

Лекция 15. Беспроводные технологии передачи данных. Сети Wi-Fi

Методы *беспроводной технологии* (wireless) передачи данных являются удобным, а иногда незаменимым средством связи. Беспроводные технологии различаются по типам сигнала, частоте (большая частота означает большую скорость передачи) и расстоянию передачи. Большое значение имеют помехи и стоимость. Можно выделить три основных типа беспроводной технологии:

- ~ радиосвязь;
- ~ связь в микроволновом диапазоне;
- ~ инфракрасная связь.

Передача данных в микроволновом диапазоне (microwaves) использует высокие частоты и применяется как на коротких, так и на больших расстояниях. Главное ограничение заключается в том, чтобы передатчик и приемник были в зоне прямой видимости. Используется в местах, где использование физического носителя затруднено. Передача данных в микроволновом диапазоне при использовании спутников может быть очень дорогой.

Инфракрасные технологии (Infrared transmission), функционируют на очень высоких частотах, приближающихся к частотам видимого света. Они могут быть использованы для установления двусторонней или широковещательной передачи на близких расстояниях. При инфракрасной связи обычно используют светодиоды (LED – Light Emitting Diode) для передачи инфракрасных волн приемнику. Инфракрасная передача ограничена малым расстоянием в прямой зоне видимости и может быть использована в офисных зданиях.

Технологии *радиосвязи* пересылают данные на радиочастотах и практически не имеют ограничений по дальности. Радиосвязь используется для соединения локальных сетей на больших географических расстояниях. Радиопередача в целом имеет высокую стоимость и чувствительна к электронному и атмосферному наложению, а также подвержена перехватам, поэтому требует шифрования для обеспечения уровня безопасности.

В настоящее время наибольшее распространение получила так называемая Wi-Fi связь, базирующаяся на стандарте IEEE802.11.

Wi-Fi сеть (Wireless Local Area Network – WLAN) – это радиосеть, позволяющая передавать информацию между объектами по радиоволнам (без проводов). Разработкой стандартов в этой области занимается Wi-Fi Alliance.

WLAN-сети имеют ряд преимуществ перед обычными кабельными сетями:

- ~ WLAN-сеть можно очень быстро развернуть, что очень удобно при проведении презентаций или в условиях работы вне офиса;
- ~ пользователи мобильных устройств, при подключении к локальным беспроводным сетям, могут легко перемещаться в рамках действующих зон сети;
- ~ скорости современных сетей довольно высоки (до 300 Мб/с), что позволяет их использовать для очень широкого спектра задач;
- ~ с помощью дополнительного оборудования беспроводная сеть может быть успешно соединена с кабельными сетями;
- ~ WLAN-сеть может оказаться единственным выходом, если невозможна прокладка кабеля для обычной сети.

Несмотря на все достоинства, WLAN-сети обладают рядом недостатков, главный из которых – возможность легкого перехвата данных и взлома сети.

Требования к беспроводным локальным сетям

Беспроводные сети должны удовлетворять некоторым требованиям, типичным для всех локальных сетей, в том числе: высокая пропускная способность, возможность охвата небольших расстояний, связность подключенных станций и возможность широковещания. Кроме того, существует набор требований, характерных только для беспроводных локальных сетей. Перечислим важнейшие из них.

1. *Производительность.* Протокол управления доступом к среде должен максимально эффективно использовать беспроводную среду для максимизации пропускной способности.
2. *Число узлов.* От беспроводных локальных сетей может требоваться поддержка сотен узлов из множества ячеек.
3. *Соединение с магистральной локальной сетью.* В большинстве случаев требуется взаимосвязь со станциями магистральной локальной сети. Для беспроводных локальных сетей, имеющих внутреннюю инфраструктуру, это требование легко удовлетворяется посредством использования модулей управления, присоединяемых к локальным сетям обоих типов. Может также понадобиться специальное помещение для мобильных пользователей и организация эпизодических беспроводных сетей.
4. *Обслуживаемая область.* Типичная сфера охвата беспроводной локальной сети имеет диаметр 100–300 м.
5. *Устойчивость передачи и безопасность.* Беспроводные сети, если они разработаны неправильно, могут быть подвержены интерференции (наложение сигналов) и легко прослушиваться. Структура беспроводной локальной сети должна обеспечивать надежную передачу даже в обстановке шума, а также некоторый уровень защиты от прослушивания.

6. *Совместная работа в сети.* С ростом популярности беспроводных сетей повысилась вероятность того, что две или более сетей будут работать в одной области или в нескольких областях, допускающих интерференцию разных локальных сетей. Такая интерференция может мешать нормальной работе алгоритма MAC и способствовать несанкционированному доступу к отдельной локальной сети.

7. *Работа без лицензии.* Пользователи желали бы приобретать продукты рынка беспроводных локальных сетей и работать с ними на нелицензионной полосе частот.

8. *Переключение/роуминг.* Протокол MAC, используемый в беспроводных локальных сетях, должен позволять мобильным станциям перемещаться из одной ячейки в другую.

9. *Динамическая конфигурация.* MAC-адресация и сетевое управление локальной сети должны обеспечивать динамическое и автоматическое добавление, удаление и передислокацию конечных систем, не причиняя неудобств другим пользователям.

Стандарты для Wi-Fi сетей

Существует несколько разновидностей *WLAN-сетей*, которые различаются схемой организации сигнала, скоростями передачи данных, радиусом охвата сети, а также характеристиками радиопередатчиков и приемных устройств, параметрами передачи (шифрование, кодирование и т. д.), методами взаимодействия оборудования.

Стандарт Wi-Fi 802.11b

Стандарт 802.11b основан на методе широкополосной модуляции с прямым расширением спектра (Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS). Весь рабочий диапазон делится на 14 каналов, разнесенных на 25 МГц для исключения взаимных помех. Данные передаются по одному из этих каналов без переключения на другие. Возможно одновременное использование всего 3 каналов. Скорость передачи данных может автоматически меняться в зависимости от уровня помех и расстояния между передатчиком и приемником.

Стандарт IEEE 802.11b реализует максимальную теоретическую скорость передачи 11 Мбит/с, что сравнимо с кабельной сетью 10 BaseT Ethernet. Следует учитывать, что такая скорость возможна при передаче данных одним WLAN-устройством. Если в среде одновременно функционирует большее число абонентских станций, то полоса пропускания распределяется между всеми и скорость передачи данных на одного пользователя падает.

Стандарт Wi-Fi 802.11a

Стандарт 802.11a был принят в 1999 году, тем не менее нашел свое применение только с 2001 года. Данный стандарт используется, в основном, в США и Японии. В России и в Европе он не получил широкого распространения.

В стандарте 802.11a применяется схема модуляции сигнала - мультиплексирование с разделением по ортогональным частотам (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM). Основной поток данных разделяется на несколько параллельных субпотоков с относительно низкой скоростью передачи, и затем для их модуляции применяется соответствующее число несущих. Стандартом определены три обязательные скорости передачи данных (6, 12 и 24 Мбит/с) и пять дополнительных (9, 18, 24, 48 и 54 Мбит/с). Также имеется возможность одновременного использования двух каналов, что повышает скорость передачи данных в 2 раза.

Стандарт Wi-Fi 802.11g

Стандарт 802.11g окончательно был утвержден в июне 2003г. Он является дальнейшим усовершенствованием спецификации IEEE 802.11b и реализует передачу данных в том же частотном диапазоне. Главным преимуществом этого стандарта является повышенная пропускная способность - скорость передачи данных в радиоканале достигает 54 Мбит/с по сравнению с 11 Мбит/с у 802.11b. Как и IEEE 802.11b, новая спецификация функционирует в диапазоне 2,4 ГГц, однако для повышения скорости используется та же схема модуляции сигнала, что и в 802.11a - ортогональное частотное мультиплексирование (OFDM).

Стандарт 802.11g совместим с 802.11b. Так адAPTERЫ 802.11b могут работать в сетях 802.11g (но при этом не быстрее 11 Мбит/с), а адAPTERы 802.11g могут снижать скорость передачи данных до 11 Мбит/с для работы в старых сетях 802.11b.

Стандарт Wi-Fi 802.11n (Wi-Fi 4)

Стандарт 802.11n былratифицирован 11 сентября 2009. Он увеличивает скорость передачи данных практически в 4 раза по сравнению с устройствами стандартов 802.11g (максимальная скорость которых равна 54 Мбит/с), при условии использования в режиме 802.11n с другими устройствами 802.11n. Максимальная теоретическая скорость передачи данных составляет 600 Мбит/с, применяя передачу данных сразу по четырём антеннам. По одной антенне – до 150 Мбит/с.

Устройства 802.11n функционируют в частотных диапазонах 2,4 – 2,5 или 5,0 ГГц.

В основе стандарта IEEE 802.11n лежит технология OFDM-MIMO. Большинство функционала позаимствовано из стандарта 802.11a, тем не менее в стандарте IEEE 802.11n имеется возможность применения как частотного

диапазона, принятого для стандарта IEEE 802.11a, так и частотного диапазона, принятого для стандартов IEEE 802.11b/g. Таким образом, устройства, поддерживающие стандарт IEEE 802.11n, могут функционировать в частотном диапазоне либо 5, либо 2,4 ГГц, причем конкретная реализация зависит от страны.

Увеличение скорости передачи в стандарте IEEE 802.11n достигается за счет: удвоения ширины канала с 20 до 40 МГц, а также вследствие реализации технологии MIMO.

Стандарт 802.11ac (Wi-Fi 5) – новый стандарт, который работает только в диапазоне 5 ГГц. Теоретическая скорость передачи данных до 6,9 Гбит/с (при наличии 8 антенн и в режиме MU-MIMO). Данный режим есть только на двухдиапазонных маршрутизаторах, которые могут транслировать сеть в диапазоне 2,4 ГГц и 5 ГГц.

В данной технологии используется узконаправленное излучение антенн, более широкие каналы, несколько антенн для передачи и приема данных. Все это позволило довести реальное быстродействие до 1,3 Гбит/с и увеличить расстояние связи. Новый стандарт обеспечит также лучшее прохождение сигналов через стены домов, поэтому сеть на базе технологии 802.11ac будет надежно работать в пределах целого здания.

В настоящее время он данный стандарт в основном работает с ограниченной скоростью передачи данных до 300 Мбит/с. Ожидается, что повышение быстродействия будет достигнуто в первую очередь благодаря тому, что устройства смогут работать не только с каналами шириной 20-40 МГц, но и 80-160 МГц, особенно в частотном диапазоне 5 ГГц.

Стандарт IEEE 802.11ax (Wi-Fi 6), анонсированный осенью 2019 года и утвержденный в 2020 году) оказался ответом на актуальные запросы рынка к большей емкости беспроводной сети, подключению большего количества пользователей при гарантированной производительности устройств и приложений. Технология Wi-Fi 6 повысит скорость передачи данных и пропускную способность как новых, так и уже существующих беспроводных сетей. Ориентированный на корпоративных пользователей стандарт обеспечит гибкость и масштабируемость инфраструктуры для быстрого запуска цифровых сервисов.



Wi-Fi 6 отличается от предшественника — Wi-Fi 5 — увеличенной почти в полтора раза скоростью передачи данных (9,6 против 6,9 Гбит/с). Точнее

В Wi-Fi 6 максимальная теоретическая скорость передачи данных составит 600 Мбит/с (80 МГц, 1 пространственный поток) и 9607 Мбит/с (160 МГц, 8 пространственных потоков), вместо 433 Мбит/с (80 МГц, 1 пространственный поток) и 6933 Мбит/с (160 МГц, 8 пространственных потоков) в стандарте Wi-Fi 5. При этом, реальный прирост скорости у конечных пользователей должен составить порядка 30-40%.

Кроме того, новый стандарт предусматривает более совершенную систему шифрования WPA3 (Wi-Fi Protected Access III) и способен обеспечивать более высокую стабильность работы в местах скопления устройств с поддержкой Wi-Fi. Технология работает в диапазонах частот 2,4 и 5 ГГц, что обеспечивает большую пропускную способность.

Отметим, что Wi-Fi 6, равно как и предшествующий стандарт Wi-Fi 5, использует технологию MU-MIMO, которая позволяет роутеру принимать и отправлять несколько сигналов одновременно.

Wi-Fi 6E – это новейший стандарт беспроводных сетей, а по сути – это улучшенная версия Wi-Fi 6, которую называют расширением стандарта.

Главным отличием является, что в Wi-Fi 6E добавлена новая полоса в диапазоне от 5,925 до 7,125 ГГц. На дополнительных 1200 МГц реализуются семь каналов шириной 160 МГц, либо 14 каналов шириной 80 МГц, либо 29 или 59 каналов шириной 40 и 20 МГц соответственно. Таким образом, их количество увеличилось более чем в два раза по сравнению с предыдущим стандартом.

С технической точки зрения частота 6 ГГц выбрана неслучайно. Диапазон от 5,925 до 7,125 ГГц лежит за пределами предыдущего стандарта, но примыкает к нему, в буквальном смысле расширяя. Обеспечивается приемлемый компромисс между максимальным значением частоты и радиусом действия сети Wi-Fi, который сокращается при увеличении частоты.

Особенности нового стандарта:

- 8x8 восходящих/нисходящих каналов MU-MIMO, OFDMA и BSS Color для обеспечения возможности обработки до четырехкратно большего количества устройств;
- целевое время пробуждения (TWT) для повышения эффективности сети и времени автономной работы устройств, включая устройства Интернета вещей;
- режим квадратурной амплитудной модуляции 1024 (1024-QAM), позволяющий увеличить пропускную способность для новых областей применения с интенсивным использованием полосы пропускания и передачей большего количества данных в том же объеме спектра.

В качестве недостатка Wi-Fi 6E можно выделить не самую высокую дальность передачи сигнала и способность «проходить через препятствия». Таким образом, работать «качественно» и с заявленными показателями связь

будет лишь в зданиях с минимальным количеством перекрытий или вовсе на открытом пространстве.

В целом в таблице 1 представлены основные параметры стандартов WiFi для каждого типа 802.11 в зависимости от его обозначения.

Таблица 1
Обобщенные характеристики стандартов Wi-Fi

Название	Частота	Комментарий
802.11a	5 GHz	Не совместим с сетями b или g. Это один из самых старых стандартов, но сегодня он используется многими устройствами. Максимальная скорость передачи – 54 Мбит/с, но обычно от 6 до 24 Мбит/с.
802.11b	2.4 GHz	Совместим с g сетями. В реальности, g была сделана обратно совместимой с b для поддержки большего количества устройств. Максимальная скорость передачи – 11 Мбит/с
802.11g	2.4 GHz	Самый популярный тип сети. Сочетание скорости и обратной совместимости делает его подходящим для современных сетей. Максимальная скорость передачи – 54 Мбит/с
802.11n	2.4 и 5 GHz	Максимальная теоретическая скорость передачи данных составляет 600 Мбит/с, применяя передачу данных сразу по четырём антеннам. По одной антенне – до 150 Мбит/с.
802.11ac	5 GHz	Стандарт 802.11ac обеспечивает обратную совместимость с 802.11b / g / n и скоростью до 1300 Мбит/с в полосе 5 ГГц, плюс до 450 Мбит / с на 2,4 ГГц. Максимальная теоретическая скорость передачи данных – 6,9 Гбит/с (при наличии 8 антенн и в режиме MU-MIMO).
802.11ax	2.4 и 5 GHz (до 6 GHz для WI-FI 6)	Для Wi-Fi 6 увеличена почти в полтора раза по сравнению с 802.11ac теоретическая скорость передачи данных (9,6 Гбит/с). В случае с Wi-Fi 6E увеличение частоты с 5ГГц до 6 ГГц, а также увеличение числа каналов (добавилось 14 новых 80 МГц и 7 160 МГц каналов) должно приводить к увеличению пропускной способности по сравнению с базовым Wi-Fi 6.

Описание дополнительных стандартов представлено в таблице 2.

Таблица 2

Наименование стандарта	Назначение
IEEE 802.11h	Дополняет спецификации IEEE 802.11 алгоритмами эффективного выбора частот для офисных и уличных беспроводных сетей, а также

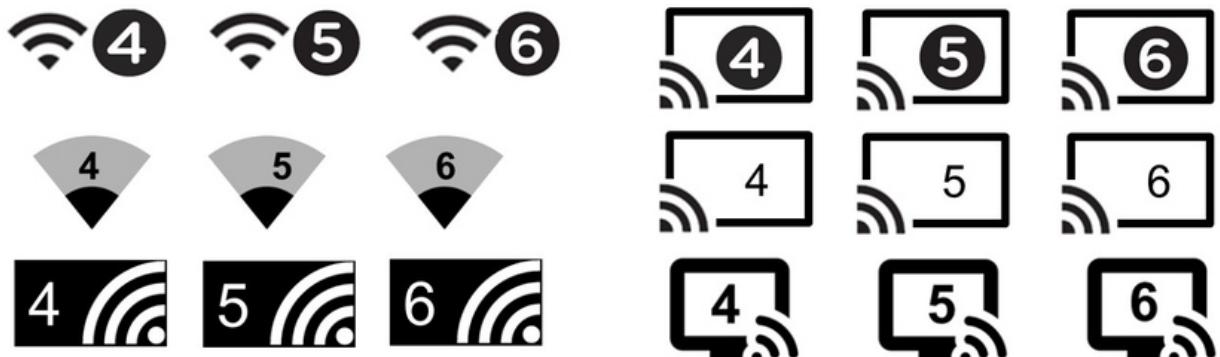
	средствами управления спектра
IEEE 802.11i	Предусматривает для стандартов IEEE 802.11 средства шифрования передаваемых данных, а также централизованной аутентификации пользователей и рабочих станций
IEEE 802.11j	Данный стандарт оговаривает существование в одном диапазоне сетей стандартов 802.11a и HiperLAN2. Спецификация предназначена для Японии и расширяет стандарт 802.11a добавочным каналом 4,9 ГГц
IEEE 802.11d	Стандарт определяет требования к физическим параметрам каналов (мощность излучения и диапазоны частот) и устройств беспроводных сетей с целью обеспечения их соответствия законодательным нормам различных стран
IEEE 802.11e	При сохранении полной совместимости с используемыми стандартами 802.11a и b, позволяет расширить их функциональность за счет поддержки потоковых мультимедиа данных и гарантированного качества услуг (QoS)
IEEE 802.11f	Данный стандарт определяет механизм взаимодействия точек связи между собой при перемещении клиента между сегментами сети

Новое упрощенное обозначение стандартов Wi-Fi

В начале октября 2018 года организация Wi-Fi Alliance, объединяющая крупнейших производителей компьютерной техники и беспроводных устройств, анонсировала долгожданную упрощенную схему обозначения стандартов Wi-Fi. Вместо сложных циферно-буквенных сочетаний будут использоваться порядковые номера.

Например, 802.11ax стал именоваться Wi-Fi 6, а предыдущий стандарт 802.11ac — Wi-Fi 5. Версия 802.11n получила обозначение Wi-Fi 4 и т. д.

Sample Generational Wi-Fi incorporation into current UI visuals



Как показывает практика, чаще всего настройки b/g/n/ac меняют с целью повысить скорость подключения к интернету.

Возьмем самый популярный стандарт 802.11n в диапазоне 2.4 ГГц, когда максимальная скорость 150 Мбит/с. Именно эта цифра чаще всего указана на коробке с маршрутизатором. Так же там может быть написано 300 Мбит/с, или 450 Мбит/с. Это зависит от количества антенн на маршрутизаторе. Если одна антенна, то роутер работает в один поток и скорость до 150 Мбит/с. Если две антенны, то два потока и скорость умножается на два – получаем уже до 300 Мбит/с и т. д.

Все это теоретические цифры. В реальных условиях скорость по Wi-Fi при подключении в режиме 802.11n будет 70-80 Мбит/с. Скорость зависит от огромного количества самых разных факторов: помехи, уровень сигнала, производительность и нагрузка на маршрутизатор, настройки и т. д.

Режимы работы сетей WiFi

Режимы работы WiFi (или топология сетей WiFi)

Выделяют три режима организации беспроводных сетей WiFi:

- Эпизодическая сеть (Ad-Hoc или IBSS – Independent Basic Service Set).
- Основная зона обслуживания Basic Service Set (BSS) или Infrastructure Mode.
- Расширенная зона обслуживания ESS – Extended Service Set.

Режим Ad-Hoc (Independent Basic Service Set (IBSS) или Peer-to-Peer).

Режим **Ad-Hoc** представляет собой простейшую структуру локальной сети, когда абонентские станции (ноутбуки или компьютеры) взаимодействуют непосредственно друг с другом. Такая структура удобна для срочного развертывания сетей. Для ее создания необходим минимум оборудования – каждая абонентская станция должна иметь в своем составе адаптер WLAN.

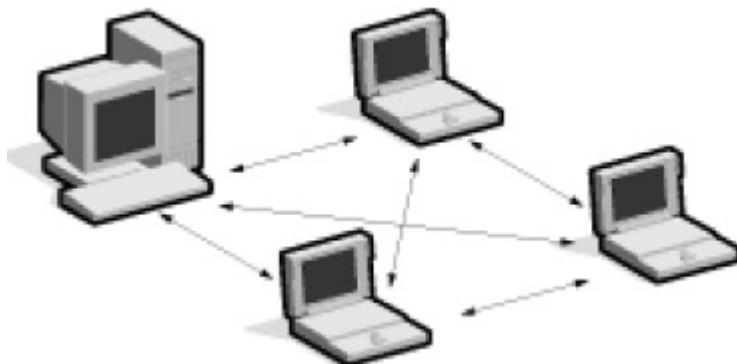


Рис. 1. Режим IBSS

Режим BSS (Basic Service Set)

В режиме BSS узлы сети взаимодействуют друг с другом не напрямую, а через точку доступа (Access Point, AP).

В режиме BSS все узлы взаимодействуют между собой через одну AP, которая может играть роль моста для подключения к внешней кабельной сети.

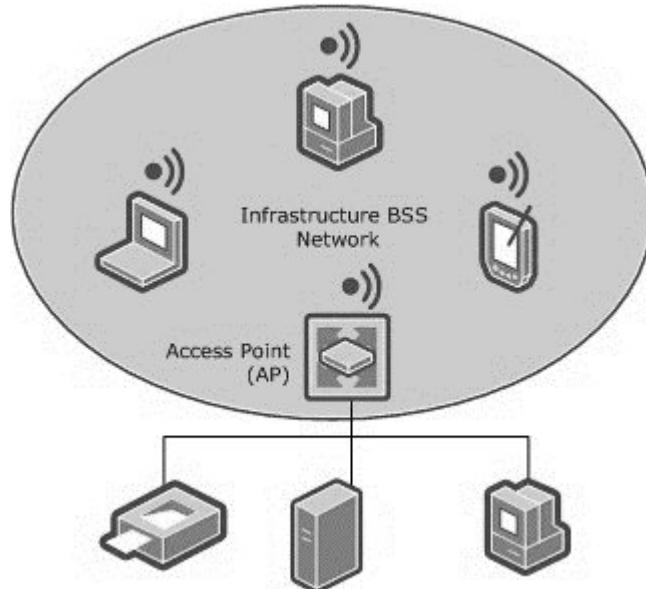


Рис. 2. Топология BSS

Режим ESS (Extended Service Set)

Режим ESS позволяет объединить несколько точек доступа, т.е. объединяет несколько сетей BSS. В данном случае точки доступа могут взаимодействовать и друг с другом. Расширенный режим удобно применять тогда, когда необходимо объединить в одну сеть несколько пользователей или подключить несколько проводных или беспроводных сетей.

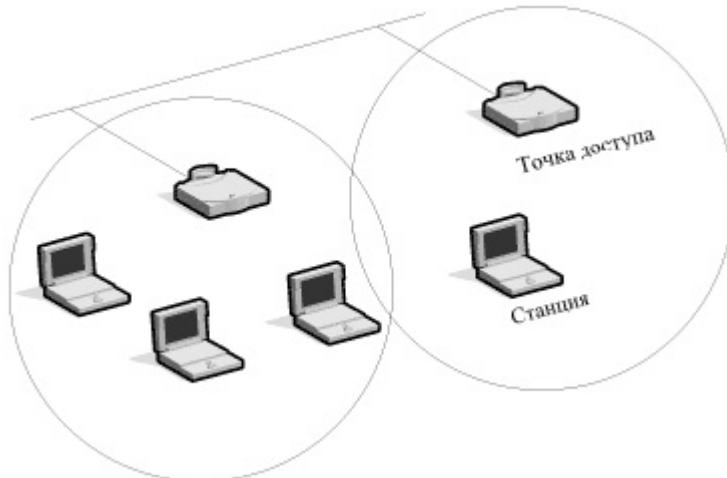


Рис. 3. Режим ESS

Оборудование для сетей Wi-Fi

Сети Wi-Fi отождествляются с аббревиатурой *WLAN* (Wireless Local Area Network). Для организации *сетей Wi-Fi* (Wireless Fidelity, беспроводное соответствие) необходимы Wi-Fi сетевые карты, точки доступа и антенны. Необходимость в использовании точек доступа отпадает, когда мы говорим об очень малых сетях, размещенных в одном помещении. Использование точек доступа позволяет более гибко настроить сеть, объединить клиентов проводных и беспроводных сетей, а также установить связь с удаленными объектами (внешнее исполнение).

Wi-Fi сетевые карты по сути мало чем отличаются от обычных сетевых карт, за исключением некоторых особенностей настройки. Wi-Fi сетевые карты представлены в трех основных вариантах исполнения – внутренние PCI-карты, CARD BUS и USB-адAPTERЫ. Также существуют адAPTERЫ в COMPACT FLASH форм-факторе.

АдAPTERЫ различаются по платформе, в которой они используются: PCI – настольный компьютер, CARD BUS – ноутбук, Compact Flash – карманный компьютер, USB – универсален. Принцип построения и настройки сетей един и не зависит от форм-фактора Wi-Fi адAPTERА. Необходимо отметить, что тип адAPTERА влияет лишь на излучаемую мощность передатчика и чувствительность приемника, а также возможность использования внешней антенны.

9.6.1. Wi-Fi точки доступа

Wi-Fi точки доступа – устройства, позволяющие объединять клиентов сети (как проводной, так и беспроводной) в единую сеть. Другими словами – для Wi-Fi клиентов, точка доступа – это своеобразный хаб (концентратор). Для клиентов проводной сети – возможность выхода в сеть к беспроводным клиентам.

Wi-Fi точки доступа представлены в двух основных вариантах исполнения – для использования внутри помещений и для внешнего использования. Существуют варианты исполнения точек доступа, совмещенных с панельными антеннами для внешнего использования.

При рассмотрении точек доступа исполнение играет очень важную роль. Т. е. внутриофисные точки доступа нельзя использовать на улице, а внешние – крайне нецелесообразно использовать внутри помещений. Также исполнение Wi-Fi точек доступа определяет их функциональные возможности.

Внутриофисные точки доступа служат для объединения Wi-Fi клиентов внутри помещений. Они оснащены функциями фильтров, создания виртуальных сетей и т. д. Но зачастую используются точки доступа с более широкими возможностями – WAN-порт, firewall, Ftp-сервер и т.д.

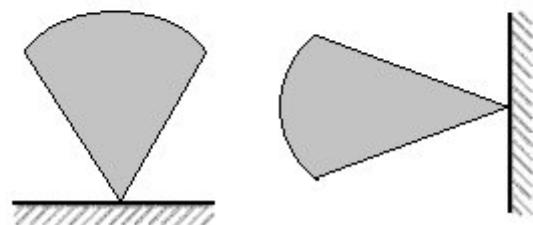
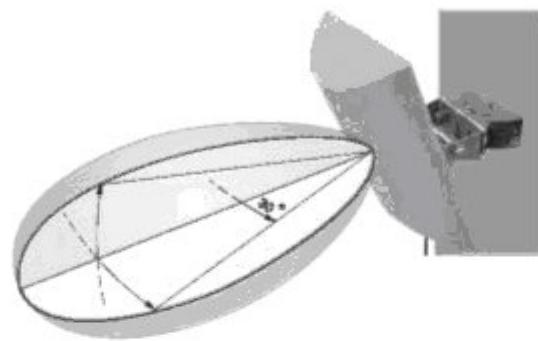
Внешние Wi-Fi точки доступа служат для объединения Wi-Fi клиентов вне помещений, например, в публичных местах. Внешние точки доступа имеют защищенное исполнение, более жесткие эксплуатационные характеристики и т.д. При применении нескольких внешних точек доступа можно соединить достаточно удаленные объекты и создать публичный *хот-спот*. Внешние Wi-Fi точки доступа отличаются и большей излучаемой мощностью. Ко всем внешним точкам доступа можно подключить дополнительные антенны, что позволяет расширить зону покрытия Wi-Fi сети.

Следует обратить внимание на то, что многие точки доступа могут выступать в роли беспроводного клиента, что значительно расширяет область их применения.

Wi-Fi антенны

Внешние Wi-Fi антенны служат для передачи и приема сигнала, усиление которого в режиме передачи позволяет увеличить зону покрытия Wi-Fi сетей.

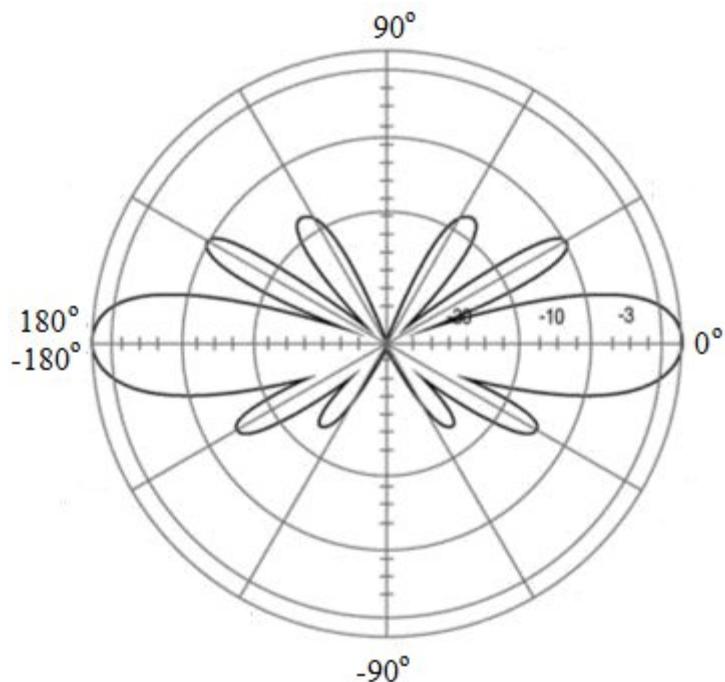
В основном распространены *пассивные круговые*, или *всенаправленные* и *направленные*. Основное различие – характер распространения волн антенной. Круговая антenna излучает сигнал по кругу 360° (горизонталь), а направленная лишь на определенный сектор.



Горизонтальное покрытие

Вертикальное покрытие

Направленные Wi-Fi антенны



Круговые Wi-Fi антенны 0°

Wi-Fi антенны характеризуются четырьмя основными параметрами.

1. *Поляризация* – отражает специфику распространения радиоволн. Поляризация бывает горизонтальная (линейная) и вертикальная. При проектировании сети – это необходимо учитывать при подборе антенн, поляризация обязательно должна совпадать.

2. *HPBW по горизонтали* – угол распространения волн по горизонтали. Для всех круговых антенн равен 360° . Для направленных Wi-Fi антенн значительно меньше.

3. *HPBW по вертикали* – угол распространения волн по вертикали. При малом угле возможно возникновение мертвых зон.

4. *Усиление* – характеризует усиление сигнала. Чем больше данный параметр, тем на большем расстоянии можно установить связь с сетью.

Удлинительные провода для антенн используются, если антенна удалена от точки доступа или сетевой карты. Особое внимание следует уделить разъемам, т. к. у разных производителей они могут различаться. Провода используются специальные – СВЧ, длина проводов должна быть как можно меньше.