>		<i>Даровских С.Н.</i>						

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
1 Обзор технологии Wi-Fi.....	6
1.1 История развития.....	7
1.2 Стандарты протокола 802.11 .....	7
1.3 Принцип работы стандарта 802.11ac.....	13
1.3.1 Режим работы станций MU-MIMO .....	15
1.3.2 Методы повышения быстродействия .....	17
1.3.3 Совместимость со старыми стандартами 802.11 .....	18
2 Проектирование сети .....	19
2.1 Выбор стандарта для построения сети .....	19
2.2 Разработка структурной схемы организации сети .....	20
2.3 Авторизация и доступ пользователей .....	21
2.4 Электропитание точек доступа.....	21
2.5 Описание и характеристика выбранного оборудования .....	22
2.5.1 Точка доступа.....	22
2.5.2 PoE Коммутатор.....	25
2.5.3 Сервер доступа.....	28
2.6 Физическое проектирование сети .....	30
2.7 Монтаж оборудования .....	36
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	37
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	38
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	39
ПРИЛОЖЕНИЕ Б .....	42
ПРИЛОЖЕНИЕ В .....	46

## ВВЕДЕНИЕ

Во всем мире резко растет потребность в беспроводных соединениях, особенно в сфере бизнеса и информационных технологиях. С каждым годом увеличивается количество пользователей интернета и других беспроводных технологий. Сейчас, все ноутбуки и другие мобильные устройства оснащаются WI-FI адаптерами для доступа к беспроводным сетям. Это могут быть как общественные, корпоративные сети, так и домашние сети.

В наше время технология беспроводных сетей Wi-Fi является наиболее удобной в условиях требующих мобильности, простоту установки и использования. Wi-Fi (от англ. Wireless fidelity - беспроводная связь) - стандарт широкополосной беспроводной связи семейства 802.11 разработанный в 1997г. Как правило, технология Wi-Fi используется для организации беспроводных локальных компьютерных сетей, а также создания так называемых горячих точек высокоскоростного доступа в Интернет.

**Преимущества.** К преимуществам беспроводной технологий Wi-Fi можно отнести простоту развертки сети. Вместе с удобством при развертывании сетей, беспроводные технологии удобны и при свертывании сетей. Отсутствие проводов дает мобильность рабочего персонала при необходимости.

**Недостатки.** Одним из недостатков беспроводных сетей перед проводными сетями является плохая защищённость от взлома. Несмотря на постоянное улучшение методов шифрования, полностью проблемы с безопасностью не решены.

Целью данной работы является проектирование сети Wi-Fi 2-х этажного офисного здания, с целью повышения уровня информатизации, предоставления современных услуг связи: высокоскоростной доступ в Интернет, компьютерная сеть, на базе технологии Wi-Fi.

## 1 Обзор технологии Wi-Fi

На заре развития радиотехники термин беспроводной использовался для обозначения радиосвязи в широком смысле этого слова, т. е. буквально во всех случаях, когда передача информации осуществлялась без проводов. Позже это толкование практически вышло из обращения, и "беспроводный" стало употребляться как эквивалент термину радио или радиочастота. Сейчас эти термины являются взаимозаменяемыми, если речь идет о диапазоне частот от 3 кГц до 300 ГГц. Но всё же термин радио чаще используется для описания таких технологий как радиовещание, спутниковая связь, радиолокация и т. д. А термин беспроводной в наши дни принято относить к новым технологиям радиосвязи, таким, как микросотовая и сотовая телефония, абонентский доступ и т. п.

Различают несколько типов беспроводных сетей (рисунок 1):

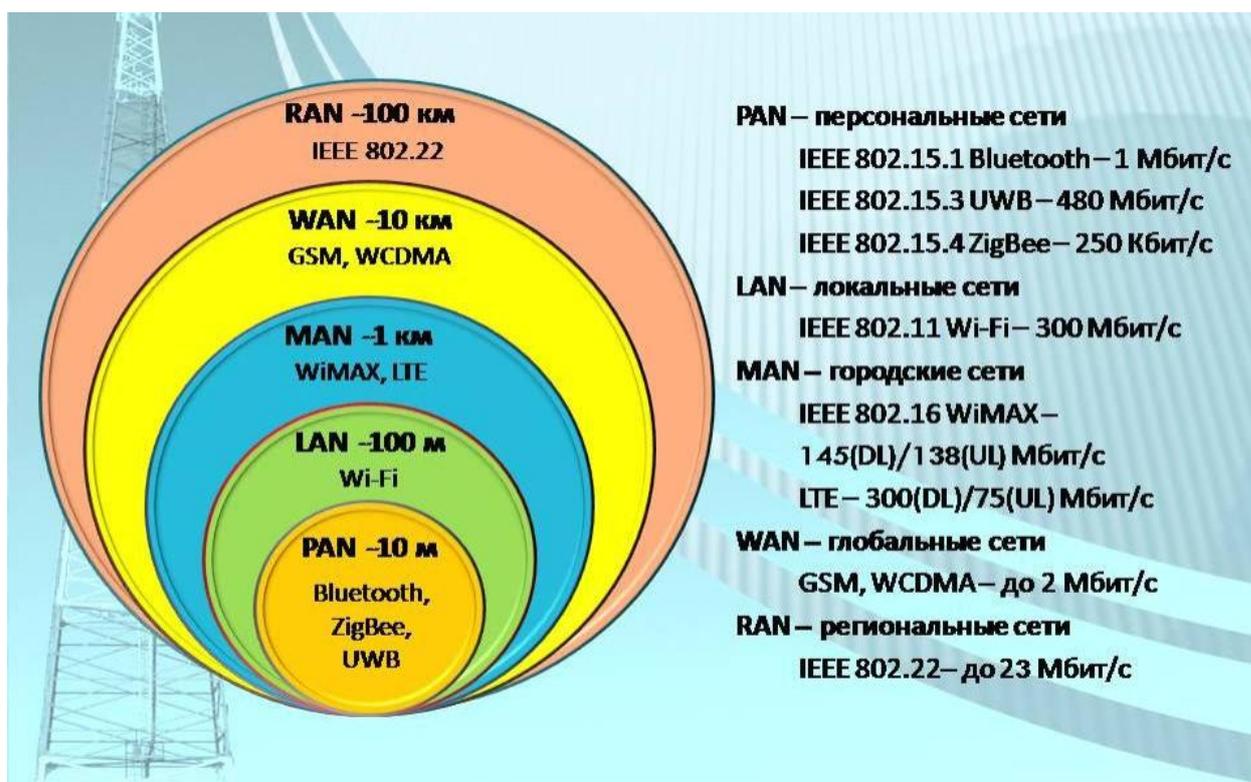


Рисунок 1 - Радиус действия беспроводных сетей

При построении сетей WLAN и WPAN, а также систем широкополосного беспроводного доступа (BWA – Broadband Wireless Access) применяются

сходные технологии. Ключевое различие между ними - диапазон рабочих частот и скорость обмена данными. Сети WLAN и WPAN работают в нелицензионных диапазонах частот 2,4 и 5 ГГц, т. е. при их развертывании не требуется частотного планирования и координации с другими сетями, работающими в тех же диапазонах.

## 1.1 История развития

В 1990 г. Комитет по стандартам IEEE 802 (Институт инженеров электротехники и электроники), сформировал рабочую группу по стандартам для беспроводных локальных сетей 802.11. Это группа занялась разработкой всеобщего стандарта для сетей, работающих на частоте 2.4 ГГц со скоростями 1 и 2 Мбит/с. Работа по созданию стандарта были завершены через семь лет, и в июне 1997 г. была ратифицирована первая спецификация 802.11.

Стандарт IEEE 802.11 стал первым стандартом для продуктов WLAN от независимой международной организации. Однако к моменту выхода стандарта в свет первоначально заложенная в нем скорость обмена данными оказалась недостаточной. Это послужило причиной последующих доработок, поэтому сегодня можно говорить о группе стандартов.

## 1.2 Стандарты протокола 802.11

Разные стандарты Wi-Fi предполагают использование различных форматов радиосигнала. Модуляция сигнала зависит от используемого стандарта - в современных стандартах это может быть либо DSSS (метод прямой последовательности), либо OFDM (ортогональное частотное мультиплексирование).

Краткая информация о различных стандартах Wi-Fi представлена в таблице 1

Таблица 1 - Основные характеристики стандартов группы IEEE 802.11

Стандарт	802.11a	802.11g	802.11n	802.11ac
Дата сертификации стандарта	1999г	2003г	2009г	2013г
Полоса пропускания, МГц	300	83.5	40	80
Частотный диапазон, ГГц	5	2.4...2483	2,4...2,5 или 5	5...6
Типы модуляции	BPSK, QPSK, OFDM	BPSK, QPSK, OFDM	BPSK, 64-QAM	256-QAM
Скорость передачи данных Мбит/с	6 ... 54	1... 54	6 ... 300	300...1000
Совместимость	802.11n	802.11 b/n	802.11 a/b/g	802.11 a/b/g/n
Радиус, м	150	250	500	100 000

Начиная со стандарта 802.11n, беспроводные сети Wi-Fi переходят на квадратурную модуляцию(QAM). Это сразу же отражается на скорости передачи данных и радиусе работы беспроводной сети. Стандарт 802.11ac переходит на квадратурную модуляцию 256-QAM, которая используется в цифровых эфирных передатчиках, для которых важно большой радиус вещания и хорошая помехоустойчивость. Если на канальном уровне все беспроводные сети семейства этого стандарта имеют одну и ту же архитектуру, то физический уровень для сетей разных стандартов различен. Именно на физическом уровне определяются возможные скорости соединения и методы модуляции и физического кодирования при передаче данных.

**802.11.** Оригинальная версия стандарта IEEE 802.11, представлена в 1997. На сегодняшний день этот стандарт устарел. Он описывает передачу данных на двух небольших скоростях: 1 и 2 Мбит/с, а также использование метода прямого исправления ошибок. В стандарте описывалось три альтернативных технологии физического уровня: инфракрасную на скорости в 1 Мбит/с; технологию с методом скачкового расширения частоты, работающую на скорости 1 Мбит/с или 2 Мбит/с и технологию с методом прямой последовательности, работающую на скорости 1 Мбит/с или 2 Мбит/с. Технология предполагала работу на частоте 2,4 ГГц, некоторые варианты - на частоте 900 МГц. В наше время уже нет устройств, работающих на этом стандарте.

**802.11a.** Стандарт IEEE 802.11a предусматривает скорость обмена дан-

ными до 54 Мбит/с. В отличие от базового стандарта спецификациями 802.11a предусмотрена работа в более высоком частотном диапазоне 5 ГГц. В качестве метода модуляции сигнала выбрано ортогонально частотное мультиплексирование (OFDM), которое обеспечивает высокую устойчивость связи в условиях многолучевого распространения сигнала.

**802.11b.** Стандарт, который на данный момент устарел и был популярен в прошлом. Как и в первоначальном стандарте 802.11, для передачи в данной версии используется диапазон 2,4 ГГц. Он не затрагивает канальный уровень и вносит изменения в стандарт 802.11 только на физическом уровне. Для передачи сигнала используется метод прямой последовательности при котором весь диапазон делится на 5 перекрывающихся друг друга поддиапазонов, по каждому из которых передается информация. Значения каждого бита кодируются последовательностью дополнительных кодов. Пропускная способность канала при этом составляет 11 Мбит/сек. Данный стандарт до сих пор поддерживается большим количеством устройств с Wi-Fi, что не маловажно в нашей работе.

**802.11g.** Этот стандарт предполагает передачу данных в частотном диапазоне 2,4 ГГц, как и предыдущий, но с более высокими скоростями. Также, стандарт 802.11g совместим с ним. Максимальная скорость передачи данных в этом стандарте составляет 54 Мбит/с. При разработке этого стандарта рассматривались две конкурирующие технологии: метод ортогонального частотного разделения OFDM, заимствованный из стандарта 802.11a и метод двоичного пакетного сверхточного кодирования PBCC. В результате этот стандарт содержит общее решение: в качестве базовых применяются технологии OFDM и ССК, а опционально предусмотрено использование технологии PBCC.

**802.11n.** Недавно принятый стандарт призван повысить пропускную способность ЛБС до скоростей более 100 Мбит/с. Этот стандарт работает в диапазоне 5 ГГц, обеспечивая совместимость с оборудованием предшествующих стандартов, но отличается от них как на физическом, так и на MAC-уровне.

Одним из важных моментов является применение на физическом уровне технологии антенных систем MIMO и возможность удвоить ширину канала. На MAC-уровне появилась возможность объединения нескольких пакетов в один. Технология MIMO – одно из наиболее перспективных направлений развития беспроводных систем передачи данных. Для этого в приёмнике и передатчике должны быть задействованы несколько антенных каналов. Задействовать эти каналы можно по-разному: они могут работать как независимые (например, поляризационные или частотно-разнесенные) и как коррелированные. Цель применения техники с этой технологией в этом стандарте, где все антенные каналы работают в едином частотном диапазоне – увеличение скорости передачи, расширение частотного диапазона и повышение спектральной эффективности по сравнению со старыми системами. Здесь важно напомнить, что в этом стандарте, равно как и в предыдущих, используется метод ортогонального частотного разделения (OFDM). В этом стандарте каждый символ объединяет 56 модулированных поднесущих частот, где 4 – пилотные и 52 – информационные. Для сравнения: в стандартах 802a/g поднесущих всего 52, из них 4 – пилотные. Таким образом, MIMO – это дополнительное кодирование информации или, так называемое, пространственно-временное кодирование (STC). Это совмещение кодирования в частотной и пространственной области обеспечивает множество областей распространения сигнала. Устойчивость к межсимвольной интерференции делает систему связи более стойкой. Эта устойчивость сильно актуальна при создании систем передачи информации в зданиях или в условиях городской застройки, где уровень отражений сигнала велик. В упрощенном виде технологию MIMO, применяемую в стандарте 802.11n, можно представить как разделение потока OFDM символов на количество потоков, пропорциональное количеству передающих антенн. По сравнению с системами с одной антенной SISO, если в каждом канале сохранять номинальную скорость, общая пропускная способность системы теоретически возрастет в несколько раз. Если же суммарная пропускная способность MIMO – системы ничем не от-

личается от SISO – системы, то скорость в каждом антенном канале можно снизить в это же количество раз. Это позволит увеличить дальность передачи – ведь чем медленнее канал, тем ниже предельно допустимое соотношение S/N(сигнал/шум). Приемник восстанавливает исходный поток информации, полученной по разным каналам антенн. При этом число приемных антенн может отличаться от числа передающих. С увеличением количества приемных антенн увеличивается и надежность работы MIMO-системы. Это связано с ростом числа пространственных каналов. Чем их больше, тем более вариативна принимаемая информация и тем меньше вероятность полного замирания сигнала во всех каналах одновременно. Добавление одной приемной антенны улучшает соотношение сигнал/шум примерно на 3 дБ или в 2 раза. Однако с увеличением числа антенных каналов в приемнике существенно усложняется обработка сигналов, то есть усложняется тип модуляции.

**802.11ac** Данный стандарт работает на частоте от 5 до 6 ГГц. Он позволяет расширить пропускную способность сети, начиная от 300 Мбит/с и до 1 Гбит/с при 8 MU-MIMO антеннах. Это нововведение относительно предыдущего стандарта. Также снижается энергопотребление, что, в свою очередь, увеличит время работы мобильных устройств. Новейший стандарт располагает гораздо большей скоростью, чем предыдущие(1300 Мбит/с), что сказывается на всей медиа(фильмы, сериалы), мобильных играх и передаче данных. С 2009 года стандарт 802.11n дает максимальную скорость 150 Мбит/с от одной антенны, 300 от двух антенн и 450 от трех антенн. У нового стандарта эти показатели на порядок выше: 450/900/1,3 Гбит/с соответственно. А скорость у устройств такого стандарта, имеющих до 8 антенн, сможет достигать целых 7 Гбит/с, но на практике пока такое не используется. Другая полезность этого Wi-Fi — это широкий диапазон покрытия и помехоустойчивый сигнал. Улучшения достигаются за счет технологии формирования луча "Beamforming", которая распознает местоположение устройства и направляет сигнал Wi-Fi на него. Эта методика поможет повысить качество приема сигнала. Устройства, использующие старые стандарты Wi-Fi работают на пере-

груженной частоте 2,4 ГГц, разделяя ее со многими устройствами: планшетами, соседними мониторами или даже микроволновкой и другими устройствами. Поэтому еще одно преимущество этого стандарта — устранение помех за счет перехода на более эффективный для передачи данных диапазон 5 ГГц (в полосах частот от 80 до 160 мегагерц). Процесс перехода к этому стандарту растянется на несколько лет и не все люди начнут использовать устройства, поддерживающий данный высокоскоростной стандарт, поэтому в устройствах с новым Wi-Fi предусмотрена обратная совместимость с устаревающими стандартами. Двухдиапазонные роутеры при необходимости могут автоматически переключаться с 5 ГГц на 2,4. Увеличение скорости в стандарте 802.11ac достигается следующими способами:

- переход на каналы шириной 80 МГц и 160 МГц позволяющие удвоить и учетверить показатели по сравнению с 802.11n;
- максимальное число пространственных потоков увеличено до 8, что позволяет удвоить скорость;
- оптимизация модуляций и методов передачи пакетов, что позволяет добиться большей скорости не только рядом с точкой доступа.

Помимо скорости, у этого стандарта есть два важных улучшения:

Beamforming(бимформинг) — это функция, позволяющая менять диаграмму направленности антенн, для лучшего сигнала и большей скорости. Она позволяет зоне покрытия точки доступа оптимально подстраивать зону покрытия под текущее расположение клиентов. Бимформинг является частью стандарта 802.11n. Но частью опциональной, то есть мало используемой. В 802.11ac данная функция является обязательной.

MU-MIMO. Большинство Wi-Fi сетей – полудуплексные. Пакеты передаются последовательно, то есть, в один момент времени передаётся один пакет. Если в канале 100 Мбит/с идет поток в 1 Мбит/с — используется 1/100 полосы пропускания. Если при этом приходят данные для другого абонента — использовать незадействованную полосу пропускания не получится. В итоге толку от сверхвысоких скоростей стандарта 802.11n в сетях с большим

количеством медленных или корпоративных очень мало. MU-MIMO позволяет разбить канал на несколько мелких каналов и передавать данные по ним параллельно. На данный момент известно о двух вариантах реализации MU-MIMO в новом стандарте:

- SDMA (Space Division Multiple Access) позволяет передавать данные разным клиентам по разным пространственным потокам (для этого нужен Бимформинг);
- Downlink MIMO позволяет разбить поднесущие OFDM на группы, и динамически выделять каждому клиенту нужное число поднесущих. Таким образом, даже если на точке доступа будут сидеть клиенты 2x2:2 MIMO — все равно можно будет использовать весь потенциал канала. Даже если ограничить максимальную скорость сети одним Гбит/с, стандарт 802.11ac дает существенные выгоды как для домашних (высокие скорости), так и для корпоративных сетей (эффективная утилизация высоких скоростей в сетях с большим числом клиентов).

Все эти стандарты описывают протоколы передачи данных по беспроводной сети. Остальные стандарты обеспечивают работу различных механизмов, необходимых для работы беспроводной сети. В проектируемой нами сети будут использоваться не только стандарты передачи данных (802.11a/b/g/n/ac), но и дополнительные технологии.

### 1.3 Принцип работы стандарта 802.11ac

Стандарт 802.11ac является развитием стандарта 802.11n и является полностью совместимым с ним, то есть любое устройство 802.11ac должно поддерживать работу с устройствами 802.11a/b/g/n. Это повлияло на работу физического уровня стандарта. Максимальная скорость передачи в стандарте 802.11n составляет 1300 Мбит/с на физическом уровне.

В разработке стандарта 802.11ac использовались такие "наследственные"

технологии, как OFDM (ортогональное частотное мультиплексирование) и новая технология 256-QAM (квадратурная амплитудная модуляция).

Для повышения пропускной способности сети самое простое решение — увеличение числа каналов передачи. Технология называется множественным вводом/выводом. MIMO (multiple input multiple output). В случае её использования параллельно передаётся множество сигналов, увеличивая тем самым суммарную пропускную способность. Вообще, у MIMO достаточно много преимуществ из-за одновременной передачи данных по разным каналам. Технология использует мультиплексирование с ортогональным частотным разделением канала OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), то есть сигнал передаётся по нескольким различным частотам, после приёма превращаясь в скоростной поток данных. Однако для реализации MIMO на практике необходимо, чтобы для каждого потока данных использовались свои антенны приёма/передачи, принцип работы MIMO представлен на рисунке 2.

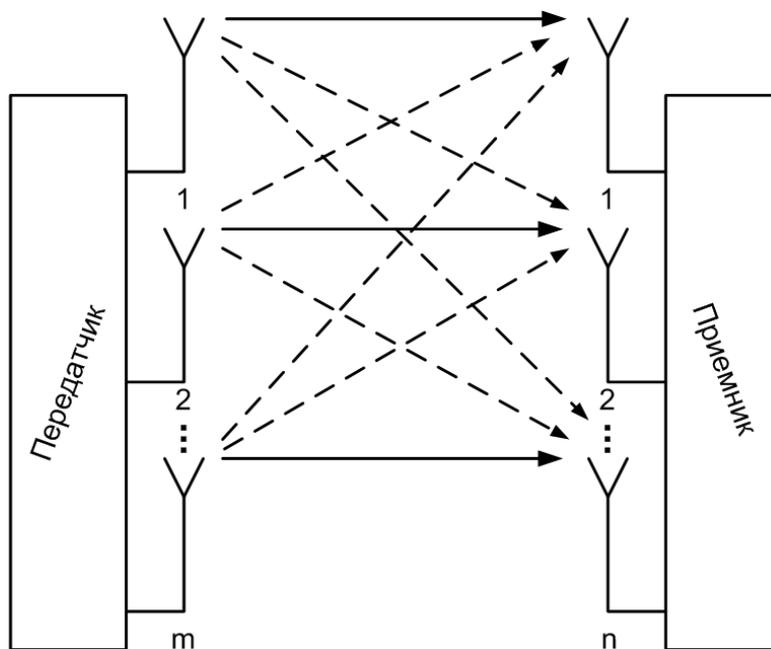


Рисунок 2- Принцип работы MIMO

### 1.3.1 Режим работы станций MU-MIMO

На рисунке 3 показано отличие технологий MIMO и MU-MIMO.

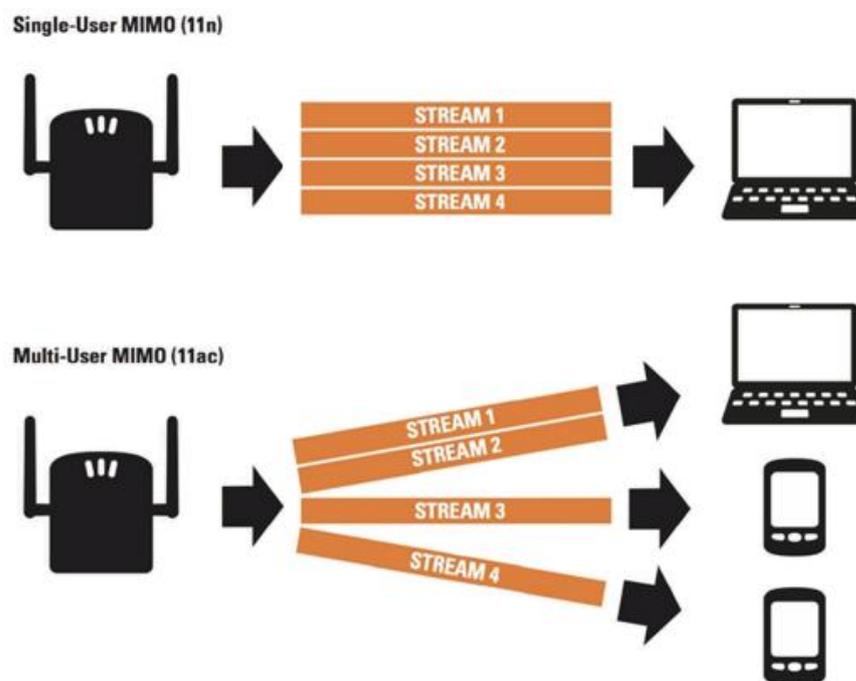


Рисунок 3- Отличие в работе MIMO и MU-MIMO

Если принцип работы SU-MIMO похож на хаб, то технология MU-MIMO сравнима с коммутатором. При пропускной способности хаба в 200 Мбит/сек десять пользователей получают максимальную скорость в 20 мегабит/сек. В случае коммутатора эта скорость составляет полные 200 мегабит/сек.

Максимальной скорости передачи данных можно добиться при наличии поддержки MU-MIMO во всех устройствах, включая роутеры и клиентские устройства. Тем не менее поддержка MU-MIMO в роутерах IEEE 802.11ac позволит повысить скорость обмена данными между всеми гаджетами, включая планшеты и смартфоны, даже в том случае, если в них установлены только модули Wi-Fi 802.11n и 802.11g. Например, если в системах SU-MIMO скорость обмена данными на каждое из трех подключенных устройств составляет 100 Мбит/сек, то в MU-MIMO она возрастает почти в 3 раза. Это объясняется тем, что за счет одновременной отправки пакетов различным

клиентам эффективность использования спектра частот Wi-Fi в MU-MIMO вырастает примерно в 2,5 раза.

Для одновременной отправки пакетов WLAN различным клиентам, маршрутизатору необходима информация об их расположении. С этой целью по всем направлениям рассылаются тестовые пакеты. Клиенты отвечают на эти пакеты, и таким образом базовая станция получает данные об уровне сигнала. Технология формирования лучей имеет большое значение для работы систем MU-MIMO. Предназначение технологии заключается в определении оптимального направления для отправки радиосигнала клиентам. Базовая станция задает оптимальную направленность передающей антенны для каждого радиосигнала.

В MU-MIMO передача сигнала оптимальным путем имеет важное значение, поскольку перемещение места даже одного клиента может привести к изменению всех путей передачи и нарушить пропускную способность всей сети WLAN. Чтобы этого не произошло, анализ канала осуществляется каждые 10 мс. При этом SU-MIMO делает такой анализ намного реже – каждые 100 мс. Многопользовательская система MIMO способна одновременно обслуживать четыре клиента, каждый из которых может параллельно принимать до четырех потоков данных, а в сумме это составляет 16 потоков.

На практике это помогает исключить ситуации, при которых Wi-Fi вроде бы есть и работает, но подключиться к нему невозможно, а следовательно, дает возможность обеспечить доступ к сети множеству устройств в один и тот же промежуток времени. Это имеет большое значение как для пользователей общественных точек доступа, так и для домашних беспроводных сетей.

### 1.3.2 Методы повышения быстродействия

Скорость передачи данных зависит в основном от полосы пропускания. Чем полоса шире, тем выше скорость передачи данных. На рисунке 4 видно как меняется скорость передачи данных от разных типов модуляции и полосы пропускания. Чем сложнее модуляция, тем больше скорость, которую мы можем получить.

802.11ac OFDM Data Rates

MCS	Modulation	Bits per Symbol	Coding Ratio	20-MHz		40-MHz		80-MHz		160-MHz	
				800ns	400ns	800ns	400ns	800ns	400ns	800ns	400ns
<b>1 Spatial Stream</b>				<b>Data Rate (Mbps)</b>							
MCS 0	BPSK	1	1/2	6.5	7.2	13.5	15.0	29.3	32.5	58.5	65.0
MCS 1	QPSK	2	1/2	13.0	14.4	27.0	30.0	58.5	65.0	117.0	130.0
MCS 2	QPSK	2	3/4	19.5	21.7	40.5	45.0	87.8	97.5	175.5	195.0
MCS 3	16-QAM	4	1/2	26.0	28.9	54.0	60.0	117.0	130.0	234.0	260.0
MCS 4	16-QAM	4	3/4	39.0	43.3	81.0	90.0	175.5	195.0	351.0	390.0
MCS 5	64-QAM	6	2/3	52.0	57.8	108.0	120.0	234.0	260.0	468.0	520.0
MCS 6	64-QAM	6	3/4	58.5	65.0	121.5	135.0	263.3	292.5	526.5	585.0
MCS 7	64-QAM	6	5/6	65.0	72.2	135.0	150.0	292.5	325.0	585.0	650.0
MCS 8	256-QAM	8	3/4	78.0	86.7	162.0	180.0	351.0	390.0	702.0	780.0
MCS 9	256-QAM	8	5/6	N/A	N/A	180.0	200.0	390.0	433.3	780.0	866.7
<b>2 Spatial Streams</b>				<b>Data Rate (Mbps)</b>							
MCS 0	BPSK	1	1/2	13.0	14.4	27.0	30.0	58.5	65.0	117.0	130.0
MCS 1	QPSK	2	1/2	26.0	28.9	54.0	60.0	117.0	130.0	234.0	260.0
MCS 2	QPSK	2	3/4	39.0	43.3	81.0	90.0	175.5	195.0	351.0	390.0
MCS 3	16-QAM	4	1/2	52.0	57.8	108.0	120.0	234.0	260.0	468.0	520.0
MCS 4	16-QAM	4	3/4	78.0	86.7	162.0	180.0	351.0	390.0	702.0	780.0
MCS 5	64-QAM	6	2/3	104.0	115.6	216.0	240.0	468.0	520.0	936.0	1040.0
MCS 6	64-QAM	6	3/4	117.0	130.0	243.0	270.0	526.5	585.0	1053.0	1170.0
MCS 7	64-QAM	6	5/6	130.0	144.4	270.0	300.0	585.0	650.0	1170.0	1300.0
MCS 8	256-QAM	8	3/4	156.0	173.3	324.0	360.0	702.0	780.0	1404.0	1560.0
MCS 9	256-QAM	8	5/6	N/A	N/A	360.0	400.0	780.0	866.7	1560.0	1733.3
<b>3 Spatial Streams</b>				<b>Data Rate (Mbps)</b>							
MCS 0	BPSK	1	1/2	19.5	21.7	40.5	45.0	87.8	97.5	175.5	195.0
MCS 1	QPSK	2	1/2	39.0	43.3	81.0	90.0	175.5	195.0	351.0	390.0
MCS 2	QPSK	2	3/4	58.5	65.0	121.5	135.0	263.3	292.5	526.5	585.0
MCS 3	16-QAM	4	1/2	78.0	86.7	162.0	180.0	351.0	390.0	702.0	780.0
MCS 4	16-QAM	4	3/4	117.0	130.0	243.0	270.0	526.5	585.0	1053.0	1170.0
MCS 5	64-QAM	6	2/3	156.0	173.3	324.0	360.0	702.0	780.0	1404.0	1560.0
MCS 6	64-QAM	6	3/4	175.5	195.0	364.5	405.0	N/A	N/A	1579.5	1755.0
MCS 7	64-QAM	6	5/6	195.0	216.7	405.0	450.0	877.5	975.0	1755.0	1950.0
MCS 8	256-QAM	8	3/4	234.0	260.0	486.0	540.0	1053.0	1170.0	2106.0	2340.0
MCS 9	256-QAM	8	5/6	260.0	288.9	540.0	600.0	1170.0	1300.0	N/A	N/A

Рисунок 4 –Скорость передачи данных при разных типах модуляции

Во-вторых- количество параллельных потоков. В стандарте 802.11асможет быть максимум 8 каналов. Огромное значение имеют тип модуляции и метод кодирования. Помехоустойчивые коды, которые обычно применяются в сетях, предполагают внесение некоторой избыточности. Если

защитных битов будет слишком много, то скорость передачи полезной информации снизится. В стандарте 802.11ac максимальная относительная скорость кодирования составляет до  $5/6$ , то есть на 5 битов данных приходится один избыточный. На рисунке 4 приведены скорости обмена при квадратурной модуляции QAM и BPSK, а также QPSK. Очевидно, что при прочих одинаковых параметрах модуляция 256-QAM обеспечивает гораздо большую скорость работы.

### 1.3.3 Совместимость со старыми стандартами 802.11

Рабочая группа IEEE гарантирует обратную совместимость новых устройств

802.11ac с оборудованием 802.11a/b/g/n при условии использования одинаковых частотных диапазонов и каналов. Другими словами, как мы уже говорили, поддержка 20-мегагерцовых каналов пригодится для обратной совместимости.

Совместимость с существующим оборудованием 802.11a/b/g/n будет обеспечиваться средствами MAC-уровня. То есть все существующие устройства стандартов 802.11a/b/g/n смогут подключаться к точкам доступа 802.11ac. На уровне MAC также будет обеспечена совместимость схем модуляции для соответствующих частотных диапазонов.

## 2 Проектирование сети

Нам нужно организовать сеть Wi-Fi 2-х этажного офисного здания. Площадь каждого этажа составляет 450 м<sup>2</sup>. Стандартная точка доступа обеспечивает уверенный прием в радиусе 30 м при отсутствии преград. Следовательно, нам понадобится несколько точек доступа на этаже. Их расположение будет зависеть от планировки помещения и толщины стен.

Предполагается, что у сети уже есть выход в Интернет, и для подключения к глобальной сети можно будет использовать его.

### 2.1 Выбор стандарта для построения сети

Информация о различных стандартах Wi-Fi представлена в подразделе 1.2.

Оригинальный стандарт 802.11 рассматривать не имеет смысла по той причине, что он не является действующим. Стандарт 802.11b имеет низкую скорость передачи данных, а стандарт 802.11a слабо распространён. При его применении придется оснащать каждого клиента специализированным приемопередатчиком, что значительно увеличивает стоимость организации сети и снижает мобильность.

Наиболее логично использовать стандарт 802.11n или 802.11ac для проектирования беспроводной сети. Так как теоретически (на физическом уровне) 802.11ac способен обеспечить скорость передачи данных до 450 Мбит/с (1300 Мбит/с на частоте 5 ГГц) при использовании трёх потоков, то для достижения большей скорости будем использовать оборудование на базе стандарта 802.11ac. Этот стандарт широко распространён, позволяет работать на скоростях, необходимых для нашей проектируемой сети, поддерживается большим количеством мобильных устройств, есть большая практика работы с сетями, работающими в данном стандарте, что позволит избежать ошибок при проектировании и работе.

При принятии решений относительно развертывания беспроводной локальной сети (WLAN) необходимо учитывать:

- особенности работы протокола 802.11ac;
- поведение мобильных узлов;
- вопросы защиты;
- качество связи в целом и для различных типов приложений в отдельности (QoS);
- сервисы и приложения, которые будут использоваться клиентами.

## 2.2 Разработка структурной схемы организации сети

Беспроводная сеть, которую планируется реализовать, будет основана на стандарте IEEE 802.11ac.

Сеть будет управляться сервером при помощи коммутатора. Так как коммутатор и точки доступа распространяют сигнал сферически, планируется установить по несколько точек доступа на каждом этаже по всей площади офисного здания, а коммутатор - на первом этаже. Схема беспроводной сети представлена на рисунке 5.

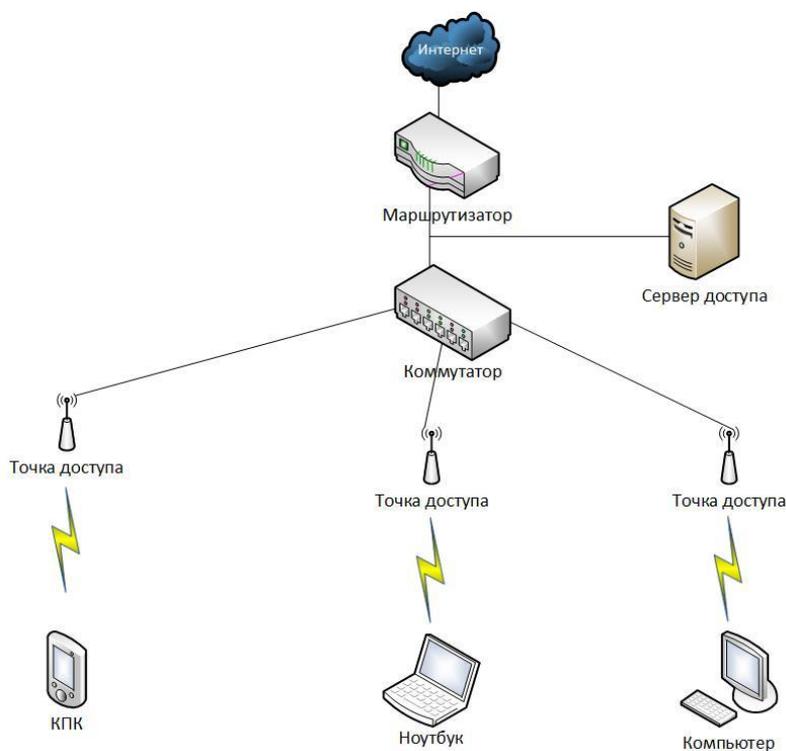


Рисунок 5 – Схема беспроводной сети

## 2.3 Авторизация и доступ пользователей

Для авторизации в сети предполагается использовать веб-авторизацию на основе Captive Portal, а также ключ WPA2/PSK для получения доступа к беспроводной сети. Доступ к сети на основе ключа позволит обеспечить защищенность сети от посторонних, а веб-авторизация позволит уникальным образом идентифицировать каждого подключающегося клиента. Посетителям офисного центра можно выдавать временно сгенерированные пароли либо использовать один и тот же стандартный для доступа к сети на ограниченной скорости для меньшей загруженности канала.

Преимущество веб-авторизации по сравнению со всеми другими - ее доступность на большом количестве устройств, будь то ноутбуки, КПК или смартфоны.

Каждому подключившемуся беспроводному клиенту по DHCP выдается уникальный IP-адрес из т.н. «серой» (непубличной) подсети, макс. подсети, шлюз и DNS-серверы. Таким образом, вся беспроводная сеть является маршрутизируемой. При этом пользователям не нужно передавать никаких дополнительных маршрутов - хватит маршрута по умолчанию, который будет показывать путь до сервера доступа, выполняющего одновременно функции маршрутизатора беспроводной сети. Этот маршрутизатор будет производить перенаправление трафика на нужные направления - локальные ресурсы, ресурсы на других компьютерах офисной сети, IP-телефония либо Интернет.

## 2.4 Электропитание точек доступа

При построении сетей связи большого размера надежность и управляемость сети приобретает большее значение, чем стоимость ее строительства. Поэтому большое значение приобретает надежное обеспечение электропитания устройств. Коммутатор и сервер доступа должны располагаться в специально оборудованной серверной комнате, где достаточно легко обеспечить

резервируемое гарантированное электропитание. Надежное электропитание точек доступа обеспечить сложнее, т.к. контролировать систему электропитания всего здания системным администраторам в настоящее время не под силу. Прокладывать отдельную электрическую сеть для питания точек доступа чаще всего нецелесообразно по экономическим и организационным причинам.

В данной ситуации можно использовать централизованное питание точек доступа по технологии питания через кабель витой пары (Power over Ethernet). Эта технология позволяет подавать электропитание по витой паре на расстояние до 350 м. Для обеспечения питания используются специальные коммутаторы с PoE портами. Для подачи электропитания и для передачи данных нужно использовать витую пару категории не менее 5е, так как она обеспечивает скорость до 1 Гбит/с на расстоянии до 100 м.

Точки доступа должны быть соединены с коммутатором витой парой. Питание должно обеспечиваться по свободным парам этих же кабелей по технологии PoE.

Таким образом, коммутатор будет обеспечивать питание точек доступа.

Расстояние от коммутатора до любой из точек доступа не будет превышать 100 м, поэтому проблем с использованием кабеля витой пары не возникнет и потери в скорости не должны возникнуть.

Кабель должен прокладываться в специальных кабель-каналах, закрепленных на внутренних стенах здания. Часть кабелей также можно провести над потолком.

## 2.5 Описание и характеристика выбранного оборудования

### 2.5.1 Точка доступа

Основным элементом беспроводной сети являются точки доступа, поэтому в первую очередь необходимо сделать выбор этого беспроводного оборудования. В техническом задании к точкам доступа предъявлены следующие

требования:

- полоса рабочих частот в пределах: 2,4...2,483 ГГц; 5...6 ГГц;
- поддерживаемая скорость доступа: более 100 Мб/с;
- оборудование должно удовлетворять требованиям одного из стандартов 802.11 (a, b, g, n, ac);
- рабочая температура: от 0 до 40 °С;
- рабочая влажность: от 10 до 90%(без конденсата);

Также в подразделе 2.4 решено, что точки доступа должны поддерживать питание по технологии PoE.

Приведенным требованиям к точкам доступа удовлетворяет D-Link AirPremier DAP-2695.

Двухдиапазонная точка доступа с поддержкой PoE DAP-2695, разработанная для использования в сетях крупных предприятий и предприятий малого и среднего бизнеса, позволяет сетевым администраторам воспользоваться возможностями управляемой и безопасной двухдиапазонной беспроводной сети и скоростью новейшего стандарта 802.11ac.

DAP-2695 позволяет сетевым администраторам создать управляемую и надежную беспроводную сеть, работающую одновременно в двух диапазонах частот. Все шесть антенн точки доступа являются съемными и обеспечивают оптимальную зону покрытия в диапазоне частот 2,4 ГГц (802.11b, 802.11g и 802.11n) или 5 ГГц (802.11a, 802.11n и 802.11ac). Оснащенная металлическим корпусом класса “пленум” точка доступа DAP-2695 поддерживает стандарт 802.at Power over Ethernet который обеспечивает питанием до 30 Вт точку доступа, что позволяет установить это устройство в местах, где недоступны розетки питания. На рисунке 6 представлен вид точки доступа DAP-2695.



могут установить несколько точек доступа DAP-2695 и настроить их на работу друг с другом в режиме моста, одновременно обеспечивая доступ к сети отдельным клиентам. DAP-2695 также поддерживает расширенные функции, такие как балансировка нагрузки и резервирование для безотказной работы беспроводного соединения.

Общие характеристики представлены в приложении А.

### 2.5.2 PoE Коммутатор

Для питания и агрегации точек доступа можно использовать PoE коммутатор D-Link DWS-3160-24PC.

Гигабитный коммутатор D-Link DWS-3160 для управления беспроводными точками доступа уровня 2+ предназначены для развертывания беспроводной сети для бизнеса. Благодаря этому устройству можно создавать унифицированные масштабируемые, высокопроизводительные, безопасные и управляемые проводные/беспроводные коммутируемые локальные сети. Располагая гигабитными Ethernet портами, поддержкой технологии питания по витой паре(PoE) и возможностью подключения резервных источников питания, коммутатор обеспечивает предприятиям простой переход к беспроводным сетям стандартов 802.11x, быстрое подключение беспроводных устройств вне зависимости от их физического расположения и централизованное управление политиками безопасности. Вид коммутатора DWS-3160 представлен на рисунке 7.



Рисунок 7 – Беспроводной коммутатор DWS-3160

DWS-3160 поддерживает централизованное управление WLAN, исключая таким образом отдельную настройку каждой точки доступа. Администратор назначает профиль унифицированной точке доступа и настройки, соответствующие профилю, применяются к точке доступа автоматически. Помимо этого, новая версия программного обеспечения может быть установлена на всех точках доступа одновременно, что значительно упрощает процесс обновления.

Помимо функционирования в качестве управляющего устройства в беспроводной коммутации, DWS-3160 может также использоваться как коммутатор уровня 2+ с расширенным функционалом, включая поддержку динамической маршрутизации пакетов (RIPv1/v2), функции безопасности ACL, многоуровневого качества обслуживания (QoS), VLAN и отслеживание сетевого трафика (Multicast Snooping). Более того, несколько коммутаторов DWS-3160 могут объединяться в кластер, позволяя администраторам настройку всех коммутаторов с помощью одного коммутатора «Мастера». В кластере можно управлять 192 точками доступа. Это значительно упрощает управление и позволяет снизить усилия, затрачиваемые на обслуживание при масштабировании сети.

DWS-3160 поддерживает новейшую систему обнаружения беспроводных атак (Wireless Intrusion Detection System), предназначенную для обнаружения несанкционированных точек доступа и несанкционированных клиентов, а также различных угроз безопасности беспроводной сети. С помощью функции WIDS администраторы могут обнаружить различные угрозы и использовать сканирование радиочастотных каналов для обзора беспроводной сети в целях предотвращения любых потенциальных угроз безопасности. Это повышает безопасность и сокращает риск кражи информации с предприятия.

При совместной работе с точками доступа можно настроить виртуальные точки доступа и управлять ими, при этом администратор может назначать различные права доступа пользователям. Помимо использования WPA и WPA2, дополнительный уровень защиты обеспечен за счет адаптивного портала, таким образом, только авторизованные пользователи могут получить доступ к беспроводной сети.

Данный коммутатор использует списки управления доступом (ACL) для обеспечения контроля с помощью установки нескольких простых правил. Благодаря использованию других расширенных функций безопасности, таких как Управление сетевым доступом 802.1X и защита от DoS атак коммутатор обеспечивает надежную и централизованную защиту и максимальную отказоустойчивость сети.

Расположение точек доступа на близком расстоянии друг от друга может привести к возникновению помех. Коммутатор следит за использованием радиочастотного спектра и выбирает оптимальный канал для каждой беспроводной точки, что значительно сокращает помехи и позволяет устанавливать точки доступа на небольшом расстоянии друг от друга.

Если на одном и том же канале работает несколько точек доступа, расположенных на близком расстоянии друг от друга, то для снижения уровня помех, коммутатор уменьшает мощность передатчика этих точек доступа. Далее, когда по каким-либо причинам в сети уже не присутствует такое количе-

ство точек доступа, мощность передатчика будет увеличена, чтобы увеличить зону покрытия.

Для того, чтобы избежать перегрузки полосы пропускания, коммутатор отклоняет подключение новых клиентов к точке доступа. Нагрузка распределяется между соседними точками доступа. Таким образом, гарантируется балансировка нагрузки и оптимальная работа сети.

Клиенты беспроводной сети могут воспользоваться преимуществами «бесшовного» и непрерывного роуминга между точками доступа, управляемыми коммутатором даже в том случае, если они не находятся в одной подсети. Так как DWS-3160 использует различные механизмы, такие как предварительная аутентификация и кэширование ключей, клиенты беспроводной сети могут свободно перемещаться в зоне действия сети без проведения повторной аутентификации. Таким образом, владельцы планшетных компьютеров, смартфонов и нетбуков получают стабильное и надежное соединение.

По умолчанию коммутатор может управлять 12 унифицированными точками доступа. Это количество может быть увеличено до 48 ТД при помощи покупки лицензии.

Общие характеристики представлены в Приложении Б.

### 2.5.3 Сервер доступа

На рынке серверов доступа существуют следующие известные решения:

- маршрутизаторы с функциями серверов доступа от известных вендоров (Cisco, Juniper, Allied Telesin и т.д.);
- самостоятельно разработанные и настроенные программные шлюзы (специально настроенные операционные системы, как правило на базе компьютеров x86 архитектуры) на Unix (Linux, FreeBSD, OpenBSD и т.д.);
- готовые программные шлюзы на Unix-подобных операционных системах.

Среди последних наиболее известны и широко распространены в России следующие:

- программный шлюз на базе Mikrotik RouterOS;
- программный шлюз на базе Ideco Software.

Ideco Software в основном предлагает решения для небольших сетей, сочетающие одновременно биллинг, веб-сервер, маршрутизатор и сервер доступа на одной физической машине.

Mikrotik является специализированной операционной системой Linux, предназначенной для решения задач маршрутизации и организации серверов доступа. Mikrotik позволяет обработать трафик до 1 Гб/с, что немаловажно с учетом возможности расширения сети и увеличения скоростей доступа для клиентов. Также эта операционная система имеет больший функционал чем у большинства аппаратных маршрутизаторов. К недостаткам систем с использованием x86 компьютеров и Mikrotik можно отнести меньшую стабильность, чем у классических маршрутизаторов, отсутствие поддержки некоторых распространенных проприетарных функций (например, Netflow).

Рассмотрим преимущества аппаратных серверов доступа:

- а) надежность и стабильность работы;
- б) хорошая документация по функциям и типовым схемам работы;
- в) унификация с другим оборудованием производителя.

Недостатки аппаратных серверов доступа:

- а) дороговизна по сравнению с программными серверами x86 архитектуры;
- б) меньшие возможности: лишь небольшое количество аппаратных маршрутизаторов позволяет одновременно организовать сервер доступа, ограничение скоростей, и сложную маршрутизацию трафика в сочетании с QoS;

Примем решение остановиться на сервере доступа на x86 архитектуре. В качестве операционной системы для сервера доступа выберем Mikrotik RouterOS. Такое решение сможет одновременно выполнять функции маршрутизатора и сервера доступа, выполнять роль сервера для веб авторизации по технологии Captive Portal.

## 2.6 Физическое проектирование сети

Схема первого этажа офисного здания представлена на рисунке 8.



Рисунок 8 – Схема первого этажа офисного здания

При установке точек доступа необходимо прежде всего опираться на планируемую нагрузку. Важным моментом при проектировании является дальность действия точек доступа и препятствия, затрудняющие распространение радиосигнала. При максимальных скоростях устройств абонентов с точкой доступа D-Link DAP-2695 могут стабильно работать большое число клиентов. Это обеспечивается наличием мультиплексирования в технологии MU-MIMO. Дальность распространения сигнала внутри помещений при работе в стандарте 802.11ac в среднем составляет 25...30 метров, так как в частотном диапазоне 5 ГГц происходит более сильное затухание сигнала электромагнитной волны из-за препятствий. Поэтому снижение области покрытия особенно заметно при работе в городских условиях и помещениях.

С учетом того, что на частоте 5 ГГц происходит сильное затухание сигнала, нам потребуется большее число точек доступа.

На рисунке 8 изображен первый этаж офисного здания, на котором нахо-

дится 14 кабинетов. Через каменные стены сигнал Wi-Fi проникает слабо (ослабление сигнала составляет 8...12 дБ).

С учетом данных условий необходимо распределить точки доступа по этажу.

На первом этаже находятся четырнадцать помещений. Желательно располагать точки доступа таким образом, чтобы каждая из них покрывала заранее определенную территорию, ограниченную естественными преградами (например, несколько кабинетов). Так как здание выполнено из кирпича, то будем использовать 4 точки доступа.

Исходя из всех вышеприведенных соображений, выбран следующий вариант размещения точек доступа на первом этаже представленный на рисунке 9:



Рисунок 9 – Расположение точек доступа на первом этаже

Таким образом, предполагается, что четыре точки доступа позволят обеспечить уверенную связь для сотрудников, работающих на этом этаже.

Для оптимальности распространения радиосигнала предлагается располагать точки доступа на высоте более 1,5 метра. Это позволит максимально использовать распространение сигнала от антенны, сохранив большую часть мощности распространённого радиосигнала в пределах нахождения всех уст-

ройств.

Используем специализированное программное обеспечение Tamograph Site Survey для анализа радиопокрытия территории при таком расположении точек доступа (Рисунок 10).

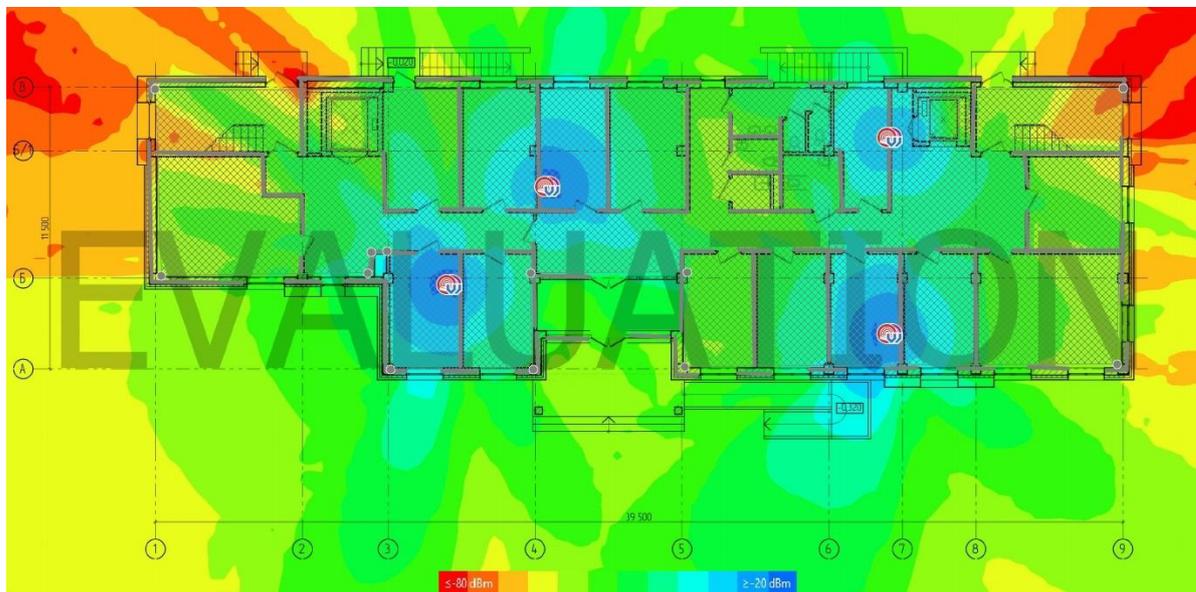


Рисунок 10 – Уровень сигнала на первом этаже

Оно показывает что, практически на всей территории этажа уровень сигнала составляет от минус 20 до минус 60 дБм, что позволяет работать на скорости до 900 Мбит/с на физическом уровне (На канальном(реальном) уровне скорость будет ниже).

Во всем здании достигается уверенный прием Wi-Fi сигнала. Данные по анализу шумов показывают, что хоть они и есть, но их значение не велико и стремится к минимуму. На рисунке 11 представлен уровень сигнал/шум, отраженный в децибелах.

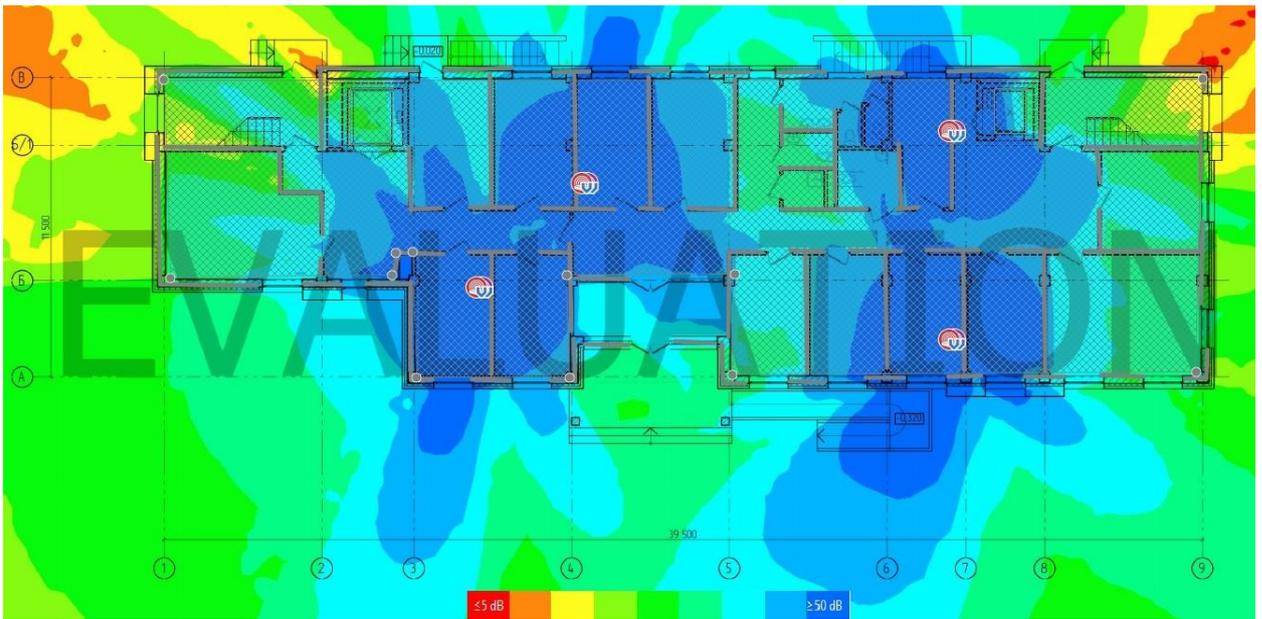


Рисунок 11 – Анализ уровня шумов на первом этаже

Анализ скоростей передачи на покрываемой территории показывает, что практически на всей площади этажа скорость соединения во все моменты времени должна составлять 900 Мбит/с на физическом уровне. Ожидаемая физическая скорость на первом этаже представлена на рисунке 12.

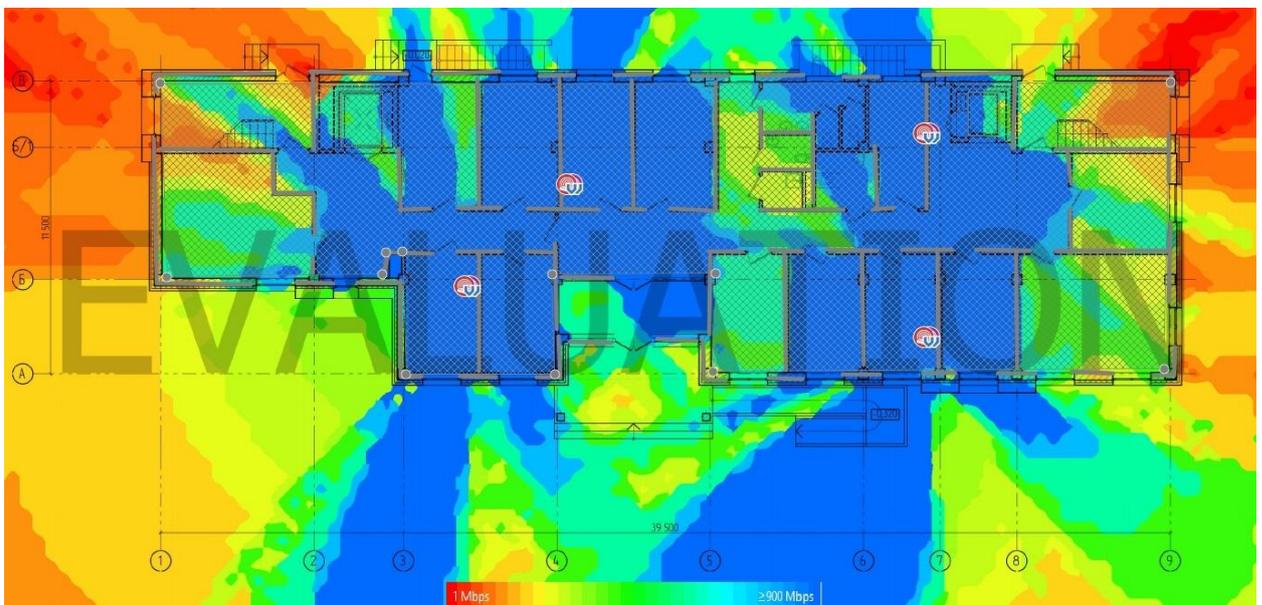


Рисунок 12 – Ожидаемая физическая скорость на первом этаже.

Аналогично распределим точки доступа на втором этаже (Рисунок 13):



Рисунок 13 – Расположение точек доступа на втором этаже

Проанализируем уровень сигнала на всём этаже (Рисунок 14):

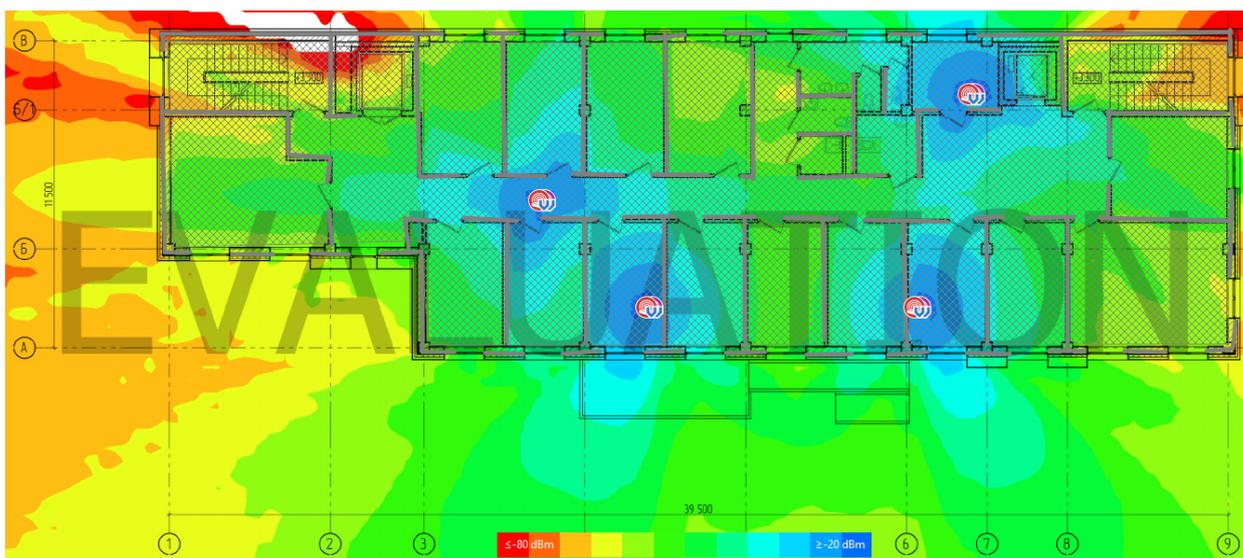


Рисунок 14 – Уровень сигнала на втором этаже

Как и на первом этаже уровень сигнала составляет от минус 20 до минус 60 дБм, что позволяет работать на необходимой нам скорости.

Данные анализа шумов так же показывают, что они минимальны на всей площади здания, а отношение сигнал/шум в среднем составляет 40 дБ (Рисунок 15):

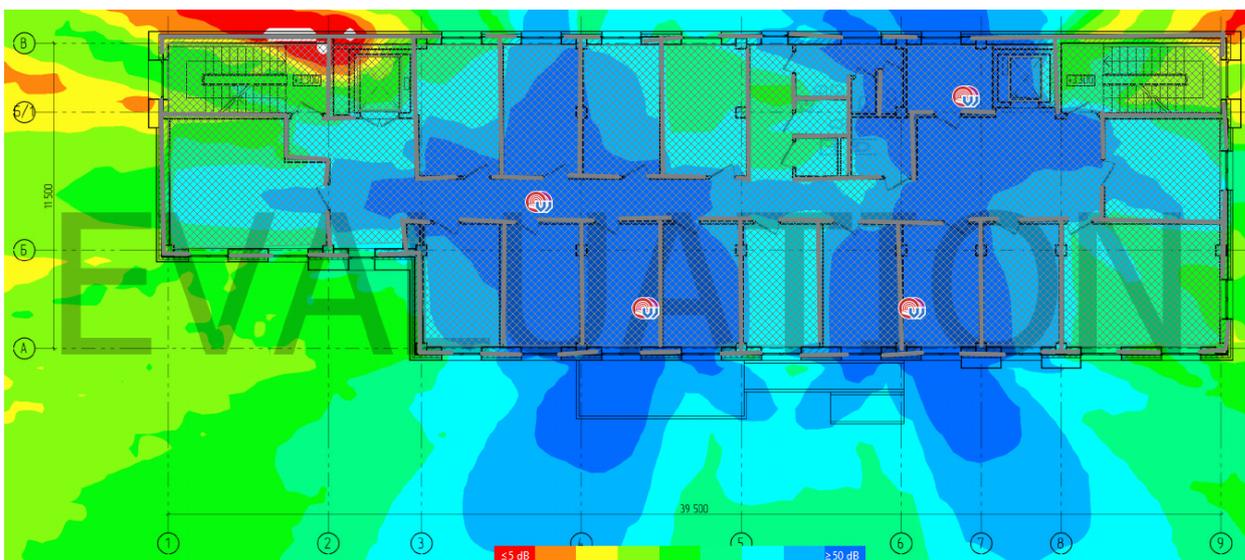


Рисунок 15 – Анализ уровня шумов на втором этаже

Анализ скоростей передачи на втором этаже показывает, что практически на всей площади скорость соединения должна составлять 900 Мбит/с на физическом уровне (Рисунок 16).

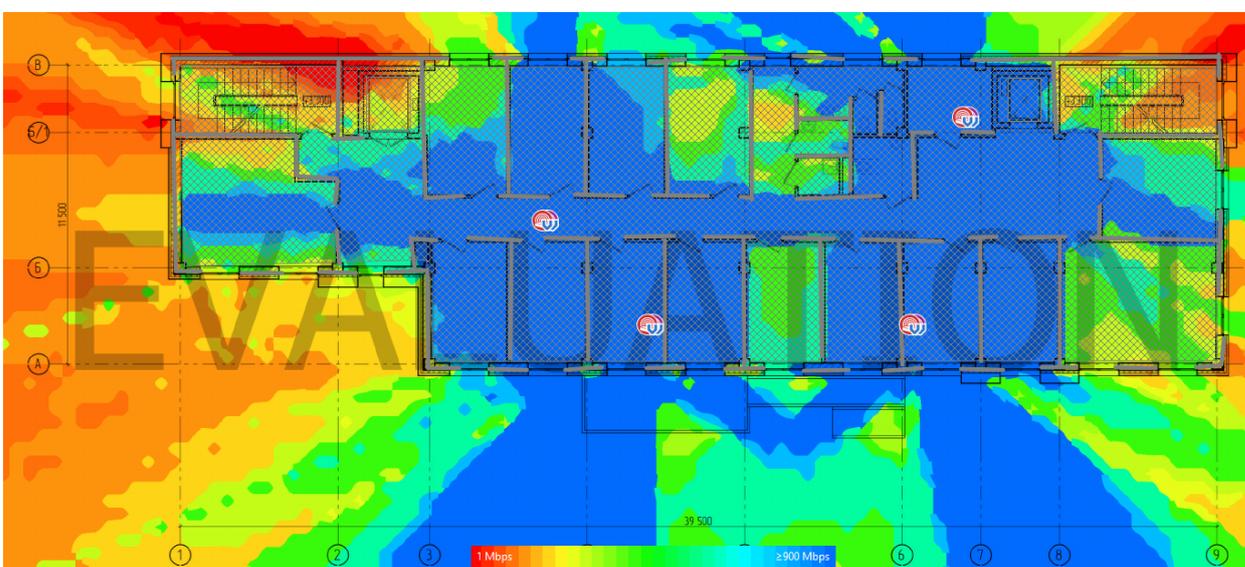


Рисунок 16 - Ожидаемая физическая скорость на втором этаже

Таким образом, условия, заданные в техническом задании, выполняются.

## 2.7 Монтаж оборудования

Монтаж оборудования включает в себя следующие этапы:

- монтаж коммутатора D-Link DWS-3160 на втором этаже в серверной комнате;
- монтаж точек доступа D-Link DAP-2695;
- прокладка медного кабеля (витая пара категории не менее UTP 5e) от точек доступа до коммутатора, прокладка оптоволоконного кабеля от серверной комнаты до коммутаторов.

Остановимся подробнее на каждом из этапов.

Точки доступа D-Link DAP-2695 могут быть установлены на стене или на потолке, не привлекая излишнего внимания, в нашем случае расчет был произведён при нахождении точек доступа на высоте 1,5 м. Также они могут быть установлены над фальш-потолком. Места, в которых следует устанавливать точки доступа, определены в разделе 2.6. Точки доступа крепятся к поверхности при помощи специальной крепежной платы, которая входит в комплект поставки.

Коммутатор D-Link DWS-3160 может быть установлен под фальш-потолками либо в специальных ящиках для оборудования.

Наиболее трудоемким процессом при монтаже оборудования является прокладка кабеля от каждой точки доступа к коммутатору. Кабеля необходимо прокладывать в кабель-каналах. Также достаточно трудоемким процессом является монтаж оптоволоконного кабеля.

Для подключения всех точек доступа потребуется несколько сотен метров кабеля. Для подключения PoE коммутатора к ядру сети потребуется также около 100 метров оптоволоконного кабеля.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В данной дипломной работе была разработана беспроводная сеть Wi-Fi в двухэтажном офисном здании на основе стандарта 802.11ac. В работе был сделан анализ сети беспроводного доступа Wi-Fi. В качестве выбора оборудования для реализации проекта было отдано предпочтение в пользу фирмы D-Link. Обоснование выбора оборудования производилось с учетом: технических характеристик, возможности применения, стоимости и так далее. В технической части проекта рассмотрен вариант построения сети беспроводного доступа с установлением четырёх точек доступа на каждом этаже. Выбор обусловлен условиями технических параметров оборудования.

Таким образом, при внедрении данного проекта мы получаем современную беспроводную сеть, что позволит предоставлять доступ в Интернет, к локальным и корпоративным ресурсам для клиентов сети в пределах всего здания.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ватаманюк, А. И. Беспроводная сеть своими руками / А.И. Ватманюк. - Спб.: Питер, 2006. — 192 с.
2. Широкополосные беспроводные сети передачи информации / В.М. Вишневский, А.И.Ляхов, С.Л. Портной, И.В. Шанхович. - М.: Эко-Трендз, 2005. - 592 с.
3. Григорьев, В.А. Сети и системы радиодоступа / В.А. Григорьев, О.И. Лагутенко, Ю.А. Распаев. - М.: Эко-Трендз, 2005. - 384 с.
4. Максим, М. Безопасность беспроводных сетей / Мерит Максим, Дэвид Полино; Пер. с англ. Семенова А.В. - М.: Компания АйТи; ДМК Пресс, 2004. - 288с.
5. Олифер, В.Г., Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов: 3-е изд. / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. - Спб.: Питер, 2006. - 958 с.
6. Педжман, Р. Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11 / Рошан Педжман, Лиэри Джонатан; Пер. с англ. - М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. - 304 с.
7. Столлингс, В. Беспроводные линии связи и сети / Вильям Столлингс; Пер. с англ. - М.: Издательский дом «Вильямс», 2002. - 640 с.
8. Педжман, Р. Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11: Практическое руководство по изучению, разработке и использованию беспроводных ЛВС стандарта 802.11 / Педжман Рошан, Джонатан Лиэри; Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2008. – 304 с.
9. Мауфер, Т. WLAN: практическое руководство для администраторов и профессиональных пользователей / Томас Мауфер. - М.: КУДИЦ-Образ, 2005. -2005 г.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### «Точка доступа D-Link DAP-2695»

Таблица А1 – Общие характеристики оборудования DAP-2695

Характеристика	Значение
Модель	DAP-2695
Производитель	D-Link
Стандарты	IEEE 802.11a/b/g/n/ac IEEE 802.3u/ab/at
Скорость беспроводного соединения	802.11a: 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Мбит/с 802.11b: 1, 2, 5,5, 11 Мбит/с 802.11g: 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Мбит/с 802.11n: от 6,5 Мбит/с до 450 Мбит/с
Сетевое управление	Интерфейс командной строки -Telnet - SecureShell (SSH) Поддержка SNMP - Модуль D-View - Private MIB Web-интерфейс - HTTP - Secure HTTP (HTTPS) AP Manager II (для H/w Ax) D-LinkCentralWi-FiManager (для H/w Bx) +AP Array
Диапазоны частот	2,4ГГц (от 2,4ГГц до 2, 4835ГГц) 5ГГц (от 5,15ГГц до 5,35ГГц)
Схема MIMO	3x3
Антенны	6 всенаправленные, съемные антенны (по 3 антенны на диапазон) Коэффициенты усиления: 2.4 ГГц - 4 dBi 5 ГГц - 6 dBi
Выходная мощность передатчика	IEEE 802.11a: 14 дБм при 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Мбит/с IEEE 802.11b: 16 дБм при 1, 2, 5,5, 11 Мбит/с IEEE 802.11g: 16 дБм при 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Мбит/с IEEE 802.11n: 2,4 ГГц/HT-20: 16 дБм при MCS0 - MCS23 2,4 ГГц/HT-40: 16 дБм при MCS0 - MCS23 5 ГГц/HT-20: 14 дБм при MCS0 - MCS23 5 ГГц/HT-40: 14 дБм при MCS0 - MCS23 IEEE 802.11ac: 5 ГГц/VHT-20: 14 дБм при MCS0 - MCS9 5 ГГц/VHT-40: 14 дБм при MCS0 - MCS9 5 ГГц/VHT-80: 14 дБм при MCS0 - MCS9

Продолжение таблицы А1

Характеристика	Значение			
Чувствительность приемника	IEEE 802.11a: -82 дБм при 6 Мбит/с -81 дБм при 9 Мбит/с -79 дБм при 12 Мбит/с -77 дБм при 18 Мбит/с -74 дБм при 24 Мбит/с -70 дБм при 36 Мбит/с -66 дБм при 48 Мбит/с -65 дБм при 54 Мбит/с IEEE 802.11b: -80 дБм при 2 Мбит/с -76 дБм при 11 Мбит/с IEEE 802.11g: -82 дБм при 6 Мбит/с -81 дБм при 9 Мбит/с -79 дБм при 12 Мбит/с -77 дБм при 18 Мбит/с -74 дБм при 24 Мбит/с -70 дБм при 36 Мбит/с -66 дБм при 48 Мбит/с -65 дБм при 54 Мбит/с IEEE 802.11n:			
	5ГГц/HT-20 -82 дБм при MCS0 -79 дБм при MCS1 -77 дБм при MCS2 -74 дБм при MCS3 -70 дБм при MCS4 -66 дБм при MCS5 -65 дБм при MCS6 -64 дБм при MCS7	5ГГц/HT-40 -79 дБм при MCS0 -76 дБм при MCS1 -74 дБм при MCS2 -71 дБм при MCS3 -67 дБм при MCS4 -63 дБм при MCS5 -62 дБм при MCS6 -61 дБм при MCS7	2,4ГГц/HT-20 -82 дБм при MCS0/8 -79 дБм при MCS1/9 -76 дБм при MCS2/10 -74 дБм при MCS3/11 -70 дБм при MCS4/12 -66 дБм при MCS5/13 -65 дБм при MCS6/14 -64 дБм при MCS7/15	2,4ГГц/HT-40 -79 дБм при MCS0/8 -76 дБм при MCS1/9 -74 дБм при MCS2/10 -71 дБм при MCS3/11 -67 дБм при MCS4/12 -63 дБм при MCS5/13 -62 дБм при MCS6/14 -61 дБм при MCS7/15

Продолжение таблицы А1

Характеристика	Значение		
Чувствительность приемника	IEEE 802.11ac		
	VHT-20 -82 дБм при MCS0 -79 дБм при MCS1 -77 дБм при MCS2 -74 дБм при MCS3 -70 дБм при MCS4 -66 дБм при MCS5 -65 дБм при MCS6 -64 дБм при MCS7 -59 дБм при MCS8 -57 дБм при MCS9	VHT-40 -79 дБм при MCS0 -76 дБм при MCS1 -74 дБм при MCS2 -71 дБм при MCS3 -67 дБм при MCS4 -63 дБм при MCS5 -62 дБм при MCS6 -61 дБм при MCS7 -56 дБм при MCS8 -54 дБм при MCS9	VHT-80 -76 дБм при MCS0 -73 дБм при MCS1 -71 дБм при MCS2 -68 дБм при MCS3 -64 дБм при MCS4 -60 дБм при MCS5 -59 дБм при MCS6 -58 дБм при MCS7 -53 дБм при MCS8 -51 дБм при MCS9
Сетевое управление	Secure HTTP (HTTPS) Telnet Secure Shell (SSH) HTTP Модуль D-View – private MIB Управление трафиком SNMP D-Link Central Wi-Fi Manager AP Array		
Безопасность	WPA™-Personal WPA2™-Personal WPA™-Enterprise WPA2™-Enterprise 64/128-битное WEP-шифрование Управление доступом на основе MAC-адреса Внутренний сервер RADIUS Отключение широковещания SSID Защита сетевого доступа		
Температура	Рабочая: от 0°С до 40°С Хранения: -20°С до 65°С		
Сертификаты	FCC CE IC UL Wi-Fi		
Вес	1140 г (с антенной)		
Размеры	190.5 x 36.5 x 198 мм		
Максимальная выходная мощность	20 дБм с 3 потоками (2.4 ГГц) 20 дБм с 3 потоками (5 ГГц)		

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### «PoEкоммутатор D-Link DWS–3160 – 24PC»

Таблица Б1 – Общие характеристики оборудования DWS–3160 – 24PC

Характеристика	Значение
Интерфейсыустройства	20 портов 10/100/1000BASE-T (PoE) 4 комбо-порта 10/100/1000BASE-T/SFP
Консольный порт	RJ-45
Таблица MAC адресов	16К
Максимальная потребляемая мощность	467 Вт (при задействовании всех портов PoE)
Производительность	Коммутационная матрица: 48 Гбит/с Скорость перенаправления пакетов: 35,71 Mpps Метод коммутации: StoreandForward Размер буфера пакетов: 2 МБ 802.3af Power over Ethernet - 15,4 Втнапорт - 370 Вт Общий бюджет мощности - 740 Вт Общий бюджет мощности (с использованием резервного источника питания (RPS)) Количество VLAN на устройство: 3,965 Статические маршруты: 512 Размер Jumbo-фреймов: 13К
ПО(Управление)	До 48 унифицированных беспроводных точек доступа на коммутатор (12 ТД по умолчанию, увеличение до 48 ТД с помощью дополнительных лицензий), до 192 точек доступа на кластер Кластер коммутаторов с поддержкой Single IP Management (SIM, управление через единый IP-адрес) SSH SSL SNMP v1, 2с, 3 sFlow Поддержка двух копий ПО (DualImage) Web-интерфейс Интерфейс командной строки
ПО(Управление ТД)	Автоматическое обнаружение ТД Удаленная перезагрузка ТД Мониторинг ТД: Список управляемых точек доступа, неавторизованных точек доступа, не прошедших аутентификацию точек доступа Мониторинг клиентов: Список клиентов, подключенных к каждой управляемой точке доступа

Продолжение таблицы Б1

Характеристика	Значение
ПО(управление ТД)	Мониторинг клиента Ad-hoc Аутентификация точек доступа в локальной базе данных и на внешнем сервере RADIUS Централизованное управление политиками безопасности/RF Автоматическая настройка радиочастотных каналов для точек доступа Автоматическая настройка выходной мощности передатчика Централизованное обновление ПО
Управляемые унифицированные ТД	DWL-2600AP DWL-3600AP DWL-6600AP DWL-8600AP DWL-8610AP (для прошивок версии 4.3.1.3 и более новых) DWL-6610AP (для прошивки версии 4.4.1.10_001) DWL-6700AP (для прошивки версии 4.4.1.10_001) DWL-8710AP (для прошивки версии 4.4.1.10_001)
Роуминг	Быстрый роуминг Роуминг между коммутаторами и точками доступа, подключенными к одному коммутатору Внутри – и межсетевой роуминг
Управление доступом и полосой пропускания	До 32 SSID на точку доступа (16 SSID на радиочастотный канал) Балансировка нагрузки между точками доступа на основе количества пользователей или использования ТД Схемы подключения

Продолжение таблицы Б1

Характеристика	Значение
Функции 2 уровня	IGMP Snooping MLD Snooping 802.1D/w/s Spanning Tree 802.3ad Link Aggregation 802.1ab LLDP Зеркалирование портов (One-to-One и Many-to-One) Размер Jumbo-фреймов: до 13 КБ
Функции 3 уровня	Статический маршрут IPv4/v6 Размер таблицы маршрутизации: 512 статических маршрутов VRRP ARP Proxy
QoS (Качество обслуживания)	Очереди приоритетов 802.1p (до 8 очередей на порт) CoS на основе: порта коммутатора, VLAN, DSCP, номера порта TCP/UDP, TOS, MAC-адреса источника/приемника, IP - адреса источника/приемника Минимальная гарантия по полосе пропускания на очередь Формирование трафика на порт
Списки управления доступом (ACL)	ACL на основе: порта коммутатора, MAC-адреса, очередей приоритетов 802.1p, VLAN, Ethertype, DSCP, IP-адреса, типа протокола, номера порта TCP/UDP
Функции безопасности LAN	Аутентификация RADIUS Аутентификация TACACS+ SSH v1, v2 SSL v3 Функция PortSecurity: - 20 MAC-адресов на порт - Уведомления в случае срабатывания функции Фильтрация MAC-адресов Управление доступом 802.1x на основе портов и Guest VLAN Защита от атак DoS Управление ширококестельным штормом в диапазоне от 0 до 255Kpps Защищенный порт DHCP-фильтрация

Продолжение таблицы Б1

Характеристика	Значение
Методыуправления	Web-интерфейс Сервер Telnet: до 5 сессий Клиент TFTP Несколько файлов конфигурации Клиент BOOTP/DHCP SNTP Поддержка двух копий ПО (DualImages) CLI Клиент Telnet SNMP v1, v2c, v3 RMON v1: 4 группы (Statistics, History, Alarms, Events) Сервер DHCP SYSLOG
Индикаторы	Наустройство: Power, Console, RPS Дляпорта 10/100/1000BASE-T: Link/Activity/Speed, PoE Дляслота SFP: Link/Activity
Питание	Питание: 100-240 В переменного тока, 50/60 Гц ,внутренний универсальный источник питания с активной системой PFC
Тепловыделение	Тепловыделение: 1535.49 BTU/час Вентиляция: 4 вентилятора 40 x 40 мм
Размеры	441 (Ш) x 390 (Г) x 45 (В) мм
Вес	5,94кг
Температура	Рабочая температура: от 0° до 40° C Температура хранения: от -10° до 70° C
Влажность	Рабочая влажность 10-90% без конденсата Влажность хранения 5-90% без конденсата
Электромагнитная совместимость	FCC Class A С-Tick VCCI ICES-003 CE EN 60601-1-2
Безопасность	CB UL/cUL

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

### План здания

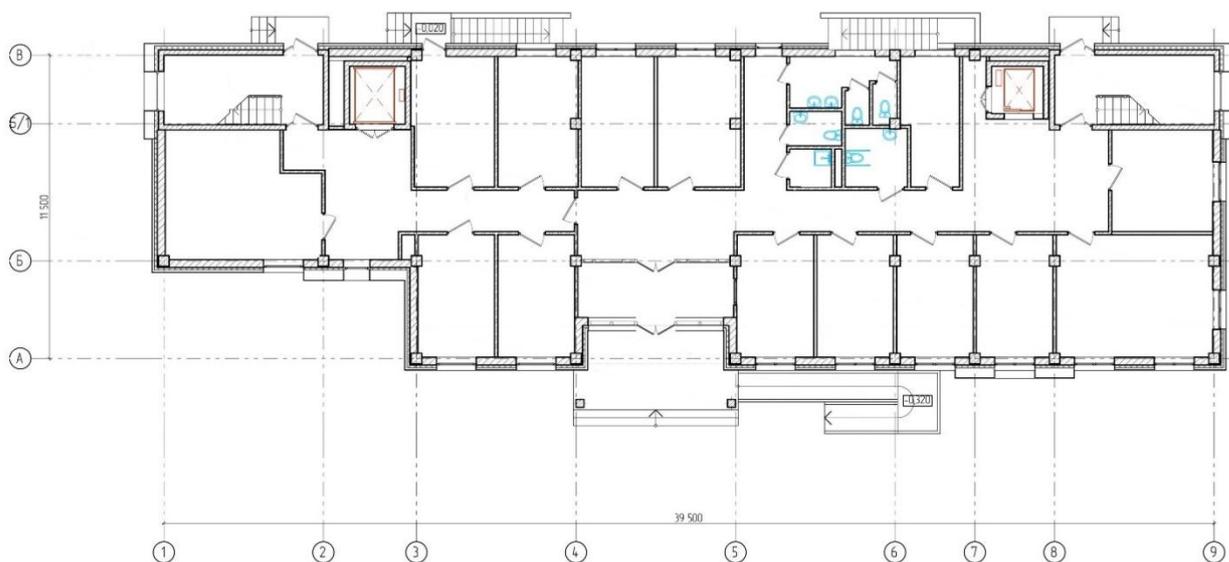


Рисунок В1 – Схема первого этажа.

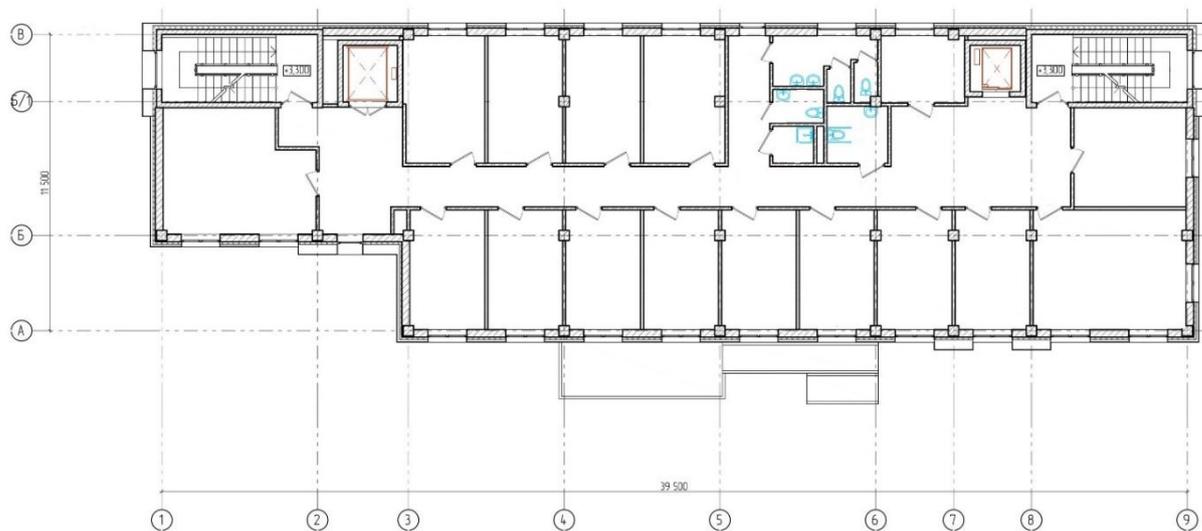


Рисунок В2 – Схема второго этажа.