

# Исследование оборудования радиодоступа Mikrotik

## Стандарты

Разрабатываемый макет радиолинии будет работать на основе Wi-Fi. Wi-Fi это общее название, которое включает в себя семейство стандартов 802.11. В каждом стандарте описываются технологии, применяемые для передачи данных, рабочий диапазон частот, скорости передачи данных.

К наиболее популярным стандартам 802.11 относятся:

- 802.11

Это самый первый стандарт беспроводной передачи данных. Принят в 1997 году. Он работал на частоте 2.4 ГГц с полосой 22 МГц. В нём использовался метод прямой последовательности для расширения спектра (DSSS) с 11-значными кодами Баркера, модуляции DBPSK и DQPSK. Этот стандарт мог работать со скоростями 1 и 2 Мбит/с.

- 802.11b

Этот стандарт принят в 1999 году, он позволял работать со скоростями 1, 2, 5.5 и 11 Мбит/с. Для скоростей 1 и 2 Мбит/с использовались те же технологии, что и в 802.11. Скорости 5.5 и 11 Мбит/с достигались за счёт использования комплементарных кодов (ССК). Появилась поддержка свёрточного кодирования. Частотный диапазон 2.4 ГГц, ширина канала 22 МГц.

- 802.11a

Принятый в 1999 году, это был первый стандарт, который позволял работать в диапазоне 5 ГГц, с шириной канала 5, 10 и 20 МГц. Он позволял работать со скоростями до 54 Мбит/с. Такой огромный прирост скорости, в сравнении с предыдущими стандартами, достигался за счёт использования метода ортогонального частотного

разделения (OFDM). Поддерживаемые модуляции: BPSK, QPSK, 16QAM и 64QAM Стандарт не имел обратной совместимости с 802.11 и 802.11b , так как работал в другом частотном диапазоне.

- 802.11g

Стандарт принят в 2003 году. Он позволял достичь тех же скоростей что и 802.11a, за счёт использования OFDM. Стандарт поддерживал ширину канала 5, 10 и 20 МГц. В отличии от стандарта 802.11a работал в диапазоне 2.4 ГГц и имел совместимость со стандартами 802.11 и 802.11b.

- 802.11n

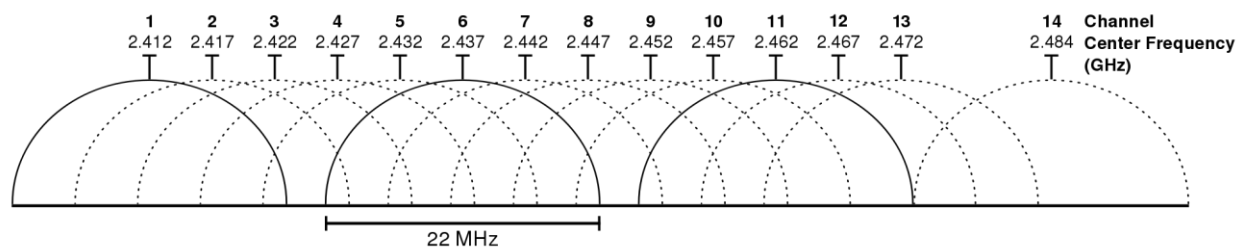
Принят в 2009 году. Этот стандарт поддерживал два частотных диапазона 2.4 и 5 ГГц. Стандарт описывал скорости передачи данных до 600 Мбит/с. Таких скоростей позволяет достичь технология SU-MIMO 4X4. В стандарте добавилась поддержка ширины канала 40 МГц. Также добавилась поддержка технологии агрегации кадров. Оборудование с поддержкой стандарта 802.11n является самым распространённым на сегодняшний день.

- 802.11ac

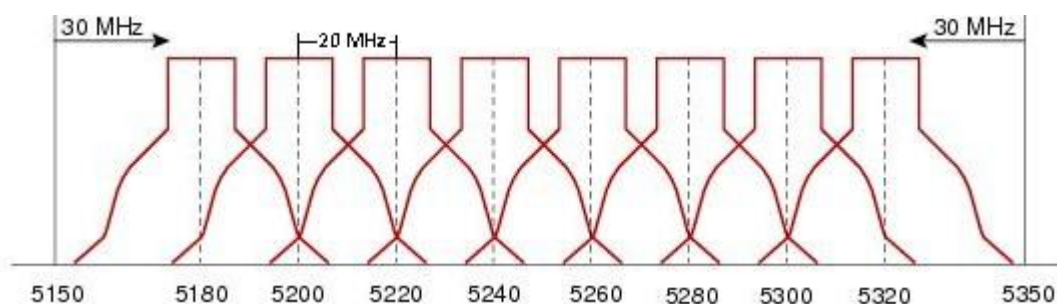
Этот стандарт принят в 2013 году. Позволяет работать в диапазоне 5 ГГц. Поддерживает ширину канала 5, 10, 20, 40, 80, 160 МГц. Также, появилась поддержка 256QAM и MU-MIMO 8X8. Стандартом поддерживаются скорости передачи до 6.9 Гбит/с , однако на сегодняшний день нет оборудования, позволяющего достичь таких скоростей.

## Диапазоны частот

В диапазоне в 2.4 ГГц используются 14 каналов. Каждому каналу соответствует определённая центральная частота. В РФ разрешено работать без лицензии разрешено использовать только первые 13 каналов.



В диапазоне 5 ГГц используются каналы 36-64, 100-144 и 149-165 с шагом 4. В РФ разрешено использовать только каналы с 34 по 64.



При выборе беспроводного оборудования рекомендуется выбирать то, которое работает в диапазоне 5 ГГц. В отличие от диапазона 2.4 ГГц в 5 ГГц при полосе пропускания 20 МГц соседние каналы не будут пересекаться.

## **Технологии**

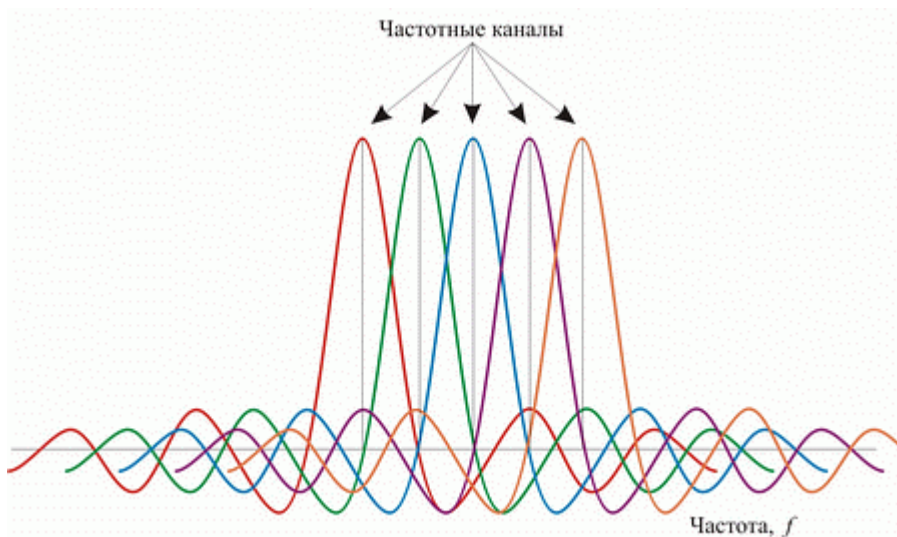
### **OFDM**

Идея данного метода заключается в том, что поток передаваемых данных распределяется по множеству частотных подканалов и передача ведется параллельно на всех этих подканалах. При этом высокая скорость передачи достигается именно за счет одновременной передачи данных по всем каналам, а скорость передачи в отдельном подканале может быть и невысокой.

Поскольку в каждом из частотных подканалов скорость передачи данных можно сделать не слишком высокой, это создает предпосылки для эффективного подавления межсимвольной интерференции.

При частотном разделении каналов необходимо, чтобы ширина отдельного канала была, с одной стороны, достаточно узкой для минимизации искажения сигнала в пределах отдельного канала, а с другой — достаточно широкой для обеспечения требуемой скорости передачи. Кроме того, для экономного использования всей полосы канала, разделяемого на подканалы, желательно как можно более плотно расположить частотные подканалы, но при этом избежать межканальной интерференции, чтобы обеспечить полную независимость каналов друг от друга. Частотные каналы, удовлетворяющие перечисленным требованиям, называются ортогональными. Несущие сигналы всех частотных подканалов (а точнее, функции, описывающие эти сигналы) ортогональны друг другу.

Важно, что хотя сами частотные подканалы могут частично перекрывать друг друга, ортогональность несущих сигналов гарантирует частотную независимость каналов друг от друга, а, следовательно, и отсутствие межканальной интерференции.



Также, в технологии OFDM применяется защитный интервал (Guard Interval, GI). Защитный интервал является избыточной информацией, которая передаётся между OFDM символами, создавая тем самым паузы между ними. Защитный интервал нужен для предотвращения межсимвольной интерференции.

## **MIMO**

Эта техника основана на использовании нескольких антенн с целью лучшего распознавания сигнала, пришедшего к приемнику разными путями. Обычно из-за таких эффектов распространения радиоволн, как отражение, дифракция и рассеивание, приемник получает несколько сигналов, дошедших от передатчика по разным физическим путям и имеющим, следовательно, сдвиг по фазе. До введения техники MIMO такие явления считались негативными и с ними боролись путем применения нескольких (обычно двух) антенн, из которых в каждый момент времени использовалась только одна — та, которая принимала сигнал лучшего качества. Техника MIMO принципиально изменила отношение к сигналам, пришедшим разными путями, — эти сигналы комбинируются и путем цифровой обработки из них восстанавливается исходный сигнал.

Техника MIMO не только способствует улучшению отношения сигнал шум. Благодаря возможности обрабатывать сигналы, пришедшие разными путями, для создания избыточного сигнала для каждого потока можно передавать с помощью нескольких антенн несколько независимых потоков данных (обычно их число меньше, чем число антенн). Эта способность систем MIMO называется пространственным мультиплексированием (Spatial Multiplexing). Для систем MIMO принято использовать обозначение:

$T \times R : S$

Где,  $T$  — количество передающих антенн узла,  $R$  — количество принимающих антенн узла, а  $S$  — количество потоков данных, которые пространственно мультиплексируются.

Технология MIMO обеспечивает значительное повышение битовой скорости передачи данных в  $S$  раз.

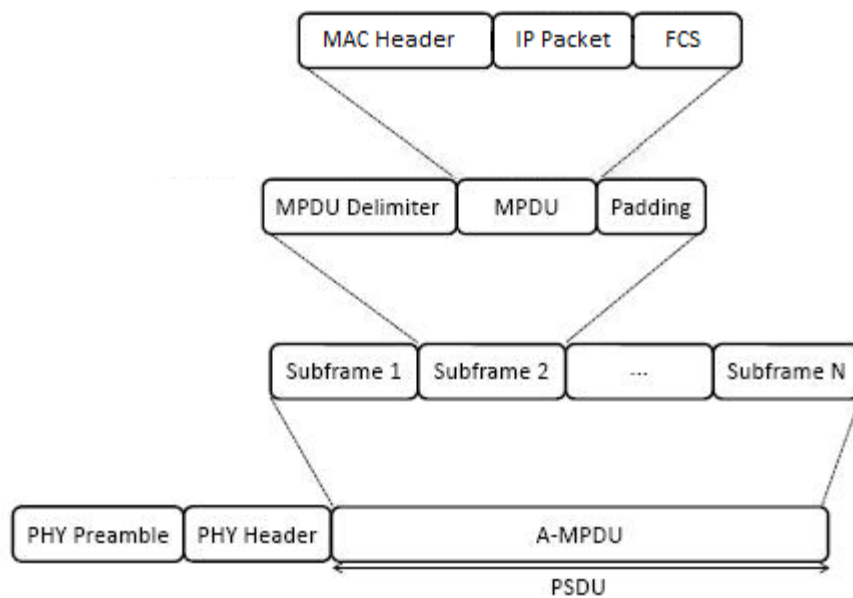
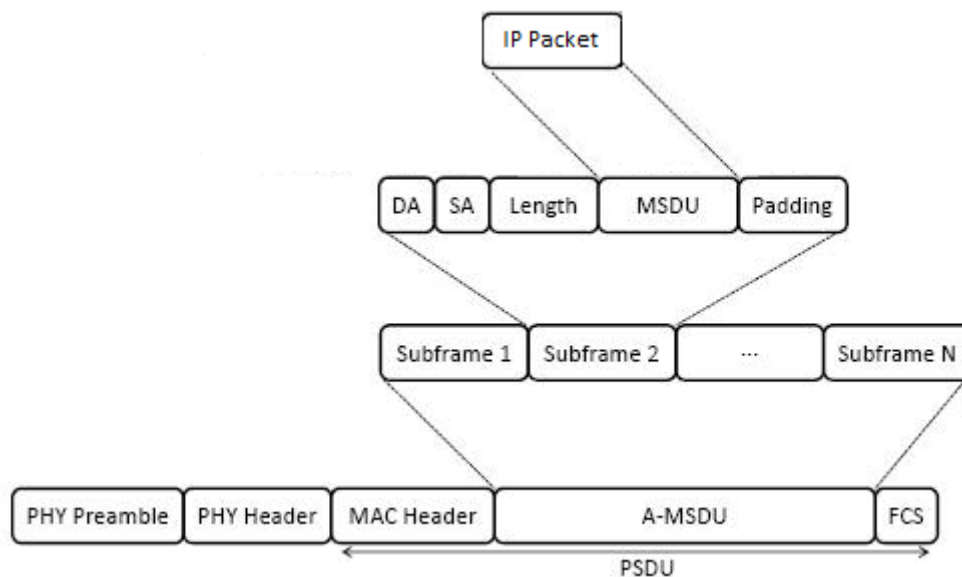
### **Агрегация кадров**

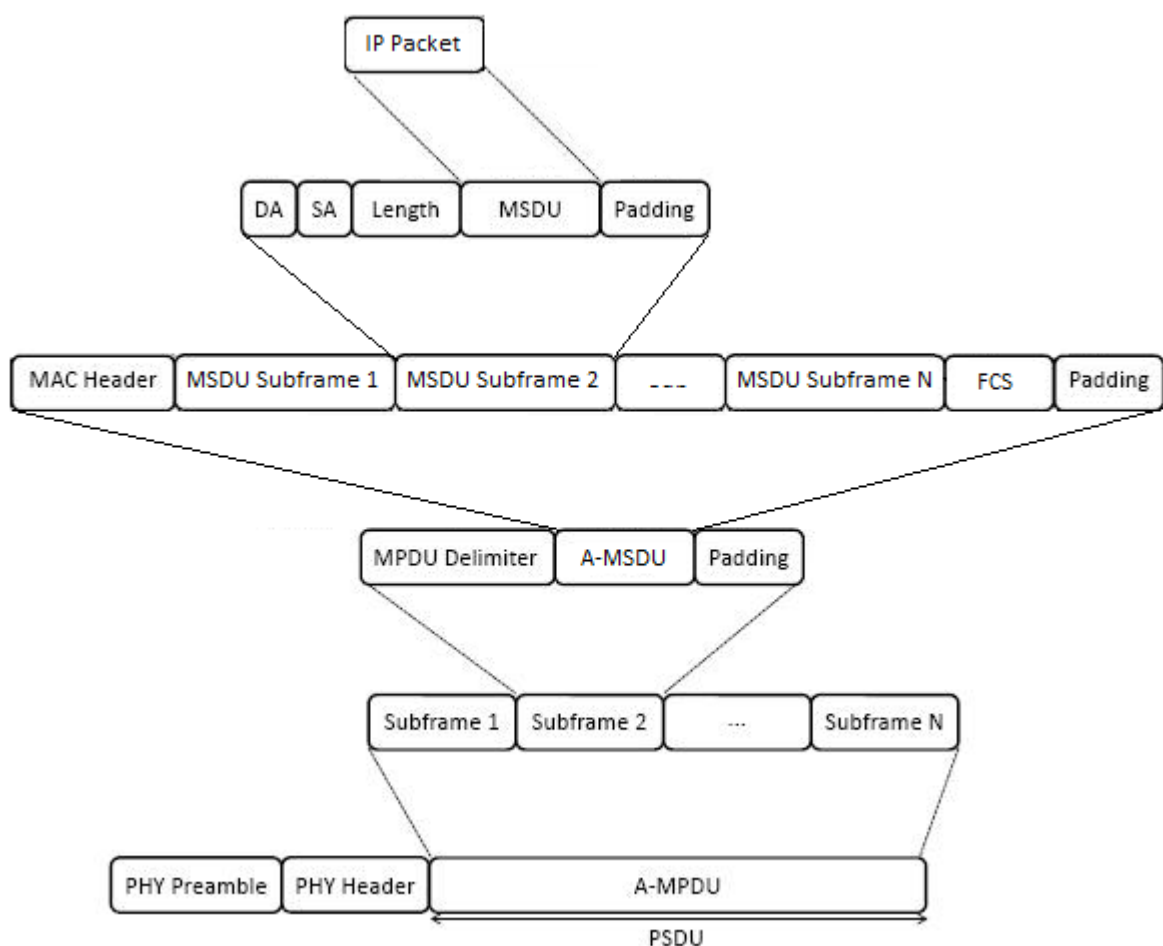
Агрегация кадров — механизм, позволяющий объединять несколько кадров 802.11 в один для последующей передачи. Стандарты 802.11n и 802.11ac позволяют осуществлять одномоментную посылку двух и более кадров путём объединения кадров в один большой кадр. Существуют две формы агрегации кадров: Aggregated Mac Protocol Data Unit (A-MPDU) и Aggregated Mac Service Data Unit (A-MSDU).

Кадры A-MPDU создаются на уровне "железа", а кадры A-MSDU создаются на уровне программы. Поддержка A-MPDU обязательна для стандартов 802.11n и 802.11ac. Размеры A-MPDU кадров могут достигать 64 Кбайт, а размеры A-MSDU кадров могут достигать 7935 байт.

Можно использовать сразу обе агрегации. Кадры A-MSDU могут входить в состав кадра A-MSDU. Агрегация кадров позволяет увеличить реальные

скорости передачи данных, однако, чем больше размер агрегированного кадра, тем хуже помехозащищённость.





## Тип Wi-Fi оборудования

Wi-Fi оборудование можно разделить на: Wi-Fi мосты (bridge), Wi-Fi точки доступа (access point) и Wi-Fi контроллеры (controller).

Wi-Fi мосты нужны для построения беспроводных локальных сетей на большие расстояния, около 1-20 км. При помощи беспроводных мостов можно строить сети типа точка-многоточка (point-multipoint). При этом главная точка должна быть в режиме моста (bridge), а остальные должны быть в режиме станции (station).

Точки доступа применяются для построения беспроводных сетей с большим количеством абонентских устройств. В отличие от Wi-Fi мостов точки



доступа не рассчитаны на большие расстояния, однако, у них большая зона обслуживания.

Wi-Fi контроллеры нужны для настройки и мониторинга большого количества точек доступа.

Часто, одно и то же оборудование может работать и в режиме моста и в режиме точки доступа. Также, некоторые точки доступа поддерживают режим WDS. Этот режим позволяет увеличить зону обслуживания уже существующей сети за счёт дополнительных точек доступа.

## **2. Описание точек доступа и макета, собранного на их основе**

### **2.1. Описание точек доступа, применяемых для создания макета линии беспроводной передачи данных**

Для построения макета радиолинии передачи данных используются точки доступа SXT 5HPnD, произведенные компанией Mikrotik (Латвия). Эти точки доступа поддерживают стандарты 802.11a и 802.11n и работают в диапазоне частот 5 ГГц. Они обеспечивают пропускную способность до 300 Мбит/с и могут использоваться для построения корпоративных сетей передачи данных.

Основные характеристики точек доступа:

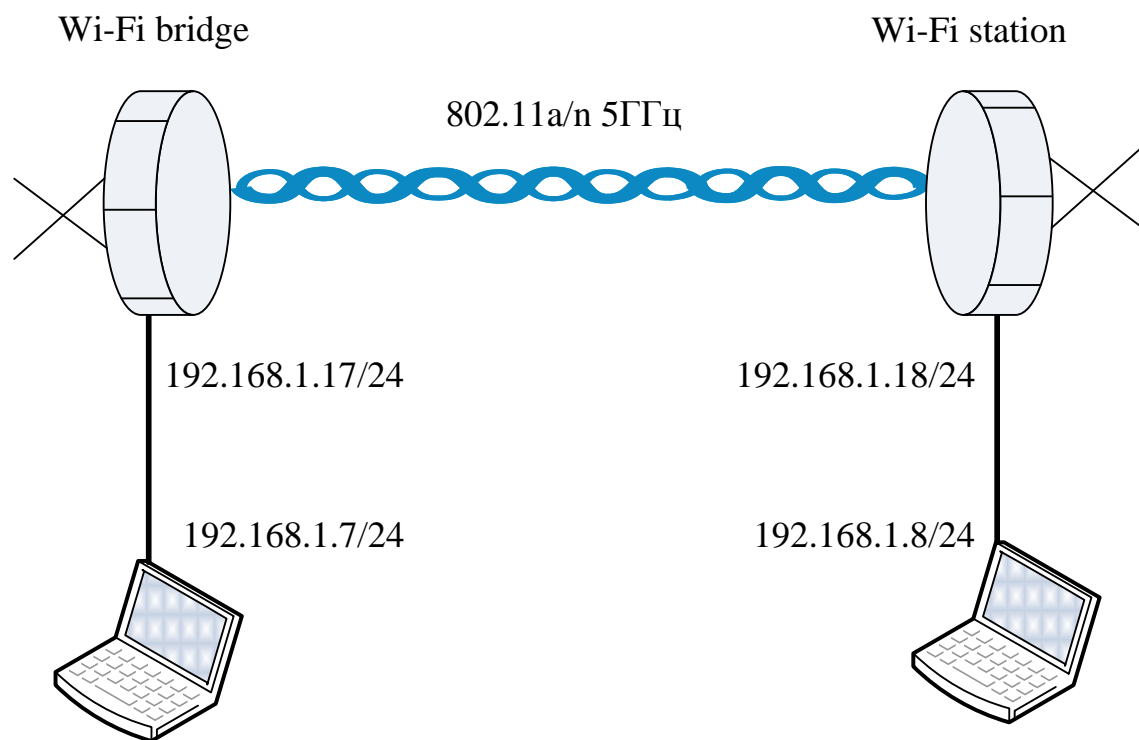
- режимы работы: Bridge, Station, Station WDS, Access Point.
- поддерживаемые Wi-Fi стандарты: 802.11a, 802.11n.
- диапазон частот, МГц: 4800-6100.
- ширина канала, МГц: 5, 10, 20, 40.
- модуляция: BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM.
- максимальная мощность излучения: 31 дБм (1250 мВт)

- Чувствительность приёмника:
- 802.11a            6            Мбит/с:            -93            дБм
- 802.11a                    54            Мбит/с:            -77            дБм
- 802.11n 5GHz MCS0 20MHZ (6.5 Мбит/с): -93 дБм
- 802.11n 5GHz MCS7 40MHZ (135 Мбит/с): -71 дБм
- дальность работы: до 10 км.
- скорость передачи данных: до 300 Мбит/с.
- антенна: усиление до 16 дБ , MIMO 2x2.
- угол действия антенны: 25 градусов.

Точки доступа работает на процессоре Atheros AR7241 на частоте 400 МГц. Также, в них имеется оперативная память DDR на 32 Мбайт, порт 1x10/100BASE-TX с поддержкой PoE (Power over Ethernet) и порт USB 2.0. Электропитание 24В 0.8А постоянного тока через порт 1x10/100BASE-TX.

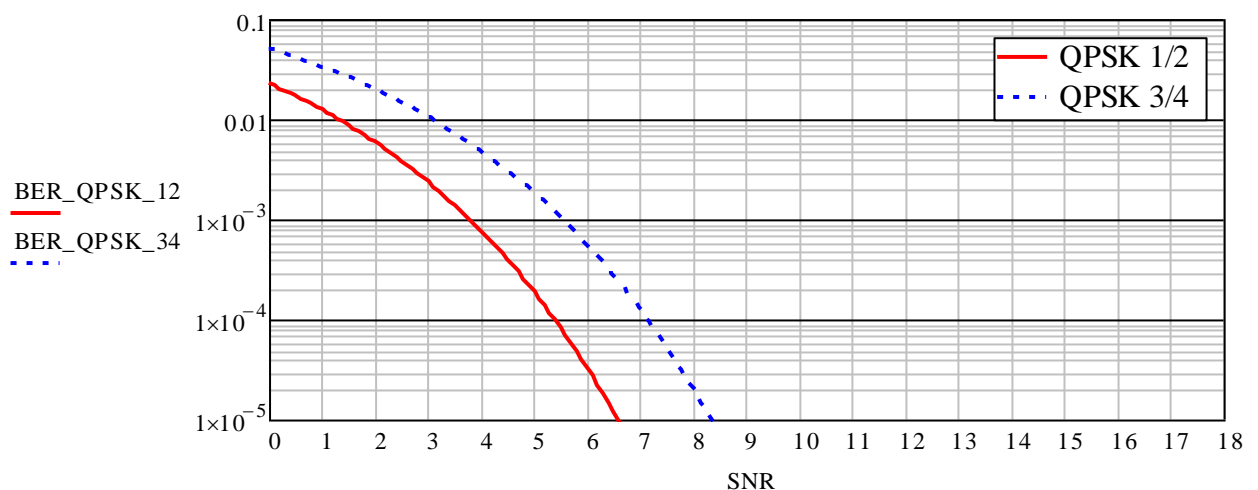
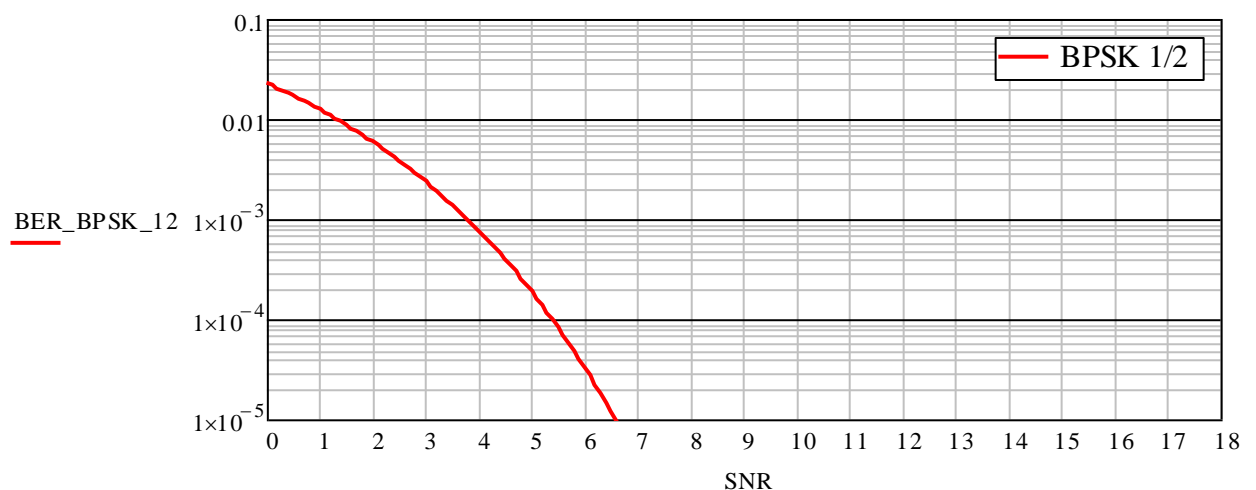
## **2.2. Описание макета радиолинии передачи данных**

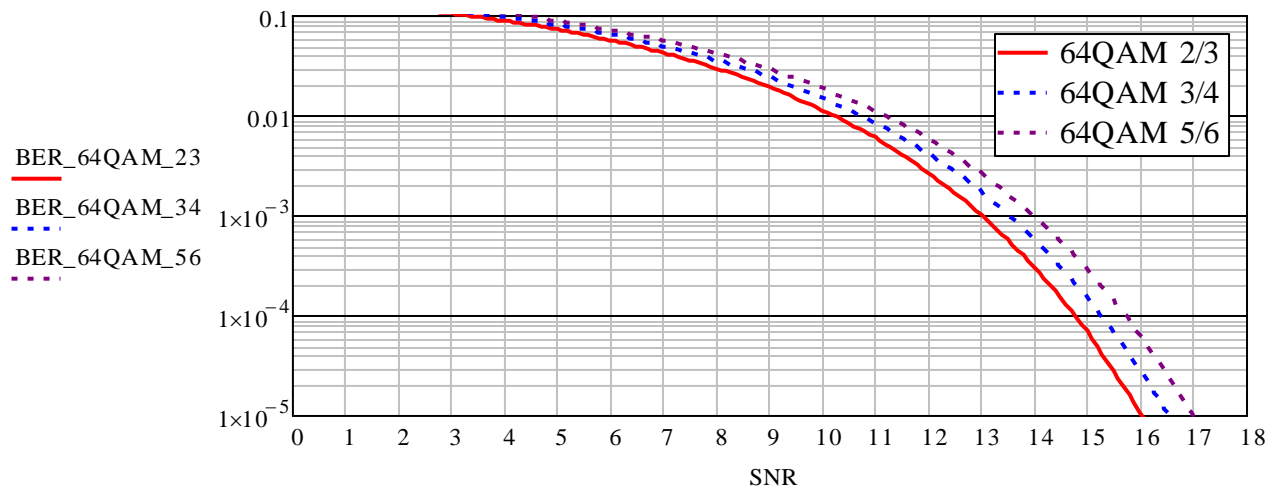
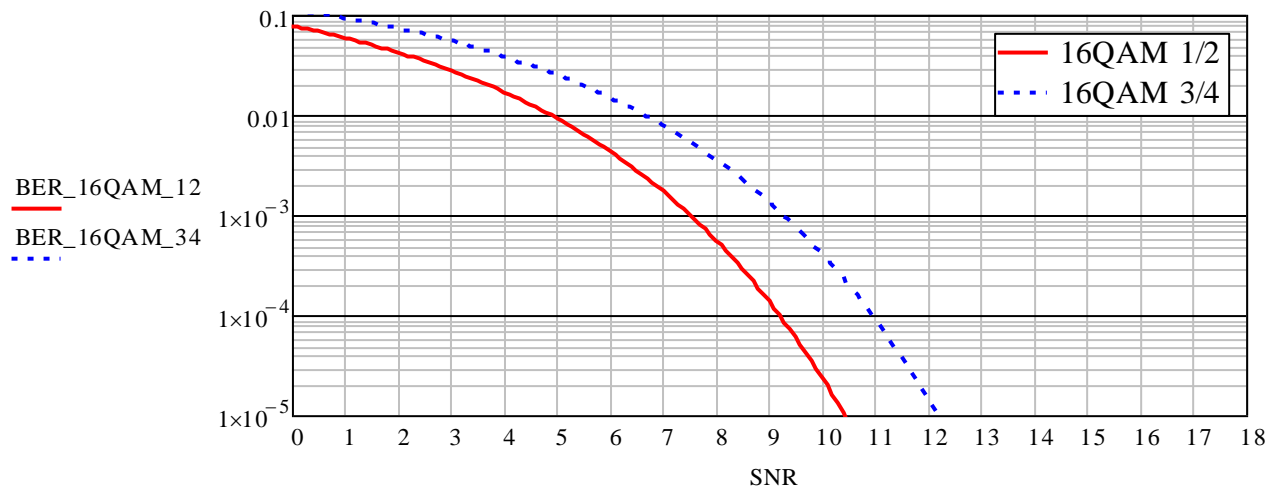
Макет состоит из двух точек доступа, одна в режиме bridge, другая в режиме stationи компьютера, который нужен для настройки точек. Компьютер подключается к точкам при помощи патч-корда. Всё оборудование макета работает в одном адресном пространстве. Точки будут работать на частоте 5 ГГц. Структурная схема макета представлена ниже.



## Теоретический расчёт

Рассчитаем минимальное отношение сигнал шум для всех модуляций и скоростей кодирования, которые поддерживают точки доступа. Для этого рассчитаем зависимости вероятности битовой ошибки (BER) от отношения сигнал шум (SNR). Воспользуемся формулой  $P_b \approx \frac{2}{\log_2 m} Q\left(\sqrt{2\gamma_b \log_2 m} \sin \frac{\pi}{m}\right)$  и формулой  $P_b \approx \frac{4(\sqrt{m}-1)}{\sqrt{m \log_2 m}} Q\left(\sqrt{\frac{3\gamma_s \log_2 m}{m-1}}\right)$  для расчёта BER от SNR для PSK и QAM модуляций. Максимально возможная вероятность битовой ошибки для Wi-Fi считается  $10^{-3}$ , при этом значении будет минимальное отношение сигнал шум. Построим графики зависимостей BER от SNR.





Построим таблицу минимальных значений SNR в дБ.

	1/2	2/3	3/4	5/6
BPSK	3.7	5.0	5.5	6.0
QPSK	3.7	5.0	5.5	6.0
16-QAM	7.5	8.7	9.2	9.7
64-QAM	11.7	13.0	13.5	14.0

В спецификации 802.11n 2012 года представлена MCS таблица, в которой каждой модуляции, каждой битовой скорости и каждому количеству потоку MIMO соответствует MCS индекс. Точки доступа, используемые в этой работе, поддерживают MCS от 0 до 15.

MCS Index	Spatial Streams	Modulation Type	Coding Rate
0	1	BPSK	1/2
1	1	QPSK	1/2
2	1	QPSK	3/4
3	1	16-QAM	1/2
4	1	16-QAM	3/4
5	1	64-QAM	2/3
6	1	64-QAM	3/4
7	1	64-QAM	5/6
8	2	BPSK	1/2
9	2	QPSK	1/2
10	2	QPSK	3/4
11	2	16-QAM	1/2
12	2	16-QAM	3/4
13	2	64-QAM	2/3
14	2	64-QAM	3/4
15	2	64-QAM	5/6

Рассчитаем скорости передачи данных для каждой MCS. Расчёт производится по формуле  $R = S * BC * NC * \frac{1}{T_{GI} + T_{OFDM}}$ , где

$S$  – количество MIMO потоков;

$BC$  – количество бит на поднесущую, зависит от модуляции;

$NC$  – количество информационных поднесущих;

$T_{GI}$  – длина защитного интервала;

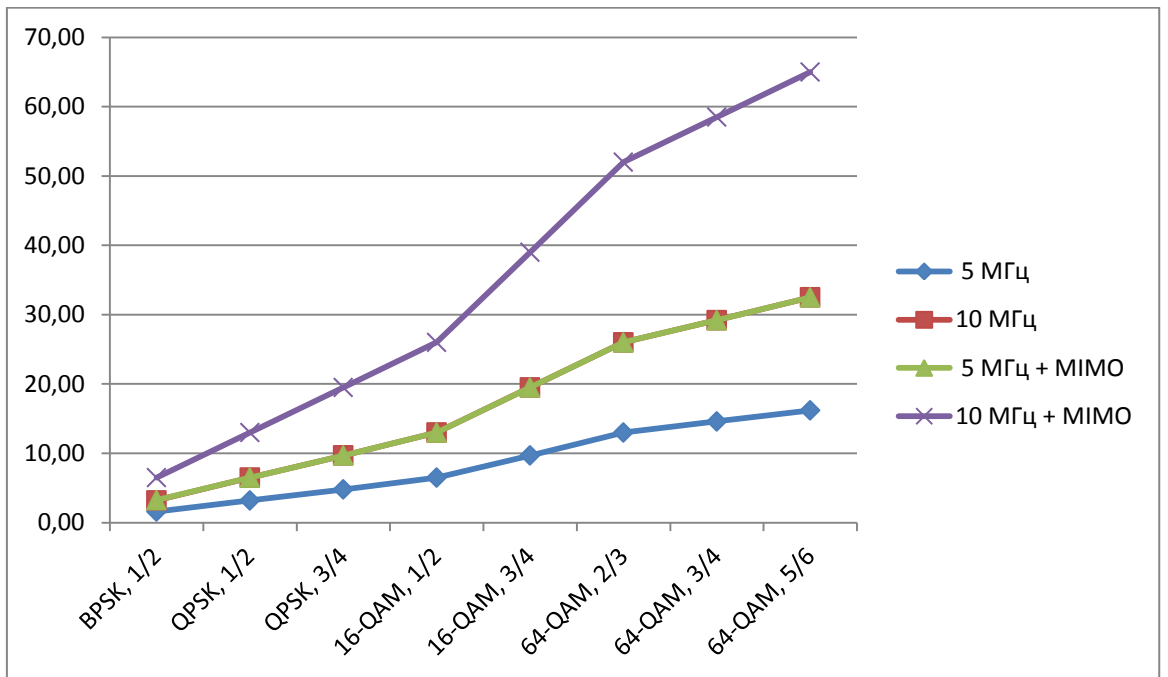
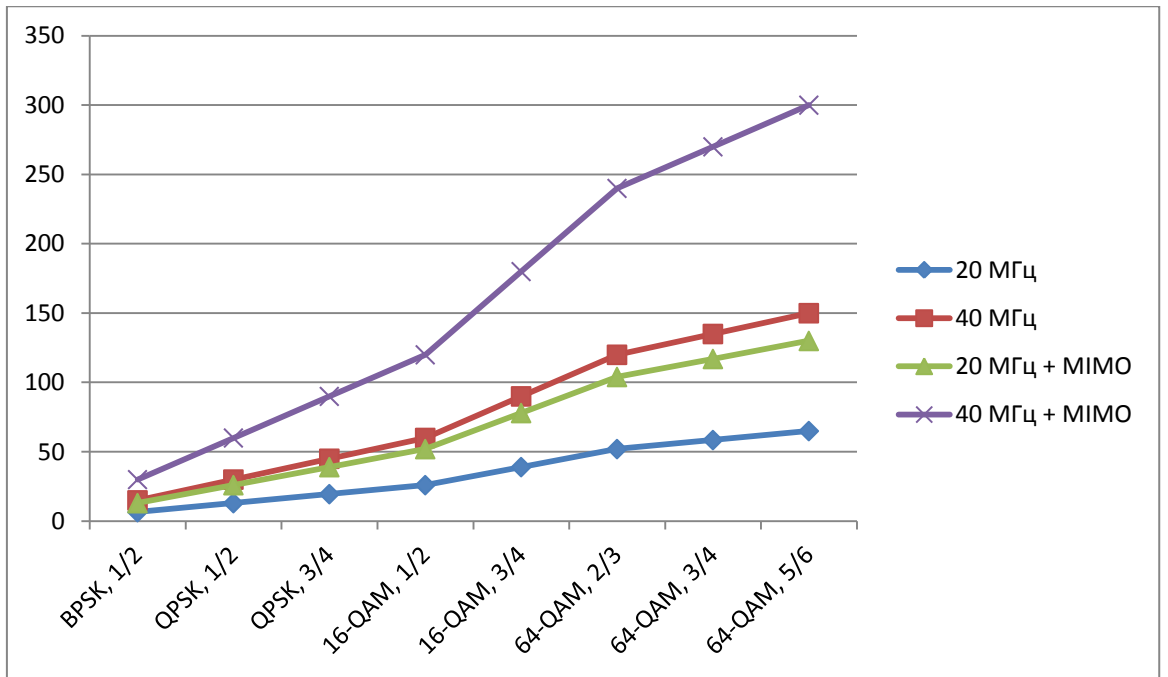
$T_{OFDM}$  – длина OFDM-символа;

Ширина канала (МГц)	Количество информационных поднесущих (802.11n)	Длина OFDM символа (нс)	Длина защитного интервала (нс)
5	52	12800	3200
10	52	6400	1600
20	52	3200	800
40	108	3600	400

Рассчитывать значения будем для полос 5, 10, 20 и 40 МГц. Таблица расчётов приведена ниже.

MCS	MIMO потоки	Модуляция	Скорость свёрточного кодирования	Скорость передачи данных (Мбит/с)			
				5 МГц	10 МГц	20 МГц	40 МГц
				GI 3200 нс	GI 1600 нс	GI 800 нс	GI 400 нс
0	1	BPSK	1/2	1.6	3.2	6.5	15
1	1	QPSK	1/2	3.2	6.5	13	30
2	1	QPSK	3/4	4.8	9.7	19.5	45
3	1	16-QAM	1/2	6.5	13	26	60
4	1	16-QAM	3/4	9.7	19.5	39	90
5	1	64-QAM	2/3	13	26	52	120
6	1	64-QAM	3/4	14.6	29.2	58.5	135
7	1	64-QAM	5/6	16.2	32.5	65	150
8	2	BPSK	1/2	3.25	6.5	13	30
9	2	QPSK	1/2	6.5	13	26	60
10	2	QPSK	3/4	9.7	19.5	39	90
11	2	16-QAM	1/2	13	26	52	120
12	2	16-QAM	3/4	19.5	39	78	180
13	2	64-QAM	2/3	26	52	104	240
14	2	64-QAM	3/4	29.2	58.5	117	270
15	2	64-QAM	5/6	32.5	65	130	300



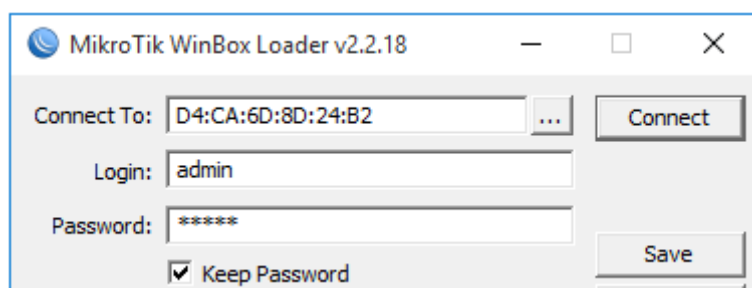


## Настройка точек доступа

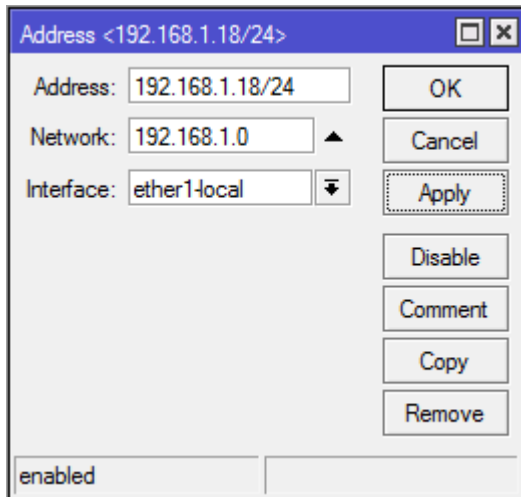
Для настройки точек доступа потребуются компьютер и патч-корд. Питание и проводное подключение к точке осуществляется через PoE адаптер.



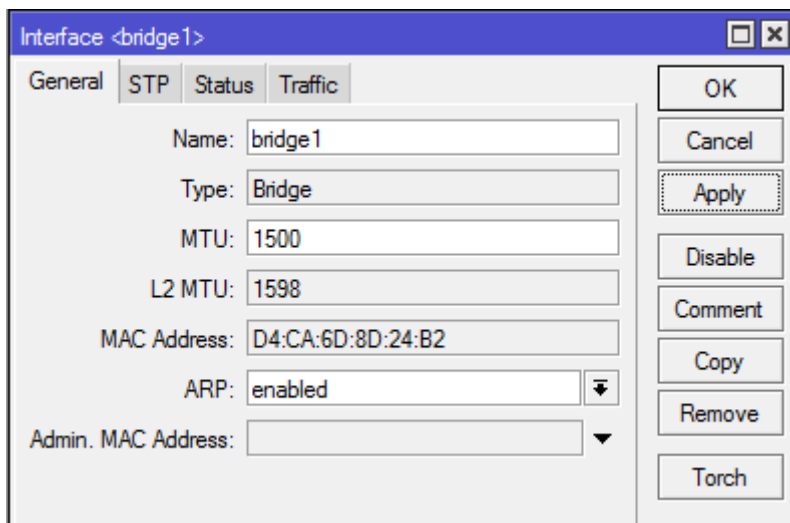
Для конфигурирования точки воспользуемся программой Winbox. С её помощью можно настроить точку, подключившись к ней либо по MAC адресу, либо по IP адресу. По умолчанию вводим логин “admin” и пароль “admin”. Заходим на точку 1.



Далее приступим к настройке. Присвоим IP адрес для проводного интерфейса(ether1-local), для этого выбираем в меню IP->Addresses. В соответствии со схемой, присвоим адрес интерфейса 192.168.1.18/24.



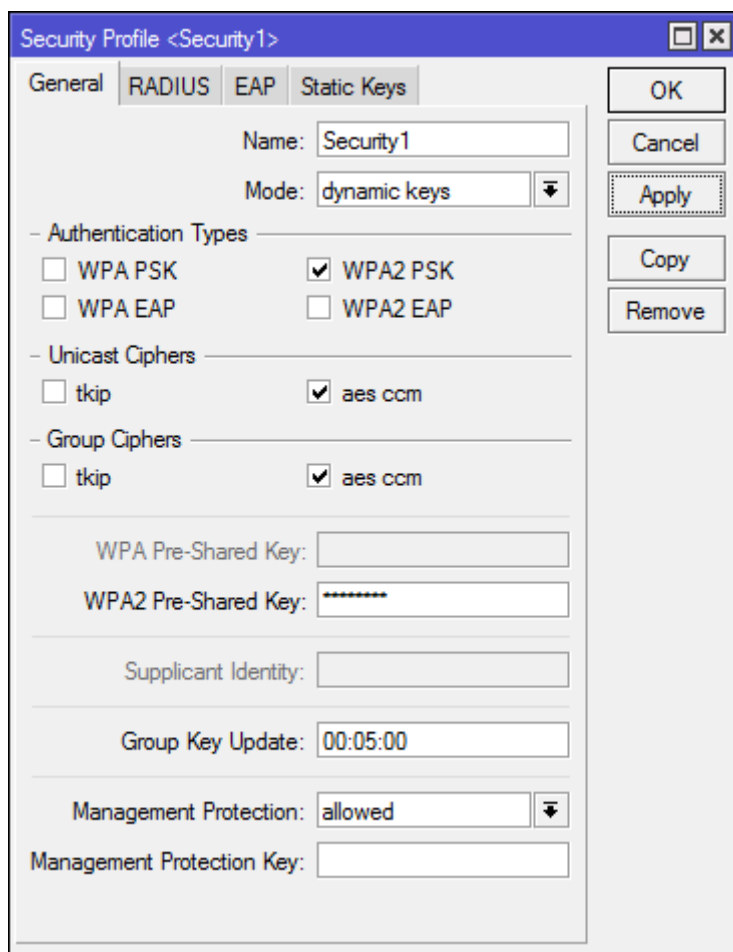
Выберем в меню вкладку Interfaces и добавим интерфейс моста(bridge) с именем “bridge1”. Этот интерфейс обеспечит передачу данных между проводным и беспроводным интерфейсами.



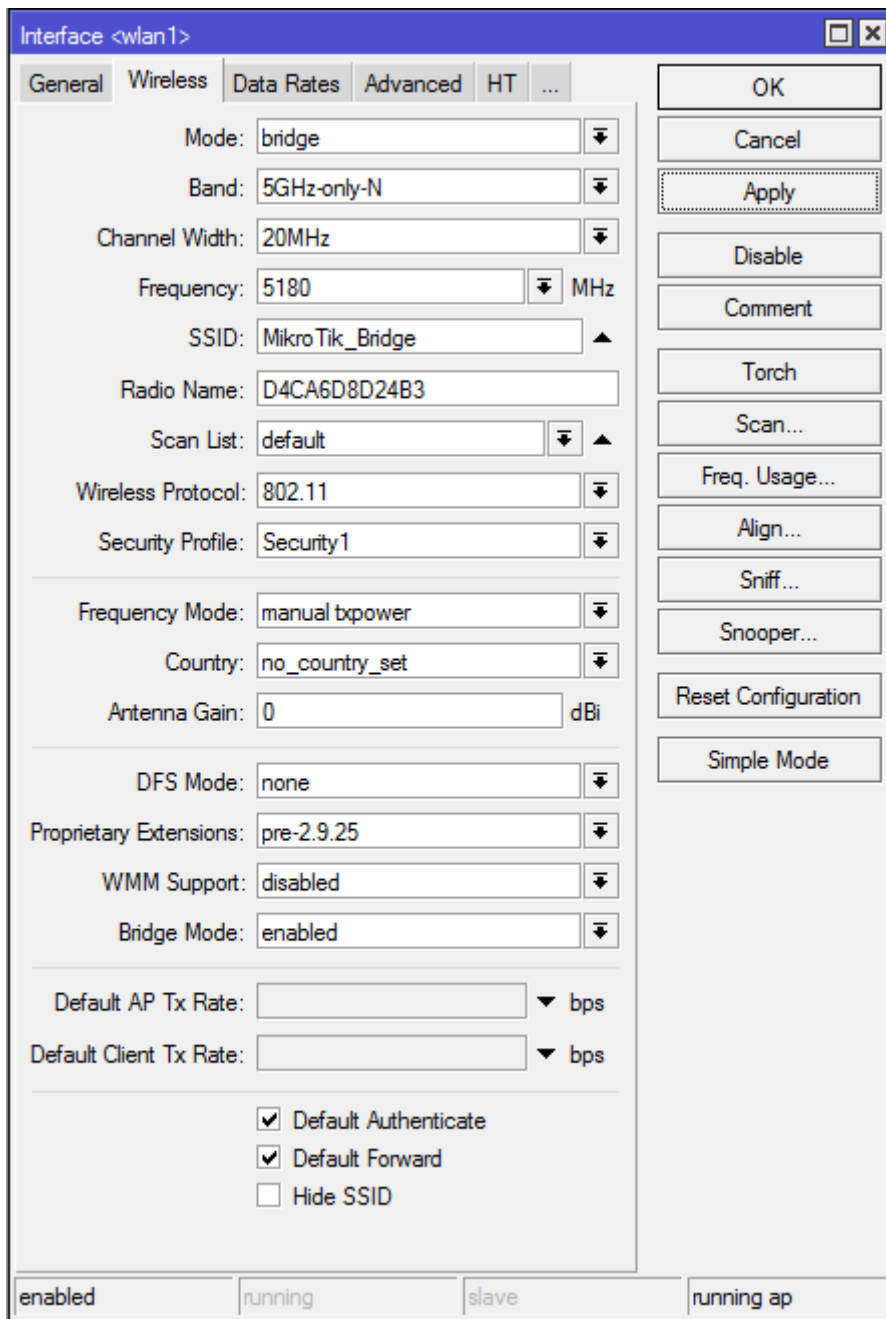
В меню настройки моста Bridge, во вкладке Ports нужно добавить проводной и беспроводной интерфейсы.

Также, при проектировке радиолинии стоит уделить внимание безопасности передачи данных. Для этого нужно перейти в меню настроек беспроводных интерфейсов, во вкладку “Security Profiles”. Добавим профиль безопасности и настроим его. В настройках присвоим имя профилю “Security1”, выберем режим динамических

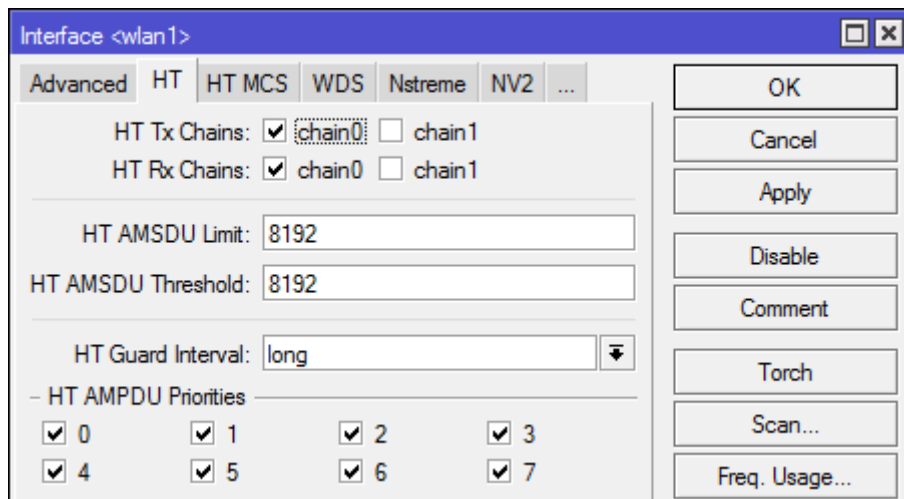
ключей, тип аутентификации WPA2-PSK и AES шифрование. Введём пароль, который будет запрашиваться при подключении к точке доступа. Пароль “SuT\_2016”.



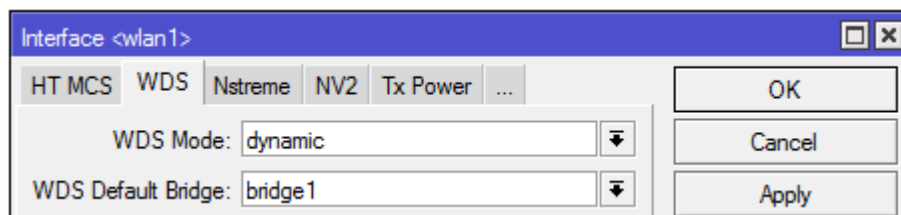
Теперь переходим в настройки беспроводного интерфейса (wlan1). Для открытия расширенных настроек нажимаем на кнопку “Advanced Mode”. Переходим во вкладку Wireless и ставим режим “bridge”, диапазон и поддерживаемый стандарт “5GHz-only-N”, страну “russia” и полосу частот 20 МГц. Также необходимо правильно выбрать рабочую частоту, которая разрешена для работы на территории РФ и которая не занята чужим беспроводным оборудованием, проверить это можно при помощи любого Wi-Fi сканера (inSSIDer, CommView). Введём имя сети “MikroTik\_Bridge”. Профиль безопасности “Security1”.



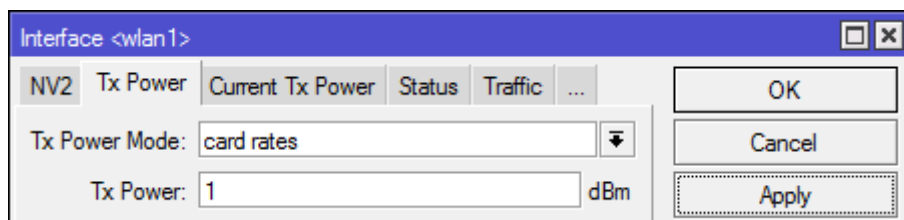
Далее переходим на вкладку “HT” и включим агрегацию кадров AMSDU и AMPDU. Также на этой вкладке можно установить длину защитного интервала OFDM-сигнала и количество антенн на приём и на передачу для технологии MIMO.



На вкладке “WDS” нужно указать интерфейс моста и его режим работы. Указываем интерфейс “bridge1” и устанавливаем его режим работы “dynamic”.



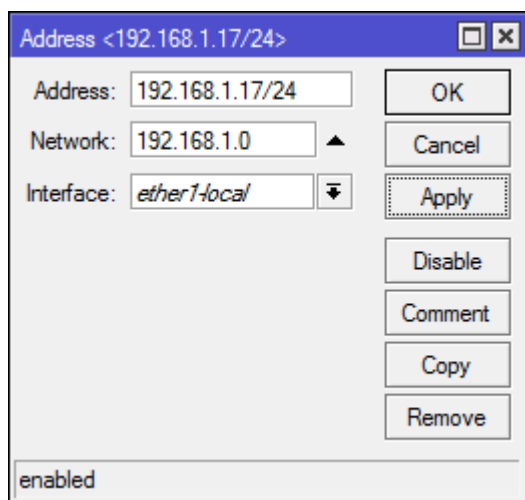
Далее на вкладке “Tx Power” установим мощность передачи. Так как разрабатываемый макет в будущем будет использоваться в качестве лабораторной установки, то нет смысла устанавливать большие мощности передачи. Выберем режим “card rates” и установим мощность передачи 3 дБм.



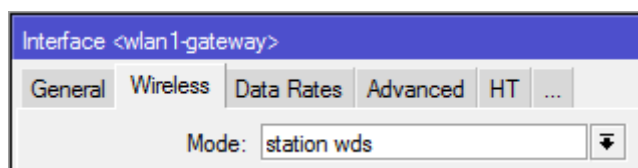
Сохраним конфигурацию, нажав кнопку “Apply”, и запустим первую точку кнопкой “Enable”.

Аналогичная настройка для второй точки доступа, за исключением режима работы беспроводного интерфейса и IPадреса. В соответствии

со структурной схемой, для интерфейса “ether1-local” устанавливаем IP адрес 192.168.1.17/24.



Беспроводной интерфейс необходимо установить в режим “station wds”.



Если точки настроены правильно, то на первой ТД появится интерфейс WDS.

Interface	Name	Type	L2 MTU	Tx	Rx	Tx Pac...	Rx Pac...	Tx Drops
R	bridge1	Bridge	1598	27.6 kbps	2.0 kbps	3	4	0
R	ether1-local	Ethernet	1598	28.1 kbps	2.4 kbps	4	4	0
R	wlan1	Wireless (Atheros 11N)	2290	1936 bps	0 bps	4	0	0
DRA	wds1	WDS	2290	968 bps	0 bps	2	0	0

На второй ТД в настройках беспроводного интерфейса “wlan1”, во вкладке “Status” будет выведена вся информация о радиолинии.

Interface <wlan1-gateway>

Current Tx Power	Status	Advanced Status	Traffic	...
OK				
Band:	5GHz-N-5MHz			
Frequency:	5180 MHz			
Wireless Protocol:	802.11			
Tx/Rx Rate:	1.6Mbps/1.6Mbps			
SSID:	MikroTik_Bridge			
BSSID:	D4:CA:6D:8D:24:B3			
Radio Name:	D4CA6D8D24B3			
Tx/Rx Signal Strength:	-71/-72 dBm			
Tx/Rx Signal Strength Ch0:	-71/-72 dBm			
Tx/Rx Signal Strength Ch1:				
Tx/Rx Signal Strength Ch2:				
Noise Floor:	-93 dBm			
Signal To Noise:	21 dB			
Tx/Rx CCQ:	100/100 %			
Overall Tx CCQ:	100 %			
Distance:				
RouterOS Version:	5.14			
<input type="button" value="Cancel"/> <input type="button" value="Apply"/> <input type="button" value="Disable"/> <input type="button" value="Comment"/> <input type="button" value="Torch"/> <input type="button" value="Scan..."/> <input type="button" value="Freq. Usage..."/> <input type="button" value="Align..."/> <input type="button" value="Sniff..."/> <input type="button" value="Snooper..."/> <input type="button" value="Reset Configuration"/> <input type="button" value="Simple Mode"/>				
Last IP:	192.168.1.47			
	<input checked="" type="checkbox"/> WDS Link <input type="checkbox"/> Compression <input checked="" type="checkbox"/> WMM Enabled			
enabled	running	slave	connected t...	

После настройки точек доступа нужно правильно подобрать их расположение. Точки устанавливаются в зоне прямой видимости. Если точки установлены правильно, то на второй AP в поле “Tx/Rx CCQ” будет значение 100/100 %. Этот параметр показывает качество канала на приём/передачу.



## Измерение скорости передачи данных и минимального отношения сигнал шум при различных режимах работы

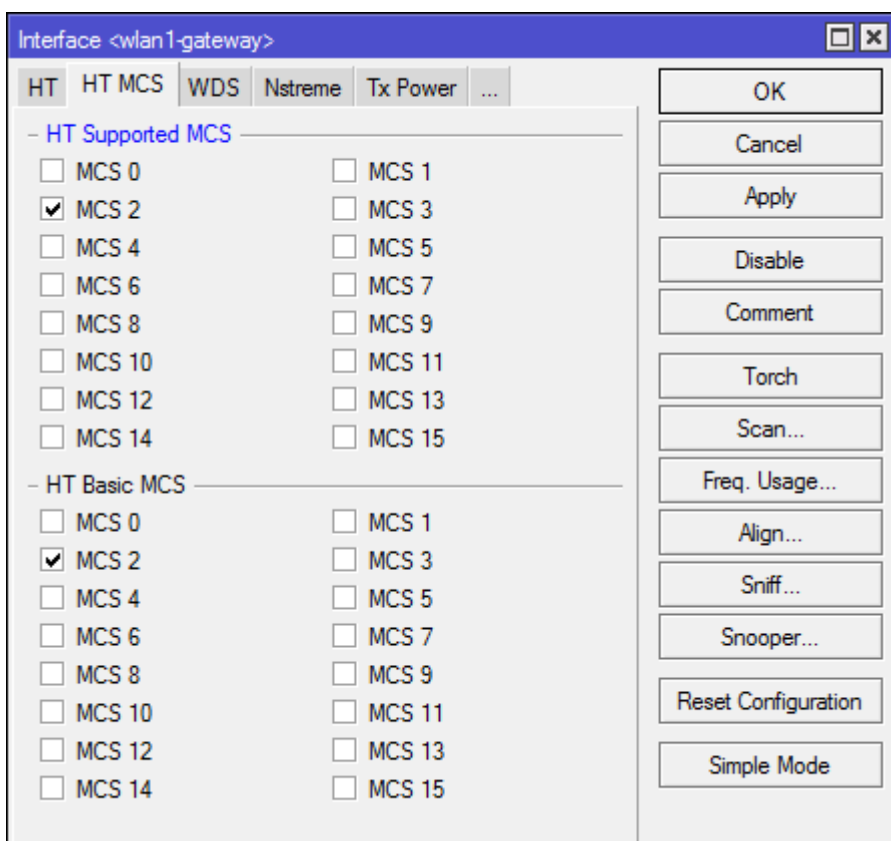
### Последовательность действий при измерении

Для того чтобы установить необходимый режим работы на точках доступа нужно указать соответствующее значение MCS (Modulation and Coding Scheme). Значения приведены в таблице.

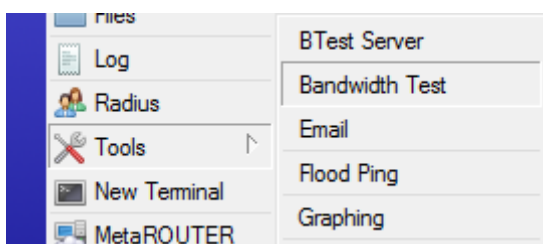
MCS Index	Spatial Streams	Modulation Type	Coding Rate
0	1	BPSK	1/2
1	1	QPSK	1/2
2	1	QPSK	3/4
3	1	16-QAM	1/2
4	1	16-QAM	3/4
5	1	64-QAM	2/3
6	1	64-QAM	3/4
7	1	64-QAM	5/6
8	2	BPSK	1/2
9	2	QPSK	1/2
10	2	QPSK	3/4
11	2	16-QAM	1/2
12	2	16-QAM	3/4
13	2	64-QAM	2/3
14	2	64-QAM	3/4
15	2	64-QAM	5/6

Значения MSC устанавливаются в настройках беспроводного интерфейса во вкладке “HT MCS” для обеих точек доступа. Для работы точек доступа с

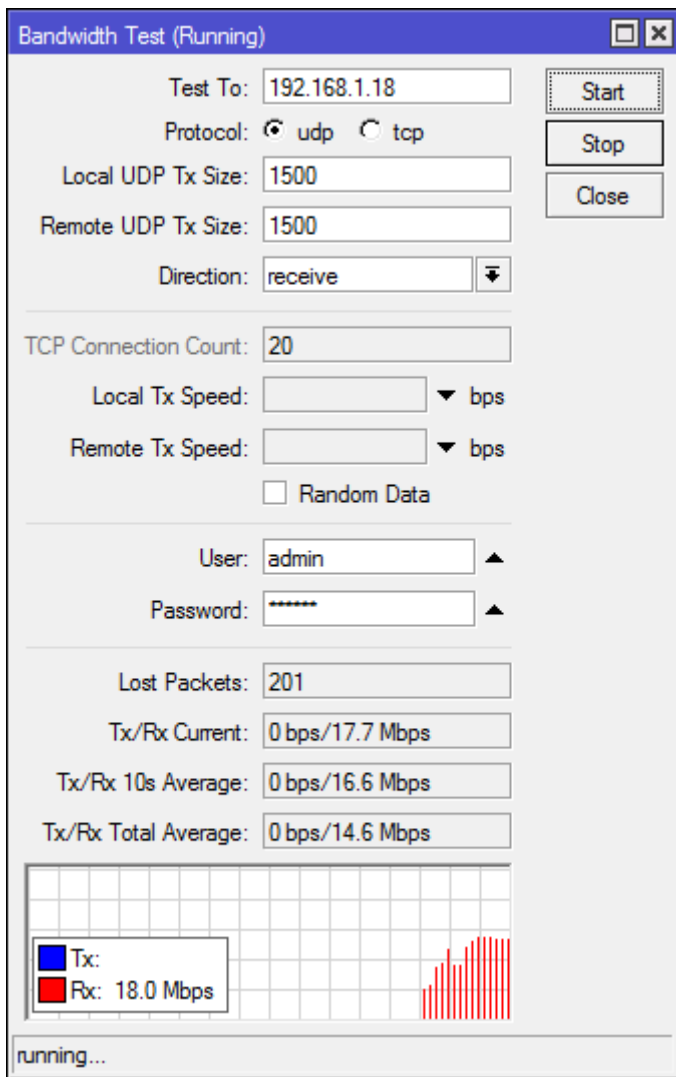
полосой 40 МГц используется защитный интервал OFDM символа длиной 400 нс, с полосой 20 МГц 800 нс, 10 МГц 1600 нс, 5 МГц 3200 нс.



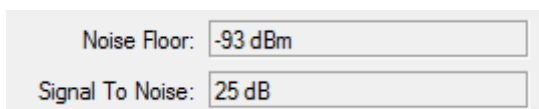
Измерения проводятся на приёмной точке доступа. Для измерения скорости переходим в Tools ->Bandwidth test.



В полях “Test to”, “User:” и “Password:” указываем ip адрес, логин и пароль второй точки доступа. Нажимаем на кнопку “Start”. После запуска в полях “Tx/RxCurent:”, “Tx/Rx 10sAverage:” и “Tx/RxTotalAverage:” будут отображаться текущие, средние за 10 секунд и средние за всё время измерения скорости передачи данных. Также, ниже есть график, который показывает зависимость скорости передачи данных от времени, скорость измеряется каждую секунду.



Для измерения отношения сигнал шум нужно в настройках беспроводного интерфейса открыть вкладку “Status”. В полях “Noise Floor:” и “Signal to Noise:” указаны уровень шума в дБм и отношение сигнал шум в дБ.



### **Примеры измерения скорости и отношения сигнал шум**

Проведём измерения для MCS 0 для полосы 5 МГц.

Скорость передачи данных.

Минимальное отношение

сигнал

шум.

Tx/Rx Current:	0 bps/1452.8 kbps	Noise Floor:	-90 dBm
Tx/Rx 10s Average:	0 bps/1460.4 kbps	Signal To Noise:	4 dB
Tx/Rx Total Average:	0 bps/1448.6 kbps		

Проведём измерения для MCS 0 для полосы 10 МГц.

Скорость передачи данных.

Минимальное отношение

сигнал

шум.

Tx/Rx Current:	0 bps/3.0 Mbps	Noise Floor:	-90 dBm
Tx/Rx 10s Average:	0 bps/2.9 Mbps	Signal To Noise:	4 dB
Tx/Rx Total Average:	0 bps/2.9 Mbps		

Проведём измерения для MCS 0 для полосы 20 МГц.

Скорость передачи данных.

Минимальное отношение

сигнал

шум.

Tx/Rx Current:	0 bps/5.9 Mbps	Noise Floor:	-90 dBm
Tx/Rx 10s Average:	0 bps/6.0 Mbps	Signal To Noise:	4 dB
Tx/Rx Total Average:	0 bps/6.0 Mbps		

Проведём измерения для MCS 0 для полосы 40 МГц.

Скорость передачи данных.

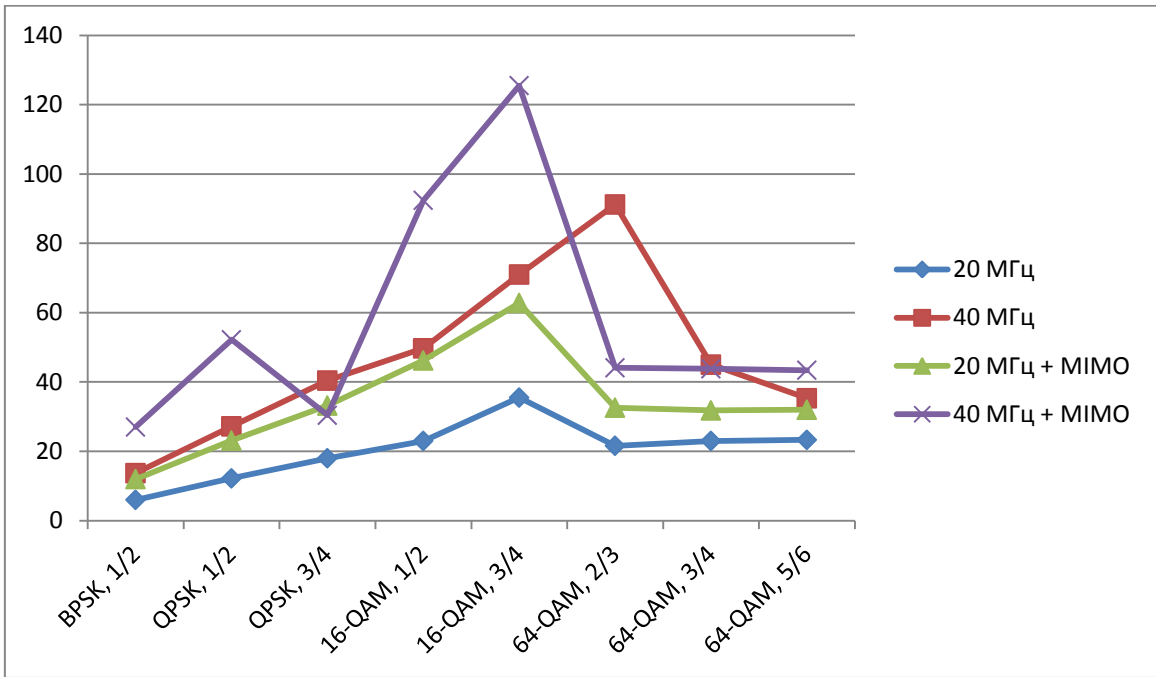
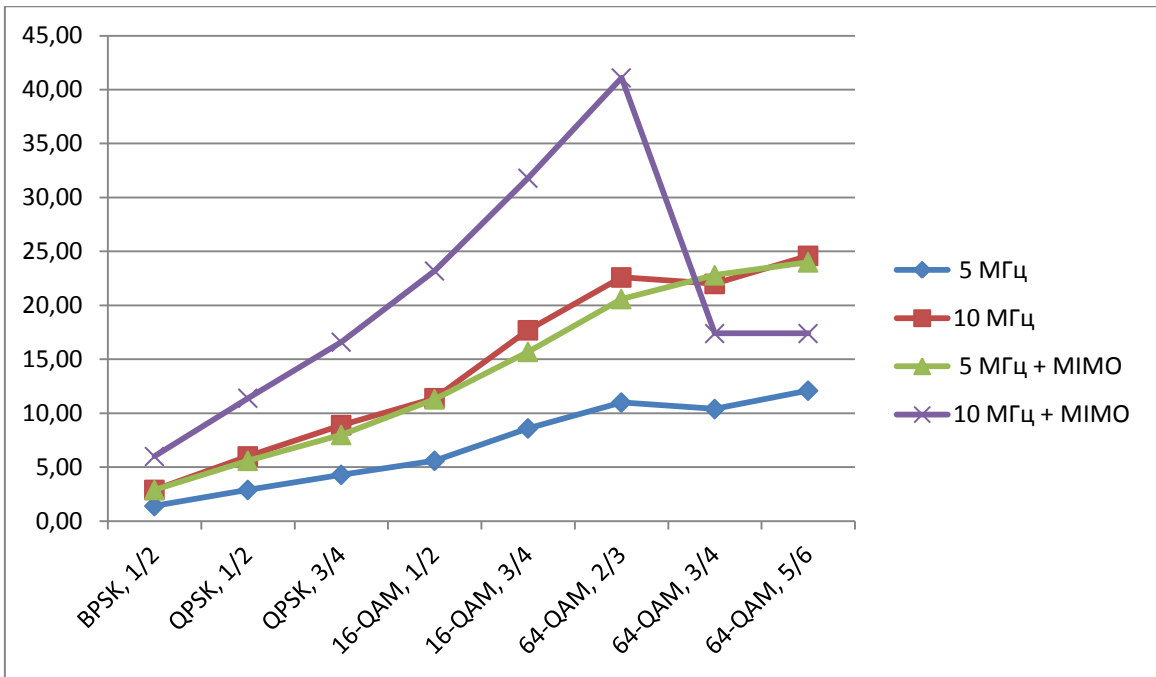
Минимальное отношение

сигнал

шум.

Tx/Rx Current:	0 bps/13.6 Mbps	Noise Floor:	-90 dBm
Tx/Rx 10s Average:	0 bps/13.7 Mbps	Signal To Noise:	4 dB
Tx/Rx Total Average:	0 bps/10.8 Mbps		

Для остальных MCS проводятся аналогичные измерения.



Modulation Type	SNR(dB)							
	1/2		2/3		3/4		5/6	
	Teor	Exp	Teor	Exp	Teor	Exp	Teor	Exp
BPSK	3.7	4.0	-	-	-	-	-	-
QPSK	3.7	4.0	-	-	5.5	6.0	-	-
16-QAM	7.5	8.0	-	-	9.2		-	-
64-QAM	-	-	13.0		13.5		14.0	

## 2. Мероприятия по обеспечению безопасности жизнедеятельности

Объектом проектирования является лабораторный макет радиолинии передачи данных. Макет состоит из двух направленных точек доступа и компьютера. Точки доступа сертифицированы и могут использоваться на территории РФ.

Источником питания для компьютера является электросеть с напряжением 220 В и частотой 50 Гц. Для точек доступа используется источник питания постоянного тока с выходным напряжением 24 В и током 800 мА.

Макет подходит для работы на дальности до 10 километров в условиях прямой видимости. Для работы на больших дальностях можно установить устройство в фокус параболической антенны, либо использовать специально разработанные рефлекторные решётки. Макет может эксплуатироваться в условиях окружающей среды при внешней температуре не менее  $-30^{\circ}\text{C}$  и не более  $+80^{\circ}\text{C}$ .

Максимальная частота излучения точек доступа 6.1 ГГц.

Макет представляет собой стационарное устройство, размещённое в учебной лаборатории вуза и предназначенное для получения студентами практических знаний в области беспроводной передачи данных, а также

коммутации и маршрутизации. Описание лабораторной работы представлено в Приложении \_.

Потенциальной опасностью макета является излучение точек доступа мощностью более 100 мВт. Проведение лабораторных работ должно проводиться под контролем преподавателя.

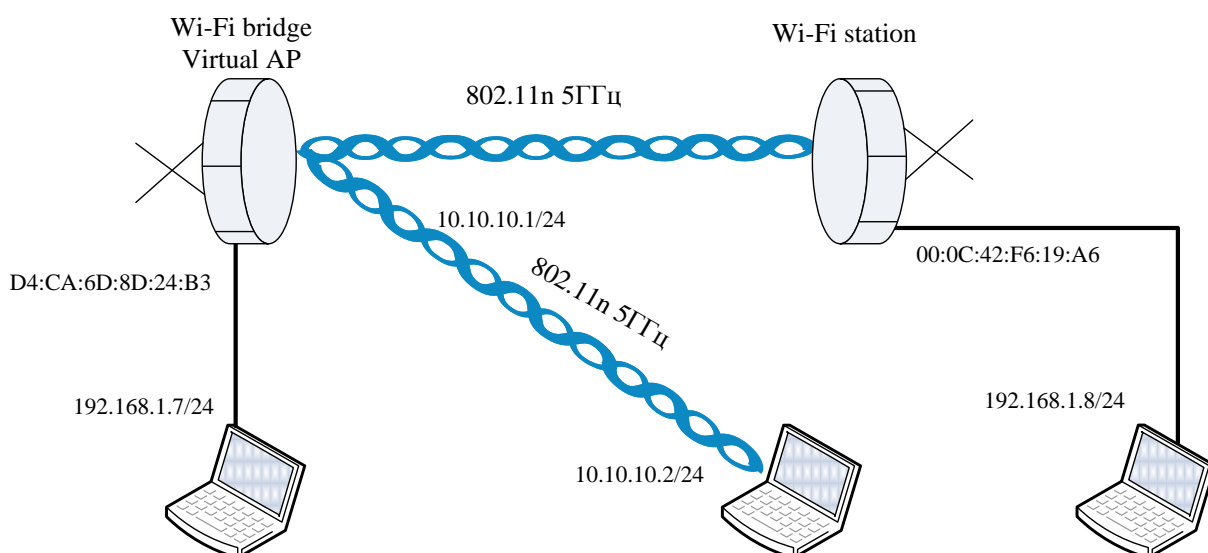
Настройка точек доступа и измерение параметров осуществляется при помощи компьютера.

## Практическая часть

Примеры лабораторных работ, проводимых на данном макете:

1. Исследование минимальных значений сигнал шум при различных режимах работы. Сравнение экспериментальных и теоретических значений.
2. Исследование скоростей передачи данных при различных режимах работы. Сравнение экспериментальных и теоретических значений.
3. Исследование протоколов канального, сетевого и прикладного уровней модели OSI.

Структурная схема лабораторной работы представлена ниже.







6	1	64-QAM	3/4								
7	1	64-QAM	5/6								
8	2	BPSK	1/2								
9	2	QPSK	1/2								
10	2	QPSK	3/4								
11	2	16-QAM	1/2								
12	2	16-QAM	3/4								
13	2	64-QAM	2/3								
14	2	64-QAM	3/4								
15	2	64-QAM	5/6								

После анализа сети студент должен сделать выводы о работе исследуемого протокола и о работе сети в целом.

Примеры протоколов:

IPv4, IPv6, ICMP, ARP, Ethernet, DHCP, DNS, telnet.