

## ВСТУП

Сьогодні важко уявити без існування безпроводного зв'язку. Сфери діяльності людства дедалі тісніше переплітаються з інформаційними технологіями, зокрема й з засобами безпроводного зв'язку, який, в свою чергу, дає можливість інформаційним технологіям бути мобільними, не залежати від конкретного місця перебування та бути доступними будь-де та будь-коли.

За останні десятиліття-два безпроводний зв'язок набув стрімкого розвитку. Швидкість передачі сигналів за цей час зросла в сотні разів. Тим не менше, реальна пропускна здатність безпроводних мереж, вимірювана на каналному рівні, значно нижча.

У всьому світі попит на бездротовий зв'язок швидко зростає, особливо у сфері бізнесу та інформаційних технологій. Кількість інтернет-користувачів та інших бездротових технологій збільшується з кожним роком. Тепер усі ноутбуки та інші мобільні пристрої оснащені адаптером WI-FI, який може отримати доступ до бездротової мережі. Це може бути мережа загального користування, корпоративна та домашня мережа. На сьогоднішній день технологія бездротового Wi-Fi найбільш зручна з точки зору мобільності, простоти встановлення та використання. Wi-Fi (від англ. Wireless Fidelity - Wireless Communication) - це стандарт широкосмугового бездротового зв'язку серії 802.11, розроблений у 1997 році. Як правило, технологія Wi-Fi використовується для організації бездротових локальних комп'ютерних мереж і для створення гарячих точок для високошвидкісного доступу в Інтернет. До переваг бездротової технології Wi-Fi можна віднести простоту сканування через мережу. Крім зручності розгортання мережі, бездротова технологія також зручна при об'єднанні вашої мережі. Ніякі дроти не можуть забезпечити працівникам мобільність у разі потреби. Одним із недоліків бездротових мереж перед провідними мережами є захист від хакерів. Хоча метод шифрування продовжує покращуватися, проблема безпеки була повністю вирішена. Мета даної роботи - спроектувати двоповерхову офісну будівлю для створення мережі Wi-Fi та підвищити рівень інформації та надання сучасних послуг зв'язку: високошвидкісний доступ до Інтернету, комп'ютерні

мережі на основі Wi-Fi. Wi-Fi є домінуючою бездротовою технологією у світі і стала синонімом широкосмугового доступу. Більше дев'яти мільярдів пристроїв Wi-Fi демонструють свій успіх у задоволенні зростаючих потреб у підключенні. Майже всі мобільні пристрої оснащені технологією Wi-Fi, і майже всі будинки мають хоча б одну точку доступу Wi-Fi.

Підприємства потребують Wi-Fi для розширення мереж та підвищення продуктивності, а міста надають безкоштовний загальнодоступний Wi-Fi. Надавати широкосмуговий доступ громадянам у різних місцях, де стільниковий зв'язок занадто дорогий, допомагає подолати цифровий розрив у районах, що недостатньо обслуговуються. Наступне покоління бездротового зв'язку спрямоване на ефективну підтримку складних програм, такі як доповнена та віртуальна реальність (AR/VR), надвисока роздільна здатність (Ultra HD) відео та повне занурення в інтернет. Традиційні мережі Wi-Fi побудовані на основі Ключових Показників Ефективності (KPI) для задоволення вимог охоплення та пропускнуої спроможності мережі. Проте цей традиційний підхід неефективний для ресурсоемних та чутливих до затримок послуг, таких як віртуальна реальність (VR), доповнена реальність (AR) та 4K. Замість цього, орієнтовані користувача Основні Показники Якості (KQIs) можуть краще відображати реальний досвід користувача і сприяти більш точній оцінці якості мережі. Для того, щоб не відставати, цей проект визначає модель обслуговування Wi-Fi 6, критерії організації мережі (включаючи рівні KQI), мережеве планування та, що важливіше, ґрунтуючись на фактичних результатах перевірки, правильний вибір точки доступу. Ця дипломна робота є першою і єдиною у своєму роді, яка може показати, як покращити існуючі технології за допомогою організації мережі нового покоління Wi-Fi 6. Ключові переваги технології Wi-Fi 6 включають: - Вищі швидкості передачі даних; Збільшена ємність; Продуктивність у середовищах з багатьма підключеними пристроями; Поліпшена енергоефективність. Wi-Fi 6 забезпечує основу для безлічі існуючих та нових застосувань - від потокової передачі фільмів надвисокої чіткості до критично

важливих бізнес-додатків, що вимагають високої пропускної здатності та низької затримки, до забезпечення безперервного зв'язку та продуктивної роботи при обході великих перевантажених мереж в аеропортах та залізничні станції. Повсюдне поширення Wi-Fi та його здатність доповнювати інші бездротові технології допомагає нам наблизити реальність до з'єднання всіх та скрізь, скрізь та всюди. Він також створює дуже різноманітні та густонаселені середовища Wi-Fi, що потребують технологічних досягнень для задоволення потреб користувачів. Wi-Fi 6 забезпечує покращення та нові функції, які дозволяють пристроям Wi-Fi ефективно працювати навіть у динамічних середовищах, що включають велику різноманітність типів пристроїв. Ключові можливості: Множинний доступ з ортогональним частотним поділом каналів висхідного та низхідного ліній зв'язку (OFDMA) підвищує ефективність та знижує затримку для середовищ з високими вимогами; Розрахований на багато користувачів вхід, множинний вихід (MUMIMO) дозволяє передавати більше даних за один раз, дозволяючи точкам доступу (AP) обробляти більшу кількість пристроїв одночасно; Формування променя передачі забезпечує більш високі швидкості передачі даних у заданому діапазоні збільшення пропускної спроможності мережі; Режим 1024 квадратурної амплітудної модуляції (1024-QAM) збільшує пропускну здатність для випадків, що виникають, інтенсивно використовують смугу випадків використання; Target wake time (TWT) значно збільшує час автономної роботи пристроїв Wi-Fi, у тому числі клієнтів IoT. 9 Пристрої Wi-Fi 6 забезпечують підвищену продуктивність для користувачів у вимогливому середовищі, від IoT та розумного будинку, до підприємств, що виконують великомасштабні критично важливі розгортання. Додатки віртуальної та доповненої реальності, такі як електронне навчання та моніторинг охорони здоров'я, стають більш досяжними за допомогою технології Wi-Fi 6. Wi-Fi 6 також надає операторам зв'язку та загальнодоступним операторам Wi-Fi більше можливостей для підтримки використання з'єднань наступного покоління у роздрібних настройках, на стадіонах та в транспортних вузлах, включаючи

зростаючий масив додатків та послуг на основі визначення місцезнаходження та додатків, що інтенсивно використовують пропускну спроможність. Щоб допомогти користувачам ідентифікувати пристрої, які надають нові можливості Wi-Fi, Wi-Fi Alliance представив спрощені імена поколінь, які можуть з'являтися в назвах пристроїв та описі продуктів. Пристрої Wi-Fi, що підтримують підключення останнього покоління, ґрунтуються на стандарті 802.11ax і відомі як пристрої Wi-Fi 6.

# 1 ДОСЛІДЖЕННЯ БЕЗПРОВОДОВИХ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ

## 1.1 Розвиток безпроводових комп'ютерних технологій

Безпроводові локальні обчислювальні мережі стають все більш популярними, дедалі більше будинків, офісних будинків, кафе, бібліотек, аеровокзалів, станцій метро та інших громадських місць обладнані відповідною апаратурою для підключення комп'ютерів та смартфонів до Інтернету. У безпроводовій мережі два або кілька сусідніх комп'ютерів можуть обмінюватися даними без підключення до Інтернету. Основний стандарт безпроводових локальних мереж – це 802.11.

У 80-ті роки минулого століття з'явився стандарт цифрової передачі даних GSM. На якому досі працюють майже всі оператори мобільного зв'язку. Це можна вважати відправною точкою розвитку бездротових мережних технологій. Цей протокол стрімко вдосконалювався, й у 1997 року з'явилася нова технологія обміну інформацією з відривом без необхідності використання проводів. Така технологія отримала назву IEEE 802.11, яка більш відома широкому колу людей як WiFi.

З моменту появи першого варіанту 802.11a у 90-х роках минулого століття минуло небагато часу, з'явилися досконаліші технології, збільшилася швидкість та якість переміщення даних. Бездротовими мережами оповиті практично всі будівлі, офіси та промислові підприємства. Очікується перехід на новішу специфікацію 802.16, який отримав назву WiMax. Ця технологія дозволяє значно розширити діапазон підключення з кількома десятками метрів по WiFi, до десятків кілометрів без втрати якості та швидкості. Звичайно ця технологія буде дорогою, але згодом усі мобільні пристрої планується оснащувати радіомодулем WiMax.

## **1.2 Огляд безпроводових мереж**

Важко уявити життя сучасної людини без інтернету. Перегляд пошти, ведення ділового та особистого листування, читання новин, перегляд фільмів та телепередач стало можливим з появою комп'ютерних мереж. А з появою мобільних пристроїв, таких як смартфони, планшети, ноутбуки з'явилася можливість обміну інформації практично в будь-якому місці, де людина не знаходилася б. Це стало можливим з появою безпроводових LAN та WAN.

### **1.2.1 Безпроводові комп'ютерні мережі: класифікація та принцип роботи**

У загальному випадку бездротова комп'ютерна система покликана забезпечити взаємодію користувачів, різних серверів та баз даних через обмін цифровими сигналами через радіохвилі. З'єднання може здійснюватися кількома способами: Bluetooth, WiFi або WiMax. Класифікація провідних та бездротових мереж здійснюється за однаковими ознаками:

Персональна комп'ютерна мережа (PAN – Personal Area Network). З'єднання здійснюється, наприклад, між мобільними телефонами, що знаходяться у безпосередній близькості один від одного.

Локальна комп'ютерна мережа (LAN – Local Area Network). Підключення в межах однієї будівлі, офісу чи квартири.

Міська комп'ютерна мережа (MAN – Metropolitan Area Network). Робота в межах міста.

Глобальна комп'ютерна мережа (WAN – Wide Area Network). Глобальний вихід до інтернету.

Специфікація 802.11 – це сукупність протоколів, які повною мірою відповідають прийнятим нормативам відкритих мереж моделі OSI (Open System Interconnection). Ця еталонна модель визначає сім рівнів обміну даними, але

протокол 802.11 відрізняється від провідного, тільки на фізичному, і, частково, на каналному рівні. Це рівні безпосереднього обміну інформацією. Фізичним рівнем передачі є радіохвилі, а каналний рівень керує доступом і забезпечує обмін даними між двома пристроями.

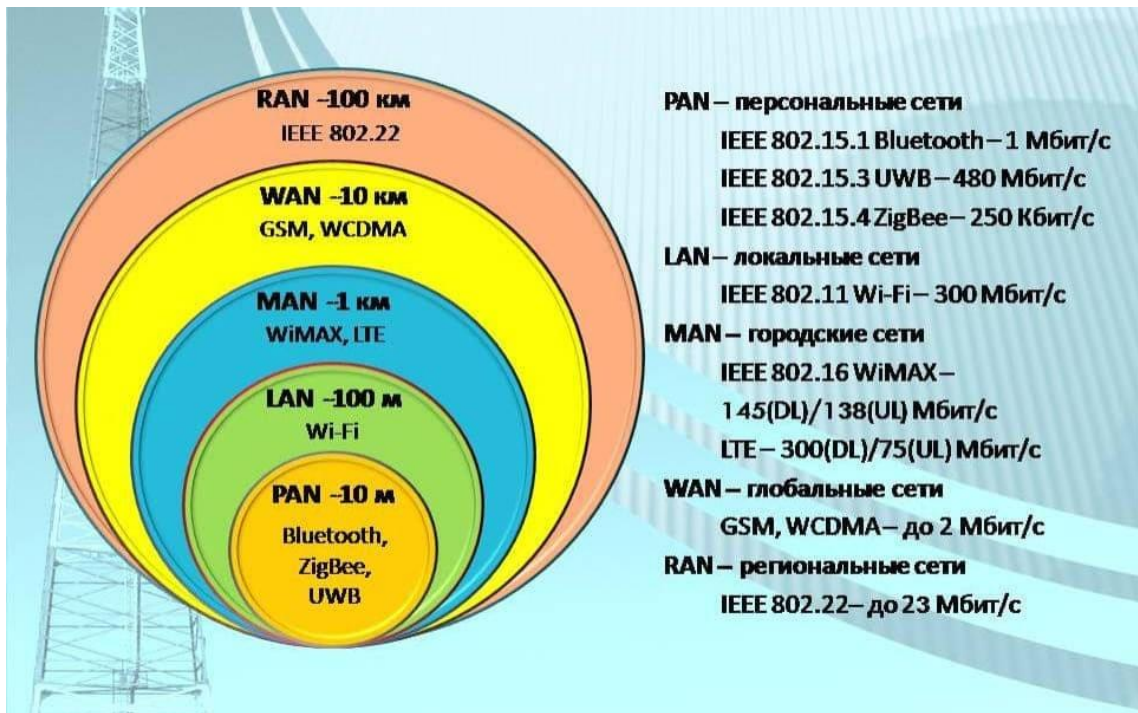


Рисунок 1.1 - Класифікація бездротових мереж

Вайфай працює на двох діапазонах частот: 2,4 (стандарти 802.11a/b/g/n) або 5 (тільки 802.11n) ГГц. Радіус дії може досягати 250-300 метрів у межах прямої видимості та до 40-50 метрів у закритих приміщеннях. Кожне конкретне обладнання забезпечує різні фізичні показники в залежності від моделі та фірми виробника.

Швидкість передачі потоку даних відрізняється залежно від використовуваного стандарту і може становити від 11 Мбіт/с за стандартом 802.11b до 600 Мбіт/с 801.11n.

### 1.2.3 Організація бездротової мережі

WiFi може використовуватися для кількох цілей:

1. організація корпоративної мережі підприємства;
2. організація віддаленого робочого місця;
3. забезпечення входу до інтернету.



Рисунок 1.2 – Вигляд іконок WiFi

З'єднання здійснюється двома основними способами:

Перший, робота в режимі інфраструктури (Infrastructure Mode), коли всі комп'ютери зв'язуються між собою через точку доступу (Access Point). Роутер працює в режимі комутатора, і дуже часто має провідне з'єднання та доступ до інтернету. Щоб підключитися, потрібно знати ідентифікатор (SSID). Це найбільш звичний для обивателя тип підключення. Це актуально для невеликих офісів чи квартир. У ролі точок доступу виступають роутери (Router).

Другий варіант підключення використовується, якщо необхідно зв'язати два пристрої між собою безпосередньо. Наприклад, два мобільні телефони або ноутбуки. Такий режим називається Adhoc, або рівний із рівним (peer to peer).

Побутові роутери дозволяють підключитися не тільки через вайфай. Майже кожен обладнаний декількома портами Ethernet, що дозволяє вивести в мережу гаджети, які не обладнані WiFi модулем. У цьому випадку роутер вступає як мост. Дозволяє об'єднати дротові та бездротові пристрої.



Для збільшення радіусу дії мережі або для розширення існуючої топології точки доступу об'єднуються в пул в режимі Adhoc, а інші підключаються до мережі через маршрутизатор або комутатор. Є можливість збільшити зону покриття шляхом встановлення додаткових точок доступу як репітер (повторювач). Репітер вловлює сигнал із базової станції та дозволяє клієнтам підключатися до нього.

Практично в будь-якому громадському місці можна зловити сигнал Wi-Fi і підключитися для виходу в інтернет. Такі публічні точки доступу називаються Hotspot. Публічні зони з вайфай покриттям зустрічаються у кафе, ресторанах, аеропортах, офісах, школах та інших місцях. Це дуже популярний на даний момент напрямок.

### **1.2.2 Переваги та недоліки бездротових мереж**

Основна перевага передачі інформації по повітрю, впливає із самої назви технології. Немає необхідності у прокладанні величезної кількості додаткових дротів. Це суттєво знижує час на організацію мережі та витрати на монтаж. Для використання вайфай мереж немає необхідності придбати спеціальну ліцензію, отже можна бути впевненим у тому, що пристрій, що відповідає стандарту 802.11, придбаний в одній точці земної кулі, буде працювати в будь-якій іншій.

Бездротові мережі добре модернізуються та масштабуються. При необхідності збільшити покриття мережі, лише встановлюється одне або кілька додаткових роутерів без необхідності змінити всю систему. У зонах з нерівномірним покриттям пристрій-клієнт завжди буде перемикатися на ту точку, яка має найвищу якість зв'язку.

Серед недоліків варто відзначити проблеми із безпекою. Всі сучасні роутери підтримують кілька протоколів шифрування, є можливість фільтрації клієнтів за MAC-адресами. Таким чином при достатній уважності можна організувати систему найменш схильну до ризиків. Ще один недолік - це перекриття зон

покриття від різних роутерів. Найчастіше ця проблема вирішується перемиканням роботи в іншому каналі.

### **1.3 Загальні рекомендації щодо побудови бездротової мережі на основі Wi-Fi**

#### **Необхідна кількість точок доступу**

Кількість точок доступу Wi-Fi, необхідних для побудови мережі в конкретному місці, неможливо визначити. Потужність Wi-Fi-сигналу в точці прийому залежить від відстані (від клієнта до точки доступу). Від зовнішніх перешкод (зашумленості ефіру) та перешкод, наявності інших радіовипромінювань залежить співвідношення сигнал/шум. Визначити кількість точок допоможе докладне картування місцевості (обстеження та нанесення на карту зон покриття Wi-Fi-сигналу від точки доступу, яка буде надалі використовуватися) або повне встановлення всього обладнання та його тестування на місці. Те саме стосується і вибору антен для посилення сигналу.

#### **Роумінг**

Якщо необхідний роумінг, точки доступу необхідно з'єднати між собою кабелем Ethernet (наприклад, через звичайний мережевий Ethernet-комутатор другого рівня L2). Зони покриття різних точок повинні перетинатися, але не більш як на 30%. За відсутності перетину зон клієнт все одно відключиться від однієї точки при переході в іншу (з'являються «сліпі зони»), а при занадто великому перетині клієнт не зможе вибрати пріоритетну точку доступу за силою сигналу. При цьому сусідні точки повинні використовувати різні канали, що не перетинаються, для роботи.

#### **З'єднання кількох точок Wi-Fi між собою**

Якщо немає можливості прокласти між точками Ethernet-кабель, можна з'єднати точки доступу між собою бездротовою мережею. У цьому випадку не вдасться використати роумінг.

Для такої мережі краще використовувати точки з двома Wi-Fi-інтерфейсами, один з яких слугуватиме мостом для з'єднання з сусідньою точкою доступу, а другий - працювати як точка доступу Wi-Fi. Якщо використовується точка з одним інтерфейсом (у цьому випадку потрібно налаштувати інтерфейс в режимі AP+Bridge), фактична швидкість передачі даних між клієнтом Wi-Fi-мережі та точкою доступу серйозно зменшиться (оскільки технологія Wi-Fi використовує мультиплексування з поділом за часом (TDM) – тобто передача даних в один момент часу можлива лише від одного учасника мережі в один бік).

По можливості краще з'єднувати точки доступу Wi-Fi кабелем Ethernet – це забезпечує більш

### **Максимально можлива кількість клієнтів**

Кількість клієнтів, здатних підключитися до однієї точки доступу, обмежена і, як правило, невелика. При цьому корисна швидкість передачі даних від клієнта до точки доступу буде зменшуватися пропорційно числу клієнтів однієї точки та споживаного трафіку (якщо клієнт неактивний або тільки дивиться веб-сторінки, він не сильно уповільнить загальну швидкість, а якщо качає великі файли, дивиться фільми і т.п. .п., то сильно уповільнить загальну швидкість). Тому потрібно порівняти максимально можливе число точок, які можна встановити, з кількістю ймовірних клієнтів та бажаною швидкістю обміну даними. Не виключено, що деяких клієнтів краще буде підключати кабелем.

### **Реальна швидкість передачі**

Швидкість синхронізації клієнта Wi-Fi з точкою доступу (54 Мбіт/с, 150 Мбіт/с, 300 Мбіт/с) – це не фактична швидкість обміну даними між точкою та клієнтом. Реальна швидкість буде значно меншою. стабільний та швидкісний зв'язок.

### **DHCP-сервер та маршрутизація**

Точка доступу Wi-Fi працює другою рівні мережевої моделі OSI, тобто. на рівні MAC-адрес та VLAN. Вона не може видавати клієнтам IP-адреси та обмежувати доступ на рівні шлюзу. Для видачі IP-адрес клієнтам потрібно

DHCP-сервер, а для організації доступу в Інтернет - шлюз (наприклад, можна використовувати Ethernet-маршрутизатор з вбудованим DHCP-сервером).

### **Поділ користувачів на групи**

Якщо потрібно розділити користувачів на групи засобами точок доступу, це можна зробити декількома способами:

Якщо шлюзу в мережі немає, можна використовувати механізм Layer 2 Isolation та Intra-BSS traffic blocking. Доступ між користувачами блокуватиметься на другому рівні.

Якщо мережа має шлюз, потрібно використовувати VLAN для розділення користувачів. Вищий шлюз повинен підтримувати ці VLAN і на підставі них розділяти користувачів на IP-рівні.

### **Режим контролера на точках доступу**

Режим контролера дозволяє налаштовувати кілька точок доступу одночасно через інтерфейс одного пристрою. У лінійці ZyXEL є такі моделі точок доступу Wi-Fi:

Точки доступу Wi-Fi серії NWA1000-N - "одинокі". Кожну таку точку потрібно налаштовувати окремо.

Точки доступу Wi-Fi серії NWA3000-N можна використовувати як контролери мережі Wi-Fi, що працює на точках цієї серії. У цьому одна точка доступу призначається контролером мережі (Controller AP), інші керовані (Managed AP), т.к. налаштовуються через контролер.

Точки доступу Wi-Fi серії NWA5000-N можуть бути використані лише як підлеглі точки контролера точок доступу NXC5200. Установки бездротової мережі виконуються лише на контролері.

### **Ретранслятор (репітер) сигналу Wi-Fi**

Точки доступу Wi-Fi серій NWA3000-N та NWA-3000 можна використовувати для з'єднання віддалених сегментів мережі по бездротовій мережі Wi-Fi (для з'єднання віддалених точок – режим «Bridge/Repeater», для підключення віддалених клієнтів до спільної мережі – режим «AP +Bridge»).

### **Підключення до бездротового провайдера або існуючої точки доступу**

Режим клієнта Wi-Fi-мережі підтримується точками серії NWA1000-N. При цьому одночасно бути бездротовим клієнтом і точкою доступу NWA1000-N не може.

### **Проблеми та перспективи безпроводових мереж**

Сьогодні все ширше поширюються локальні бездротові мережі (WLAN), які використовують радіочастоти передачі даних. Все частіше їх називають мережами Wi-Fi, хоча раніше це було найменування лише одного зі стандартів (802.11b). Сучасні мережі Wi-Fi, незважаючи на всі свої переваги, мають і істотний недолік - радіус їхньої дії рідко перевищує 50-70 метрів. Втім, цього недоліку будуть позбавлені мережі WiMAX, інформацію через які можна буде передавати на відстані до 50 км зі швидкістю 70 Мбіт/с.



Рисунок 1.3 – Вигляд іконки проблеми з WiFi

Під аббревіатурою Wi-Fi (від англійської Wireless Fidelity, що можна перекласти як "висока точність передачі даних бездротовим каналом зв'язку") розуміють сімейство стандартів для організації бездротових локальних мереж відповідно до специфікації IEEE 802.11.

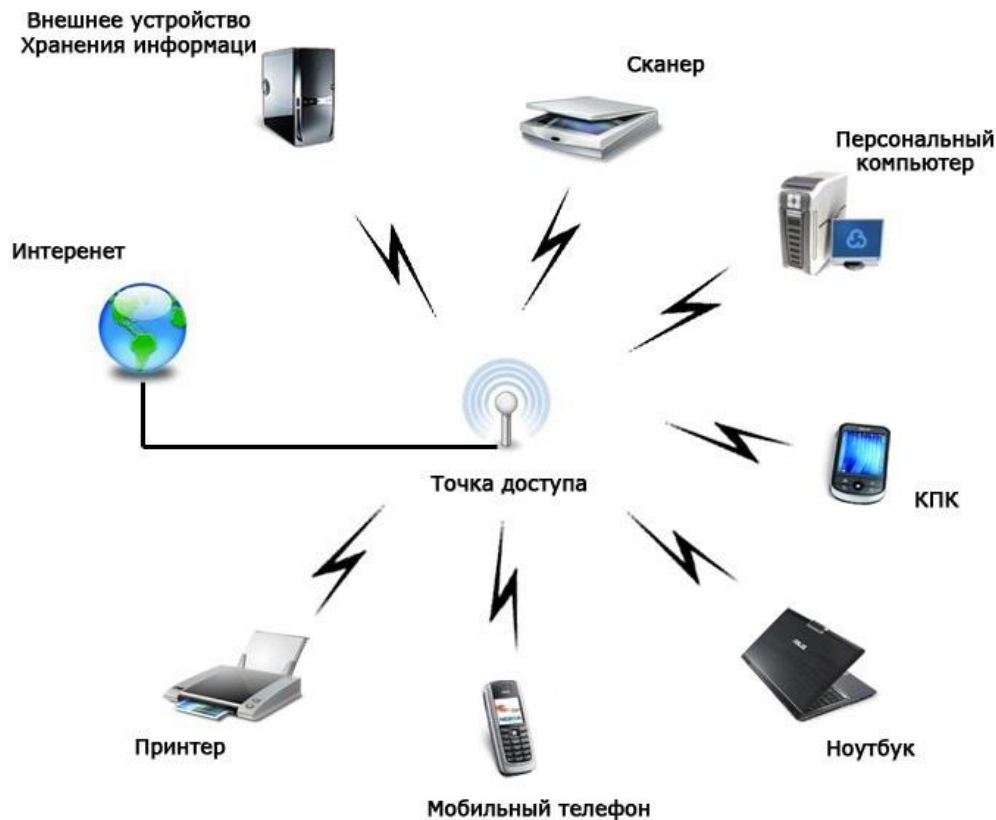


Рисунок 1.4 - Схема бездротової мережі Wi-Fi

В даний час найбільшого поширення набули три різновиди стандарту IEEE 802.11 з індексами a, b і g. Специфікація IEEE 802.11a має на увазі використання частотного діапазону 5 ГГц, максимальна пропускна здатність мережі в цьому випадку досягає 54 Мбіт/с. Канали зв'язку, організовані відповідно до IEEE 802.11b та IEEE 802.11g, використовують діапазон частот 2,4 ГГц, а максимальна швидкість передачі даних становить 11 Мбіт/с та 54 Мбіт/с відповідно. Радіус дії WLAN становить від 50 до 100 метрів.

Спочатку мережі WLAN через високу вартість обладнання застосовувалися, переважно, всередині великих зарубіжних корпорацій. Потім бездротові точки

доступу (або хот-споти) стали з'являтися у громадських місцях великих американських та європейських міст. Маючи ноутбук з контролером Wi-Fi, відвідувач ресторану або постоялець готелю міг швидко з'єднатися з інтернетом, переглянути електронну пошту або завантажити інформацію, що його цікавить. Комерційна привабливість таких точок доступу виявилася досить швидко, у результаті зараз публічні хот-споти набули дуже широкого поширення.

Звичайно, мережі WLAN можуть застосовуватися і в межах квартири, наприклад, для зв'язку настільного комп'ютера та лептопа або ноутбука та налагодника. Крім того, контролери Wi-Fi вбудовуються у гібридні мобільні телефони. Власник такого пристрою може в будь-який час зробити дзвінок через стільникову мережу (звичайно, в межах зони покриття) або перейти на використання менш дорогої IP-телефонії за наявності поблизу точки бездротового доступу в інтернет. Гібридні мобільники орієнтовані насамперед на корпоративних замовників, для яких застосування IP-телефонії означатиме зниження витрат на традиційний стільниковий зв'язок.

За вісім років, що минули з моменту прийняття першого стандарту IEEE 802.11 для бездротових локальних мереж у 1997 році, ситуація у галузі кардинально змінилася. Зараз бездротові точки доступу можна знайти практично в будь-якому куточку світу, а поетапне зниження цін на обладнання дозволило перетворити мережі Wi-Fi на справді "народний" продукт. Різкому збільшенню кількості хот-спотів та внутрішньоофісних мереж WLAN сприяв і випуск корпорацією Intel мобільної платформи Centrino. В даний час більшість ноутбуків бізнес-класу і, тим більше, класу Hi-End оснащуються контролерами Wi-Fi за замовчуванням.

Найближчими роками розвиток локальних бездротових мереж піде за напрямом масового впровадження так званої технології WiMAX (скорочено від Worldwide Interoperability for Microwave Access). Мережі WiMAX (стандарт IEEE 802.16a) передбачають використання частотного діапазону від 2 ГГц до 11 ГГц та забезпечують швидкість передачі даних до 70 Мбіт/с на відстань до 50 км. Новий

стандарт позиціонується як засіб підключення до Інтернету бездротових локальних мереж WLAN і як заміна DSL як "остання миля". Пропускної спроможності однієї базової станції цілком вистачить для забезпечення десятків бізнес-користувачів та сотень домашніх підключень.

Пристрої WiMAX вже випускають деякі великі компанії. Наприклад, Intel у квітні цього року представила свою першу WiMAX-мікросхему під кодовою назвою Rosedale. Цей чіп, призначений для використання у недорогому комп'ютерному обладнанні, включає протокол MAC-рівня стандарту 802.16-2004 та протокол фізичного рівня OFDM. Окрім цього, розробники передбачили вбудовану систему захисту інформації.

Очікується, що на першому етапі вартість WiMAX-обладнання становитиме близько 350 доларів США, однак у перспективі ціна на подібні пристрої має зрівнятися з вартістю апаратури для сучасних мереж Wi-Fi. Широкопasmові бездротові мережі мають намір розгорнути багато великих компаній, зокрема, AT&T, Altitude Telecom, BT, Millicom та ін. Петерстар".

Втім, навряд чи широкопasmові бездротові мережі стануть масовими протягом найближчих двох-трьох років принаймні в Україні. Вартість обладнання, необхідного для їх створення, досить висока, та й абонентам доведеться викладати за доступ до WiMAX-мереж до 250 доларів на місяць. Зрозуміло, що дозволити собі такі витрати зможе не кожен.



## 2 ПОРІВНЯННЯ ТЕХНОЛОГІЙ WI-FI 5 ТА WI-FI 6

### 2.1 IEEE 802.11ac - Wi-Fi 5

До 2015 року буде прийнято новий стандарт для бездротових мереж передачі даних IEEE 802.11ac, який дозволить передавати інформацію до трьох разів швидше ніж останній сьогоднішній стандарт IEEE 802.11n. В даний час він обмежує передачу даних швидкістю до 300 Мбіт/с.



Рисунок 2.1 – Вигляд іконки технології Wi-Fi 5

Очікується, що підвищення швидкодії буде досягнуто насамперед завдяки тому, що пристрої зможуть працювати не лише з каналами шириною 20-40 МГц, але й з 80-160 МГц, особливо у частотному діапазоні 5 ГГц. З великою часткою ймовірності стандарту збережеться сумісність з попередніми версіями Wi-Fi-стандартів. Окрім зростання швидкості Wi-Fi очікується значне збільшення кількості пристроїв, які використовуватимуть його для передачі даних.

Аналітичне агентство In-Stat припускає, що до 2015 року їхня загальна кількість перевищить 1 млрд.

Продукти для бездротових локальних мереж на базі стандарту IEEE 802.11ac, який зараз перебуває на стадії розробки, почнуть поставлятися у 2012 році. У компанії Broadcom вважають, що їхня поява ознаменує нову еру розвитку мереж Wi-Fi, що мають високу продуктивність і значно більший радіус дії.

У новій технології використовуватимуться вузькоспрямоване випромінювання антен, ширші канали, кілька антен передачі та прийому даних. Все це дозволить довести швидкість до 1,3 Гбіт/с та збільшити відстань зв'язку. Новий стандарт забезпечить також найкраще проходження сигналів через стіни будинків, тому мережа на базі технології 11ac надійно працюватиме в межах цілої будівлі, вважає Рауль Пател, віце-президент групи мобільного та бездротового зв'язку Broadcom. Цей стандарт стане кроком уперед у порівнянні з IEEE 802.11n, найбільш досконалим сьогодні стандартом бездротового зв'язку, який забезпечує, як правило, швидкість до 300 Мбіт/с

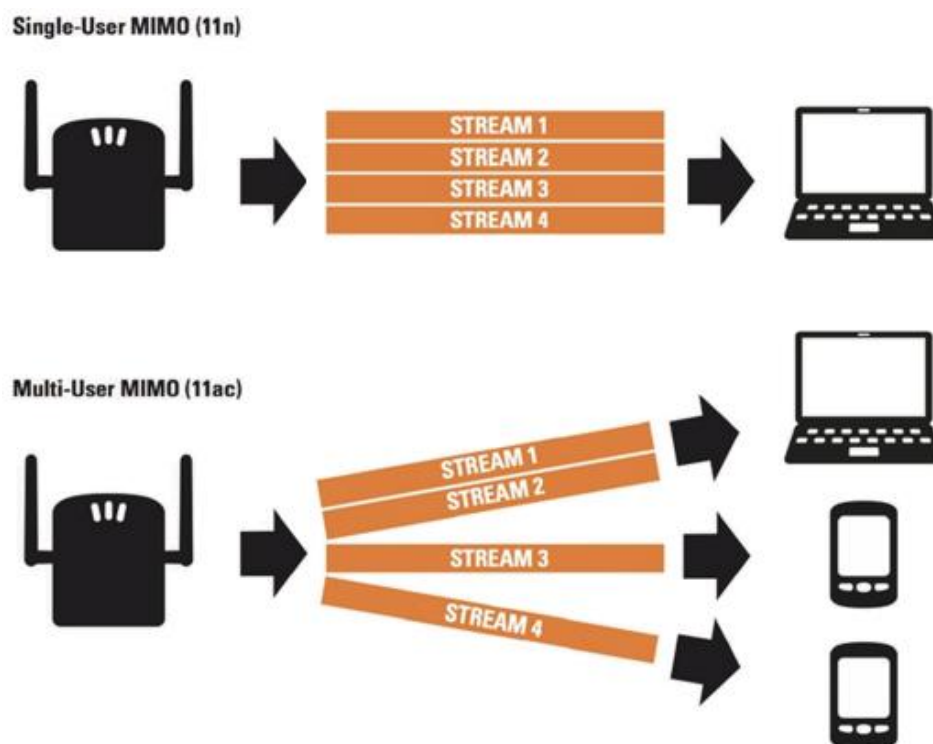


Рисунок 2.2 – Порівняння технологій MIMO

У промисловості продуктів для домашніх бездротових мереж розглядається можливість застосування кількох їх модифікацій передачі відео високого дозволу, потребує високої швидкодії і стабільності роботи. Пател не бачить загрози для 11ac з боку конкуруючих технологій. Wireless HDMI, наприклад, забезпечує більшу швидкість, але значно дорожче, тому навряд чи набуде масового поширення. WiGig передбачає передачу даних із швидкістю, що досягає 6 Гбіт/с, але на менші відстані. Можливо, WiGig та 11ac зможуть вдало доповнювати один одного.

У компанії Broadcom розраховують, що продукти на базі 802.11ac почнуть поставлятися у другій половині 2012 року. Пател вважає, що до кінця наступного року Wi-Fi Alliance може бути готова програма їх сертифікації, хоча роботи над стандартом IEEE ще, можливо, не будуть завершені. Втім, коли стандарт IEEE 802.11n перебував ще на стадії розробки, вже почалися постачання продуктів на його основі. Їхню сертифікацію на відповідність попереднім редакціям стандарту виконували у Wi-Fi Alliance.

У листопаді аналітики In-Stat опублікували прогноз, в якому вказувалося, що продаж продуктів на основі 11ac почнуть швидко зростати після випуску цього стандарту. Якщо в 2012 році можна очікувати постачання близько 1 млн маршрутизаторів і модемів різних типів, то в 2015 році цей показник складе вже 350 млн. Але навіть тоді 11n буде цілком успішно конкурувати з 11ac, і очікується, що в 2015 році буде продано майже 1,5 млрд пристроїв на базі 11n.

Так само як у 802.11n, у новому стандарті регламентується застосування кількох антен для формування кількох потоків трафіку. Однак радіомодуль 11ac, що використовує тільки один потік, практично не поступатиметься за продуктивністю модулю 11n з трьома потоками, стверджує Пател. Один з методів, що дозволяє майже втричі збільшити його швидкість, - застосування ширококутових каналів - від 80 до 160 МГц, у той час як максимум в 11n - 40 МГц. Стандарт 802.11ac визначає також, як можуть спільно працювати кілька пристроїв, використовують цей розширений частотний діапазон каналів.

З появою стандарту 11ac вдасться вийти за межі приватного діапазону 2,4 ГГц, єдино дозволеного старим стандартом 802.11b і використовуваного також як один з діапазонів стандарту 11n. Новий стандарт 11ac розрахований лише на діапазон 5 ГГц, який, як зазначив Пател, не є таким «перенаселеним». Він звернув увагу на те, що 90-95% пристроїв працюють сьогодні в мережах Wi-Fi в діапазоні 2,4 ГГц, де є тільки три канали, що не «перетинаються», тоді як у діапазоні 5 ГГц таких каналів

20.

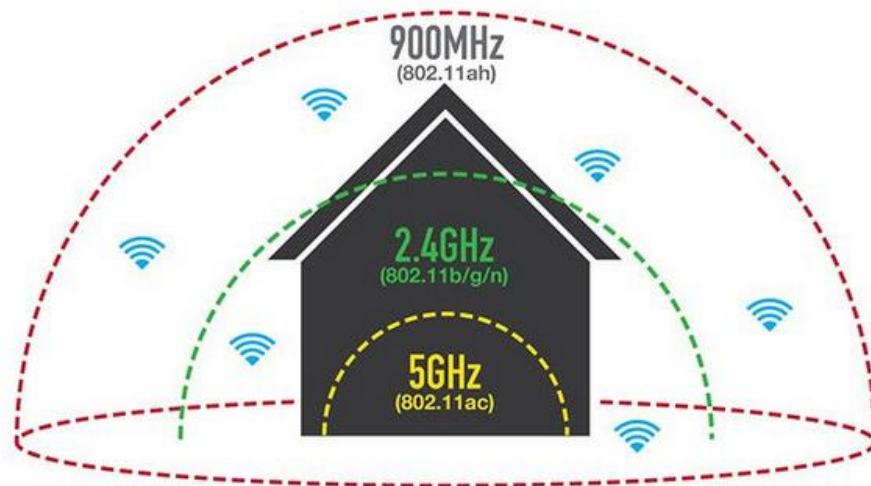


Рисунок 2.3 – Порівняння діапазону роботи різних частот технологій

## 2.2 Революційний Wi-Fi 6

Як новий стандарт прискорить світ інтернету речей.

Технологія Wi-Fi 6 (802.11ax) підвищить швидкість передачі даних та пропускну здатність бездротових мереж. Орієнтований на корпоративних користувачів стандарт забезпечить гнучкість та масштабованість інфраструктури для швидкого запуску цифрових сервісів.



Рисунок 2.4 –Вигляд іконки технології Wi-Fi 6

За останні роки бізнес звик до споживання мобільного інтернет-трафіку через Wi-Fi, проте при великому накопиченні людей такі мережі починають працювати із затримкою, швидкість доступу падає. Велику пропускну здатність, високу швидкість відгуку, гарантовану продуктивність пристроїв та програм забезпечить новий стандарт бездротового зв'язку Wi-Fi 6 (802.11ax, аносований восени 2019 року). Розробник - Інститут інженерів електротехніки та електроніки (Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE) - глобальна асоціація технічних фахівців, яка відповідає за розвиток Wi-Fi та розвиток галузевих стандартів.

Wi-Fi 6 істотно підвищує продуктивність бездротової мережі - кількість підключених пристроїв, продуктивність використовуваних додатків, час відгуку додатків, що вкрай важливо для додатків з інтерактивом - роботами, що керуються з хмари, відеоконференцзв'язку, телемедицини і т.д., коментує Юлія Андріанова, менеджер з розвитку бізнесу бездротових технологій Cisco.

Продуктивність такої мережі зростає майже вчетверо - за рахунок більш ефективного використання спектра. Насамперед її переваги очевидні в локаціях з високою щільністю підключень — на стадіонах, в аеропортах та інших транспортних вузлах, конференц-залах, торгових та ділових центрах, зонах відпочинку та розваг та ін. Крім того, Wi-Fi 6 забезпечить ефективну роботу для безлічі пристроїв інтернету речей (IoT), суттєво підвищуючи ефективність роботи з малими обсягами даних та заощаджуючи батарею малопотужних датчиків за рахунок скорочення обміну службовою інформацією.

### Еволюція стандартів Wi-Fi

Таблиця 2.1 – Еволюція швидкостей стандартів Wi-Fi

1997	<a href="#">IEEE</a>	802.11	2 Мбіт/с
1999	IEEE	802.11a	54 Мбіт/с
2003	IEEE	802.11g	54 Мбіт/с
2009	Wi-Fi 4	<a href="#">802.11n</a>	600 Мбіт/с
2014	Wi-Fi 5	<a href="#">802.11ac</a>	6,77 Гбіт/с
2019	Wi-Fi 6	802.11ax	11 біт/с

#### 2.2.1 Принципові відмінності нового стандарту

Wi-Fi 6 збільшує швидкість передачі даних до 11 Гбіт/с (для порівняння, що з'явився в 2013 Wi-Fi 5 (802.11ac) підтримує 6,77 Гбіт/с). Місткість мережі розширена за рахунок технології множинного доступу з ортогональним частотним поділом каналів (Orthogonal frequency-division multiple access, OFDMA - запозичена зі стільникового зв'язку). Вона забезпечує одночасну передачу інформації одразу кільком клієнтам.

Попередні стандарти Wi-Fi використовують принцип «Listen-Before-Talk» — кожен Wi-Fi пристрій перед радіопередачею перевіряє чи вільний ефір. Якщо

передає інший пристрій, ефір зайнятий і радіопередача відкладається. При збільшенні щільності пристроїв, масовому впровадженні датчиків і сенсорів з Wi-Fi підключенням такий принцип починає підбивати, час відгуку програм неможливо гарантувати, відео на екрані розсипається, звук жується.

У новому стандарті Wi-Fi 6 за рахунок OFDMA можна спланувати наступний вихід в ефір з урахуванням вимог програми, яка передає інформацію. Це дозволяє знижувати час відгуку. Тепер одночасно – в одному тимчасовому слоті – можуть передавати інформацію 9 пристроїв (у попередніх стандартах – один).

Ще однією революцією Wi-Fi 6 стала запозичена з мобільних мереж технологія "розфарбовування" базових станцій (BSS Coloring) - вона дозволяє суттєво підвищити ефективність використання радіоефіру. Тепер клієнтські пристрої чують лише сигнали своєї точки доступу та ігнорують чужі, підвищуючи частку ефірного часу, придатного для обміну інформацією.

При цьому можливість узгоджувати час виходу пристрою в ефір і відправляти його в режим сну дозволяє суттєво заощаджувати заряд батареї. Термін життя акумуляторів збільшується втричі. Це особливо важливо для пристроїв IoT, які зазвичай передають невелику кількість даних у рідкісні проміжки часу (кілька разів на день), але дуже чутливі до ресурсу батареї.

Таблиця 2.2 – Важливі компоненти Wi-Fi 6

<b>OFDMA</b>	Orthogonal frequency-division multiple access — множинний доступ із ортогональним частотним поділом (можливість поділяти канал на одиниці ресурсу)
<b>Target Wake Time</b>	Призначений час пробудження
<b>MIMO</b>	Multiple-input, multiple-output - множинний вхід, множинний вихід (мульти користувач)
<b>BSS Coloring</b>	«Розфарбовування» пакетів інформації, що передаються по мережі, для відділення «своїх» від «чужих» (ефективність використання ефіру)

### 2.3 Екосистема Wi-Fi 6

Програма сертифікації обладнання Wi-Fi Certified 6 стартувала восени 2019 року – з подачі Wi-Fi Alliance. Вендори почали запускати продукти, які відповідають вимогам стандарту. Це означає підтримку 802.11ax у діапазонах 2.4ГГц та 5ГГц, OFDMA у uplink та downlink, а також підтримку одночасної взаємодії з групою клієнтських пристроїв розділеними потоками.

На травень 2020 року у списку Wi-Fi Certified 6 пристроїв на сайті самого альянсу (wi-fi.org) – понад 90 роутерів та точок доступу від різних виробників: Cisco, Linksys, Huawei, Asus, Alcatel-Lucent, Aruba та ін.

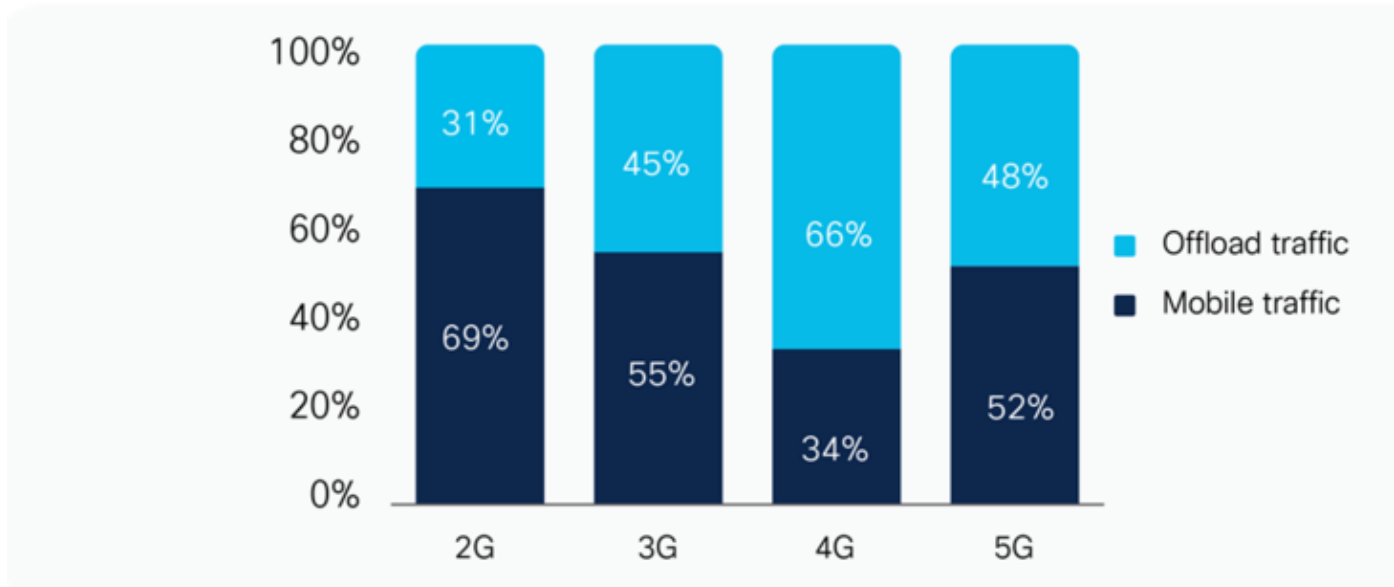


Рисунок 2.5 - Динаміка мобільного трафіку

Устаткування Cisco для Wi-Fi 6, включає точки доступу Catalyst серії 9100 Wi-Fi 6 (підтримують різні IoT-протоколи: BLE, Zigbee, Thread). Всі вони підтримують планування виходу в ефір, коли це потрібно програмі, і занурення пристрою «в сплячку» в останній час – для економії ресурсу (Target Wake Time).

Реалізовано проактивний пошук несправностей, виявлення аномалій та глибока аналітика стану радіоефіру, мережі та клієнтських пристроїв (Cisco DNA). Точки доступу доставляють у DNA Center дані про стан радіоефіру, мережі



та клієнтських пристроїв, щоб мережа могла провести самодіагностику. Intelligent Capture постійно тестує мережу, аналізує трафік на рівні пакетів (може виявляти понад 200 аномалій) та передає у Cisco DNA Center результати глибокого аналізу, без зниження продуктивності обслуговування клієнтів.

З недавнього часу оптимізовано підключення Wi-Fi для пристроїв Apple та Samsung (список виробників планується розширювати). Вибирається найближча та найменш завантажена точка доступу, програма пріорітизується в бездротовій мережі з моменту попадання в чергу пакетів на передачу в радіоефірі.

Контролер Cisco Catalyst серії 9800 побудований на операційній системі Cisco IOS XE (передбачено набір API для інтеграції із зовнішніми системами). Пристрій забезпечує підключення нових точок доступу без переривання мережевого сервісу, а для його безпеки реалізовано функцію виявлення зловмисного програмного забезпечення в зашифрованому трафіку (ETA).

Крім цього, Cisco розробляє свій чіпсет - Cisco RF ASIC - для топових бездротових рішень. Тут передбачено додаткове радіо для виявлення перешкод, оптимального радіопланування, а також визначення місця розташування клієнтів.

Реалізована підтримка Cisco Embedded Wireless Controller - програмне забезпечення бездротового контролера, що працює прямо на точці доступу. EWC забезпечує управління точками без необхідності купувати та обслуговувати окремий бездротовий контролер. Це рішення підходить, наприклад, для розподілених мереж та організацій з обмеженим ресурсом ІТ - так, за допомогою EWC можна запустити мережу всього за кілька кроків прямо з мобільного додатка.

Мобільність змінила наші уявлення про продуктивність, особливо для місць із високою щільністю співробітників, гостей, клієнтів, починаючи від фестивалів та стадіонів до великих лікарень чи кампусів, які працюють із великим обсягом даних. Wi-Fi 6 пропонує високі швидкості, пропускну здатність, час автономної роботи пристроїв та якість роботи програм. Це дасть необхідні переваги бізнесам, які використовують ІТ-інфраструктуру як платформу для

забезпечення своїх бізнес-процесів, що дозволяють своїм співробітникам мобільну роботу з будь-якого пристрою та використовуючим IoT-пристрої, каже Станіслав Соменков, керівник напряму Cisco компанії RRC.

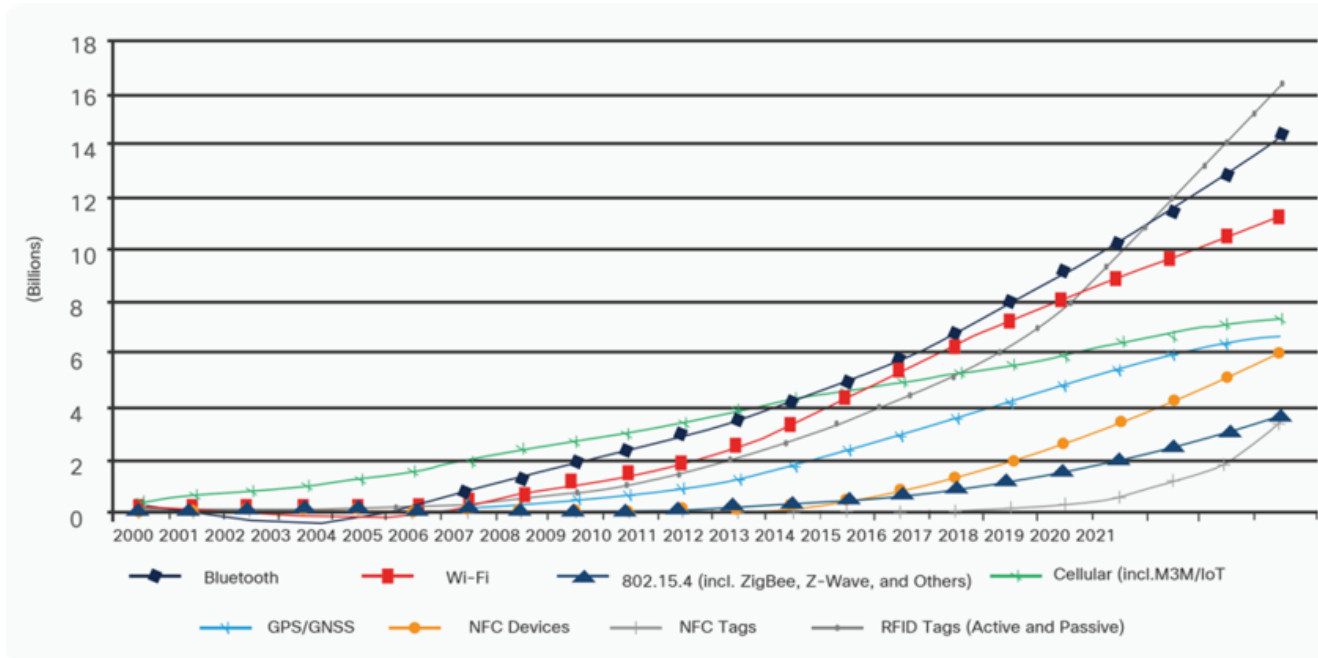


Рисунок 2.6 - Тренди IoT

## 2.4 В2В аудиторія

Wi-Fi 6 адаптований та орієнтований на корпоративний сегмент. Для розгортання такої мережі не потрібний дозвіл на використання частот. А вартість проекту буде втричі-п'ять разів нижчою, ніж при побудові корпоративного сегмента на базі стільникового зв'язку (дані Cisco). Аналогічно набір мікросхем для підключення пристроїв IoT по Wi-Fi 6 - на порядок дешевше від набору для підключення по 5G. Кількість підключених до корпоративної мережі пристроїв можна збільшувати без обмежень.

Основний попит на мережі Wi-Fi 6 генеруватимуть, за прогнозами Cisco, високотехнологічні бізнеси, виробничі підприємства, фінансова сфера. Переваги Wi-Fi 6 найбільше виявляються там, де на обмеженому просторі потрібно підключати велику кількість мобільних користувачів. Так, сьогодні рішення Cisco

Catalyst серії 9100 та 9800 використовуються в Університеті штату Каліфорнія в Сан-Хосе (США) – там забезпечено високошвидкісне бездротове з'єднання на території з високою щільністю підключень (понад 25 тис. пристроїв паралельно). А в лондонському районі Canary Wharf, де доступ до цифрової інфраструктури та зв'язок нового покоління входять до пакету обов'язкових послуг девелопера, мережею на базі Wi-Fi 6 користуються понад 200 стартапів, 4 250 домогосподарств, а також до 130 тис. відвідувачів комплексу.

Технологія адаптована для роботи з імерсивними програмами в медицині, навчанні, проектуванні, сфері розваг. Вона забезпечує високий відгук програм, що раніше у Wi-Fi було неможливо реалізувати.

Це означає, що Wi-Fi 6 підтримає роботу, наприклад, самоврядного складу роботів. Або перехід ритейлу на цифрові цінники, що самооновлюються, що дозволяють мінімізувати людський фактор і помилки.

В Україні затребуваність технології зростатиме в міру збільшення щільності підключень, масового запуску IoT-пристроїв, а також розширення спектру кінцевих пристроїв, що підтримують. Загалом перехід на нову технологію пройде для корпоративного сегменту швидше та простіше, ніж раніше на стандарт Wi-Fi 5.

Враховуючи, що компанія Cisco є одним із світових лідерів у розвитку мережевих технологій, важливим завданням дистриб'ютора стає популяризація ідей та подальших рішень для кінцевого споживача. Колишній стандарт IEEE 802.11ac буде заміщений на Wi-Fi 6 і станеться це швидше ніж подібні трансформації в минулому. Для трансформації бізнесу сьогодні та відповіді на сучасні виклики потрібні такі технології.

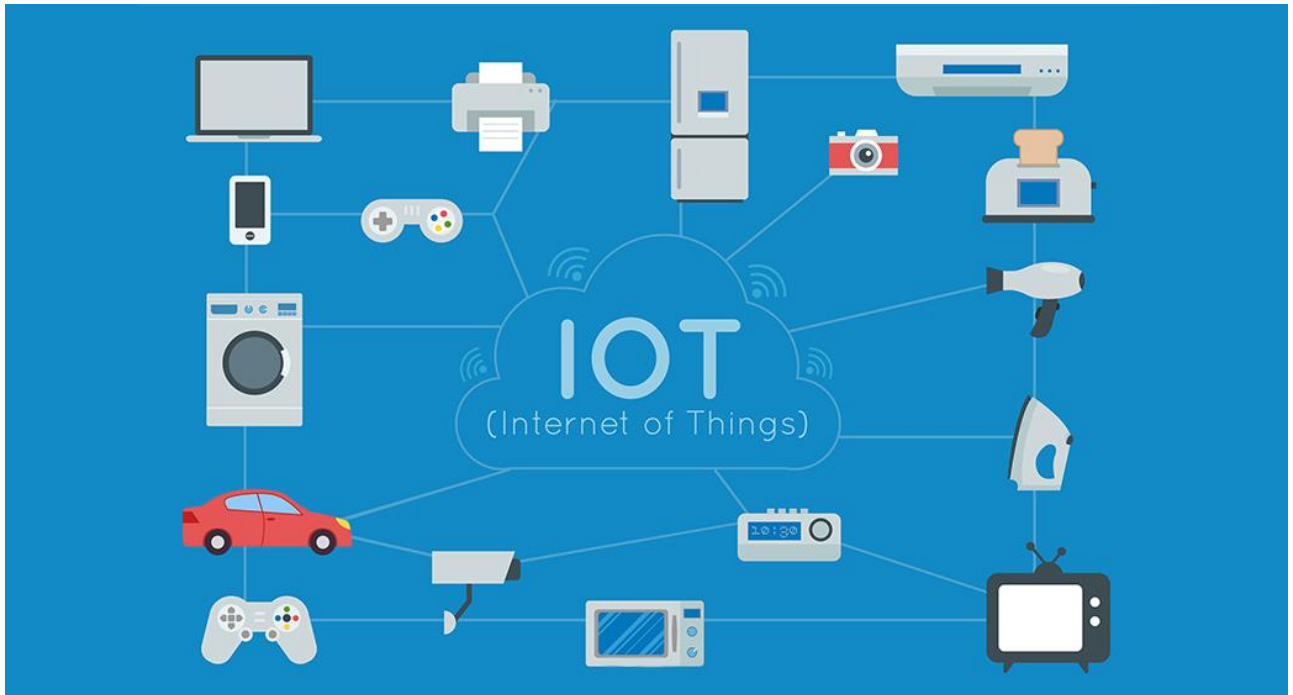


Рисунок 2.7- Приклад підключення пристроїв ІОТ

### 3 МЕРЕЖЕВА ТЕХНОЛОГІЯ IEEE 802.11AX / WI-FI 6

Новий Wi-Fi 6 цікавий з усіх боків. Тут і фізичне перестроювання антен, і підтримка OFDMA - множинного доступу з ортогональним частотним розділенням каналів, і ущільнення інформації за рахунок підтримки модуляції QAM 1024, що дозволяє збільшити кількість біт інформації, що передається в розрахунку на 1 Гц частотного діапазону, і маркування пакетів в каналах з метою розпізнавання «свій-чужий», і сплячі режими. Плюс гнучкість настройки і високі швидкості передачі даних.

В реальних умовах бездротові мережі насилу справляються з поставленими завданнями, але головна причина не в тому, що у існуючих стандартів не вистачає швидкості передачі. Просто пристроїв стало занадто багато - теоретичних показників на практиці досягти не вдається через вимушене очікування, поки звільниться середовище передачі, взаємовпливу розташованих поруч точок доступу і т.д. І з часом проблема посилюється. Тому при розробці чергової версії стандарту Wi-Fi Alliance приділив більше уваги підвищенню ефективності роботи бездротової мережі.

Нова версія стандарту вперше була представлена восени 2018 року - одночасно з перейменуванням останніх двох версій - 802.11n і 802.11ac в Wi-Fi 4 і Wi-Fi 5 відповідно. «Ребрендинг» знадобився для того, щоб позбутися від плутанини на ринку для користувача пристроїв і спростити користувачам перехід на нові версії.

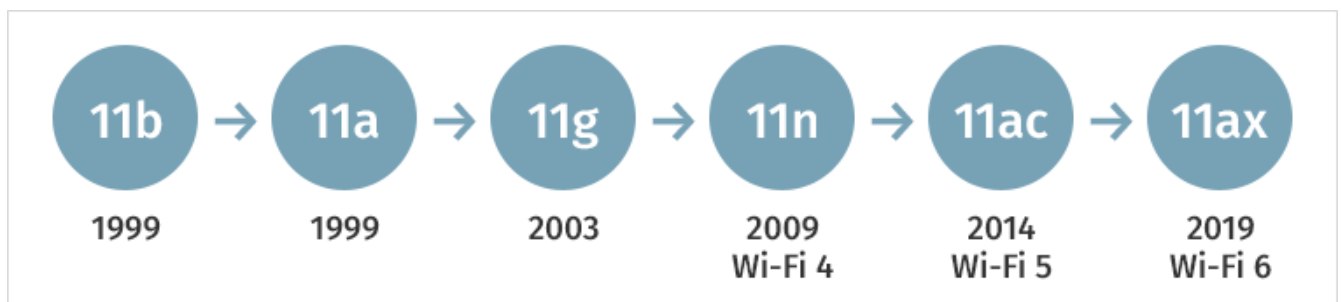


Рисунок 3.1 – Етапи розвитку технології IEEE 802.11ax

Офіційне затвердження стандарту заплановано на другу половину 2019 року. Деякі виробники вже пропонують точки доступу з підтримкою Wi-Fi 6.

Розглянемо чому зазвичай слід переходити до оновлення на Wi-Fi 6.

### **3.1 Обмежений частотний ресурс**

Одна з основних проблем бездротових мереж - дефіцит спектра.

Ще кілька років тому співтовариство заговорило про тісноту в діапазоні 2,4 ГГц, тоді ж намітився рух Wi-Fi Alliance в сторону спектрального відрізка в районі 5 ГГц, і Wi-Fi 5 навіть позбувся підтримки «перезавантаженого» 2,4 ГГц. Але в Wi-Fi 6 цей діапазон повернувся. Причин тому багато: від різних умов розповсюдження сигналу і вартості кінцевих пристроїв до бажання задіяти під популярний бездротової стандарт всі доступні частоти, адже кількість клієнтських пристроїв зростає в геометричній прогресії. Більш того, теоретично стандарт може використовуватися і в сусідніх частотних смугах. Вже обговорюється пропозиція Федеральної частотної комісії (FCC) про те, щоб виділити під нього додаткові смуги в районі 6 ГГц.

Частотний ресурс можна використовувати по-різному. Можна розділити його на максимально широкі відрізки, щоб забезпечити високу швидкість передачі даних при малій кількості пристроїв - і Wi-Fi 6 підтримує виділення каналів шириною до 160 МГц, - а можна виділити багато каналів мінімальної ширини, щоб працюючі на них пристрою не заважали один одному. І гнучкість, з якою здійснюється «перемикання» між цими підходами, визначає універсальність стандарту.

### **3.2 Поділ частот**

У Wi-Fi 6 (по аналогії з мережами 4G) з'явилася підтримка OFDMA - множинного доступу з ортогональним частотним розділенням каналів. Щоб

ефективніше використовувати спектр там, де на нього претендує багато користувачів, частотний канал розділяється на піднесучі шириною близько 78 кГц. Передача здійснюється на каналах, сформованих з деякої кількості піднесучих, кратного 26.

По суті OFDMA (Рис 3.2) - це використовувався раніше OFDM (Рис 1.12), оптимізований для безлічі користувачів мережі.

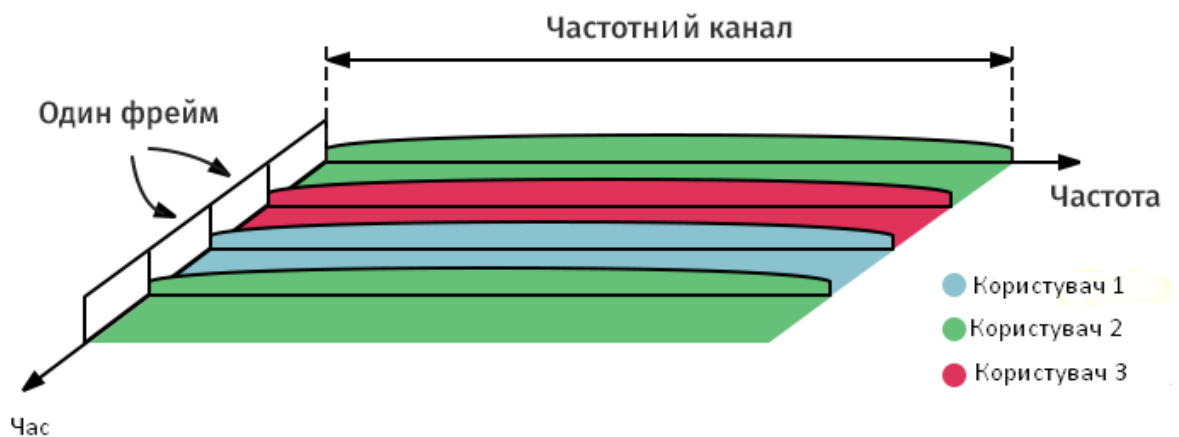


Рисунок 3.2 - OFDM

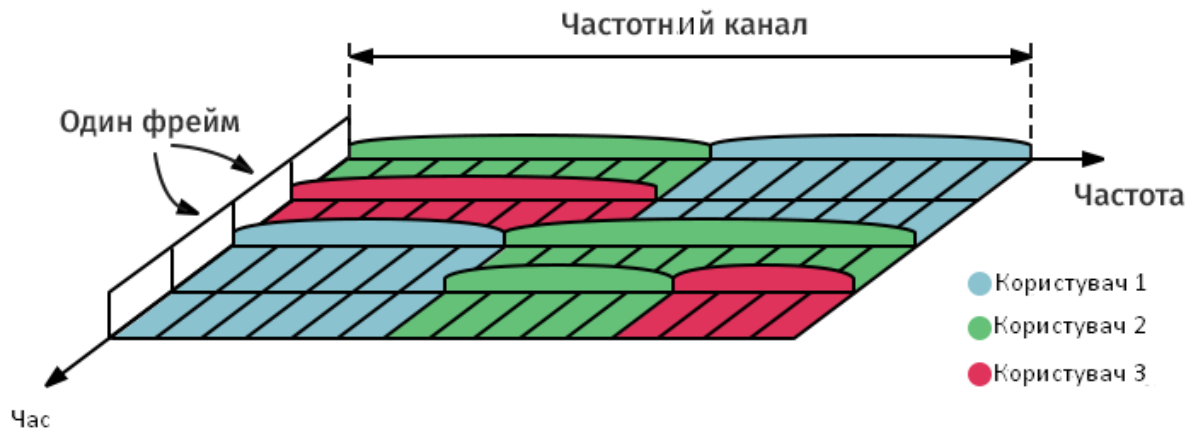


Рисунок 3.3 – OFDMA

OFDMA дозволяє поліпшити передачу даних в бездротовій мережі з високою щільністю пристроїв. Паралельно зменшується затримка доставки пакетів для кожного користувача окремо.

Більш високорівневе частотне планування можуть забезпечувати рішення від виробників обладнання. Наприклад, Huawei інтегрує в своє залізо з підтримкою Wi-Fi 6 технологію DFA, яка забезпечує динамічне присвоєння частотних каналів - вибір неперекриваючихся каналів в діапазоні 2,4 ГГц, перемикання в діапазон 5 ГГц (при наявності такої можливості) і т.д.

### 3.3 Ущільнення інформації

Ущільнювальність частотної смуги визначає не тільки ефективність її заповнення пакетами різних користувачів, а й те, наскільки щільно туди упакована передана інформація.

Крім модуляції QAM 256 (з попередньої версії стандарту), в Wi-Fi 6 підтримується QAM 1024 (в методах кодування MCS 10 і MCS 11), що дозволяє збільшити кількість біт інформації, що передається в розрахунку на 1 Гц частотного діапазону. Це дає зростання швидкості передачі даних приблизно на 25% в порівнянні з Wi-Fi 5, правда, тільки в тому випадку, якщо якість каналу (чутливість приймача) дійсно дозволяє застосувати цю модуляцію.

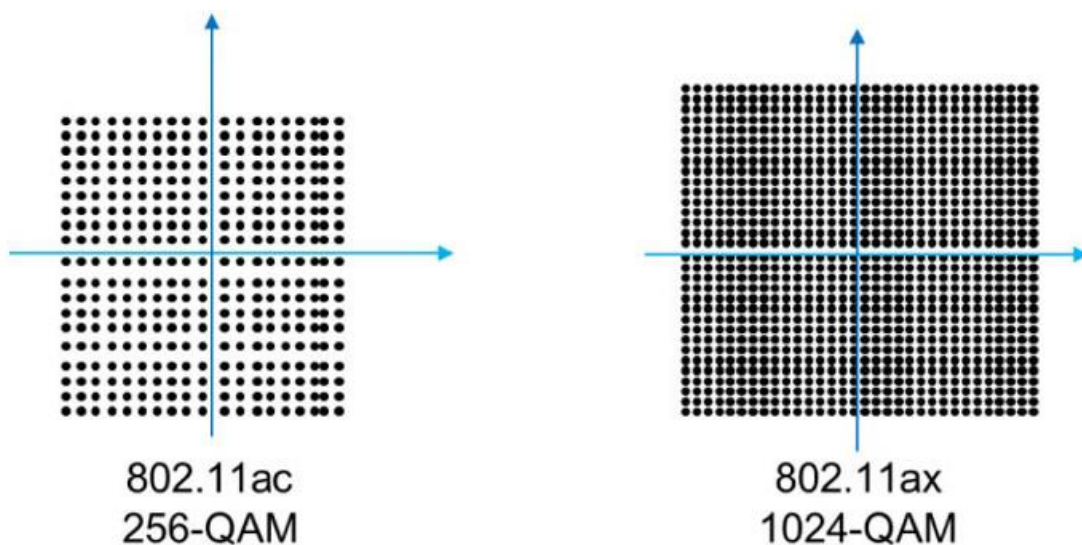


Рисунок 3.4 – Порівняння щільності модуляції в стандартах Wi-Fi 5 та Wi-Fi 6



Теоретична швидкість нової версії стандарту при використанні ультраширокої смуги пропускання - 9,6 Гбіт / с. Зрозуміло, що на практиці швидкість залежить від підключених призначених для користувача пристроїв, їх кількості та загальної завантаженості електромагнітного спектра в околицях. Якість бездротових мереж попередніх версій Wi-Fi істотно падає при зростанні числа клієнтів, але в Wi-Fi 6 були закладені механізми, що дозволяють скоротити конфлікти і простой пристроїв через зайнятість середовища передачі, так що початок багатообіцяючий.

### **3.4 Мережі високої щільності**

Досягненню високих швидкостей бездротової передачі заважають конфлікти і неоптимальна ущільнювальність частотного спектра в умовах, коли пристрої заздалегідь не домовляються між собою, як і коли здійснювати передачу. З цими практичними проблемами покликані боротися відразу кілька нововведень Wi-Fi 6.

### **3.5 «Різнобарвний» спектр**

Сьогодні не так багато бездротових мереж існують в ізоляції. А якщо поблизу є ще 5-10 точок доступу, значить їх зони обслуговування перекриваються, викликаючи ті самі конфлікти.

В основі Wi-Fi від початку було закладено механізм доступу до середовища передачі CSMA/CA з відправкою службових кадрів RST і CTS (запит на передачу - вільний для передачі). Якщо пристрою треба передати інформацію, воно слухає середу, і, коли та зайнята - чекає деякий час, щоб спробувати ще раз. Якщо ж середа вільна, воно відправляє запит на передачу (RST) і тільки після підтвердження (CTS) передає дані. Цей механізм донедавна не розбирав «свій - чужий»: хтось передає, значить треба мовчати і чекати своєї черги. Це викликало

падіння швидкості передачі і збільшення часу очікування в мережах з великою кількістю пристроїв в безпосередній близькості один від одного.

Для вирішення цієї проблеми в Wi-Fi 6 закладений механізм «розфарбовування» (а точніше, маркування) пакетів в одних і тих же частотних каналах, які використовуються різними пристроями - BSS coloring - Basic Service Set Coloring. При такому розкладі, виявивши пакет з «чужим» кодом, пристрій проігнорує його. Допомогти процедурі повинно автоматичне регулювання порогів виявлення сигналу для «своїх» і «чужих», а також удосконалення механізму фокусування передачі в напрямку клієнтських пристроїв (про нього докладніше - далі).

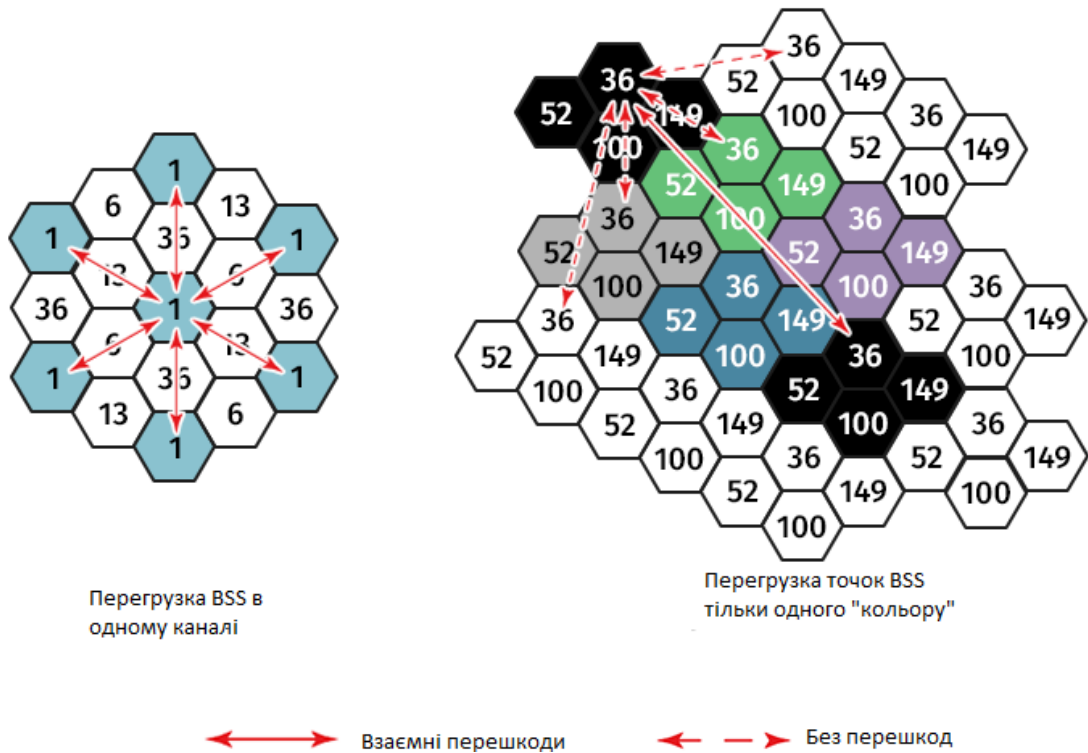


Рисунок 3.6 – Приклад механізму маркування пакетів

До речі, час очікування в бездротових мережах регулюється механізмом NAV (Network allocation vector), який наказує станції «підглядати» в тривалість переданого кимось іншим пакета, щоб визначити, коли можна знову спробувати передати свій. І в Wi-Fi 6 з'явилося два окремих NAV: для пристроїв всередині

«своїх» і «чужих» мереж. Нововведення дозволяє не «збивати» настройки чужими передачами і не помилятися з вибором часу для запиту передачі.

### 3.5 Поділ в просторі

Крім логічного маркування «свій-чужий» Wi-Fi може поділити клієнтів просторово.

Пристрої попереднього стандарту вже «вміли» коригувати діаграму спрямованості передачі для декількох окремих користувачів (MU-MIMO). Фактично технологія дозволяє сформувати окремий промінь для користувача з пакетами, призначеними саме для нього. Однак в Wi-Fi 5 це працювало тільки на downlink. У Wi-Fi 6 той же механізм з'явився і на uplink, при цьому як і з downlink частотне планування здійснюється на стороні точки доступу. Одночасно було розширено кількість можливих підключень в два рази - до  $8 \times 8$ .

Очевидно, що технологія MU-MIMO  $8 \times 8$  повинна підтримуватися пристроєм, а ефективність формування окремих просторових променів залежить від використовуваних виробниками рішень, зокрема, спрямованих антен.

Наприклад, є розробка - Smart Antenna (Рис 3.7), що представляє собою антенну решітку, на якій для передачі або прийому з певного напрямку в просторі вибирається задана конфігурація елементів (кожен елемент сам по собі може бути як всеспрямованим, так і вузько). В даному випадку антена - це вже не просто «залізяка», а поєднання апаратної частини і алгоритму вибору конфігурації.

У кожній антени 16 режимів роботи, що для чотирьох антен (в одній смузі частот) дає 416 комбінацій. Алгоритм вибору між цими комбінаціями спрацьовує за часом при підключенні нового пристрою або при істотній зміні умов прийому раніше підключеним. Для переконфігурації відправляється кілька навчальних пакетів (з різних конфігурацій антен) - так вибирається нова оптимальна схема. Все це дозволяє забезпечити краще покриття бездротової мережі при наявності перешкод, в тому числі для переміщення користувачів.



Рисунок 3.7 – Smart Antenna

### 3.5.1 Поділ у часі

Для зниження взаємних перешкод передаваних пакетів збільшено тривалість захисного інтервалу і тривалість символу. Це впливає на скорочення втрат пакетів, а значить збільшує ефективність передачі.

### 3.5.2 «Сплячий» інтернет речей

Все більша частка пристроїв, підключених до бездротових мереж, так чи інакше відноситься до IoT. Тому в Wi-Fi 6 був закладений механізм, який дозволяє скоротити енергоспоживання пристроїв і зменшити кількість конкурентів за середовище передачі в кожен конкретний момент часу. Цей механізм отримав назву TWT (target wake time). Він має на увазі пробудження пристроїв інтернету речей по таймеру тільки тоді, коли потрібно зібрати дані. В інший час пристрій «спить» і не претендує на середу передачі.

В результаті нова версія стандарту дозволяє будувати мережі з більш високою ємністю, ніж Wi-Fi 5. Чотириразове зростання теоретичної ємності допоможе розгортанню мереж в місцях з високою щільністю споживачів - в

громадських і навчальних зонах, ділових центрах, на об'єктах з великою щільністю датчиків інтернету речей . Поряд з цим Wi-Fi 6 залишається дуже гнучким - тобто з його допомогою можна організувати як доступ безлічі терміналів, так і бездротову мережу для передачі до кожного учасника, наприклад, 4K-відео з мінімальними затримками.

### **Роумінг – настройки від виробників**

Обговорюючи мережі високої щільності, не можна не згадати роумінг при переміщенні клієнтських пристроїв між точками доступу. У стандарт закладені механізми, які дозволяють точкам не заважати один одному, а також не "збивати з пантелику" сусідню підмережу, якщо пристрій нею не обслуговується. Але розподілом пристроїв між точками повинні займатися більш високорівневі системи - рішення від виробників заліза. Наприклад, пристрої Huawei підтримують балансування навантаження - рівномірний розподіл користувачів між точками доступу в зонах з великою щільністю мереж. При цьому для безперебійної передачі даних в момент перемикання клієнтського пристрою пакети для нього буферизуються і відправляються на нову точку.

Більшість описаних нововведень в мережах буде доступно тільки за умови їх підтримки клієнтськими пристроями. З урахуванням розвитку ринку і циклу життя пристроїв домінуючим на ринку Wi-Fi 6 повинен стати вже через два роки, про що також говорять прогнози IDC.

Максимальна теоретична швидкість передачі даних по Wi-Fi становить 6 Гбіт/с (на практиці в тестах була досягнута узгоджена швидкість в 3 Гбіт/с). Для підтримки пристроїв зі світу IoT в ній реалізовані протоколи ZigBee / RFID / Bluetooth, які допоможуть розвантажити Wi-Fi діапазон в умовах активного розвитку інтернету речей.

**Очікуваний обсяг поставок точок доступу корпоративного класу  
(Джерело - IDC)**

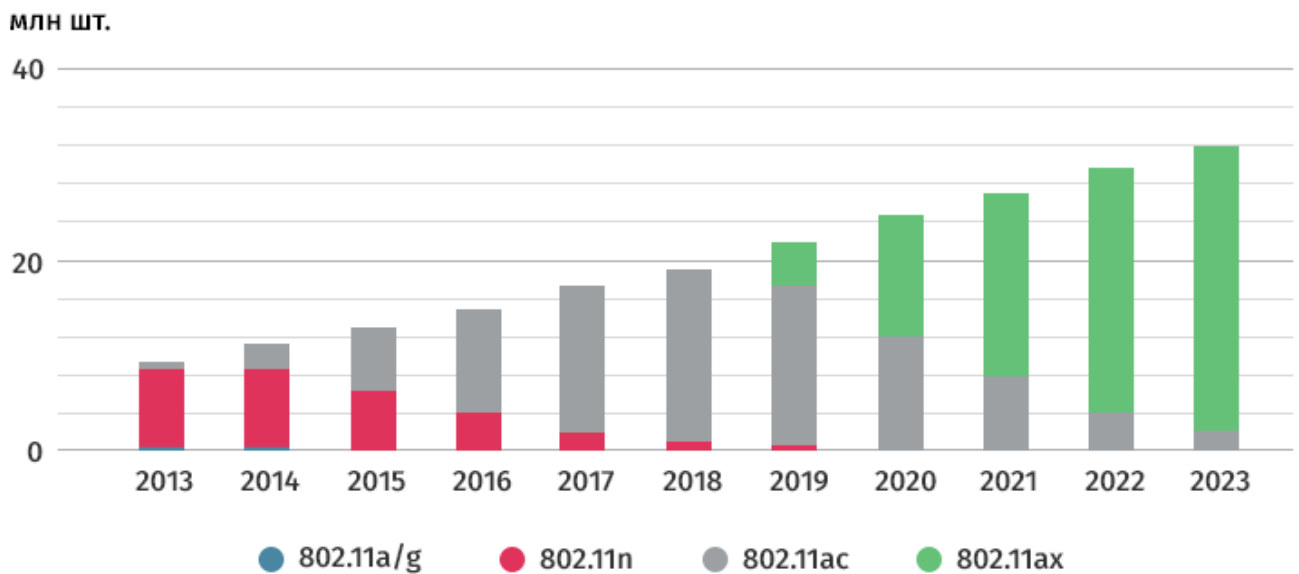


Рисунок 3.8 Очікуваний обсяг поставок точок доступу типу 802.11ax

Дослідивши основні технології, було встановлено що на підприємстві використовуються такі технології як: Gigabit Ethernet, а також Fast Ethernet. З безпроводних технологій використовується технологія Wi-Fi 5.

Для того щоб покращити комп'ютерну мережу підприємства було обрано технологію IEEE 802.11ax, або ж Wi-Fi 6. Дана технологія дасть змогу отримати високу надійність та швидкість передачі даних в майбутній мережі. Також було обрано технологію 2.5GBase-T, ця технологія дасть змогу повністю розкрити можливості швидкості бездротової локальної мережі.

### 3.6 Wi-Fi Mesh системи

Стандартні маршрутизатори виконують функції по елементарному принципу. Роутер підключений до мережі, а до самого роутера підключаються клієнти. Вони задіють маршрутизатор, щоб передавати дані між собою і мати доступ до Інтернет. У таких випадках швидкість буде визначена саме заданими

пристрою технічними характеристиками. Також на якість впливатиме відстань, присутність тих чи інших перешкод і кількість підключених пристроїв. І завжди в будинку буде таке місце, де сигнал на стільки слабкий, що їм взагалі не можна скористатися, а то і взагалі пропадає. Це некомфортно.

Такі проблеми можна вирішити покупкою Wi-Fi репітерів, прокладкою окремого кабелю або використання додаткової точки доступу. Тільки ось кабель створює масу проблем. Їх присутність не естетично, прокладка вимагає ремонту. Точно так само і використання репітера не завжди допоможе. Адже репітером створюється окрема Wi-Fi мережу. До неї потрібно підключатися окремо вручну або чекати, коли пристрій сам зрозуміє, що це необхідно зробити. Та й швидкість від репітерів завжди нижче, ніж у основного маршрутизатора.

У комерційному сегменті проблеми такі ж, тільки більш масштабні. Тому багато хто використовує Mesh мережі (Рис 3.9). Чим же Mesh відрізняється від звичайного маршрутизатора? Вся справа в тому, що Mesh-мережа це не один пристрій, а кілька. Кожен окремий елемент відповідає за свою площу, де стежить за підключеними клієнтами і надає їм доступ до Internet. Що цікаво, так це те, що безпосередньо до Інтернет потрібно підключати тільки головний модуль (базу). Решта модулі підключаються до головного модулю для отримання доступу і роздачі його приєднаним клієнтам. Wi-Fi мережу в такому випадку створюється єдина для всієї сумарної площі від всіх модулів.

В Mesh-мережах аналізується кожен зв'язок між модулями. Самі модулі обмінюються даними про всі підключених клієнтів. І саме сама мережа вирішує, до якого модулю підключити клієнта, щоб у нього був найкращий сигнал. До того ж передача даних між гаджетами всередині мережі може відбуватися і без участі головного модуля. Висока швидкість доступу до Internet зберігається за рахунок того, що в Mesh-рішеннях присутній окремий канал для обміну інформацією між собою, тому інформація направляється по найбільш короткому шляху. Як бачите, можна порівняти з тим, що Mesh-мережі складаються з пов'язаних між собою маршрутизаторів.

На підприємстві буде використане рішення від Asus, - AiMesh

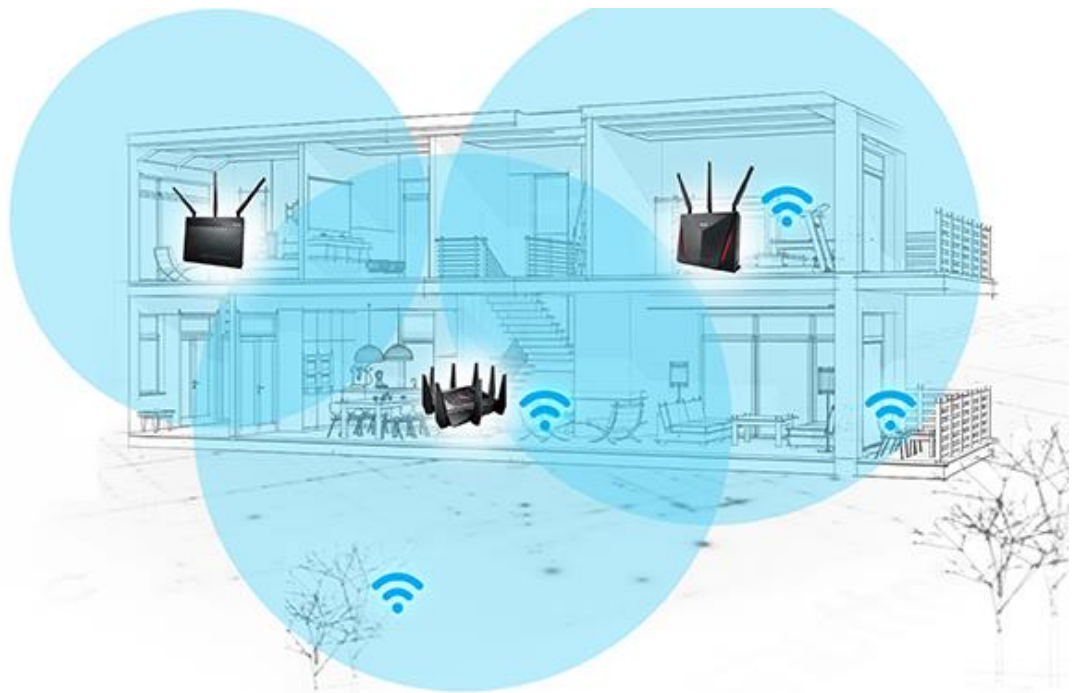


Рисунок 3.9 – Приклад роботи Wi-Fi Mesh

### **3.7 EasyMesh (стандарт mesh-мереж)**

У травні 2018 року організація Wi-Fi Alliance анонсувала новий стандарт EasyMesh, який дозволить будувати бездротові мережі mesh із використанням обладнання від різних виробників. Передбачається, що технологія знайде широке поширення на ринку, оскільки альянс найчастіше діють від своїх великих членів.

Комірчасті Mesh-мережі є розподіленими одноранговими, у яких всі вузли рівні між собою. Вони все частіше застосовуються для інтернет-доступу та підключення пристроїв на широкій території, наприклад, у великому приватному будинку. Однак проблема полягає в тому, що роутери та бездротові точки доступу, які використовуються в таких мережах, повинні бути від одного виробника.



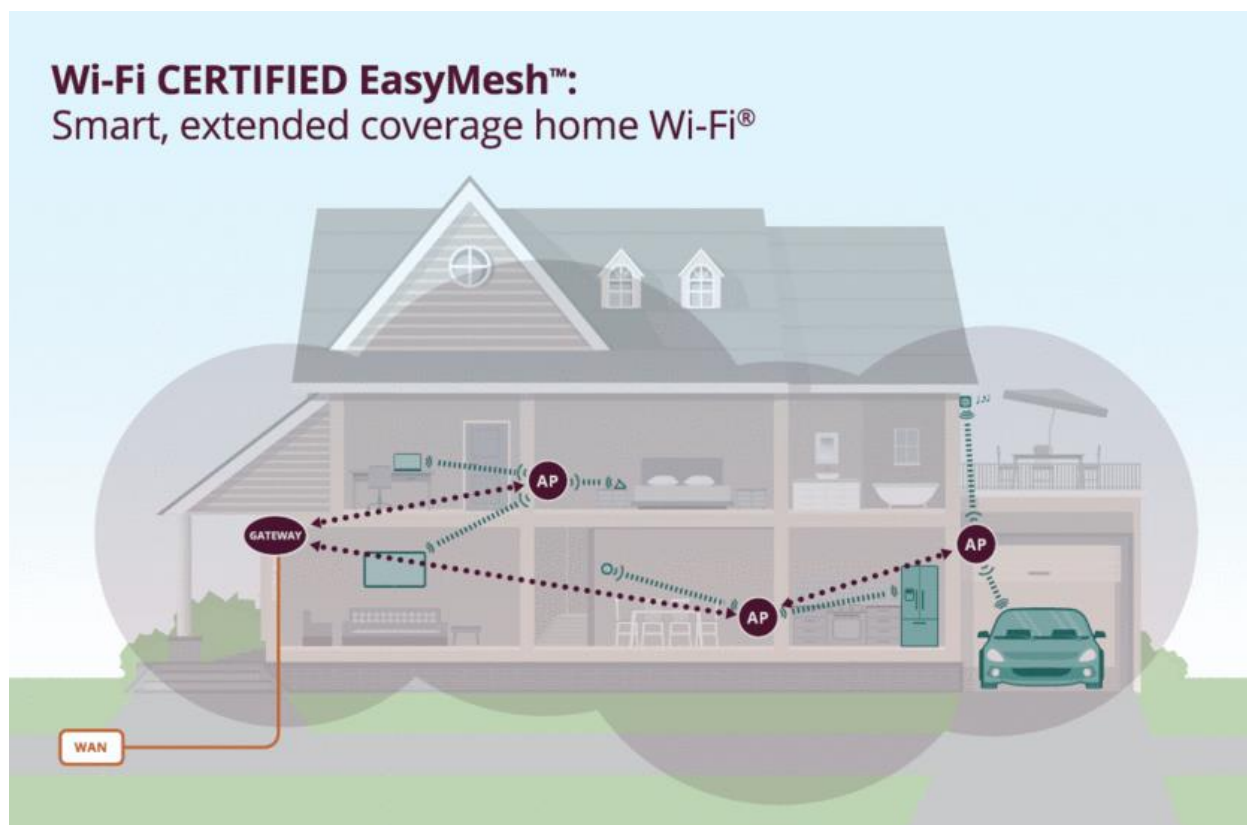


Рисунок 3.10 – Приклад роботи Wi-Fi EasyMesh

Стандарт EasyMesh поєднує mesh-роутери різних виробників.

EasyMesh вирішує цю проблему та робить mesh-маршрутизатори всіх марок сумісними один з одним, як і звичайні роутери. Якщо, наприклад, Linksys та Netgear реалізують підтримку цієї технології у своєму обладнанні, то користувачі зможуть працювати з точками доступу Netgear Orbi Outdoor та роутерами Linksys Velop одночасно. Це важливо, оскільки до середини травня 2018 року Netgear є єдиним виробником, який пропонує точки доступу mesh для застосування за межами будівель, проте вони функціонують лише у парі з маршрутизаторами Netgear Orbi, зазначає видання PC World.

Технології Wi-Fi EasyMesh включає дві базові складові: агенти, що відстежують роботу мережі та клієнтів, та контролер на одному з пристроїв, який керує трафіком та розподіляє клієнтів за точками доступу для досягнення максимальної продуктивності та ефективності.

Агенти розташовуються в точках доступу ніздрюватої мережі, вони координують спільну роботу та забезпечують контролер оперативною інформацією про функціонування мережі. Якщо одна точка доступу перевантажена або клієнтський пристрій перемістився ближче до іншої точки доступу, контролер плавно перезначає клієнта цієї точки доступу.

## 4 ОРГАНІЗАЦІЯ МЕРЕЖІ WI-FI

З широким розвитком мережі Wi-Fi та інформатизацією, у більшості співробітників є розумні пристрої, включаючи ноутбуки, планшети та смартфони. Співробітники повинні отримати доступ до внутрішніх ресурсів компанії та Інтернету в таких місцях, як їдальня, робоче місце, бібліотеки, наукові лекційні зали, конференц-зали та на відкритих майданчиках. У багатьох випадках важко отримати доступ до дротової мережі. Таким чином, будівництво мережі WiFi може розширити сферу охоплення мережі і найбільшою мірою дозволить охопити кожен куточок офісу. Після майже 20 років розвитку корпоративного класу Wi-Fi досягла великих успіхів. Найбільший внесок Wi-Fi – це звільнення людей від традиційних провідних мереж та забезпечення зручних мережевих служб для окремих користувачів та громадських організацій. У всьому світі на Wi-Fi припадає понад половина від загального обсягу трафіку. Крім того, все більш високі вимоги пред'являються до продуктивності мережі, оскільки кількість мобільних терміналів швидко зростає і нові послуги з'являються майже кожен день. Наприклад, для занурення в навчання необхідно використовувати HD VR-окуляри, щоб продемонструвати зміст навчання для студентів. Для занурення в навчання потрібно, щоб затримка мережі Wi-Fi була менше 10 мілісекунд, а пропускна здатність Wi-Fi більше 100 Mbps, а кількість користувачів, що підтримуються, одночасно бути більше 50.

Проте існуюча мережа 802.11ac не може задовольнити такі вимоги. Тому, офіс Wi-Fi мережа стикається з великими проблемами з вимогами нових послуг. Як виміряти якість Wi-Fi мережі Компанія Huawei вважає досвід користувача найбільш важливим критерієм для визначення якості мережі Wi-Fi. Як правило, мережі O&M персоналу вилучення мережі ключових показників ефективності (KPI), засновані на мережевих пристроях. Потім вони визначають якість мережі та стан здоров'я усієї мережі на основі ключових показників ефективності. Як показано на малюнку, успіх доступу є важливим KPI для вимірювання якості

мережі Wi-Fi. У міру збільшення кількості доступу користувачів мережі збільшується, зменшується показник успіху доступу. Коли рівень успіху доступу знижується нижче 95%, досвід мережі вважається бідним.



Рисунок 4.1 -Співвідношення між КПЕ та якістю мережі

Це правда, що інформація KPI отримана з мережевих пристроїв або сервера системи управління мережею може вказувати на досвід користувача певною мірою. Однак KPI інформація не може точно відобразити якість мережі та досвід користувача. Як показано на наступному малюнку, коли кількість користувачів, які мають доступ до мережі, збільшується Wi-Fi - але не перевищила встановлений поріг - і рівень успіху доступу залишається вищим за 95%, вона розглядається як хороший досвід користувача на основі інформації KPI, зокрема, доступ показник успіху. Тим не менш, фактична швидкість доступу до мережі користувачів знижується нижче 1 Мбіт, що вказує на негативний досвід користувача. Таким чином, тільки ключові показники якості (KQIs), орієнтовані на користувачів, можуть відобразити фактичний досвід користувача.

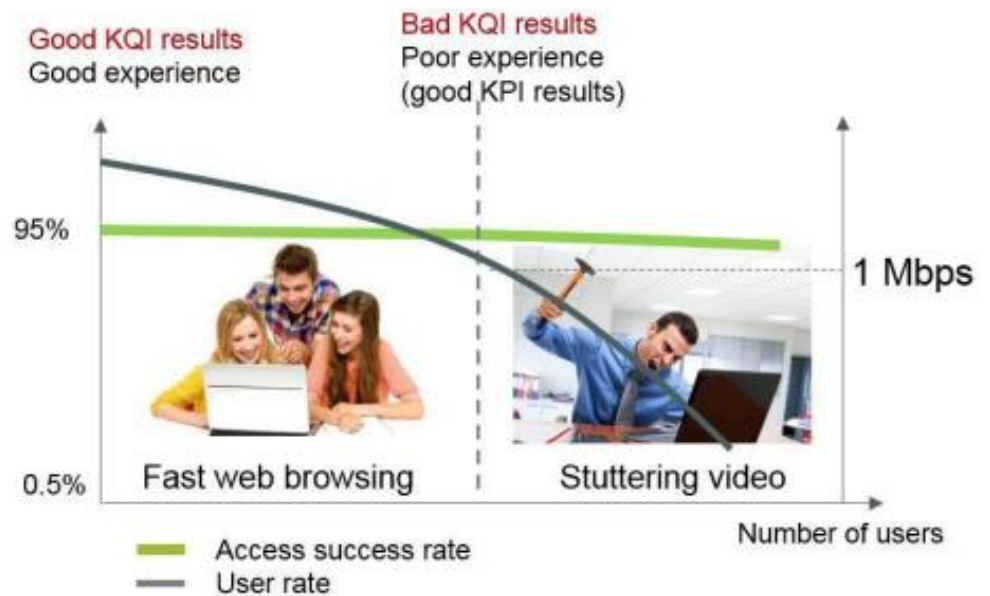


Рисунок 4.2 - Відносини між KQIs та якістю мережі

#### 4.1 Проблеми, які постають перед організацією мережі WI-FI

Побудова бездротових мереж офісу стає необхідною, оскільки все більше бездротових терміналів доступу до мережі офісу, а також працівники та гості вимагають доступу до мережі в будь-який час і в будь-якому місці. Фізичні області офісної будівлі розкидані та різноманітні, у тому числі кімнати, офіси, конференц-залів, лабораторій, їдалень. Традиційні рішення не можуть здійснювати покриття бездротового доступу будь-де на всій території офісної будівлі та мережі. Крім того, деякі старі офісні мережі Wi-Fi використовують 802.11n-сумісних бездротових точок доступу. Мережеві програми вимагають більш високої пропускної спроможності та кількість бездротових терміналів значно зростає. У деяких областях - такі як конференц-зали, а також інші сценарії доступу з високою щільністю - доступ користувачів утруднений, або швидкість мережі низька. Запланована потужність не може задовольнити вимоги до досвіду доступу в будь-який час працівників. З попереднього аналізу ми можемо побачити недолік KPI на основі побудови мережі. Коротше кажучи, хороші результати KPI не обов'язково вказують на досвід користувачів.

## 4.2 KPI та KQIS для організації мережі WI-FI Для вирішення попередніх завдань

Ми маємо побудувати високоякісну офісну Wi-Fi мережу. Кінцева мета полягає в тому, щоб дозволити працівникам та гостям, які отримують доступ до мережі Wi-Fi, отримати добрий досвід. Для досягнення поставленої мети, мережа побудована повинна дозволити працівникам та гостям доступу до мережі Wi-Fi у будь-який час, у будь-якому місці та виділяється задоволеною пропускною спроможністю. Різні офісні області, доступ користувачів та типи послуг мають різні вимоги до пропускної спроможності. Мережа Wi-Fi орієнтована на хороший досвід обслуговування, має бути побудована на основі надання різних вимог до пропускної спроможності.



Рисунок 4.3 Стандарти для створення мережі високої якості

Відповідно до попереднього аналізу, обидві мережі, орієнтовані на ключові показники ефективності та орієнтовані на користувач KQIs, необхідні для створення високоякісної мережі Wi-Fi. Як показано на рисунку, будівництво мережі на основі KPI можуть задовольнити потреби в сферу охоплення та пропускної спроможності доступу. З KQIs, завершена мережа може забезпечити добрий досвід користувача. Ми розраховуємо побудувати мережу з досвідом доступу в будь-який час і в будь-якому місці. Для досягнення цієї мети високі

витрати необхідні, оскільки сама мережа Wi-Fi чутлива до впливу, і він відкритий. Таким чином, у реальній конструкції мережі, будуть розглянуті відносини між інвестиціями та переваги. Рекомендується, щоб офіс Wi-Fi мережа може забезпечити хороший досвід смуги пропускання в межах 95% площ і 90% часу.

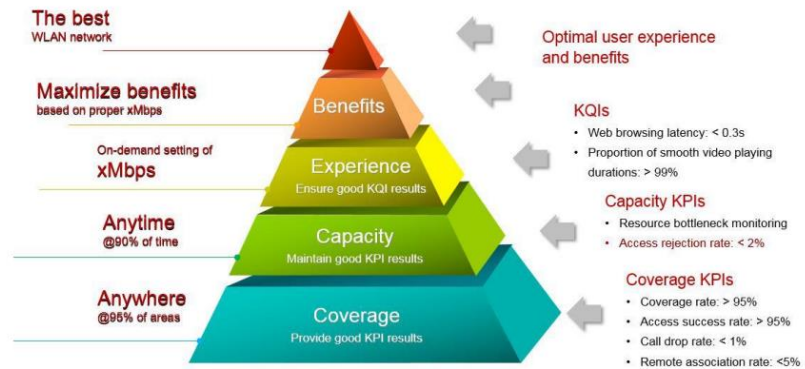


Рисунок 4.4- Стандарти для побудови високоякісної мережі Wi-Fi

Відповідно до аналізу ILAB, xMbps базових рівнів швидкості, коли досвід доступу WLAN користувачів мережі добре або відмінно забезпечені.

Таблиця 4.1 – Аналіз рівня швидкості ILAB

Тип обслуговування	Single-Service Rate Baseline (кбіт)	
	Відмінно	Добре
Web	2500	1200
Потокове (480p)	4000	3200
Потокове (720p)	8000	6400
Потокове (1080)	16000	12000
Потокове (4K)	50000	22500
VoIP (голос)	128	64
VoIP (відео)	300	256

Ел. Пошта	16000	8000
Передача файлів	16000	8000
SNS	2500	1200
IM	256	128
Gaming	2000	1000
Інше	300	128

### 4.3 Обладнання використане для вдосконалення мережі

Основними характеристиками при виборі нового обладнання є можливість підключенню до інтерфейсу 2.5Gigabit та високий рівень відмовостійкості.

**Міжмережевий екран та мережевий комутатор локальної мережі головного офісу**

#### **SonicWall NSA 2650 (Рис 4.6)**

Серія пристроїв SonicWall Network Security (NSA) поєднує в собі як і міжмережевий екран, так і мережевий комутатор, забезпечує організаціям, розміром від малих до великих мереж, центрів обробки даних та ін. розширене запобігання загрозам з високою ефективністю. Використовуючи інноваційні технології глибокого навчання у хмарній платформі SonicWall Capture, серія NSA забезпечує автоматизований вияв загроз в режимі реального часу та запобігання порушенням.

Завдяки доступним портам для оптоволоконного кабелю, є можливість відразу від провайдера отримувати доступ до інтернету не використовуючи при цьому медіаконвертер.





Рисунок 4.6 - SonicWall NSA 2650

## Сервер

Для того щоб сервер справлявся зі своїми завданнями йому потрібно мати швидкий процесор, та велику кількість оперативної пам'яті для того щоб постійно без великих затримок мати змогу «вчитувати» дані.

Для цього було прийнято рішення оновити сервер тієї ж марки Supermicro. Supermicro 1014S-WTRT (Рис 4.7)



Рисунок 4.7 - Supermicro 1014S-WTRT

## Мережеве сховище

Мережеве сховище, так як на підприємстві вже довгий час добре працює мережеве сховище від фірми QNAP, було вирішено просто збільшити ємність сховища, та підняття скорості передачі даних.

QNAP TS-231P (Рис 4.8)



Рисунок 4.8 - QNAP TVS-872XT

## Безпроводна мережа

Для того щоб підключити стаціонарні комп'ютери до мережі без втрати швидкості інтернету, та щоб «незахламляти» офіс кабельною інфраструктурою також, не оновлювати материнські плати і інші компоненти комп'ютера було вирішено встановити в них мережеві бездротові адаптери які підтримують стандарт Wi-Fi 6. Даний адаптер підключається до материнської плати через інтерфейс PCI Express x1.

Wi-Fi адаптер EDUP Intel AX200 PCI-e 2.4Gbps 802.11ax (Рис 4.9)



Рисунок 4.9 - Wi-Fi адаптер EDUP Intel AX200 PCI-e 2.4Gbps 802.11ax

Для створення «безшовної» Wi-Fi мережі було вирішено побудувати її на базі маршрутизаторів від Asus.

Asus RT-AX56U (Рис 4.10)



Рисунок 4.10 - Asus RT-AX58U

Цей маршрутизатор дає змогу легко створювати та розширювати бездротові локальні мережі, достатньо під'єднати пристрій до мережі і ввімкнути автоматичне налаштування. Для створення безшовної мережі потрібно під'єднати один маршрутизатор до іншого і ввімкнути режим AiMesh в налаштуваннях пристроя.

### **Синтез структурної схеми мережі**

Структурна схема мережі являє собою, вигляд компонентів мережі. Дослідивши мережу та отримавши повний список нового мережевого обладнання можемо створити нову схему мережі (Рис 4.11)

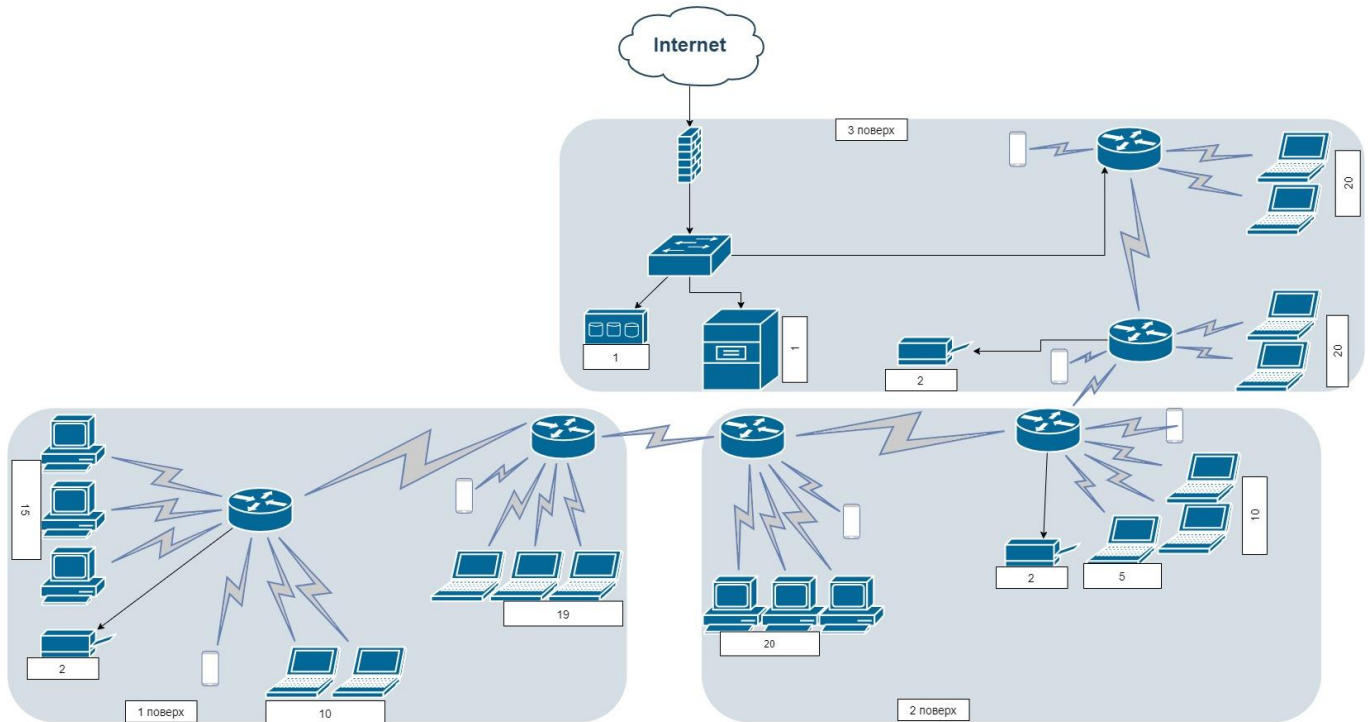


Рисунок 4.11 – Структурна схема мережі

#### 4.4 Тести швидкості інтернет з'єднання та затримки

До вдосконалення безпроводної комп'ютерної мережі.

Проводимо тести до вдосконалення безпроводної комп'ютерної мережі.

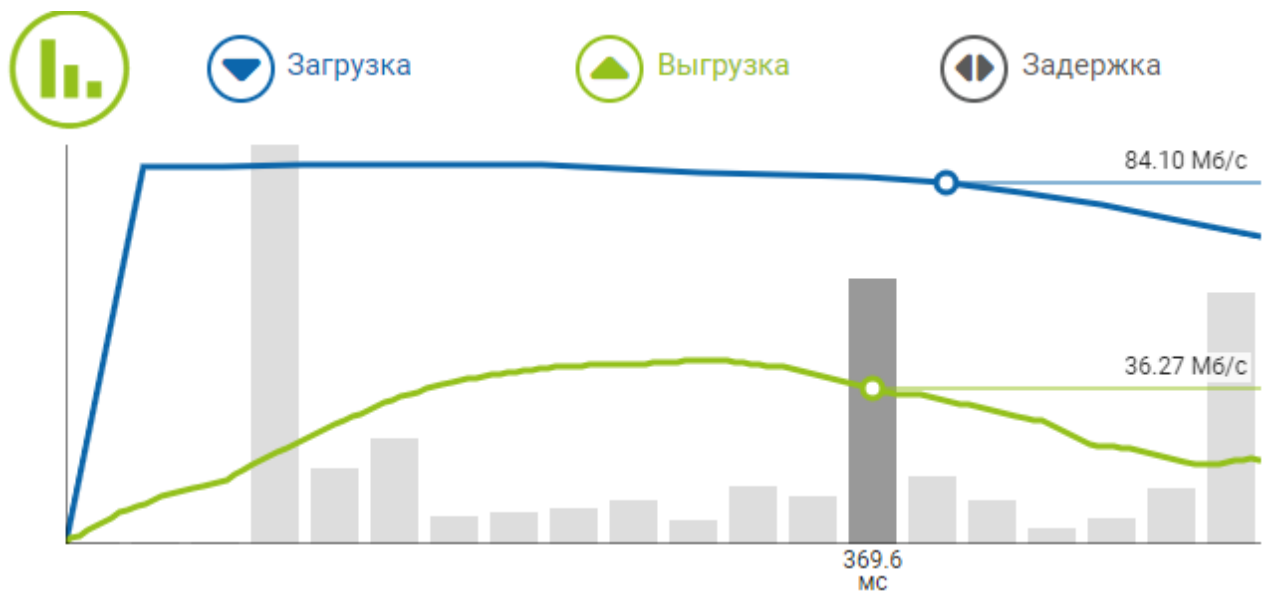


Рисунок 4.12 - Графік тестування швидкості інтернет з'єднання та затримки до вдосконалення мережі

Як бачимо на графіку видно не стабільність затримок та доволі низьку швидкість інтернет з'єднання навіть не в пікове навантаження на мережу.

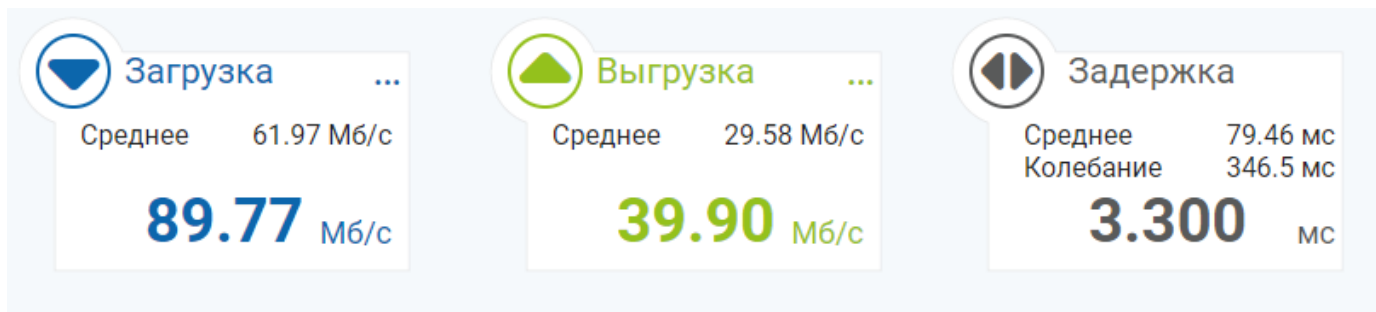


Рисунок 4.13 - Середні результати тестування швидкості інтернет з'єднання та затримки до вдосконалення мережі

Показані середні результати тестування

**Після вдосконалення безпроводної комп'ютерної мережі.**

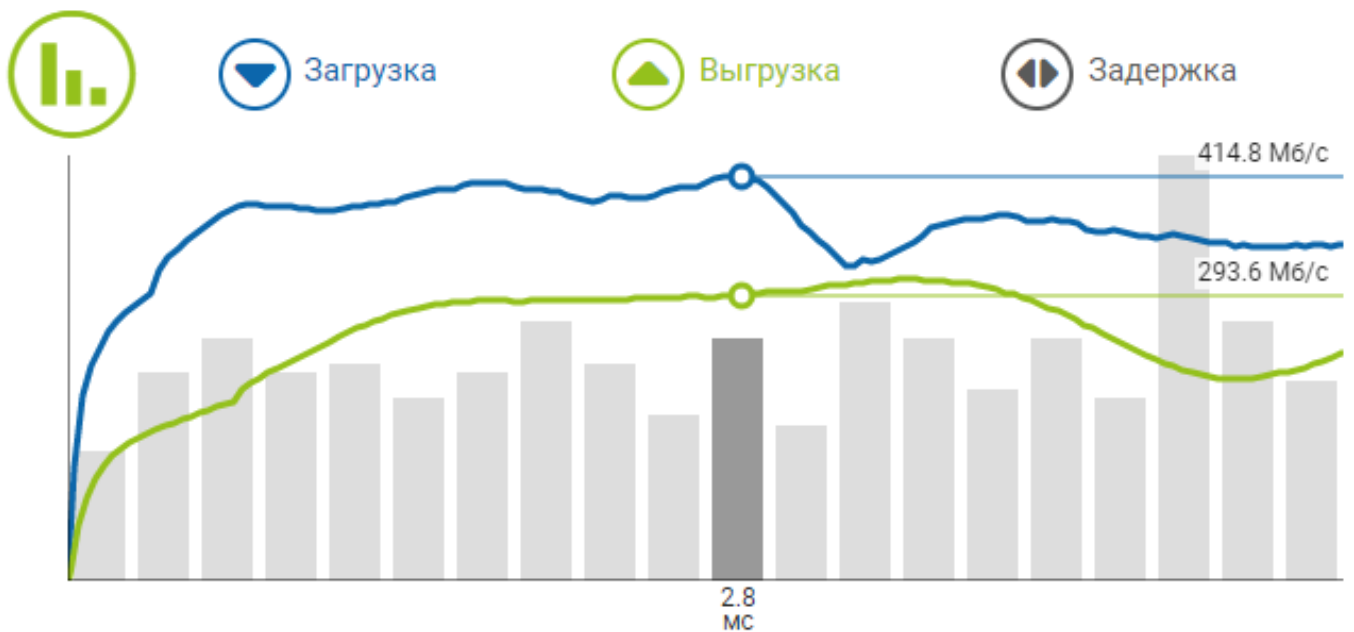


Рисунок 4.14 – Графік тестування швидкості інтернет з'єднання та затримки після вдосконалення мережі

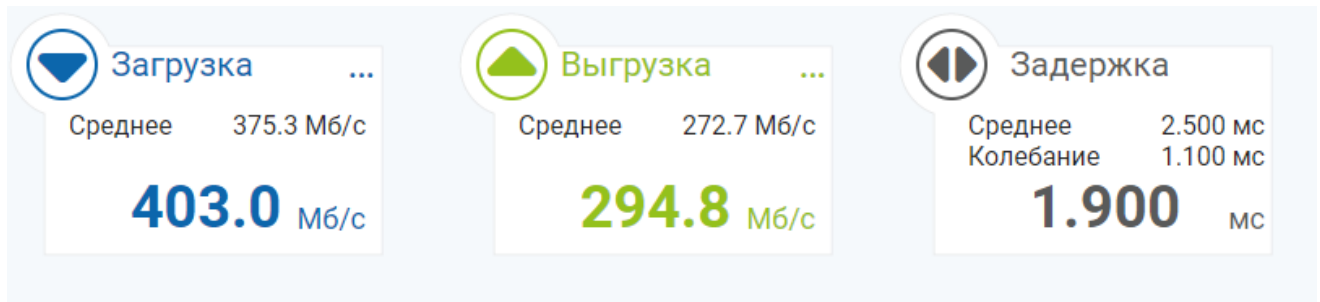


Рисунок 4.15 - Середні результати тестування швидкості інтернет з'єднання та затримки до вдосконалення мережі

Як бачимо на графіку відразу видно що затримка дуже знизилась та стала стабільною, також видно що доволі помітно збільшилась швидкість інтернет з'єднання.

## ВИСНОВКИ

Дослідивши активну локальну мережу підприємства, та на основі дослідженого матеріалу було зроблено висновки що потрібно для того щоб вдосконалити активну локальну мережу.

Загальними результатами роботи є:

- було проведено аналіз існуючої локальної мережі, в ході якого було виявлено що підприємство має сприятливі умови для розробки та вдосконалення бездротової локальної мережі.
- за допомогою технологій 2.5GBASE-T, та стандарту IEEE 802.11ax, було розроблено нову високошвидкісну мережу;
- за допомогою технології Wi-Fi Mesh було розроблено «безшовну» бездротову мережу яка має високу швидкість передачі даних до 1000 Мб/с. Це дає змогу працівникам безпроблемно працювати в різних куточках підприємства;
- було підібрано мережеве обладнання яке дає змогу реалізувати потенціал високошвидкісної локальної бездротової мережі на базі Wi-Fi 6;
- було розроблено нову структурну схему вдосконаленої мережі;
- завдяки повному переходу бездротової мережі на 5 GHz та оптимальному розміщенню маршрутизаторів Asus RT-AX58U, з використанням технології Ai Mesh, вдалося побудувати безшовну бездротову мережу яка повністю покриває всі приміщення офісу та дає змогу безперебійно працювати в будь-якому місці офісу.
- всі ці зміни дали істотні покращення для бездротової мережі, а саме збільшення швидкості інтернет з'єднання на загрузку в середньому на 77%. Швидкості інтернет з'єднання на вивантаження на 87% та зменшення затримки в середньому на 80%