

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Навчально-науковий центр заочної форми навчання

(повна назва)

Кафедра Інформаційно-мережної інженерії

(повна назва)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)

Аналіз параметрів бездротової мережі Wi-Fi

готельного комплексу

(тема)

Виконав:

студент 2 курсу, групи ІМІзм-19-2

Ємець М.О.

(прізвище, ініціали)

Спеціальність 172 «Телекомунікації

та радіотехніка»

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-наукова

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма

«Інформаційно-мережна інженерія»

(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. Харченко Н.А.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри

(підпис)

Безрук В.М.

(прізвище, ініціали)

2021 р.

Не містить відомостей, заборонених до відкритого публікування

Студент Ємець М.О. \_\_\_\_\_

Керівник Харченко Н.А. \_\_\_\_\_

Харківський національний університет радіоелектроніки

*Навчально-науковий центр заочної форми навчання*

Кафедра Інформаційно-мережної інженерії

(повна назва)

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

(код і повна назва)

Тип програми освітньо-наукова

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма «Інформаційно-мережна інженерія»

(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри \_\_\_\_\_

(підпис)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 р.

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Ємець Михайлу Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Аналіз параметрів бездротової мережі Wi-Fi

готельного комплексу

затверджена наказом університету від 25 березня 2021 р. № 33 Стз

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 22 травня 2021 р.

3. Вихідні дані до роботи Провести планування локальної мережі готельного комплексу на основі технології 802.11. Обрати найбільш ефективну технологію бездротового зв'язку та необхідне мережне обладнання для забезпечення гарантованої якості доступу та можливості розширення мережних сервісів з урахуванням наступних вхідних даних: частотний діапазон – 2,4 ГГц; протяжність прольоту – 0,2 км; діаметр антени – 60 см; підсилення антени – 38 дБ; потужність передавача – 21 дБ; коефіцієнт системи - 110 дБ; кількість точок доступу – 19, кількість терміналів SIP-телефонії – 20; врахувати необхідність білінгу мережі та необхідного рівня захисту даних користувачів. Проаналізувати особливості технології Mesh-мереж 802.11s.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі Вступ та висновки

1 Постановка завдання та планування бездротової мережі готельного комплексу

2 Особливості архітектури Mesh-мережі

3 Розрахунок параметрів бездротової мережі готельного комплексу

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслень, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п. 5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) назва та мета роботи; постановка завдання; схема побудови мережі Wi-Fi Mesh в готельному комплексі; схема проходження голосового трафіку і трафіку Інтернет; мережева топологія mesh-мережі; архітектура mesh-мережі; ієрархія та варіативність підключення у архітектурі mesh-мережі; сервісні можливості mesh; залежність рівня прийнятого радіомостом сигналу від величини ослаблення в радіотракті; ефект багатопроменевого поширення сигналів; розрахунок дальності роботи бездротового каналу зв'язку за графіком; висновки.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Ознайомлення із завданням. Уточнення ТЗ.	25.03.21	виконано
2	Підбір літератури за темою роботи.	26.03-10.04.21	виконано
3	Постановка завдання та планування бездротової мережі готельного комплексу	05.04-15.04.21	виконано
4	Особливості архітектури Mesh-мережі	16.04-24.04.21	виконано
5	Розрахунок параметрів бездротової мережі готельного комплексу	25.04-15.05.21	виконано
6	Оформлення презентаційного матеріалу, підготовка до захисту у ДЕК	16.05-22.05.21	виконано

Дата видачі завдання 25 березня 2021 р.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ доц. Харченко Н.А.  
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка 81 с., 17 рис., 7 табл., 20 джерел, 2 додатки.

Об'єкт роботи – локальна бездротова мережа.

Мета роботи – побудова локальної бездротової мережі готельного комплексу.

Проведено планування локальної бездротової мережі готельного комплексу. З урахуванням технічних характеристик обрано необхідне обладнання та функції, що мають бути доступні у мережі, що планується. Проведено аналіз особливостей технології Wi-Fi Mesh, та їх перспективи для застосування у локальних бездротових мережах. Відзначено проблеми з якими стикаються розробники при побудові бездротових мереж Проведено необхідні для побудови бездротової мережі розрахунки, що дозволять максимально ефективно обрати мережне обладнання та розмістити його на території готельного комплексу.

WLAN, ТОЧКА ДОСТУПУ, БЕЗДРОТОВИЙ ЗВ'ЯЗОК, MESH, ЗОНА ПРЯМОЇ ВИДИМОСТІ, WI-FI, IEEE 802.11S

## THE ABSTRACT

Explanatory note: 81 p., 17 fig., 7 tabl., 20 sources, 2 app.

The object of operation - local wireless network.

The purpose of operation - construction of a local wireless network of the hotel complex.

The planning of the local wireless network of the hotel complex has been carried out. Taking into account the technical characteristics, the necessary equipment and functions to be available in the planned network have been selected. An analysis of the features of Wi-Fi Mesh technology and their prospects for use in local wireless networks. The problems faced by developers in the construction of wireless networks are noted

WLAN, ACCESS POINT, INDEPENDENT COMMUNICATION, MESH, ZONE OF DIRECT VISIBILITY, WI-FI, IEEE 802.11S

## ЗМІСТ

	С.
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	9
ВСТУП.....	10
1 ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ТА ПЛАНУВАННЯ БЕЗДРОТОВОЇ МЕРЕЖІ ГОТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ.....	11
1.1 Постановка завдання.....	11
1.2 Технічні характеристики мережі.....	12
1.3 Елементи мережі.....	14
1.4 Особливості та функції мережі WI-FI Mesh.....	14
1.5 Технічні вимоги до обладнання.....	17
1.6 Технічне рішення по проекту.....	17
2 ОСОБЛИВОСТІ АРХІТЕКТУРИ MESH-МЕРЕЖІ.....	20
2.1 Загальна інформація про технологію Mesh.....	20
2.2 Особливості повнозв'язних мереж Wi-Fi Mesh.....	24
2.3 Застосування бездротових самоорганізованих MESH-мереж.....	30
2.4 Устаткування Mesh мереж.....	31
2.5 Перспективи розвитку Mesh мереж.....	34
2.6 Сервісні можливості Mesh.....	35
2.7 Стандарти 802.11 в додатку Wi-Fi Mesh-мереж.....	37
3 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ БЕЗДРОТОВОЇ МЕРЕЖІ ГОТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ.....	40
3.1 Розрахунок параметрів бездротової мережі зони прямої видимості.....	40
3.1.1 Побудова профілів прольотів і визначення мінімального просвіту.....	40
3.1.2 Розрахунок часу погіршення зв'язку через дощ.....	42
3.1.3 Розрахунок часу погіршення зв'язку, викликаного субрефракцією радіохвиль.....	45
3.1.4 Розрахунок часу погіршення зв'язку через багатопроменеве поширення.....	46
3.2 Спотворення структури потоку даних в каналі radio Ethernet.....	48
3.3 Оцінка ефективності зв'язку високочастотних хвиль.....	56
3.4 Розрахунок ефективної ізотропної випромінюваної потужності.....	59

3.5 Розрахунок сумарного підсилення радіосистеми.....	61
3.6 Розрахунок зони дії сигналу.....	62
3.6.1 Розрахунок дальності роботи бездротового каналу зв'язку за графіком.....	62
3.6.2 Розрахунок дальності роботи бездротового каналу зв'язку за формулою.....	65
ВИСНОВКИ.....	68
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	69
ДОДАТОК А СЛАЙДИ ПРЕЗЕНТАЦІЇ.....	71
ДОДАТОК Б ПУБЛІКАЦІЇ.....	78

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- AES (Advanced Encryption Standard) – поліпшений стандарт шифрування;
- AP (Access Point) – точка доступу;
- EAP (Extensible Authentication Protocol) – протокол розширеної аутентифікації;
- HTTPS (HyperText Transfer Protocol Secure) – безпечний протокол передачі гіпертексту;
- IPSec (IP Security) – набір протоколів для забезпечення захисту даних;
- LOS (Line of sight) – пряма видимість;
- MIMO (Multiple-Input Multiple- Output) – багатоантенна технологія;
- QoS (Quality of Service) – якість обслуговування;
- RADIUS (Remote Authentication Dial-In User Server) – сервер авторизації користувачів і елементів мережі;
- SNMP (Simple Network Management Protocol) – простий протокол управління мережею;
- SSG (Secure Service Gateway) – шлюз, що забезпечує сервіси безпеки у бездротовій мережі;
- SSID (Service Set Identifier) – ідентифікатор бездротової мережі;
- TKIP (Temporal Key Integrity Protocol) – протокол інтеграції часового ключа;
- VPN (Virtual Private Network) – віртуальна приватна мережа;
- Wi-Fi (Wireless Fidelity) – бездротова технологія передачі даних по радіоканалу;
- WLAN (Wireless Local Area Network) – бездротова локальна мережа;
- WPA і WPA2 ( Wi-Fi Protected Access) – специфікація шифрування даних для бездротової мережі;
- 
- ГК – готельний комплекс;
- ПЗ – програмне забезпечення;
- ПК – персональний комп'ютер.

## ВСТУП

У всьому світі стрімко зростає потреба в бездротових з'єднаннях, особливо в сфері бізнесу. Користувачі з бездротовим доступом до інформації - завжди і всюди можуть працювати набагато продуктивніше і ефективно, ніж їх колеги, прив'язані до дротяних телефонних і комп'ютерних мереж. Актуальність цієї проблеми визначається в першу чергу бурхливим розвитком мережі Інтернет, доступ до якої вимагає не тільки збільшення пропускну здатності, а й мобільності підключення даної послуги.

Бездротова передача даних - це технологія, що дозволяє створювати мережі, які повністю відповідають стандартам для звичайних мереж (приміром Ethernet) без використання кабельної проводки. Як середовище передачі інформації в таких мережах виступають радіохвилі НВЧ-діапазону.

Бездротові аналоги стандарту Ethernet вже давно відомі у всьому світі. Останніми роками Інтернет настільки щільно увійшов в наше повсякденне життя, що стаціонарний комп'ютер або ноутбук не підключений до всесвітньої мережі здається вже неповноцінним. Подібно традиційним проводовим технологіям основним завданням мереж бездротового доступу є забезпечення високошвидкісного зв'язку з ресурсами Інтернету для бізнесу, для домашніх користувачів, а також для відвідувачів барів, ресторанів, готелів, аеропортів, бізнес-центрів і багатьох інших публічних місць.

Бездротові мережі використовуються там, де кабельна проводка утруднена, неможлива або невигідна з економічних причин. В основному, звертатися до бездротових технологій передачі даних доводиться створюючи мережі всередині будинків.

В кваліфікаційній роботі розглянуто питання проектування мережі у готельному комплексі з використанням бездротового доступу, обрано оптимальний сценарій для його розробки та досліджено необхідні для побудови мережі характеристики.

# 1 ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ТА ПЛАНУВАННЯ БЕЗДРОТОВОЇ МЕРЕЖІ ГОТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ

## 1.1 Постановка завдання

Технологічна мета роботи - забезпечення гарантованої якості бездротового доступу, розширення сервісів послуги Wi-Fi за рахунок збільшення пропускну здатності при з'єднанні користувачів, забезпечення користувачам оперативного доступу до інформаційних ресурсів.

В умовах зростання ділової активності людей, а також стрімкого розвитку високих технологій в світі, підприємці та бізнесмени все більше прагнуть до мобільності і швидкого вирішення. Доступність ЗМІ, а також зростання можливостей більшої частини населення здійснювати виїзди в країни з розвиненою економікою, де бездротовий доступ до Інтернету є традиційними, безсумнівно, впливають на зміну потреб в послугах телекомунікацій. Доступ в Інтернет по різним провідним технологіям, сьогодні для сучасного користувача є традиційним і звичним, але не завжди зручним.

Сьогодні в містах клієнтське обладнання з підтримкою Wi-Fi реалізується у великій різноманітності і за доступною вартістю. Основними їх покупцями є перспективні підприємці, ділова частина населення, керівники провідних компаній у своїй галузі.

Завданням кваліфікаційної роботи є планування мережі бездротового доступу (Wi-Fi) в готельному комплексі (ГК) з установкою 19 точок доступу за технологією Wi-Fi mesh для надання послуг SIP-телефонії та Інтернет. У проект будуть закладені 20 терміналів для надання SIP-телефонії.

Пропоноване рішення засноване на базі обладнання бездротового доступу, виробленого компанією Cisco та існуючій інтелектуальній платформі «Carbon Billing», що займається білінгом у мережі.

Будівництво мережі Wi-Fi Mesh в готельному комплексі включає:

- установку 19 точок доступу на об'єкті;
- установку станційного обладнання на сайтах ГК для інтеграції мережі Wi-Fi Mesh з інтелектуальною платформою «Carbon Billing» (білінг).

Перспективним напрямком при побудові мережі є врахування подальшого нарощування кількості нових послуг, що надаються в бездротових

мережах та надання оперативного доступу до публічних і корпоративних інформаційних ресурсів.

Стратегія переходу від побудови окремих Wi-Fi хот спотів до мережі доступу Wi-Fi хот зон представлена на рис. 1.1.

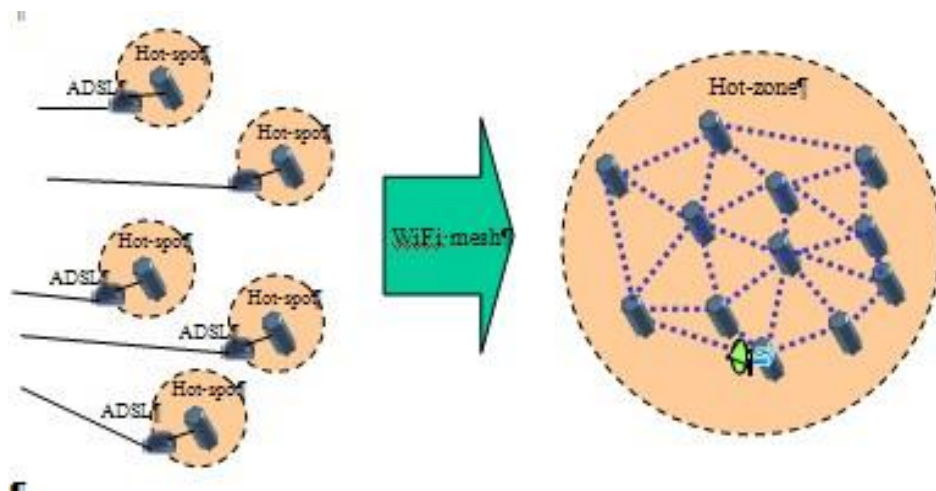


Рисунок 1.1 - Стратегія переходу від побудови окремих Wi-Fi хот спотів до мережі доступу Wi-Fi хот зон

## 1.2 Технічні характеристики мережі

Передумови для побудови мережі:

Стандарт Wi-Fi дозволяє надати високошвидкісний доступ до ресурсів мережі Інтернет з ноутбука, кишенькового комп'ютер клієнта, Web- камери або бездротового IP-телефону в зоні покриття мережі Wi-Fi. З досвіду західних країн, даний ринок має хороший потенціал розвитку [8].

Система буде складатися з наступних компонент:

- точок доступу - AP (Access Point);
- контролера для управління точками доступу;
- транспортного середовища.

Стикування мережі ГК з мережею провайдера буде здійснюватися по оптичній лінії, для надання більшої смуги пропускання.

Особливості даного рішення:

- підтримка декількох точок доступу для розширення зони охоплення і збільшення продуктивності;
- безпека промислового стандарту, що включає IPSec, WPA, RADIUS, HTTPS і 802.11i;

- можливі різні методи ідентифікації - карти передоплати, кредитні карти, і т.д. ;
- якість обслуговування та управління;
- віддалене керування і контроль;
- можливість розширення підсистеми управління.

Підсистема управління відповідальна за конфігурацію і налаштування системи і користувальницьких сесій. Її основні функції включають в себе управління білінгом, передплаченими картами, обліком, налаштуванням інформації що видається користувачеві при авторизації і т.п. Може представляти детальну інформацію про користувальницькі сесії [14].

Дана система побудована на базі Wireless Control System (WCS) і забезпечує управління та моніторинг стану всіх точок мережі Wi-Fi. Відстежує спроби підключення незареєстрованої точки доступу до мережі.

В якості точки доступу використовується обладнання Cisco: Cisco Aironet 1240AG серії. Ці точки доступу мають можливість установки тільки в приміщеннях і з'єднання за технологією Wi-Fi mesh (такі що працюють з контролером).

Всі точки доступу підтримують стандарти 802.11a/b/g/n. Радіус покриття однієї точки доступу становить близько 150 метрів і може масштабуватися за рахунок установки додаткових точок доступу. Одна точка доступу може одночасно підтримувати декілька десятків активних користувачів, при цьому для ідентифікації абонентів використовується код доступу. Для роботи абоненту необхідно мати ноутбук, PCMCIA WLAN адаптер або кишеньковий ПК з модулем IEEE802.11 [14].

Cisco Aironet 1240AG серії може працювати з вбудованою або із зовнішньою всенаправленою антеною. Пристрій може монтуватися на стелях, стінах і на офісних перегородках. Cisco Aironet надає адміністратору можливість конфігурувати і управляти бездротовою мережею за допомогою зручного HTTP інтерфейсу, командного рядка, FTP, TFTP і Telnet [14].

Мережа включає в себе бездротові точки доступу, контролер і ADSL модем. Встановлюється в місцях, де необхідно покрити велику площу. При цьому налаштовується один контролер і управління всіма точками відбувається через даний контролер. Живлення до точок доступу подається по Ethernet кабелю.

### 1.3 Елементи мережі

Система Wi-Fi Mesh складається з 4 основних частин:

1. Клієнтська частина (ноутбук, КПК, смартфони, мобільні телефони з підтримкою Wi-Fi);
2. Точки доступу:
  - RAR - точки доступу внутрішнього виконання (з проводовим з'єднанням),
  - MAP - точки доступу внутрішнього виконання (з бездротовим з'єднанням).

Кожна точка доступу приєднується до проводової мережі через одну або кілька точок доступу з проводовим підключенням, так звану RAR.

3. Станційна частина, що включає в себе:
  - систему управління мережею - Network Management System;
  - комутатор;
  - контролер для управління точками доступу;
  - SSG (Secure Service Gateway).
4. Існуюча білінгова система провайдера, яка включає в себе:
  - систему авторизації користувачів і елементів мережі - сервер RADIUS;
  - систему розподілу IP адрес користувачів і елементів мережі - сервер DHCP;
  - систему завантаження точок доступу - сервер FTP;
  - систему доменних імен - сервер DNS.

### 1.4 Особливості та функції мережі WI-FI Mesh

*Канали доступу.* Канали доступу (Access Link) забезпечують взаємодію бездротових користувачів з мережею WI-FI Mesh.

Канали доступу працюють на частотах діапазону 2,4 і 5 ГГц і використовують стандарти 802.11n. Потужність передавачів точок доступу не повинна перевищувати 100 мВт, тому що в іншому випадку потрібен дозвіл на використання діапазону 2,4 ГГц і 5 ГГц.

Є можливість вибірково відключати радіоканали і змінювати загальний рівень передачі точки доступу.

Для підвищення якості взаємодії користувачів з мережею і обмеження кількості користувачів з поганими показниками радіозв'язку, що заважають іншим користувачам існує можливість установки порогів по силі сигналу і відключення користувача.

Є можливість створення до 16 різних підмереж (SSID), наприклад, окремий SSID для голосу та окремий для даних.

*Безпека.* Безпека зв'язку забезпечується на всіх ділянках мережі, якщо це необхідно.

На каналах доступу шляхом використання протоколів WPA/WPA2, підмножини протоколів EAP, PSK.

Як сервіс аутентифікації використовується протокол RADIUS.

Шифрування проводиться за допомогою протоколів RC4 або AES. Для забезпечення мобільності та конфіденційності інформації, що передається між точкою доступу і проводовою частиною мережі (там, де її можуть перехопити) використовується протокол IPSec наскрізний через всю мережу. Точки доступу не пропонують ніякого абонентського сервісу до того як побудують тунель зі шлюзом безпеки [5].

Використання протоколів авторизації не дозволяють підключитися до точки доступу по транзитним каналам в момент ініціалізації.

*Відмовостійкість.* Відмовостійкість забезпечується шляхом автоматичних засобів відновлення при збоях мережі. Кожна точка доступу являє собою маршрутизатор з підтримкою протоколу OSPF, який дозволяє швидко знаходити маршрути до дротової частини мережі при включенні або зміни в інфраструктурі.

*Керованість.* В основі управління мережею WI-FI Mesh лежить ПЗ, яке має наступні функції:

- побудова карти мережі з відображенням всіх пристроїв і каналів зв'язку між ними;
- збір статистичних даних про роботу мережі і її елементів;
- опитування пристроїв і збір повідомлень про відмови і помилки;
- автоматична локація точок доступу і абонентів в режимі реального часу, а також архівація отриманих даних;
- інші функції.

Всі елементи мережі підтримують протокол SNMP для відображення і зміни параметрів конфігурації і роботи.

Всі елементи мережі підтримують режим налагодження при необхідності більш детального настроювання. Всі точки доступу при конфігурації за замовчуванням можуть бути змонтовані без втручання оператора. Будь-яка точка автоматично включиться у складі WI-FI MESH і знайде всі необхідні параметри для роботи.

*Покриття Wi-Fi Mesh.* При розрахунку покриття враховується пряма видимість LOS (Line of sight) для точки доступу та її сусідів (мобільних пристроїв та інших точок).

Покриття для вулиць розраховується з урахуванням даних таблиць 1.1 та 1.2 для точок доступу, що використовують вбудовані антени, як для каналів доступу, так і для транзитних каналів.

Таблиця 1.1 - Покриття для доступу

Радіочастотне середовище	Радіус покриття каналів доступу
На вулиці без перешкод (теоретично)	150 – 300 метрів
На вулиці, передмістя	200 метрів
На вулиці, місто	250 метрів (уздовж вулиць)

- Відстань між точками

Радіочастотне середовище	Довжина транзитних каналів (від AP до AP)
На вулиці без перешкод (теоретично)	250 – 300 метрів (LOS)
На вулиці, передмістя	200 метрів (LOS)
На вулиці, місто	250 метрів (LOS, уздовж вулиць)

Рекомендується використання не більше 3-х транзитних каналів зв'язку між RAP і крайньою точкою доступу MAP в штатному режимі.

Таблиця 1.2 - Щільність точок доступу

Радіочастотне середовище	Щільність AP
На вулиці без перешкод (теоретично)	5 на км <sup>2</sup>
На вулиці, передмістя	7 на км <sup>2</sup> (розрахунок на обмеження LOS – дерева, кривизна вулиць і т.д.)
На вулиці, місто	10 на км <sup>2</sup> (розрахунок на обмеження LOS – дерева, кривизна вулиць і т.д.)

## 1.5 Технічні вимоги до обладнання

Бездротові точки доступу. Точки доступу повинні володіти наступними основними характеристиками :

- канал доступу - 802.11a і 802.11b/g/n;
- роз'єми RP-TNC для зовнішніх антен;
- безпека користувачів - 802.11i; 802.11X аутентифікація, включаючи EAP-SIM, EAP-PEAP, EAP-TLC, EAP-TTLC, Cisco LEAP; апаратна підтримка AES, WPA, Temporal Key Integrity Protocol-Message Identity Check (TKIP-MIC) шифрування; прозорий VPN; IP Security, Layer 2 Tunnelling Protocol (L2TP); фільтрація по MAC-адресі [5];
- протокол аутентифікації RADIUS;
- забезпечення пріоритетності трафіку - SSID, 802.11e;
- управління - SSH, Telnet, SNMP.

Коли ТД стартує і намагається знайти сусідні ТД вона повинна автоматично вибирати для роботи найкращі промені і відключати непотрібні антени, скорочуючи споживання енергії.

Температурний режим: від  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+55^{\circ}\text{C}$ . Живлення: 220В, 47-63 Гц.  
Потужність споживання - до 300 Вт.

## 1.6 Технічне рішення по проекту

На об'єкт планується підвести оптоволоконний кабель і забезпечити вихід в Інтернет по виділеному каналу 6-8 Mbps. Кабель буде заведений в серверну кімнату, що знаходиться на першому поверсі будівлі. З цієї кімнати планується прокласти для підключення точок доступу Wi-Fi - кабель UTP cat5e по будівлі, і оптоволоконний кабель в спеціально встановлених додаткових лотках, що йдуть на висоті 3м уздовж всього будинку.

Зона відпочинку (ресторан з відкритою терасою). В ході обстеження об'єкта було намічено встановити 12 (дванадцять) точок доступу AIR-LAP1242-AG-K9 с антеною, 2400-2483,5 MHz, і коефіцієнтом підсилення 2 dBi. Замовник планує прокласти оптичне волокно з серверної кімнати, зважаючи на наявність по ГК високочастотних перешкод. Точки будуть з'єднуватися з оптоволоконним кабелем, через медіаконвертор. Місця розташування точок позначені на рис. 1.2.

Готельний комплекс. В ході обстеження об'єкта було намічено встановити 7 точок доступу AIR-LAP1242-AG-K9 с антенною, 2400-2483,5 MHz, і коефіцієнтом підсилення 2 dBi. З них: 3 на першому поверсі 2 на другому і 2 на третьому поверхах. Передача даних від комутатора, що знаходиться в серверній кімнаті, до точок доступу буде здійснюватися по кабелю UTP Cat5e (фірми Legrand). Ця відстань не перевищує 100 м., Що відповідає вимогам стандарту IEEE 802.3 (Ethernet). Подача живлення до точок по кабелю ВВГ 3\*1,5.

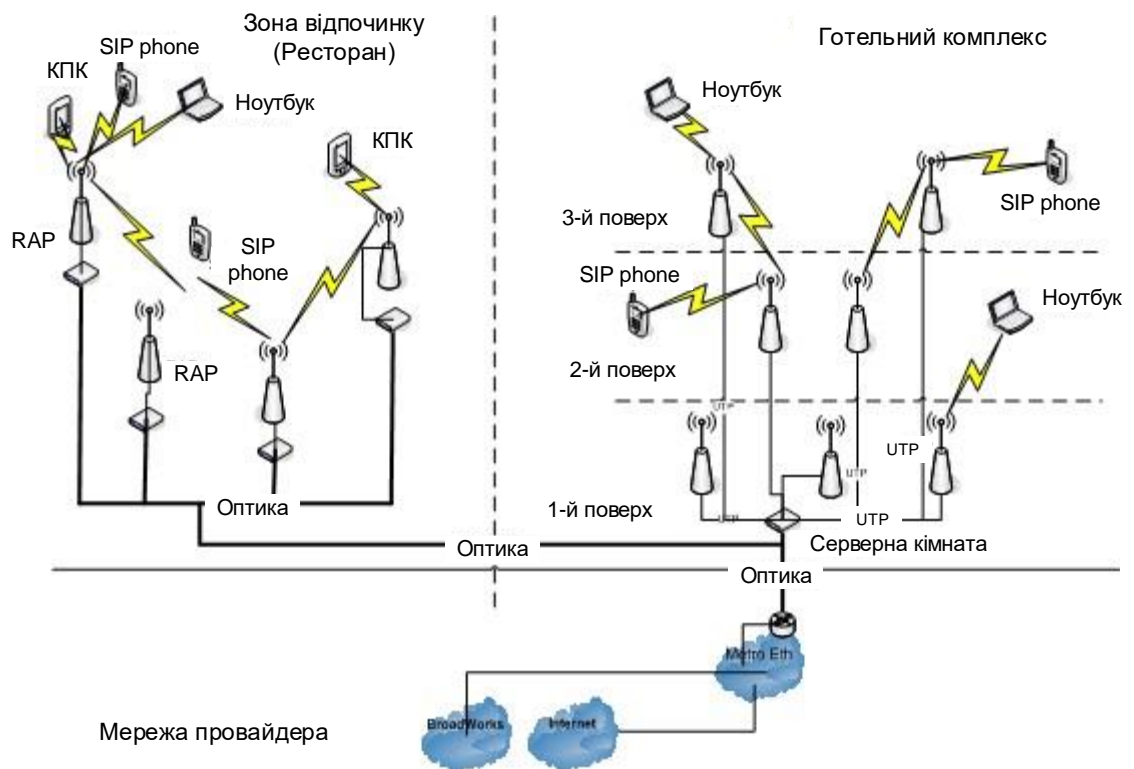


Рисунок 1.2 - Фізична схема побудови мережі Wi-Fi Mesh в готельному комплексі

Основним завданням роботи є побудова мережі бездротового доступу (Wi-Fi) в готельному комплексі з установкою 19 точок доступу за технологією Wi-Fi mesh для надання послуг SIP-телефонії та Інтернет. У проект будуть закладені 20 терміналів для надання SIP- телефонії (рис. 1.3).

Для досягнення даної мети в роботі необхідно зробити наступне:

- розглянути основні топології;
- розглянути переваги WI-FI Mesh;
- скласти схему організації зв'язку, склад обладнання;
- розрахувати технічні параметри мережі.

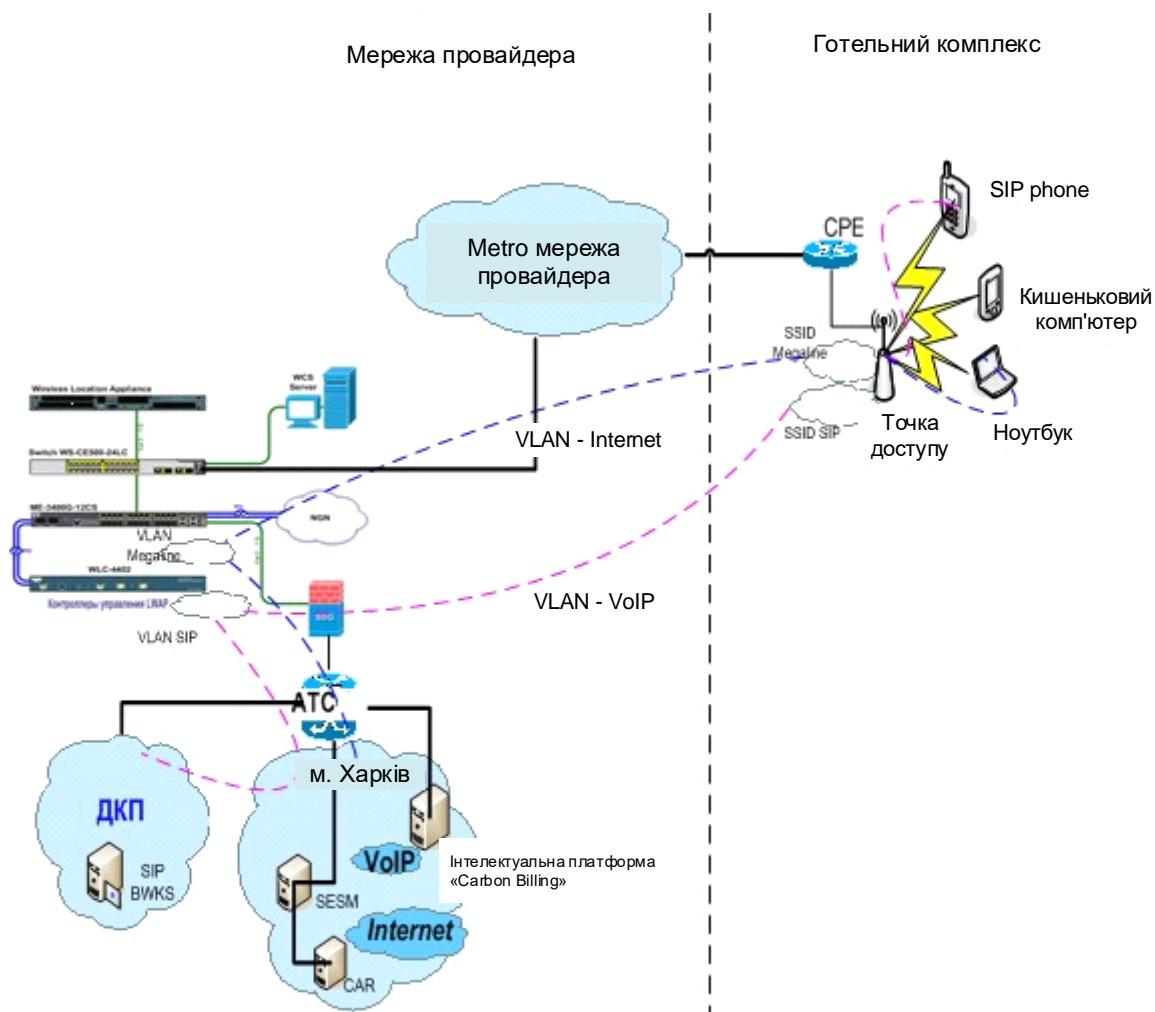


Рисунок 1.3 - Схема проходження голосового трафіку і трафіку Інтернет

## 2 ОСОБЛИВОСТІ АРХІТЕКТУРИ MESH-МЕРЕЖІ

### 2.1 Загальна інформація про технологію Mesh

Технологія Wi-Fi швидко стала популярним вибором при побудові бездротових мереж, як для корпоративних, так і для домашніх користувачів. Високошвидкісне підключення бездротове з'єднання, доступне за досить низькою ціною, помножене на необхідність бути на зв'язку завжди і скрізь, викликало швидке поширення мереж, побудованих на базі Wi-Fi.

Проте проектувальники і користувачі бездротових мереж швидко зіткнулися з одним обмежуючим фактором. Для створення повного покриття будівлі/території необхідно кілька точок доступу з пересічними зонами покриття. У «класичній» топології мереж Wi-Fi кожену точку доступу необхідно підключати до проводової мережі, а дротове підключення не завжди є в місці її установки. Цей фактор є негативним як з технічної точки зору - ускладнює установку системи, так і з економічної - значно збільшує вартість проекту. У багатьох випадках вартість прокладки Ethernet кабелю перевершує вартість точки доступу в 2-3 рази, що швидко позначається на економічній привабливості бездротового рішення [6].

Зі збільшенням числа потенційних клієнтів і зменшенням вартості точок доступу, багато операторів зв'язку захотіли зробити доступ до мережі повсюдним, повнішим на відміну від «острівного», «хотспотового». Це ще більше ускладнило ситуацію з підключенням точок доступу - адже в даному випадку більшість точок доступу знаходяться «поза досяжністю» проводового підключення.

Вивчення досвіду побудови міських мереж бездротового доступу в перших проектах виявило кілька типових проблем. Типова точка доступу Wi-Fi може забезпечити дальність зв'язку на сотні метрів поза приміщеннями. Реальна зона покриття залежить від щільності будівель, дерев, наявності листя і інших перешкод. Тому потрібно досить щільне розміщення точок доступу для створення надійного повсюдного радіопокриття мережі. У загальному випадку, чим вище розміщується точка доступу - тим більшу зону покриття вона забезпечить, тому найбажанішими місцями розміщення є стовпи, водонапірні башти, дахи високих будівель. А наявність проводового Ethernet з'єднання в

таких місцях малоймовірно. І вартість прокладки проводового підключення до мережі на переважаючі висоти набагато вище, ніж усередині приміщень [8].

Тому побудова бездротових Wi-Fi мереж в масштабах міста або району створило необхідність у новій топології і нових пристроях. Топологія повинна відповідати таким ключовим вимогам:

- можливість масштабування до десятків і сотень точок доступу, причому більшість з них не будуть мати проводового підключення;
- мережа повинна мати можливість динамічно адаптуватися до постійно мінливої складної шумової обстановки в умовах міста;
- вихід з ладу однієї або декількох точок доступу не повинен призводити до недоступності послуги доступу або істотної деградації якості обслуговування;
- нові точки доступу повинні автоматично додаватися до мережі відразу після їх установки;
- низьке завантаження корисної пропускної спроможності системи службовими повідомленнями;
- високий рівень інформаційної захищеності мережі, як на рівні підключення клієнтів, так і на рівні з'єднань між точками доступу.

Mesh - опис мережевої коміркової топології, при якій кожен пристрій мережі пов'язаний з декількома іншими. Відповідно, від одного вузла до іншого сигнал може проходити декількома шляхами. Використання цієї топології дозволяє додавати або прибирати бездротові пристрої без необхідності перенастроювання параметрів мережі [6].

Рішення Wi-Fi MESH - повнозв'язна бездротова мережа - покликане вирішити протиріччя між повсюдним покриттям і вартістю інфраструктури мережі і дозволити економічно створити покриття мережі бездротового широкосмугового доступу Wi-Fi.

У такому рішенні кожна точка доступу містить як мінімум два приймачі - один в діапазоні 2,4 ГГц, другий - в діапазоні 5 ГГц. Смуга пропускання 2,4 ГГц використовується для доступу клієнтів до мережі. Діапазон 5 ГГц використовується в якості службового каналу для організації зв'язку між точками доступу. Кожна точка доступу мережі Wi-Fi MESH по суті є бездротовим маршрутизатором. Для зв'язку між точками доступу використовується спеціальний протокол, що дозволяє адаптивно

маршрутизувати трафік користувача в залежності від безлічі параметрів, таких як [10]:

- стан і якість каналу зв'язку, доступна швидкість;
- завантаження точки доступу та сусідніх точок;
- кількість вузлів в мережі до проводового підключення і час затримки передачі пакету.

Переваги повнозв'язних бездротових мереж Wi-Fi MESH:

- менше проводових підключень - нижче вартість інфраструктури мережі, особливо на великих територіях;
- точки доступу використовують стандартні радіоінтерфейси 802.11a, b і g, що знижує вартість, як інфраструктури, так і абонентських механізмів для доступу до мережі;
- можуть впоратися з швидкозмінними умовами в місті для поширення радіохвиль. Якщо в зоні прямої видимості через новозбудованих будинків стала недоступна, то точка доступу може знайти «обхідний маршрут»;
- «самоконфігурація» - за умови встановлення нової точки доступу мережа автоматично виявляє її і включає в топологію;
- «самовідновлення» - мережа сама знаходить найкоротший і надійний маршрут передачі даних.

До недоліків мереж Wi-Fi MESH можна віднести наступні:

- складність забезпечення наскрізної якості обслуговування QoS для послуг, чутливих до швидкості передачі даних і часу затримки;
- необхідність отримання дозволів на використання частот в 2 діапазонах;
- швидкість передачі даних швидко зменшується зі збільшенням кількості вузлів в backhaul. Тому для виключення «вузьких місць» в мережі необхідно все-таки мати велику кількість точок доступу з проводовим підключенням;
- для маршрутизації і передачі службової інформації між точками доступу використовуються внутрішньофірмові протоколи, що унеможлиблює створення мультивендорної мережі.

Чим хороша mesh-топологія? По-перше, мережа створюється з відносно дешевих модулів, кожен з яких по радіоканалу з'єднаний з усіма сусідами в зоні видимості. Друга важлива властивість - мережа з цих модулів самоорганізується і здатна відновлюватися при виході із ладу деяких вузлів. І третя - низька вартість підтримки мережі - раз вузли можуть постійно "бачити" і "відчувати" стан сусідів відповідно приймати рішення про зміну маршрутних

таблиць, то підтримка в даному випадку полягає в правильному включенні в мережу побутового електроживлення [12].

На рис. 2.1 показана мережева топологія mesh-мережі.

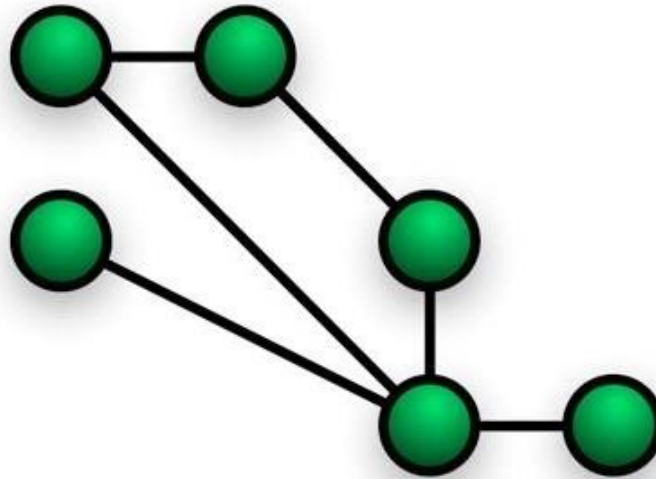


Рисунок 2.1 - Мережева топологія mesh-мережі

Для створення рішень Wi-Fi є засоби планування мережі, моніторингу та управління мережами.

На обладнанні Mesh, поряд з передачею голосової інформації та даних, також забезпечується бездротове відеоспостереження в русі, доступ персоналу безпеки до відеоінформації, наприклад, на стадіоні, в інших місцях великого скупчення людей (в торгових і виставкових центрах і т.д.). Крім того, Mesh-мережа забезпечує безшовний радіозв'язок, тобто плавну передачу зв'язку (роумінг) від однієї точки доступу до іншої при переміщенні користувача.

Mesh-мережа має властивості масштабування і взаємозамінності використовуваного обладнання Wi-Fi, що дозволяє створювати підмережі і використати одну і ту ж мережу різними міськими службам (наприклад, пожежними, а також при виконанні різних муніципальних робіт, проведення громадських заходів і т.д.) Ці підмережі є віртуальними приватними, тобто незалежними один від одного. При необхідності забезпечується шифрування інформації в кожній під мережі [16].

Використання Mesh-мережі розширює можливості оперативного відеоспостереження в інтересах громадської безпеки і правопорядку. Служби

безпеки будуть мати попереджуючий доступ до інформації в реальному часі для забезпечення охорони різних об'єктів і громадських місць.

## 2.2 Особливості повнозв'язних мереж Wi-Fi Mesh

Присутність точки доступу (Access Point) і модуля Wi-Fi, наприклад на ноутбуку, дозволяє організувати бездротову мережу в так званому режимі Infrastructure. Загалом цей режим можна назвати Майстер-підпорядкованим, коли AP грає роль головної скрипки, а Wi-Fi підключаються безпосередньо до цієї самої AP. Однак варто згадати, що навіть два Wi-Fi-модуля можна змусити грати за іншими правилами, виставивши їх в режим роботи Ad- Hoc. У цьому випадку вже немає головного пристрою і підлеглого, вони всі є однотипними. Ось тут-то і з'являється можливість організувати mesh-мережу (в деяких джерелах вона називається як «комірчаста») [16]. На рис. 2.2 представлена архітектура Mesh-мережі.

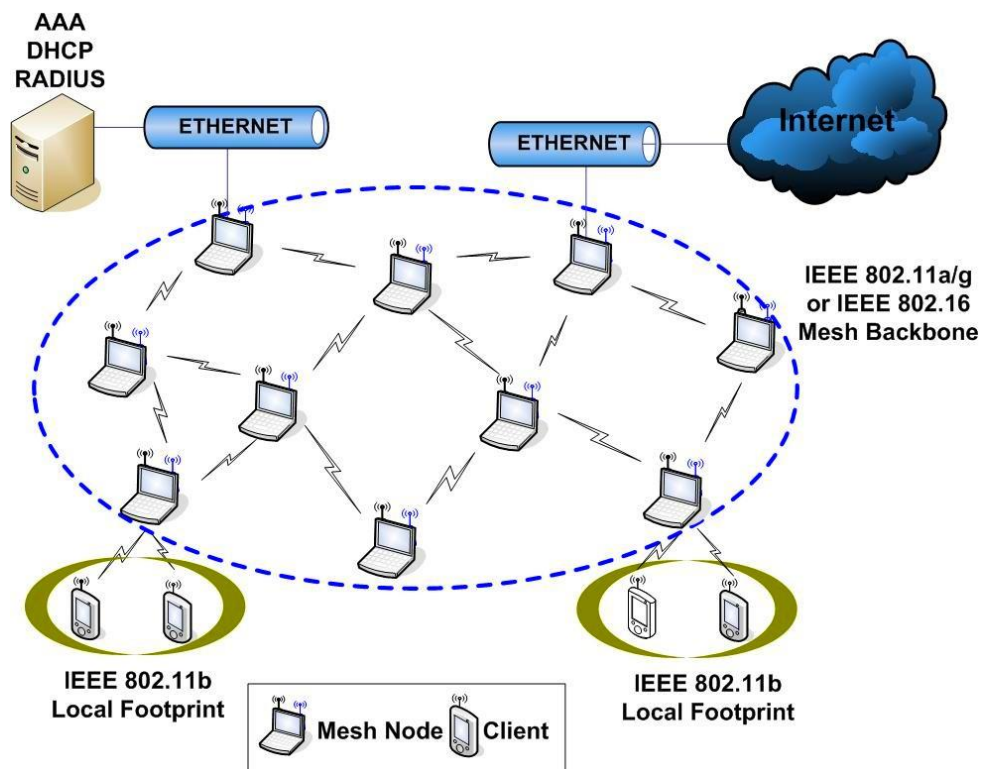


Рисунок 2.2 - Архітектура Mesh-мережі

Топологія Mesh заснована на децентралізованій схемі організації мережі, на відміну від типових мереж 802.11a/b/g/n, які створюються за централізованим принципом. Точки доступу, що працюють в Mesh-мережах, не

тільки надають послуги абонентського доступу, а й виконують функції маршрутизаторів/ретрансляторів для інших точок доступу тієї ж мережі. Завдяки цьому з'являється можливість створення самоустановлювального і самовідновлювального сегмента широкопasmової мережі, а загальна архітектура такої мережі показана на рис. 2.3.

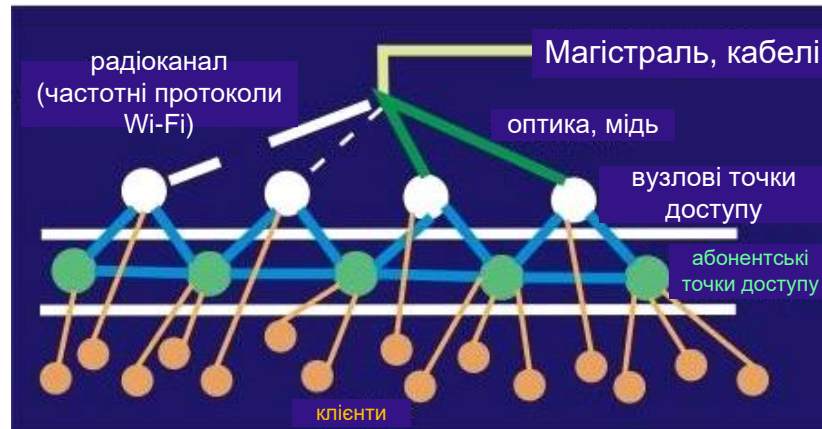


Рисунок 2.3 - Загальна архітектура Mesh-мережі

Інформаційні мережі, організовані по топології Mesh, отримали за останні півтора-два роки велике визнання. Масштаби проектів вирости до тисяч точок доступу і десятків тисяч користувачів. Mesh-мережі представляють найбільш цікаві рішення, що інтегрують різні мережеві- і радіотехнології, і тому в повній мірі відповідають все більш зростаючим вимогам абонентів (мобільність, QoS, безпека) [11].

Можливість організації за допомогою Mesh-топології локальних (LAN) і міських (MAN) мереж, легко інтегруються в глобальні мережі (WAN), є привабливим фактором для муніципальних і персональних користувачів.

Існуючі в даний час Mesh-мережі побудовані з використанням найбільш поширеного бездротового стандарту Wi-Fi. Переваги такого рішення очевидні - широкий спектр дешевих стандартних абонентських пристроїв визначає комерційну успішність проектів.

#### *Концепція Mesh.*

На сьогодні стільникова телефонія продемонструвала величезну затребуваність ринку мобільних абонентів до передачі голосових та інформаційних даних зі швидкостями від декількох сотень кілобіт до декількох мегабіт в секунду. Створювані інформаційні системи покликані стати (в

більшій чи меншій мірі) частиною інформаційної мережі, що забезпечує абонентів глобальним роумінгом. Вирішення цього завдання пов'язують з впровадженням нових (3G/4G/5G, WiMAX) та вдосконаленням вже існуючих (Wi-Fi) технологій бездротової передачі даних. Одним з варіантів вирішення подібних мереж, заснованих на кластерній структурі, є технологія Mesh [8].

#### *Визначення Mesh-мереж.*

Перші згадки про Mesh для вирішення завдань передачі інформації слід шукати в військових додатках. На базі технології Mesh створені системи для організації мобільного зв'язку з одиничними об'єктами в зоні військових дій. Подібні системи забезпечують високошвидкісну передачу цифрової інформації, відео- і мовний зв'язок, а також визначають місце розташування об'єктів.

На даний момент не існує точних критеріїв, що визначають термін Mesh-мережі в застосуванні до систем широкопasmового бездротового доступу. Найбільш загальне визначення звучить як: "Mesh - мережева топологія, в якій пристрої об'єднуються численними (часто надлишковими) сполуками, що вводяться зі стратегічних міркувань" [1]. В першу чергу поняття Mesh визначає принцип побудови мережі, відмітною особливістю якої є самоорганізована архітектура, яка реалізує такі можливості:

- створення зон суцільного інформаційного покриття великої площі;
- масштабуємість мережі (збільшення площі зони покриття і щільності інформаційного забезпечення) в режимі самоорганізації;
- використання бездротових транспортних каналів (backhaul) для зв'язку точок доступу в режимі "кожен з кожним";
- стійкість мережі до втрати окремих елементів.

#### *Архітектура Mesh-мережі.*

Mesh-мережі будуються сукупністю кластерів. Територія покриття розділяється на кластерні зони, число яких теоретично не обмежене. В одному кластері розміщується від 8 до 16 точок доступу. Одна з таких точок є вузловою (gateway) і підключається до магістрального інформаційного каналу за допомогою кабелю (оптичного або електричного) або по радіоканалу (з використанням систем широкопasmового доступу). Вузлові точки доступу, так само як і інші точки доступу (nodes) в кластері, з'єднуються між собою (з найближчими сусідами) по транспортному радіоканалу. Залежно від конкретного рішення точки доступу можуть виконувати функції тільки ретранслятора (транспортний канал) або функції ретранслятора і абонентської

точки доступу. Особливістю Mesh є використання спеціальних протоколів, що дозволяють кожній точці доступу створювати таблиці абонентів мережі з контролем стану транспортного каналу і підтримкою динамічної маршрутизації трафіку по оптимальному маршруту між сусідніми точками. При відмові будь-якого з них відбувається автоматичне перенаправлення трафіку за іншим маршрутом, що гарантує не просто доставку трафіку адресату, а доставку за мінімальний час [9].

Процедура розширення мережі в межах кластера обмежується встановленням нових точок доступу, інтеграція яких в існуючу мережу відбувається автоматично.

Недолік подібних мереж полягає в тому, що вони використовують проміжні пункти для передачі даних, це може викликати затримку при пересиланні інформації і, як наслідок, знизити якість трафіку реального часу (наприклад, мови або відео). У зв'язку з цим існують обмеження на кількість точок доступу в одному кластері.

На сьогоднішній день випускається Mesh-обладнання як зовнішнього, так і внутрішнього розміщення.

*Стандарти бездротової передачі даних, що використовуються для побудови Mesh-мереж.*

Як вже говорилося вище, основою для реалізації Mesh-мереж сьогодні є стандарт IEEE 802.11 (Wi-Fi).

Обладнання стандарту pre-Wi-MAX вже сьогодні застосовується для підключення вузлових точок Mesh-мереж до магістральних каналів (Tropos, Nortel та ін.). З огляду на технологічні переваги WiMAX, даний стандарт (особливо в його мобільній версії) буде використовуватися для організації абонентського доступу. Однак початок цього процесу слід віднести на момент появи на ринку дешевих абонентських пристроїв, тобто не раніше 2008-2009 рр.

Очікується, що в специфікації 802.11s буде описана процедура об'єднання мереж, в тому числі і різного типу. Створення крупних мереж 802.11s дозволить усунути нині існуючу проблему переходу між мережами Wi-Fi, розгорнутими в різних містах.

*Мультисервісність.*

Забезпечення мультисервісності передбачає організацію для клієнта повного спектру IP-послуг, включаючи доступ в Інтернет, VoIP, відеоконференцзв'язок і т.д. Стандарт IEEE 802.11e дозволяє при збереженні повної

сумісності з діючими стандартами 802.11a/b/g/n розширити функціональність за рахунок обслуговування потокових мультимедіаданих і надання гарантованої якості послуг QoS. Механізм заснований на пріоритезації трафіку і передбачає організацію контролю смуги пропускання по групах користувачів і типам трафіку (голос відео і т.д.).

Практична реалізація QoS дозволяє організовувати не тільки голосові, але і відеосесії для користувачів, вкрай вимогливих до безпеки і надійності з'єднання (служби безпеки).

#### *Безпека.*

Питання безпеки Mesh (захист від нелегальних підключень) є дуже актуальними, особливо для систем міського масштабу, які об'єднують муніципальні, абонентські і корпоративні мережі. Безпека мереж забезпечується в рамках специфікацій стандарту 802.11i та (WPA2) надає найбільш безпечну схему аутентифікації і кодування трафіку. Стандарт IEEE 802.11i передбачає використання в продуктах Wi-Fi таких засобів, як підтримка алгоритмів шифрування трафіку: TKIP (Temporal Key Integrity Protocol), WRAP (Wireless Robust Authenticated Protocol), CCMP (Counter with Cipher Block Chaining Message Authentication Code Protocol). Цих алгоритмів досить для захисту на рівні абонентського трафіку, але на рівні корпоративного користувача використовуються додаткові механізми, що включають більш досконалі способи аутентифікації при підключенні до мережі: більш крипто-стійкі методи шифрування, динамічну заміну ключів шифрування, використання персональних міжмережових екранів, моніторинг захищеності бездротової мережі, технологію віртуальних приватних мереж VPN і т.д. [5].

#### *Інтеграція з існуючими мережами GSM.*

Переваги інтегрованих мереж Wi-Fi-GSM очевидні, що змушує виробників обладнання активно розвивати цей напрям.

Зусилля в цьому напрямку пов'язані у першу чергу зі створенням механізму мережевого переходу. Компанії Motorola, Avaya і Pro-xim розробили універсальні бездротові пристрої і створили форум SCCAN (Seamless Converged Communication Across Networks), вже схвалений IEEE. Альянс SCCAN повинен розробити специфікацію взаємодії між двохмережними пристроями та офісними IP-станціями, здатними працювати і в Wi-Fi, і в стільникових мережах.

Технологія UMA (Unlicensed Mobile Access), розроблена американською компанією Kineto Wireless, дозволяє мобільному абонентові перемикатися з GSM-мережі на мережу Wi-Fi, не перериваючи розмови.

На сьогоднішній день ринок GSM-телефонів з вбудованим модулем Wi-Fi налічує понад 30 моделей і їх кількість неухильно зростає.

#### *Mesh-додатки.*

Найбільшу ефективність слід очікувати при реалізації Mesh-мереж масштабу міста (MAN). Особливості організації та використання подібних мереж визначаються соціальною і комерційною доцільністю, при цьому мережі можуть будуватися або тільки як корпоративні (муніципальні) або абонентські, або вирішувати обидва завдання одночасно [1].

З точки зору абонентського сервісу подібні мережі вже сьогодні забезпечують повний спектр IP-додатків: Ethernet, VoIP, realtimevideo.

#### *Абонентські мережі.*

Головним завданням абонентських мереж є забезпечення доступу користувачів (стаціонарних і мобільних) до ресурсів Інтернету та організація Wi-Fi-телефонії. Особливістю таких мереж є, як правило, висока щільність установки точок доступу (близько 10 точок/км<sup>2</sup>). Цей параметр визначається в значній мірі низькою вихідною потужністю клієнтських пристроїв (Wi-Fi-адаптери, телефони), високою щільністю розміщення абонентів (і, отже, необхідністю забезпечувати високу ємність абонентського трафіку), а також характеристиками чутливості точок доступу. Розгортання подібних мереж стає вигідним при досить великому числі користувачів і на сьогоднішній день визначається не технічними, а економічними аспектами [8].

Основні проблеми з якими доводиться стикатися при створенні Mesh-мереж зовнішнього (вуличного розміщення):

- обмеженість частотного ресурсу;
- необхідність підтвердження результатів радіочастотного планування практичними дослідженнями стану радіообстановки в зоні розгортання мережі (наявність незареєстрованих користувачів);
- організація розміщення точок доступу в максимальній близькості від абонентів, забезпечення цілодобового електроживлення і т.д.

### 2.3 Застосування бездротових самоорганізованих MESH-мереж

Побудова Wi-Fi мережі на основі MESH-технології - ідеальний варіант для вирішення завдань на території, де традиційні системи не здатні забезпечити необхідне покриття, і коли необхідна необхідна якість передачі голосу і підтримка мобільності [20].

Галузь застосування:

- спеціальні заходи служби швидкого реагування, заходи щодо забезпечення громадської безпеки;
- мережа для комплексу будівель, виробничі приміщення, торгові центри, місця проведення спортивних змагань, аеропорти;
- муніципальні установи, житлові зони, парки;
- керовані оператором послуги, що надаються в зонах загального доступу або житлових районах.

Можливості системи:

- швидка автоматична організація стійкої та життєздатної MESH-мережі, не прив'язаної до існуючої інфраструктури;
- ретрансляція пакетів між віддаленими пристроями, які не мають між собою прямої радіовидимості;
- бездротовий доступ до мережі Інтернет з повною підтримкою всіх IP-додатків.

Переваги:

- мінімальний час і простота розгортання завдяки самоорганізації;
- підвищена надійність і гнучкість - за рахунок надлишкових зв'язків існує кілька альтернативних маршрутів між вузлами;
- самоадаптація і самовідновлення завдяки здатності автоматично перенаправляти трафік в обхід пошкоджених ділянок;
- менше енергоспоживання в порівнянні з традиційними мережами;
- практично необмежені можливості масштабованості і збільшення ємності мережі;
- відсутність необхідності в центральному агрегуючому вузлі, тому що всі пристрої рівноправні і можуть функціонувати і як ретранслятор, і як точка доступу.

## 2.4 Устаткування Mesh мереж

На сьогоднішній день більшу частину ринку Mesh-обладнання займають startup-компанії, однак ситуація дуже швидко змінюється. Компанії Cisco, Motorola, Nortel, Proxim, Alvarion (організація транспортних каналів) - ось далеко не повний перелік відомих виробників, що все більш активно працюють в секторі Mesh-обладнання [11].

Все представлене на ринку обладнання можна умовно розділити на 3 групи:

- група № 1 - Single-радіосистеми з одиночним радіоблоком, використовують антени кругової діаграми спрямованості;
- група № 2 - Dual-радіосистеми з двома радіоблоками, що використовують антени кругової діаграми спрямованості;
- група № 3 - Multi-радіосистеми, що використовують роздільні радіоблоки для організації транспортного і абонентського доступу із застосуванням спрямованих антен.

Основні технічні характеристики обладнання наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Основні характеристики базової станції

Характеристики базової станції	
Протокол радіозв'язку IEEE	802.11g
Діапазон частот	2,5 ГГц
Швидкість передачі даних	до 54 Мбіт/с
Випромінювана потужність	100 мВт
Ширина спектра сигналу	20 МГц
Радіус дії	до 1000 м
Інтерфейс Ethernet	10/100 BaseT
Живлення	+12 В / 220 В

При використанні Single-радіосистем один радіомодуль в частотному діапазоні (2,4 ГГц) застосовується для організації абонентського доступу і транспортного каналу між точками доступу. З огляду на щільність установки точок доступу і обмеженість частотного ресурсу, для виключення їх взаємного впливу потрібно дуже ретельне частотне і структурне планування мережі.

Число переходів (hops) трафіку між точками доступу має становити не більше 3-4, що обмежує можливості масштабування мережі в межах одного кластера при організації сервісів реального часу. Незважаючи на зазначену специфіку, Mesh-мережі, побудовані на обладнанні 1-ї групи, лідирують по присутності на ринку. Устаткування характеризується низькою вартістю і є найбільш ефективним для створення зон покриття малого масштабу [10].

Найпомітнішим представником цієї групи є компанія Tropos Networks (США), найбільший виробник обладнання топології Mesh5. Tropos випускає лінійку обладнання, до складу якої входять точки доступу 5210 (стаціонарна), 4210 (мобільна) і 3210 (внутрішньофісна). Всі моделі виконують функції мережі на рівні Layer3. Характеристики чутливості є одними з кращих серед устаткування з топологією Mesh. Можливе підключення вузлових точок по бездротовій схемі з використанням Canopy (Motorola) або Breeze Access VL (Alvarion). Система самотестується і створює динамічні таблиці оптимального маршруту трафіку. При цьому зворотний маршрут вибирається за критерієм максимальної смуги пропускання.

Група № 2. Dual-радіо. При використанні Dual-радіосистеми застосовуються роздільні радіомодулі для організації абонентського доступу (2,4 ГГц) і транспортного каналу (5,8 ГГц). Подібне рішення дозволяє позбутися від шумових перешкод при передачі інформації між точками, що спрощує частотне планування мережі та підвищує продуктивність системи по транзитному трафіку за рахунок "перенесення" транспортного каналу в інший частотний діапазон [10].

Устаткування 2-ї групи випускають майже всі виробники Mesh (Aruba, BelAir, Cisco, Motorola, Nortel, Proxim, SkyPilot, Tropos і ін.).

Серед технічних рішень слід відзначити обладнання Nortel Networks, що використовує до 6 спрямованих антен на транспортному каналі, що дозволяє збільшити відстань між точками доступу, Aruba Networks застосовує центральний контролер Aruba (Aruba Mobility Controller) для підвищення безпеки мережі.

Компанія Motorola заявила, що устаткування Motomesh, що використовує технологію Mesh Connex, буде підтримувати остаточну версію стандарту Mesh-мереж 802.11s. При цьому передбачається модернізація вже існуючих мереж шляхом поновлення програмної частини системи по ефіру.

Група № 3. Multi-радіо. Устаткування третьої групи (BelAir, SkyPilot, StrixSystems і ін.) найцікавіше за архітектурним рішенням. Воно побудоване за модульним принципом з використанням від 4 до 6 радіоблоків. Це дозволяє (так само, як і в рішеннях Dual-радіо) організувати розподіл абонентського і транспортного потоків. Однак ефективність рішення Multi-радіосистеми підвищується з допомогою розподілу вхідного і спадного транспортних потоків при збільшенні загального числа "транспортних" радіо модулів [10].

Модульна архітектура (на практиці це набір плат, що вмонтовуються в типовий корпус) допускає оперативну заміну радіомодулів і дозволяє виробляти просту модернізацію всієї мережі в міру розвитку технологічної та елементної бази, включаючи перехід на нові стандарти (Wi-MAX).

BelAir Networks (Канада) пропонує лінійку обладнання, основу якої складають трьох типів Outdoor-точок доступу BelAir50c, BelAir100, BelAir200, що відносяться до різних груп устаткування (single-dual-multiradio). Залежно від моделі в пристроях встановлено від 1 до 4 радіомодулів. Старша модель (BelAir200) забезпечує повнодуплексний транспорт і абонентський доступ і реалізує функції організації мережі на рівні Layer2 і Layer3. Широкий спектр обладнання дозволяє "гнучко" планувати Mesh-мережу в залежності від передбачуваного трафіка. У зонах максимального транзитного трафіку (центр) можуть розміщуватися точки доступу Multi-радіо, а на периферії - Single-радіо [15]. Приклад схеми побудови мережі представлено на рис. 2.4.

Stryx Systems Inc. (США) поряд з традиційними рішеннями для мереж з топологією Mesh активно працює в сегменті завдань, що вимагають інформаційного забезпечення об'єктів, що швидко рухаються (до 300 км/год), наприклад залізничного транспорту. особливістю обладнання є динамічний вибір каналів передачі, що дозволяє знизити вплив шумових перешкод на роботу мережі з топологією Mesh. Для підвищення безпеки мережі Stryx (на відміну від конкурентів) використовує віддалений сервер ідентифікації користувача. Всі моделі виконують функції мережі на рівні Layer3 з підтримкою більшості існуючих комутаційних і маршрутизуючих мережевих протоколів [15].

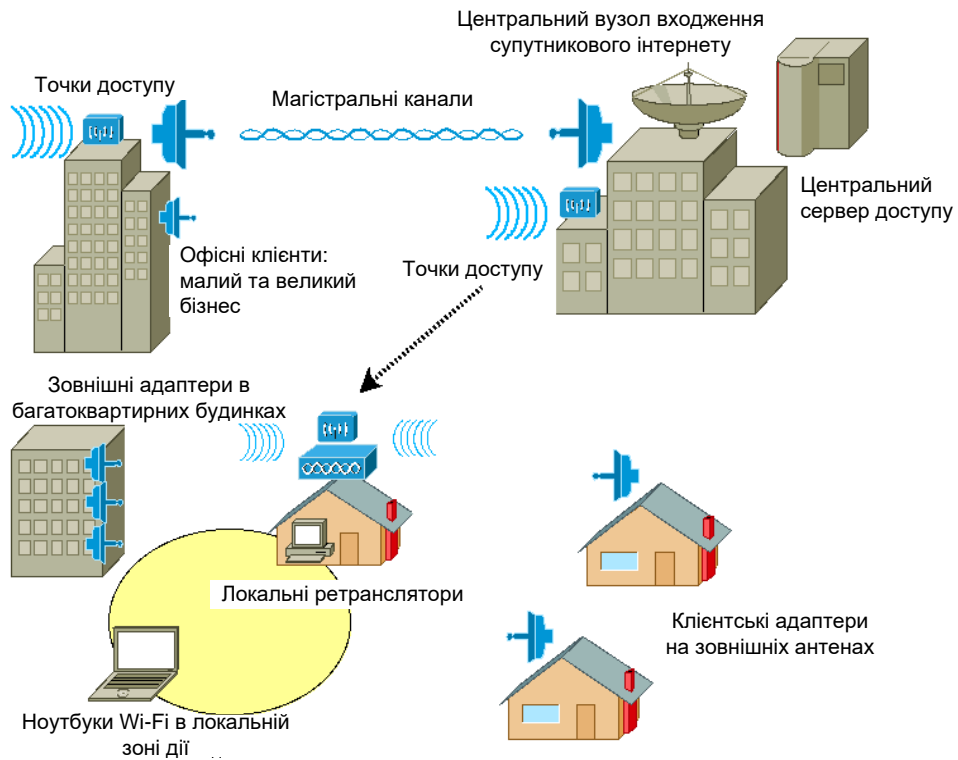


Рисунок 2.4 - Схема побудови мережі

Компанія SkyPilot позиціонує своє обладнання як обладнання Mesh наступного 4-го покоління. Відмінною його рисою є використання синхронних протоколів для організації транспортних каналів. У рішеннях використовуються 8-секторні антени. Кожен сектор встановлює зв'язок в TDD-режимі "точка - точка" з використанням GPS для синхронізації секторів.

## 2.5 Перспективи розвитку Mesh мереж

Впровадження нових специфікацій стандарту Wi-Fi (особливо 802.11n) обіцяє суттєве збільшення швидкості передачі інформації, що в повній мірі може компенсувати недоліки стандарту (колізійність доступу, що виявляється в найбільшій мірі в умовах високої завантаженості мережі) [9].

З огляду на переваги WiMAX, варто очікувати, що цей стандарт почне активно конкурувати з Wi-Fi при організації Mesh-мереж, але не раніше появи дешевих абонентських механізмів. При цьому важко очікувати повного заміщення технологій через обмеження WiMAX на продуктивність (Мбіт/с), закладених в 802.16. В таких умовах неминуче спільне існування і взаємна інтеграція мереж.

Ускладнення Mesh-систем у міру збільшення їх масштабу і необхідність об'єднання з альтернативними мережами (GSM, 3G/4G, WiMAX і т.д.) потребують створення більш складних систем управління, заснованих на централізованих рішеннях. Комерційна ефективність об'єднаних мереж "муніципально-абонентського" доступу призведе до зростання їх числа і зажадає створення більш ефективних рішень, що забезпечують безпеку як муніципального так і абонентського секторів мереж [12].

Для України очікуваним сектором будівництва Mesh-мереж є великі мегаполіси (спальні райони і діловий центр) і котеджні селища. Проблеми організації таких мереж пов'язані в першу чергу з частотними обмеженнями. На відміну від країн з «відкритими» діапазонами стандарту 802.11, в Україні при побудові зовнішніх мереж необхідно отримання частотних дозволів. При побудові внутрішніх мереж процедура спрощена: якщо обладнання зазначено або внесено до переліку обладнання подальшими рішеннями ДКРЧ, то досить реєстрації мережі в місцевому радіочастотному центрі.

З огляду на політику, що проводиться в Україні, слід очікувати, що кордони між топологією традиційних рішень ШПД (особливо в додатку стандарту WiMAX для частотних діапазонів 2,4; 3,5; 5,8 ГГц) і Mesh при реалізації будуть поступово розмиватися.

Mesh як принцип мережевої побудови безумовно буде розвиватися і займе якщо не визначальне, то значиме положення в глобальній інформаційній мережі.

## 2.6 Сервісні можливості Mesh

*Хендовер.* В даний час в стандарті 802.11 немає строгих специфікацій по реалізації хендовера ("безшовного" переміщення абонентів між точками доступу). Однак для забезпечення такого переходу передбачені спеціальні процедури сканування ефіру та приєднання ("association"). Реалізація хендовера в мережах Wi-Fi може здійснюватися по-різному, наприклад, на базі протоколу RADIUS або під управлінням інтелектуального бездротового контролера, що організує "тунель" при переході клієнта в зону обслуговування сусідньої точки доступу. У специфікації 802.11k описані процедури, що дозволяють клієнтському пристрою вибрати точку доступу, до якої слід підключитися перед розривом поточного з'єднання. Крім того, використання алгоритму

кешування, передбаченого специфікацією 802.11i, забезпечує встановлення нового захищеного з'єднання за час, що не перевищує 20-30 мс [15].

Як результат - обладнання з підтримкою механізмів управління 802.11k забезпечує перемикання абонентського пристрою на нову точку доступу за час не більше 50 мс. Така затримка може залишитись непоміченою користувачем, так як вона в кілька разів менше людського порога сприйняття [2].

*Міжмережевий роумінг.* Об'єднання мереж Mesh (проблема роумінгу), а в подальшому також об'єднання мереж фіксованого та мобільного зв'язку служить вирішенню основного завдання: можливості надавати мобільним кінцевим користувачам якомога ширший асортимент послуг по якомога нижчою ціною. Звідси постає необхідність вирішувати завдання по організації мережевого роумінгу за відомим принципом "одна людина - один номер" при переміщенні абонента між мережами різного типу.

В межах міської мережі, що складається з набору кластерів, проблема роумінгу при переході клієнта з кластера в кластер вирішується механізмами ESSID, WEP/802.1x і VPN. Клієнт, що вільно переміщується, ідентифікується за IP-адресою з організацією віртуальних IP-каналів. На рис. 2.5 показане абонентське закінчення - офіс.

Для отримання первинної техніко-комерційної пропозиції необхідно надати вихідні дані:

- частотний діапазон;
- види сервісних послуг;
- необхідність вузла доступу в Інтернет: маршрутизатор-шлюз, комутатор, сервер, білінг, система адміністрування та експлуатаційної підтримки;
- карта території покриття або планування і опис конструкцій будівлі, що обслуговується, та передбачуваних місць установки точок доступу;
- необхідність розробки проекту, виконання монтажних і пуско-налагоджувальних робіт.

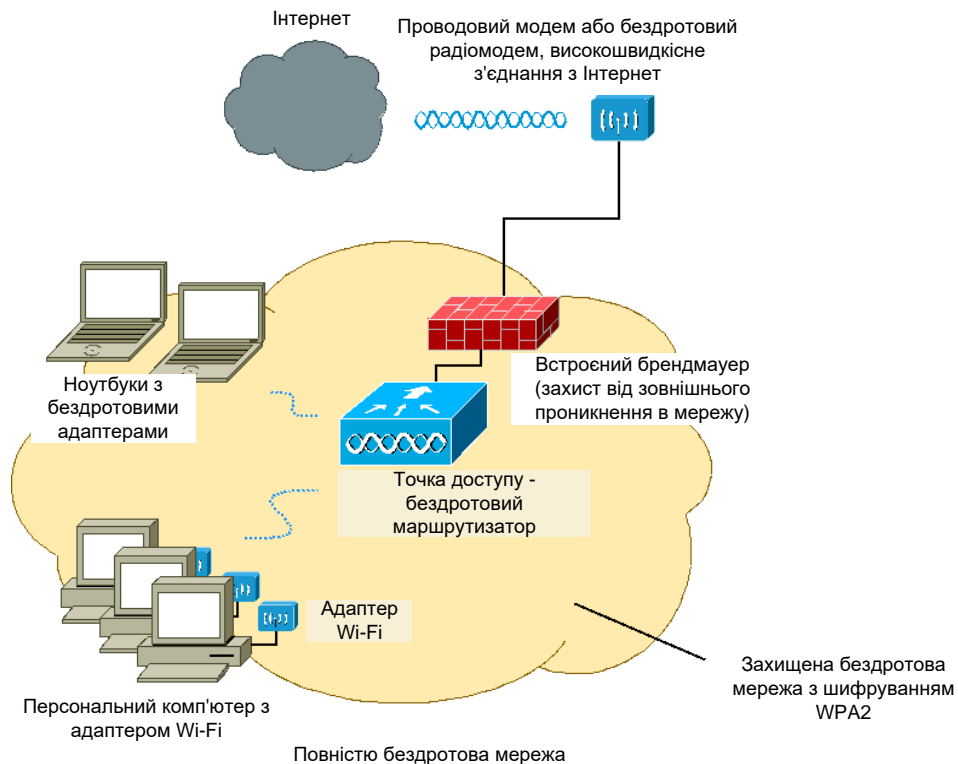


Рисунок 2.5 - Абонентське закінчення - офіс

## 2.7 Стандарти 802.11 в додатку Wi-Fi Mesh-мереж

*802.11a/b/g.* Добре відомі модифікації стандарту Wi-Fi, що забезпечують передачу даних в двох діапазонах частот:

- 2,4 ГГц (802.11b - 11Мбіт/с, 802.11g - 54 Мбіт/с);
- 5,5 ГГц (802.11a - 54 Мбіт/с).

Основними недоліками зазначених стандартів в даний час є обмеження пропускної здатності (54 Мбіт/с) і її зниження внаслідок колізійних явищ при збільшенні числа користувачів. Боротися з цим допомагають різні механізми: застосування VLAN для сегментування мережі, використання QoS або застосування в точках доступу декількох радіомодулів.

*802.11e.* Проблеми властиві бездротовим системам, полягають в помилках (до 20%) при передачі даних і змінній швидкості передачі (в залежності від положення абонента щодо точки доступу). Додаткові труднощі створюють змінне число абонентів і відповідно відсутність інформації про доступні для використання ресурси в даний момент часу.

Специфікація 802.11e призначена для організації передачі аудіо- та відеоінформації і забезпечення сумісності з уже існуючими схемами

пріоритетності трафіку. Стандарт реалізує повну сумісність з пристроями, що не підтримують специфікацію 802.11e [4].

Принцип, покладений в основу 802.11e, полягає в використанні маркерів для критичних потоків даних. Максимальний пріоритет отримують голосові пакети, далі йдуть потоки передачі відеоінформації, а потім пакети передачі даних відповідно до протоколу резервування ресурсів і механізму пріоритезації черг.

*802.11i.* Базовий стандарт 802.11 включає механізм Wired Equivalent Privacy (WEP), який вбудований в протокол 802.11. Хоча даний механізм дозволяв працювати на другому рівні моделі OSI і використовувати для шифрування 40-розрядний ключ, цього виявилось недостатньо. Для вирішення проблеми була розроблена специфікація 802.11i, що об'єднує підмножини Wi-Fi Protected Access (WPA) [5].

Для посилення шифрування в WPA використовує покращений протокол, званий Temporal Key Integrity Protocol (TKIP). При використанні TKIP кожен пакет що посиляється наділяється своїм власним ключем. Для аутентифікації користувача і розподілу ключів застосовується стандарт 802.1x і протокол Extensible Authentication Protocol (EAP). Цей підхід передбачає використання для аутентифікації такого центрального сервера, як RADIUS.

Основна відмінність сьогоденішньої офіційної версії стандарту 802.11i від більш раннього і до того ж спрощеного варіанту, опублікованого консорціумом Wi-Fi Alliance, полягає в застосуванні процедури Advanced Encryption Standard (AES).

*802.11k.* Специфікація 802.11k покликана забезпечити зворотний зв'язок між клієнтськими пристроями і точками доступу і комутаторами WLAN, що дозволяє реалізувати наступні функції:

- організація самостійного переходу клієнта між точками доступу, що забезпечує підвищення пропускної здатності мережі за рахунок розвантаження точок доступу з високим числом звернень;
- оптимізація вибору радіоканалу.

*802.11n.* У специфікації стандарту 802.11 Wi-Fi 802.11n передбачається збільшення граничної швидкості передачі даних до 600 Мбіт/с при використанні багатоантенної технології MIMO (Multiple-Input Multiple- Output). Ця технологія передбачає використання декількох антен на передавальній і приймальній стороні, що робить можливою одночасну обробку декількох

просторово розділених потоків даних, що займають один і той же частотний діапазон [4].

Новий стандарт має робочу назву TGn Sync і включає в себе можливість використання, крім інших елементів, просторового мультиплексування. Дані забезпечуються спеціальними позначками (spatial signatures) і передаються за кількома маршрутами. Приймаючі антени збирають ці потоки воедино і реорганізують їх. В результаті швидкість передачі значно підвищується.

Для збільшення ємності будуть використовуватися радіоканали шириною до 40 МГц в частотних діапазонах 2 і 5,5 ГГц. Фізична пропускна здатність каналу в 40 МГц може бути піднято до 125 МГц, а установка до чотирьох антен на кожен приймач і передавач відповідно до технології MIMO дозволить довести цей показник до 600 Мбіт/с.

802.11n сумісна з мережами 802.11a/b/g. Пристрої з підтримкою 802.11n повинні вміти знаходити трафік цих мереж і перемикатися на використання каналів шириною 20 МГц, щоб уникнути проблем із взаємодією і взаємним впливом різних мереж.

*802.11s.* Найбільш значуща для Mesh - технології специфікація 802.11s покликана стандартизувати організацію мереж подібної топології.

Однією з основних сьогоденних проблем при організації Mesh-мереж вважається сумісність обладнання всередині мережі, оскільки абонентський доступ організовується відповідно до стандартів 802.11, а транспортні канали, з використанням приватних протоколів і алгоритмів організації мережі.

Основою для специфікації 802.11s є компромісна угода між підходами, запропонованими SEEMesh Wi-Mesh Alliance.

Очікується, що специфікація 802.11s буде описувати як децентралізовану топологію, так і основні функції Mesh, що дозволяють бездротовим вузлам виявляти один одного, аутентифікувати і встановлювати зв'язки між собою, виробляючи найбільш ефективний маршрут для передачі трафіку. Додатково вводиться поняття Mesh-порталів - пристроїв, які покликані поєднувати між собою мережі різного типу [4].

Створення великих мереж 802.11s дозволить усунути нині існуючу проблему переходу між мережами Wi-Fi, розгорнутими в різні містах.

### 3 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ БЕЗДРОТОВОЇ МЕРЕЖІ ГОТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ

#### 3.1 Розрахунок параметрів бездротової мережі зони прямої видимості

Розрахунок бездротової мережі зводиться до того, що потрібно визначити якісні показники зв'язку, які в роботі поєднані між собою бездротовим зв'язком [6].

Основні відомості для розрахунків:

- протяжність прольоту 0,2 км;
- діапазон частот 2,4-2,483 ГГц;
- діаметр антени 60 см;
- підсилення антени 38 дБ;
- потужність передавача 21 дБ;
- коефіцієнт системи 110 дБ;
- середня дальність 10 км.

##### 3.1.1 Побудова профілів прольотів і визначення мінімального просвіту

Визначимо радіус кривизни землі по наступній формулі:

$$y = \left( \frac{R_0^2}{2 \cdot a} \right) \cdot k(1-k), \quad (3.1)$$

де  $a$  - радіус кривизни Землі 6370 км;

$R_0$  - протяжність прольоту;

$k = \frac{R_i}{R_0}$  - відносна координата точки, визначення радіуса кривизни Землі.

$k = 0,5$ .

$$y_1 = \left( \frac{R_0^2}{2 \cdot a} \right) \cdot k(1-k) = \left( \frac{0,2^2}{2 \cdot 6370} \right) \cdot 0,5 \cdot (1-0,5) = 0,78 \cdot 10^{-6} \text{ км}.$$

Визначимо радіус мінімальної зони Френеля в будь-якій точці прольоту, за такою формулою [2]:

$$H_0 = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot R_0 \cdot \lambda \cdot k \cdot (1-k)}, \quad (3.2)$$

де  $\lambda$  - довжина хвилі,  $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{2,4 \cdot 10^9} = 0,125 \text{ (м)}$ .

$$H_0 = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot 0,2 \cdot 0,125 \cdot 0,5 \cdot (1-0,5)} = 0,045 \text{ м.}$$

Визначимо приріст провіту за рахунок рефракції:

$$\Delta H(\bar{g} + \sigma) = -\frac{R_0^2}{4} \cdot (\bar{g} + \sigma) \cdot k \cdot (1-k), \quad (3.3)$$

Де  $\bar{g}$  - середнє значення вертикального градієнта, для Харкова дорівнює  $-11 \cdot 10^{-8} \text{ 1/м}$ ;

$\sigma$  - стандартне відхилення, для Харкова рівне  $11 \cdot 10^{-8} \text{ 1/м}$ .

$$\Delta H(\bar{g} + \sigma) = -\frac{200^2}{4} \cdot (-11 \cdot 10^{-8} + 11 \cdot 10^{-8}) \cdot 0,5 \cdot (1-0,5) \approx 0 \text{ м.}$$

Тоді, провіт без урахування рефракції (а саме для цього випадку побудований профіль прольоту).

$$H(0) = H_0 - \Delta H(\bar{g} + \sigma) = 0,045 - 0 = 0,045 \text{ м.}$$

Розрахунок запасу на завмирання проводять за формулою [5]:

$$F_t = SG + G_{\text{ПРД}} + G_{\text{ПРМ}} - L_0 - 2\eta, \quad (3.4)$$

де  $SG$  - коефіцієнт підсилення системи;

$G_{\text{ПРД}}$ ,  $G_{\text{ПРМ}}$  - підсилення передавальної і приймальної антени відповідно;

$2\eta$  - ККД антенно-фідерного тракту, прийmemo рівним 3 дБ, так як використовується компактне розташування зовнішнього блоку;

$L_0 = 20 \cdot (\lg f + \lg R_0) + 32,45$  - згасання радіохвиль в вільному просторі.

де  $f$  - середня частота діапазону, МГц;

$R_0$  - довжина прольоту в км.

$$L_0 = 20 * (\lg 24000 + \lg 0,2) + 32,45 = 144,8 \text{ дБ},$$

$$F_t = 110 + 38 + 38 - 144,8 - 3 = 35 \text{ дБ}.$$

Тепер зробимо розрахунок прямої видимості в програмі Mathcad, рис. 3.1.

### 3.1.2 Розрахунок часу погіршення зв'язку через дощ

Україна відноситься до зони Е, для якої інтенсивність опадів (перевищує в 0,01% часу)  $R_{0,01} = 22 \frac{\text{мм}}{\text{год}}$

Коефіцієнти  $\alpha$  і  $k$  для горизонтальної та вертикальної поляризації на частоті 2,4 ГГц, рівні:

$$\alpha_H = 1,132,$$

$$\alpha_V = 1,1028,$$

$$k_H = 0,0597,$$

$$k_V = 0,05486.$$

Опорна відстань визначається за такою формулою:

$$d_0 = 35 * \exp(-0,015 * R_{0,01}) = 35 * \exp(-0,015 * 22) = 25,16 \text{ км}.$$

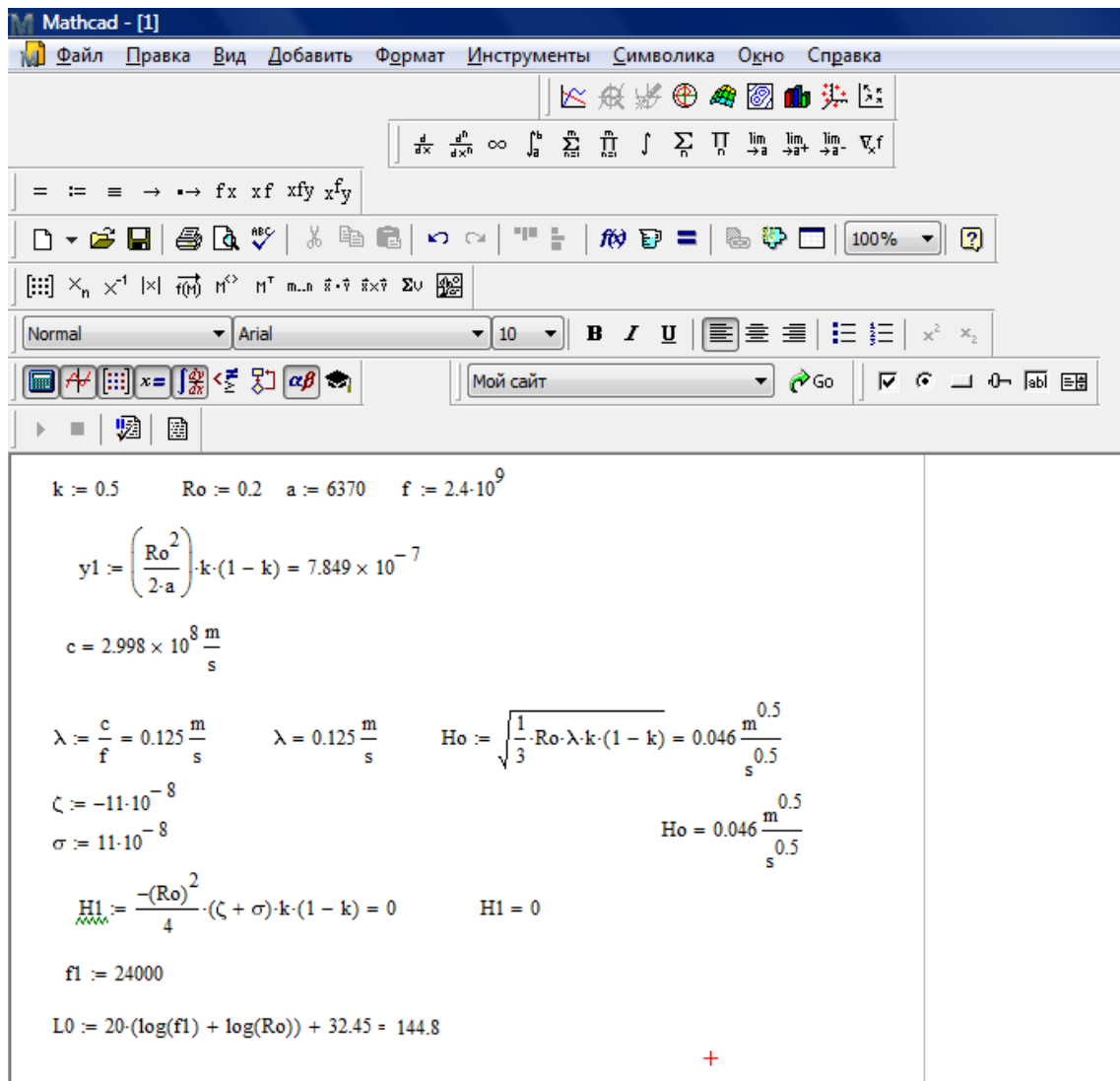


Рисунок 3.1 - Розрахунок прямої видимості в програмі Mathcad

Коефіцієнт зменшення визначається за такою формулою:

$$r = \frac{1}{1 + \frac{R_0}{d_0}} \quad (3.5)$$

$$r = \frac{1}{1 + \frac{2,3}{25,16}} = 0,91.$$

Питоме згасання в дощ для горизонтальної і вертикальної поляризацій [7]:

$$\gamma_H = \kappa_H * \alpha_H * R_{0,01} = 0,0597 * 1,132 * 22 = 1,48 \frac{\partial B}{\text{км}},$$

$$\gamma_V = \kappa_V * \alpha_V * R_{0,01} = 0,05486 * 1,1028 * 22 = 1,33 \frac{\partial B}{\text{км}}.$$

Ефективна довжина визначається за формулою:

$$d_{\text{Э}} = r * R_0, \quad (3.6)$$

$$d_{\text{Э}} = 0,91 * 2,3 = 2,09 \text{ км.}$$

Оцінка згасання на трасі, яке перевищується для 0,01% часу визначається виразом [7]:

$$A_{0,01} = \gamma * d_{\text{Э}}, \quad (3.7)$$

$$A_{0,01} = 1,48 * 2,09 = 3,1 \text{ дБ.}$$

Згасання, яке перевищується для іншого відсотка часу  $T$  може бути визначено з рівняння:

$$\frac{A_T}{A_{0,01}} = 0,12 * T^{-(0,546+0,043*\lg T)}.$$

підставляючи сюди  $A_T = F_t$  отримаємо час протягом якого дощ викличе згасання, більше запасу на завмирання.

$$T = 10^{11,628 * (-0,546 + \sqrt{0,29812 + 0,172 * \lg(0,12 * \frac{A_{0,01}}{F_t})})} \quad (\%).$$

Причому, якщо величина  $\frac{A_{0,01}}{F_t} < 0,154023$ , то для отримання дійсного значення необхідно прийняти  $\frac{A_{0,01}}{F_t} = 0,155$ .

$$\frac{A_{0,01}}{F_t} = \frac{3,1}{35} = 0,088 < 0,154023 \Rightarrow 0,155,$$

$$T = 10^{11,628 * (-0,546 + \sqrt{0,29812 - 0,172 * \lg(0,12 * 0,155)})} = 8 * 10^{-7} \%.$$

### 3.1.3 Розрахунок часу погіршення зв'язку, викликаного субрефракцією радіохвиль

У зв'язку з тим, що протяжність прольотів дуже мала, а розміри перешкод не значні, а також те, що антени розташовані в зоні стійкої видимості з великим відносним отвором, то час погіршення зв'язку, викликаний субрефракцією радіохвиль годі й розраховувати [3]. Умовно приймемо його рівним  $10^{-5}$ .

Перевірка норм на неготовність.

Норма на неготовність визначається за формулою:

$$UR_{дон} = 0,3 * \frac{L}{2500},$$

$$UR_{дон} = 0,3 * \frac{2,3}{2500} = 0,000276 \%.$$

Час погіршення зв'язку, викликаний дощем і субрефракцією радіохвиль:

$$T\% = 8 * 10^{-7} + 10^{-5} = 10^{-5} \%.$$

При порівнянні отриманих значень з нормами, видно, що ці значення менше норми, тобто норми виконуються.

### 3.1.4 Розрахунок часу погіршення зв'язку через багатопроменеве поширення

Загальна тривалість порушення зв'язку, викликане багатопроменевим завмиранням, дорівнює сумі порушень викликаних плоскими і селективними завмираннями [7]:

$$P = P_{flat} + P_{sel}.$$

Тривалі порушення зв'язку, що викликані плоскими завмираннями, визначається за формулою,

$$P_{flat} = K * Q * f^B * d^C * \left( \frac{W}{W_B} \right) = K * Q * f^B * d^C * 10^{-\frac{A}{10}}, \% \quad (3.8)$$

де  $A$  - глибина завмирання, дБ, яка приймається рівною запасу на завмирання  $F_t$ ;

$W_0$  - потужність сигналу в відсутності завмирання;

$d$  - довжина траси, км,

$f$  - частота несучої, ГГц;

$B$  і  $C$  коефіцієнти, що враховують регіональні ефекти;

$K$  - коефіцієнт, що враховує вплив клімату і рельєфу місцевості;

$Q$  - коефіцієнт, що враховує інші параметри траси, що відрізняються від  $d$  і  $f$ .

Для наземної радіолінії, на якій найменша висота підвісу антен приймача і передавача становить не менше 700 метрів над рівнем моря коефіцієнт  $K$  обчислюється за такою формулою [7]:

$$K = P_L^{1,5} * 10^{-(6,5 - C_{lat} + C_{Lon})}, \quad (3.9)$$

де  $PL=5\%$  - відсоток часу з вертикальним градієнтом рефракції, з чотирьох місяців беруть найгірший. Коефіцієнти  $C_{lat} = 0$  і  $C_{lon} = 0$  для даної місцевості.

Коефіцієнт  $Q$  обчислюється за формулою,

$$Q = (1 + |\varepsilon_P|)^{-1,4}, \quad (3.10)$$

де  $|\varepsilon_P|$  - кут нахилу радіопроменя (мрад)

$$|\varepsilon_P| = \frac{|h_1 - h_2|}{d}, \quad (3.11)$$

де  $h_1, h_2$  - висота підвісу антен над рівнем моря, м;

$d$  - довжина траси, км.

Розрахуємо тривалість погіршення зв'язку через пласкі завмирання

$$K = 0,05^{1,5} * 10^{-6,5} = 3,5 * 10^{-9},$$

$$|\varepsilon_P| = \frac{|900 - 872|}{2,3} = 12 \text{ мрад},$$

$$Q = (1 + |12|)^{-1,4} = 0,027,$$

$$B=0,89, C=3,6,$$

$$P_{flat} = 3,5 * 10^{-9} * 0,027 * 18^{0,89} * 2,3^{3,6} * 10^{-\frac{35}{10}} = 7,8 * 10^{-12} \text{ \%}.$$

Визначимо норму на допустимий час погіршення зв'язку:

$$SES = 0,054 * \frac{L}{2500} = 0,054 * \frac{2,3}{2500} = 49 * 10^{-6} \text{ \%}.$$

При порівнянні отриманих значень з нормами, видно, що ці значення менше норм, тобто норми виконуються. [6]

### 3.2 Спотворення структури потоку даних в каналі radio Ethernet

Переваги бездротових технологій, що функціонують в діапазоні 2,4 ГГц, в значній мірі визначаються тим, що в їх основі лежить технологія широкосмугового або шумоподібного сигналу. В рамках даної технології розроблено два принципово різних між собою методів використання широкої смуги частот [1]:

- прямої послідовності;
- частотних стрибків.

Обидва методи передбачають розподіл цієї смуги частот на  $n$  підканалів.

У методі прямої послідовності кожен біт інформації кодується у вигляді послідовності з  $n$  біт, які передаються паралельно по всім  $n$  підканалам. Алгоритм кодування індивідуальний для кожної пари «передавач-приймач» і забезпечує конфіденційність передачі [1].

При методі частотних стрибків станція в кожний час передає тільки по одному з підканалів, регулярно переключаючись на інший. Ці перемикання відбуваються синхронно на передавачі і приймачі, причому їх послідовність носить псевдовипадковий характер. Заздалегідь вона відома тільки даній парі «передавач-приймач», що також гарантує конфіденційність передачі [1].

Кожен з методів має свої переваги. Метод прямої послідовності дозволяє досягати більшої пропускнуєї спроможності і завдяки  $n$ -кратній надмірності, по-перше, забезпечує велику стійкість до вузькосмугових перешкод і, по-друге, дозволяє використовувати сигнал низького рівня потужності, практично не створюючи перешкод звичайним радіопристроєм. Обладнання, що працює за методом частотних стрибків, значно простіше, дешевше і володіє більшою стійкістю до широкосмугових перешкод.

Для роботи бездротових мереж потрібні спеціальні протоколи рівня управління доступом до середовища передачі. З огляду на фундаментальні відмінності від кабельного середовища (відсутня повна зв'язність, тобто станції можуть бути приховані один від одної), безпроводове середовище незахищене від зовнішніх сигналів, і його характеристики з розповсюдження сигналів асиметричні за напрямками і змінні в часі.

Для забезпечення ефективного управління доступом до бездротового середовища недавно з'явилися міжнародні стандарти протоколів та рекомендацій, які специфікують фізичний рівень і рівень доступу бездротових

мереж. Особливо поширений протоколу IEEE 802.11, званий також Radio Ethernet і затверджений міжнародним стандартом в 1997 р. Оскільки стандарт можна застосовувати в локальних або міських телекомунікаційних мережах, то ним регламентовані обидва методи використання шумоподібного сигналу: прямої послідовності і частотних стрибків [2].

У Radio Ethernet передбачено використання частотного діапазону від 2,4 до 2,4835 ГГц, призначеного для безліцензійного застосування в промисловості, науці та медицині. На фізичному рівні стандартом Radio Ethernet передбачено кілька типів радіоканалів, що розрізняються способом модуляції, але застосовують одну і ту ж технологію розширення спектру.

На рис. 3.2 приведена залежність рівня прийнятого радіомостом сигналу (по відношенню до порогової чутливості приймача) від величини ослаблення в радіотракті.

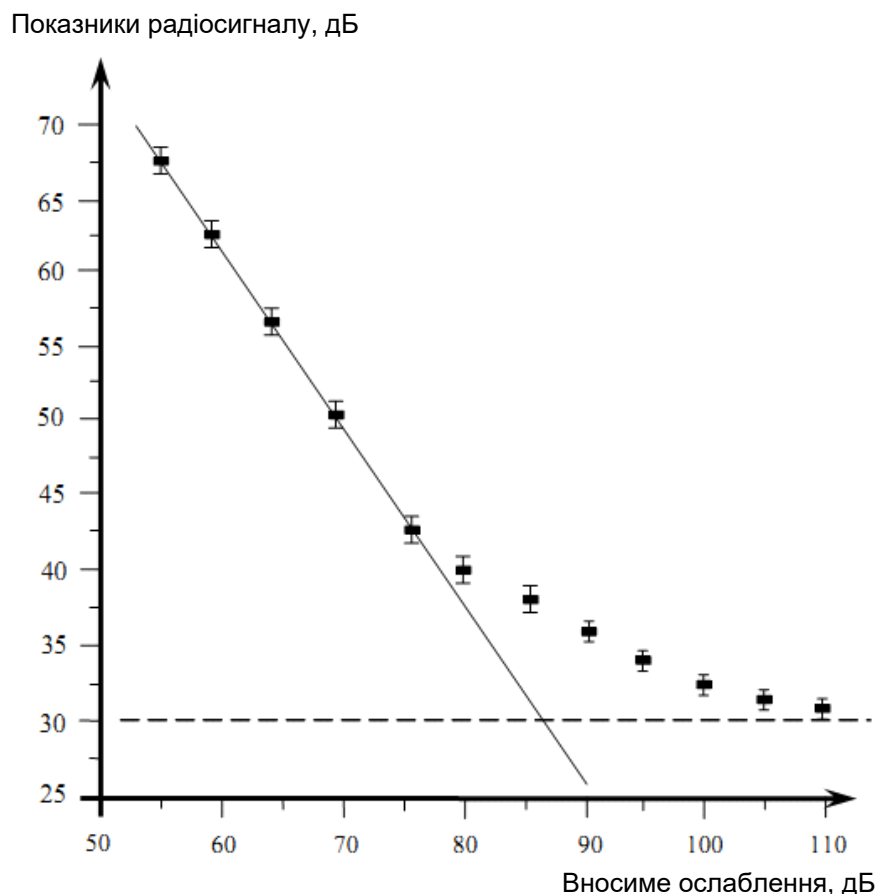


Рисунок 3.2 - Залежність чутливості приймача

З цієї залежності можна оцінити чутливість приймача. Вона становить близько -80 дБм (тут враховано, що вихідна потужність сигналу радіомосту

рівна 21 дБм), а потужність сигналу, що поширюється поза радіотрактом, - около 30 дБ (з урахуванням чутливості приймача це відповідає -50 дБм або 10 мВт).

Сумарна потужність на приймачі:

$$P_T = P_{\text{channel}} + P_{\text{radio}}, \quad (3.12)$$

де  $P_{\text{channel}} = P_0 \cdot 10^{-A/10}$ ;

$P_0$  - потужність на вході атенюатора;

$A$  - рівень ослаблення, вимірюваний в дБ;

$P_{\text{radio}}$  - потужність, що розсіюється поза каналом атенюатора. Фактично рівень сигналу на приймачі має ослаблення:

$$D = -10 \lg \left( \frac{P_{\text{radio}}}{P_0} + 10^{-A/10} \right), \quad (3.13)$$

Вимірне значення  $P_0 = 114$  мВт,  $P_{\text{radio}} \sim 10$  нВт. Таким чином, якщо  $A = 80$  дБ, то  $D \sim 70$  дБ.

Всі експерименти, при яких не була потрібна зміна внесеного згасання, проводилися при внесенні до радіотракту згасання 84 дБ. При цьому показання радіомосту по потужності сигналу становили  $41 \pm 2$  дБ, що (при вузькосмугових антенах з коефіцієнтом підсилення 27 дБм) може відповідати реальній трасі протяжністю до 13 км.

*Статистичні характеристики каналу Radio Ethernet.* Основними параметрами, що характеризують властивості каналу для систем цифрової передачі даних на пакетному рівні, є час доставки повідомлення і бітова помилка. Великою бітовою помилки (Bit Error Rate - BER) називають ймовірність спотворення одного біта інформації, що передається. Замість часу доставки зазвичай використовують параметр, званий часом обходу (Round Trip Time - RTT), це час, протягом якого повідомлення встигає пройти шлях від джерела до пункту призначення і назад. RTT складається з: часу генерації повідомлення джерелом, проходження по каналу в бік пункту призначення, обробки повідомлення в пункті призначення і плюс все це в зворотну сторону [3].

Для симетричних каналів прийнято вважати, що час доставки складає половину часу обходу, так що ці параметри тісно зв'язані між собою, а вибір саме часу обходу в якості вимірюваного пов'язаний лише зі зручністю вимірювання останнього.

Відзначимо принципову відмінність Radio Ethernet від Ethernet. Уявімо Radio Ethernet-ланку як сегмент мережі, що є частиною будь-якої проводової мережі передачі даних. Кожна ланка цієї мережі має свої значення часу доставки і BER. Загальні значення цих параметрів для маршруту «джерело - пункт призначення» представляють собою суму ланкових параметрів.

Основною відмінністю Radio Ethernet-ланки є те, що за рахунок використання свого внутрішнього механізму повторної передачі ланка Radio Ethernet не вносить ніякої бітової помилки. Однак слід зазначити, що з-за того ж механізму повторної передачі, реально існуюча в фізичному каналі BER, як би «перетікає» в значення часу доставки, оскільки спотворення сегмента даних в каналі провокує повторну передачу цього сегмента і, отже, збільшує час доставки.

У протоколі Radio Ethernet фундаментальним механізмом доступу до бездротового середовища є функція розподіленого управління (Distributed Coordination Function - DCF), що реалізує метод множинного доступу до середовища передачі з прослуховуванням несучої і уникненням колізій - CSMA/CA (Carrier Sence Medium Access with Collision Avoidance). Відповідно до цього методу, послідовні спроби передавання кожної станції бездротової мережі розділені інтервалом затримки, а також випадковим відкладеним часом (Random Backoff Time). Число тимчасових інтервалів, що складають цей відкладений час, визначається за допомогою бінарного експоненціального правила, яке буде детально розглянуто далі [3].

Альтернативним механізмом доступу, що передбачено у стандарті Radio Ethernet в якості можливої надбудови над функцією розподіленого управління є функція централізованого керування (Point Coordination Function - PCF), при якій станція-координатор веде централізоване опитування інших станцій, проте розгляд цього механізму виходить за рамки нашого дослідження. У даній роботі обмежимося аналізом основної схеми децентралізованого управління.

Для зниження впливу перешкод в протоколі Radio Ethernet рекомендується розбивати блоки даних, що передаються, на фрагменти (з максимальним розміром) з тим, щоб повторно передавати (при спотворенні

перешкодами) не весь блок, а тільки його фрагмент. Таким чином, блок даних довжиною  $L$  ділиться на  $n = \lceil L/l \rceil$  фрагментів ( $\lceil x \rceil$  - мінімальне ціле число, більше або рівне  $x$ ), причому довжини всіх фрагментів, крім останнього, рівні. [7]

Процес передачі першого фрагмента в загальному випадку складається з обміну чотирма кадрами (пакетами рівня Radio Ethernet):

- запит на передачу (Request To Send - RTS);
- дозвіл на передачу (Clear To Send - CTS);
- фрагмент з заголовком - дані (DATA);
- підтвердження успішної передачі (Acknowledgement - ACK).

Ці фази обміну поділяються коротким часовим інтервалом  $t_0$ . При довжині фрагмента, меншою за деяку межу  $L_{\min}$ , кадри RTS і CTS не використовуються. Якщо станція протягом певного часу не отримує відповідні коректні кадри CTS і ACK (а також відразу по прийому переключених кадрів або кадрів, що відносяться до іншої станції), то вона вважає, що або сталася колізія, або останній переданий кадр біт спотворений, і переходить в стан відкладеної передачі, збільшуючи на одиницю свій лічильник колізій  $nc$  (при  $nc < nc_{\max}$ ). Після успішної передачі фрагмента (після отримання підтвердження) станція, через  $t_0$ , починає передачу наступного фрагмента. Передача наступних фрагментів пакета відрізняється лише тим, що при першій спробі не використовуються кадри RTS і CTS незалежно від довжини фрагмента. Після успішної передачі останнього фрагмента пакета станція переходить в стан відкладеної передачі, встановлюючи  $nc < nc_{\min}$ .

Станція починає передачу при виконанні наступних умов:

- минув відкладений час з моменту останньої передачі даної станції;
- ефір станції вільний протягом інтервалу затримки (рівної  $t_g$ , якщо останній прийнятий кадр не був спотвореним, або  $t_b$  - в іншому випадку);
- в черзі на передачу є готові пакети.

Під час вступу нового пакета в порожню чергу на передачу, станція або відразу починає передачу кадру RTS або DATA (якщо на момент надходження пакета ефір був вільний протягом інтервала затримки), або переходить в стан відкладеної передачі з  $nc < nc_{\min}$ .

Цей перехід в загальному випадку складається з двох фаз: очікування звільнення каналу (якщо він зайнятий) та інтервалу затримки. Якщо протягом цього інтервалу канал був вільний, то машина починає відлік відкладеного часу

tb-0 (інакше обидві фази переходу повторюються), що обчислюється за формулою:

$$tb-o = [(2n' - 1)R[O, 1]ts/ot, \quad (3.14)$$

де  $[2n']$  - ціла частина числа;

$R[O, 1]$  - випадкова величина, рівномірно розподілена на інтервалі  $[0,1]$ ;

tslot - певний фіксований відрізок часу, тобто середній відкладений час.

$$tb-o = (2n' - 1)tslot/2. \quad (3.15)$$

Відлік припиняється після отримання сигналу про зайнятість каналу і поновлюється тільки після інтервалу затримки з моменту звільнення каналу. Після закінчення відліку відкладеного часу машина що передає або відразу посилає кадр RTS (або DATA при довжині фрагмента менше  $L_{min}$ ), або простоює в очікуванні нового пакета (при порожній черзі на передачу).

Вищеописаний алгоритм справедливий для випадку успішної передачі всіх фрагментів прийнятого повідомлення. Якщо частина інформації спотворюється в каналі, то в дію вступає механізм повторної передачі, який полягає в наступному. При спотворенні будь-якого фрагмента в процесі передачі передавальна станція припиняє передачу і робить наступне:

- якщо лічильник колізій ще не досяг свого максимального значення ( $nc < nc_{max}$ ), то станція збільшує його на одиницю ( $nc = nc + 1$ );

- якщо  $nc = nc_{max}$ , то станція залишає це значення.

Потім станція знову починає відлік відкладеного часу (враховуючи нове значення  $nc$ ) і після закінчення відліку відновлює передачу з останнього переданого фрагмента. При спотворенні ще одного з наступних фрагментів станція знову задіє механізм повторної передачі і т.д. Тільки після успішної доставки останнього сегменту повідомлення станція скине свій лічильник колізій ( $nc = nc_{min}$ ) і буде чекати нового повідомлення.

Для підвищення надійності стеження за станом ефіру протокол Radio Ethernet поряд з реєстрацією «фізичної» зайнятості ефіру передбачає механізм відстеження «віртуальної» зайнятості. Для цього кадри містять поле передбачуваної тривалості передачі  $tnav$ :

- для кадру RTS значення  $t_{nav}$  дорівнює сумі часу передачі CTS, DATA і ACK;
- для CTS воно дорівнює сумі часу передачі DATA і ACK;
- для DATA  $t_{nav}$  дорівнює сумі часу передачі ACK даного фрагмента і DATA і ACK наступного фрагмента (якщо він є);
- для ACK значення  $t_{nav}$  дорівнює сумі часу передачі DATA і ACK наступного фрагмента.

Станція, яка прийняла не призначений їй кадр, зчитує з нього значення  $t_{nav}$  і вважає ефір «віртуально» зайнятим протягом відповідного інтервалу.

*Логічна структура переходів в процесі передачі і моделювання статистичних параметрів часу передачі повідомлення.* На підставі моделі, що описана вище, можна зобразити блок-схему переходів Radio Ethernet вузла між станами. Блок-схема побудована в припущенні, що відсутні фрагментація Radio Ethernet повідомлень і механізм запитів на передачу, оскільки саме такі налаштування Radio Ethernet ланки застосовувалися в експериментах [7].

Сьогодні стандартом IEEE 802.11n регламентуються наступні значення:  $t_s/t_o = 20$  мкс і  $5 < n > 10$ . Однак від реалізації до реалізації стандарту ці параметри можуть змінюватися.

На основі блок-схеми станів на фортрані була написана програма, що дозволяє чисельно моделювати статистику затримок при передачі даних в каналі Radio Ethernet. Вхідним параметром, що моделює фізичний стан системи, обрана BER. Структура потоку даних в рамках даної моделі може бути будь-яка. Розмір поля даних переданих сегментів в програмі можна змінювати в діапазоні від 0 до 231 біт, кількість випробувань - від 2 до 6106. Значення, що повертаються дозволяють встановити наступні статистичні характеристики:

- вид функції розподілу часу обходу;
- залежність моментів першого і другого порядків часу обходу від розміру сегмента даних і заданої бітової помилки.

Відповідно до обраної моделі повинно спостерігатися монотонне зростання дисперсії часу обходу від розміру поля даних переданих сегментів. Оскільки затримка визначається перед передачею сегмента, а параметр  $n$  збільшується при повторних передачах, розподіл часу обходу повинен мати багатомодовий характер: кожна мода відповідає своєю кількістю повторних передач, кількість мод - не більше 6, так як  $5 \sim n \sim 10$ . Кожна мода розподілу (в припущенні малої завантаженості каналу) повинна мати гауссовський профіль.

Співвідношення між амплітудами мод визначається BER і довжиною сегмента переданих даних. Можливе спостереження періодичної мікроструктури в функціях розподілу, оскільки квант часу при визначенні часу затримки передачі становить 20 мкс.

Таким чином, Radio Ethernet може значно спотворювати часову структуру потоків даних: механізм відгуку Radio Ethernet вузла на повідомлення, що приходить через радіо-інтерфейс, в даній реалізації не відпрацьований.

Оскільки Radio Ethernet вузол передає кожне повідомлення, що надійшло в одному кадрі рівня Radio Ethernet, можна визначити мінімальний і середній час передачі повідомлення. Якщо припустити, що повторні передачі відсутні, то середній час передачі повідомлення складається з [6]:

- власне часу передачі кадру і отримання підтвердження (для пакета з полем даних 48 байт воно дорівнює 580-590 мкс);
- випадкової затримки перед передачею (середнє значення якої при відсутності повторних передач становить 310 мкс).

Таким чином, отримуємо, що середній час передачі даного сегменту в каналі Radio Ethernet становить близько 900 мкс.

На рис. 3.3 показані залежність коефіцієнта і вільного члена лінійної апроксимації мінімального часу обходу.

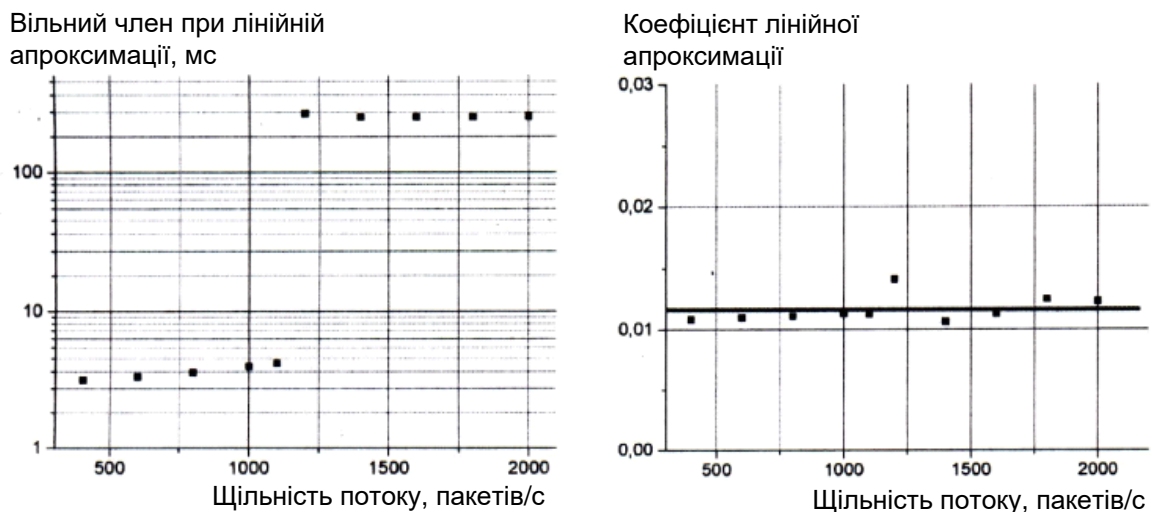


Рисунок 3.3 - Залежність коефіцієнта і вільного члена лінійної апроксимації мінімального часу обходу

Отже, інтегральна швидкість розвантаження буфера Radio Ethernet вузла приблизно дорівнює 1110 повідомлень/с. З цього випливає, що якщо частота

проходження сегментів даних перевищує швидкість розвантаження буфера Radio Ethernet вузла, то:

- з'являються втрати (якщо повідомлення приходить, а для його буферизації немає пам'яті, то воно знищується);

- різко зростає час обходу (якщо повідомлення приходить після моменту, коли буфер розвантажився на один сегмент, то воно займає місце цього останнього сегменту і буде передано лише після доставки всіх повідомлень, буферизованих перед ним).

Для потоку сегментів з полем даних в 48 байт граничне значення щільності становить 768 кбіт/с, що істотно менше встановленої пропускної спроможності радіотрас в 4,0 Мбіт/с. Це свідчить про неоптимальне використання ресурсів каналу даною реалізацією Radio Ethernet. Можливе рішення - збільшення Radio Ethernet кадру шляхом інкапсуляції в нього декількох сегментів даних проводового Ethernet. При перевищенні порога, крім привнесених вхідним радіомостом втрат, спостерігається істотне (50-ти кратне) зростання часу обходу каналу. Цей процес може призводити до помітних спотворень сеансів зі зворотним зв'язком, які адаптують щільність потоку до максимально можливої для використовуваного каналу (TCP-сеанси) [3].

Дисперсія часу передачі повідомлення в Radio Ethernet значно (в кілька разів) перевищує цей параметр в дротовому Ethernet і може істотно змінюватися в залежності від рівня радіосигналу. Це може негативно впливати на перебіг TCP-сеансів, чутливих до значних змін часу затримки на передачу повідомлення.

### 3.3 Оцінка ефективності зв'язку високочастотних хвиль

Навколо лінії прямої видимості двох трансиверів, можуть бути впливи на якість як позитивні, так і негативні. Всі перешкоди, що потрапляють всередині першої окружності, першої зони Френеля, надають найбільш негативний вплив [7].

Розглянемо точку, що знаходиться на прямому тракті між передавачем і приймачем, причому відстань від точки до передавача дорівнює  $S$ , а відстань від точки до приймача рівна  $D$ , тобто відстань між передавачем і приймачем буде  $S + D$ . На рис. 3.4 показаний тракт прямої видимості передавач-приймач.

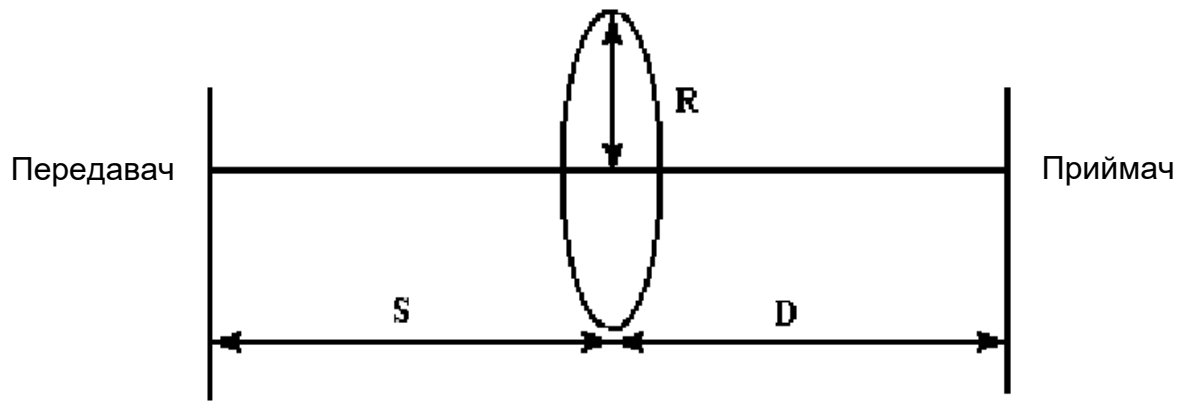


Рисунок 3.4 - Тракт прямої видимості передавач приймач

Обчислимо радіус першої зони Френеля в цій точці за формулою [2]:

$$R = \sqrt{\frac{\lambda SD}{S + D}}, \quad (3.16)$$

де  $R$ ,  $S$  і  $D$  вимірюються в одних і тих же одиницях, а  $\lambda$  позначає довжину хвилі сигналу вздовж тракту.

Для зручності формулу можна переписати таким чином:

$$R_M = 17,3 \sqrt{\frac{1}{f} \frac{SD}{S + D}}, \quad (3.17)$$

де  $R$ ,  $S$  і  $D$  - відстань між двома точками доступу рівна 150 м,  
 $f$  - частота сигналу - 2,4 ГГц.

Тоді радіус першої зони Френеля в точці, розташованій посередині між трансиверами, дорівнює:

$$R_M = 17,3 \sqrt{\frac{1}{2,4} \frac{0,0056}{0,75 + 0,75}} = 2,16 \text{ м.}$$

Було встановлено, що якщо всередині кола, радіус якої становить приблизно 0,6 радіуса першої зони Френеля, проведеної навколо будь-якої точки між двома точками доступу, немає ніяких перешкод, то загасанням сигналу, обумовленим наявністю перешкод, можна знехтувати. Однією з таких

перепон є земля. Отже, висота двох антен повинна бути такою, щоб уздовж тракту не було жодної точки, відстань від якої до землі було б менше, ніж 0,6 першої зони Френеля [9].

Визначимо, як рослинність впливає на пряму видимість між передавачем і приймачем.

Частина тракту каналу зв'язку може проходити крізь рослинність, здебільшого через листя високих дерев. Проведене дослідження привело до наступних висновків:

- наявність дерев поблизу місця розташування абонента може привести до завмирання внаслідок багатопроменевого поширення;
- основними багатопроменевими ефектами, до яких призводить наявність листяного покриву, є дифракція і розсіювання;
- ефекти багатопроменевого поширення знаходяться у сильній залежності від вітру.

Таким чином, при установці високочастотних систем для кожного абонента потрібно постаратися, щоб в 60 відсотків першої зони Френеля не було листя. У таблиці 3.1 показані робочі канали.

Таблиця 3.1 - Робочі канали

Номер каналу	Центральна частота спектра	Спектр частот, які займаються, МГц. Європа
1	2401-2423	2412
2	2406-2428	2417
3	2411-2433	2422
4	2416-2438	2427
5	2421-2443	2432
6	2426-2448	2437
7	2431-2453	2442
8	2436-2458	2447
9	2441-2463	2452
10	2446-2468	2457
11	2451-2473	2462
12	2456-2478	2467
13	2461-2483	2472
14	2473-2495	-

На рис. 3.5 показана схема, що відображає ефекти багатопроменевого поширення.

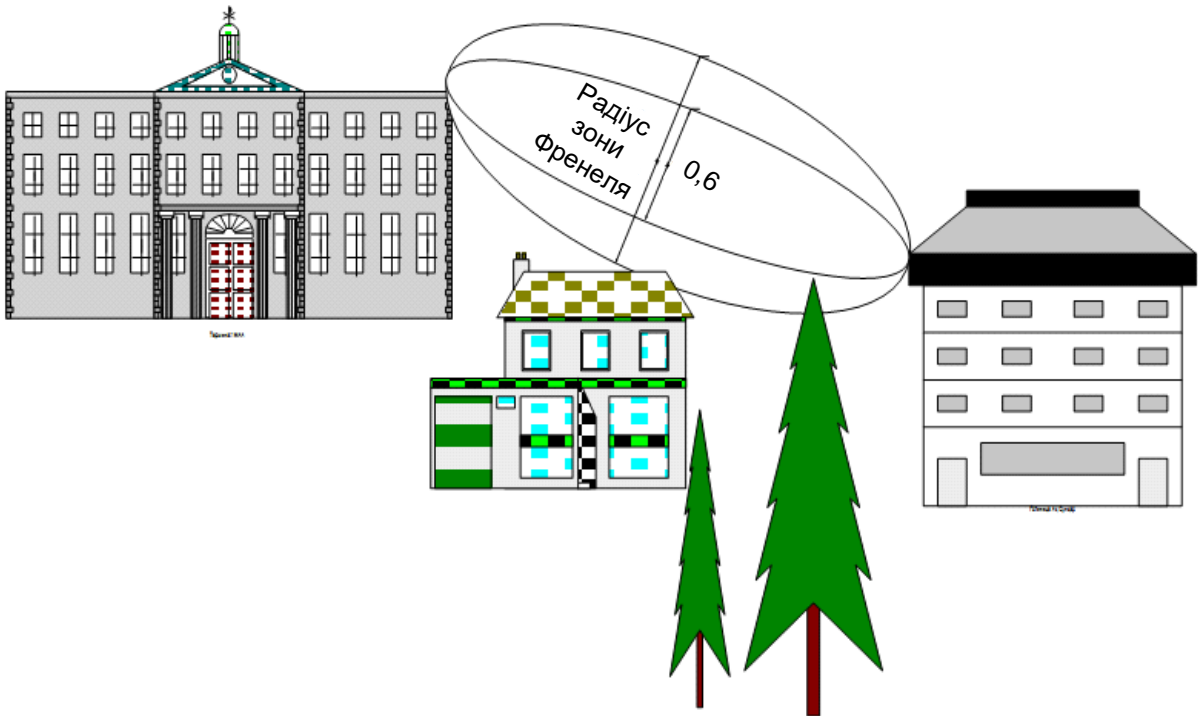


Рисунок 3.5 - Ефект багатопроменевого поширення сигналів

### 3.4 Розрахунок ефективної ізотропної випромінюваної потужності

Ефективна ізотропна випромінювана потужність визначається за формулою:

$$EIRP = P_{\text{ПРД}} - W_{\text{АФТ}_{\text{ПРД}}} + G_{\text{ПРД}}, \quad (3.18)$$

де  $P_{\text{ПРД}}$  - вихідна потужність передавача, дБм;

$W_{\text{АФТ}_{\text{ПРД}}}$  - втрати сигналу в АФТ передавача, дБ;

$G_{\text{ПРД}}$  - підсилення антени передавача, дБі.

Розрахунок ефективної ізотропної випромінюваної потужності для точок доступу при установці антени з коефіцієнтом підсилення 24 дБі.

Вихідні дані представлені в таблиці 3.4.

За формулою (3.3) на рис. 3.6 розрахована ефективність ізотропної випромінюваної потужності:

Таблиця 3.2 - Вихідні дані

Позначення	Найменування	Значення
$P_{\text{ПРД}}$	вихідна потужність СВЧ - модуля, дБм	15
$G_{\text{ПРД}}$	коефіцієнт підсилення антени, дБі	24
$W_{\text{АФТПРД}}$	втрати сигналу в АФТ передавача, дБ	4,35

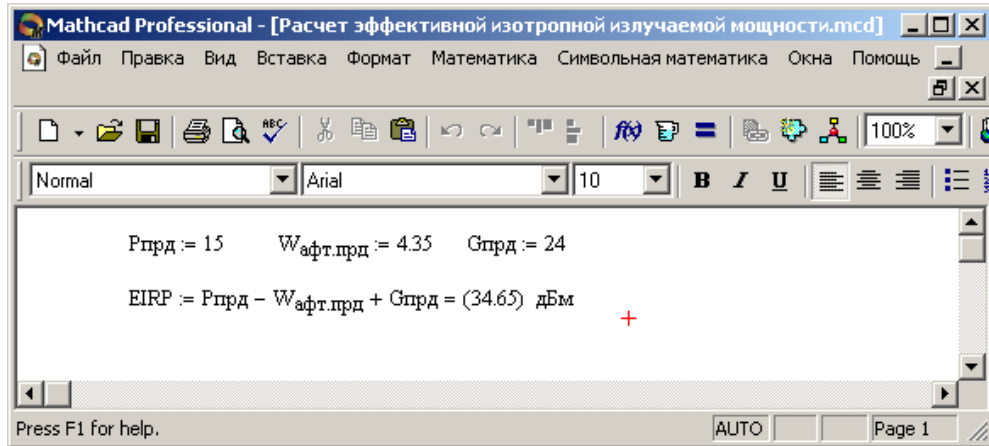


Рисунок 3.6 - Розрахунок ефективності ізотропної випромінюваної потужності

Розрахунок ефективної ізотропної випромінюваної потужності для абонентського терміналу.

Вихідні дані представлені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.3 - Вихідні дані

Позначення	Найменування	Значення
$P_{\text{ПРД}}$	вихідна потужність СВЧ - модуля, дБм	15
$G_{\text{ПРД}}$	коефіцієнт підсилення антени, дБі	16
$W_{\text{АФТПРД}}$	втрати сигналу в АФТ передавача, дБ	2,34

За формулою (3.18) на рис. 3.7 розрахована ефективність ізотропної випромінюваної потужності.

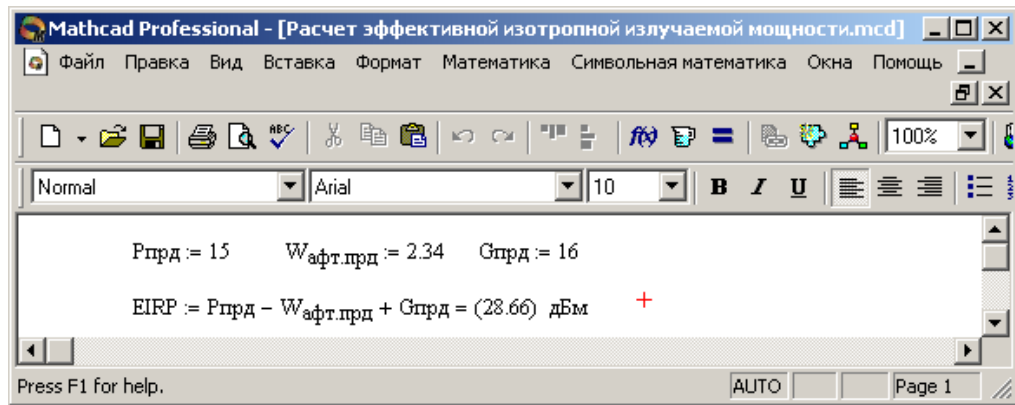


Рисунок 3.7 - Розрахунок ефективності ізотропної випромінюваної потужності

### 3.5 Розрахунок сумарного підсилення радіосистеми

Для того щоб визначити сумарне підсилення радіосистеми необхідно знати наступні параметри [2]:

- вихідна потужність передавача;
- чутливість приймального тракту віддаленої точки;
- коефіцієнти підсилення антен передавача і приймача;
- коефіцієнти підсилення підсилювачів (при їх наявності).

Вихідні дані для розрахунку сумарного підсилення радіосистеми представлені в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 - Вихідні дані

Позначення	Найменування	Значення
$W_{\text{АФТпрд}}$	Втрати сигналу в АФТ для точки №1, дБ	3.43
$W_{\text{АФТпрм}}$	Втрати сигналу в АФТ для точки №2, дБ	2.34
$W_{\text{O}}$	Втрати при розповсюдженні радіохвиль, дБм	86.22
$G_{\text{ПРД1}}$	Підсилення антени для точки №1, дБі	24
$G_{\text{ПРМ2-прд}}$	Підсилення антени для точки №2, дБі	16
$P_{\text{ПРД1}}$	Вихідна потужність СВЧ-модуля для точки №1, дБм	15
$P_{\text{ПРМ2}}$	Чутливість СВЧ-модуля для точки №2, дБм	15

Сумарне підсилення радіосистеми обчислюється за формулою:

$$G_{\Sigma} = P_{\text{прд}} - P_{\text{прм}} + G_{\text{прд}} + G_{\text{прм}}, \quad (3.19)$$

де  $P_{\text{прд}}$  - вихідна потужність радіопередавача, дБм;

$P_{\text{прм}}$  -чувствітьельность приймача, дБм;

$G_{\text{прд}}$  - підсилення антени передавача, дБі;

$G_{\text{прм}}$  - підсилення антени приймача, дБі.

За формулою (3.19) на рис. 3.8 розраховано сумарне підсилення радіосистеми.

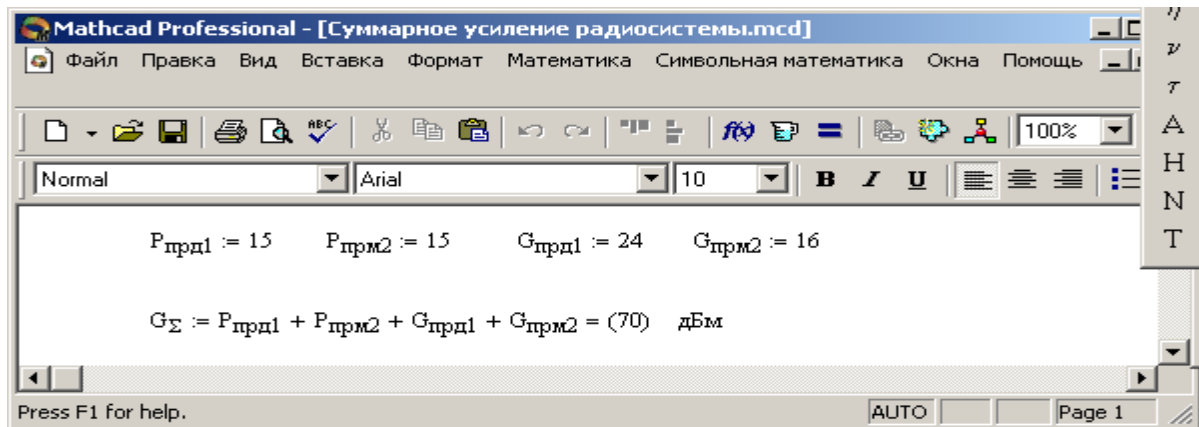


Рисунок 3.8 - Розрахунок сумарне підсилення радіосистеми

### 3.6 Розрахунок зони дії сигналу

3.6.1 Розрахунок дальності роботи бездротового каналу зв'язку за графіком

Дана методика дозволяє визначати теоретичну дальність роботи бездротового каналу зв'язку, що будується на обладнанні стандартів з частотами 2,4 ГГц та 5ГГц. Відзначимо, що відстань між антенами, що отримується по формулі - теоретично максимально досяжна, а з урахуванням безлічі факторів що впливають на бездротовий зв'язок, отримати таку дальність роботи, особливо в межах міста, практично неможливо. Таким чином рекомендовано обирати дальність роботи на 10-15% меншою від теоретичного максимуму.

Для визначення дальності зв'язку необхідно розрахувати сумарне підсилення тракту і за графіком (рис.3.9) визначити відповідну цьому значенню дальність. Підсилення тракту в дБ визначається за формулою [6]:

$$Y_{\text{дБ}} = P_{t,\text{дБ}} + G_{t,\text{дБ}} + G_{r,\text{дБ}} - P_{\text{min},\text{дБ}} - L_{t,\text{дБ}} - L_{r,\text{дБ}} \quad (3.20)$$

де  $P_{t,\text{дБ}}$  - потужність передавача;

$G_{t,\text{дБ}}$  - коефіцієнт підсилення передавальної антени;

$G_{r,\text{дБ}}$  - коефіцієнт підсилення приймальної антени;

$P_{\text{min},\text{дБ}}$  - реальна чутливість приймача;

$L_{t,\text{дБ}}$  - втрати сигналу в коаксіальному кабелі і роз'ємах передавального тракту;

$L_{r,\text{дБ}}$  - втрати сигнал в коаксіальному кабелі і роз'ємах приймального тракту.

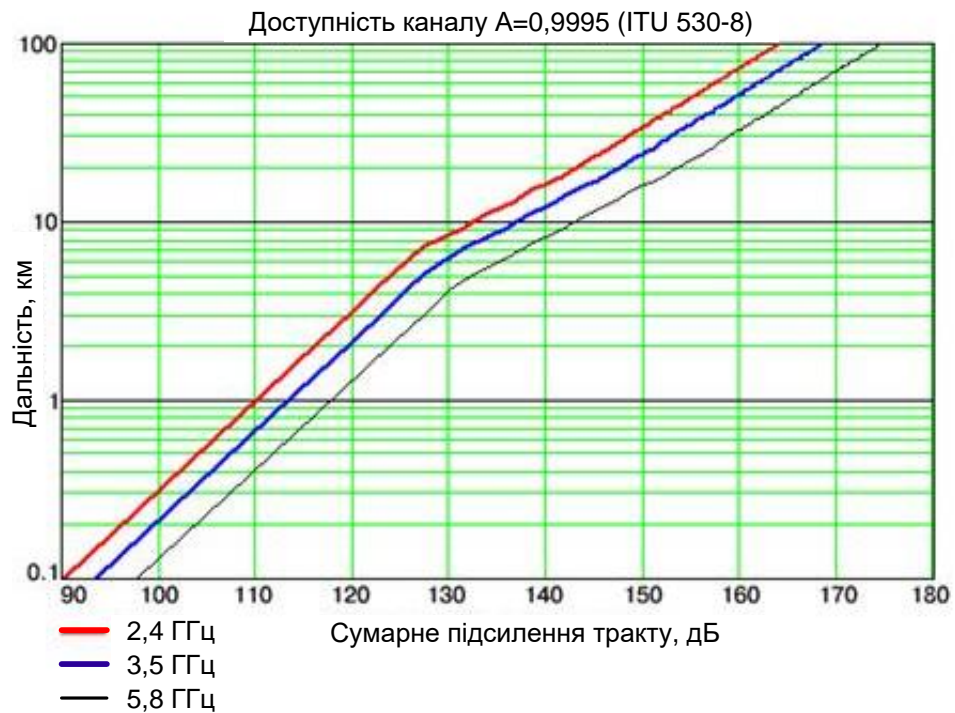


Рисунок 3.9 - Дальність роботи бездротового каналу зв'язку

Розберемо кожен параметр на прикладі:

$P_{t,\text{дБ}}$  - потужність передавача - потужність бездротової точки доступу або адаптера в дБмВт. Ця інформація береться в специфікації на обладнання.

$G_{t,\text{дБ}}$  - коефіцієнт підсилення передавальної антени (дБі). D-LINK пропонує антени для зовнішнього і внутрішнього використання від 4 до 21 дБі. (В нашому випадку складає 8,5 дБі).

$G_{r,\text{дБ}}$  - коефіцієнт підсилення приймальної антени. Теж що і  $G_{t,\text{дБ}}$  але "на іншій стороні" радіолінії.

$P_{min, \text{дБ}}$  - чутливість приймача, яку також можна знайти в специфікації на обладнання. Вона залежить від швидкості, на якій працює обладнання та задається зі знаком «мінус».

$L_{t, \text{дБ}}$ ,  $L_{r, \text{дБ}}$  - втрати в коаксіальному кабелі і роз'ємах приймального та передавального тракту. Розрахувати втрати можна наступним чином: наприклад кабель має загасання 0,24 дБ/м тобто при 10-метровій довжині кабелю згасання в ньому складе 2,4 дБ. Також слід додати до втрат по  $\sim 0,5 - 1,5$  дБ на кожен роз'єм (залежить від конкретного типу та виробника). Разом 10-метровий кабель між антеною та точкою доступу буде мати втрати  $2,4 + 2 * 1,5 = 5,4$  дБ.

Оскільки відстань між точками доступу однакова, розрахуємо втрати між двома точками. Ми обрали для нашої мережі дві точки доступу DWL-7100AP та дві широконаправлені антени ANT24-0801; кожна точка підключається до своєї антени 10-метровим кабелем, тоді втрати в кожному напрямку:

$$P_{t, \text{дБ}} = 25 \text{ дБмВт}; G_{t, \text{дБ}} = 8,5 \text{ дБі}; G_{r, \text{дБ}} = 8,5 \text{ дБі}; P_{min, \text{дБ}} = -66 \text{ дБмВт}; \\ L_{t, \text{дБ}} = 5,4 \text{ дБ}; L_{r, \text{дБ}} = 5,4 \text{ дБ};$$

Звідси

$$Y_{\text{дБ}} = P_{t, \text{дБ}} + G_{t, \text{дБ}} + G_{r, \text{дБ}} - P_{min, \text{дБ}} - L_{t, \text{дБ}} - L_{r, \text{дБ}} = 25 + 8,5 + 8,5 - (-66) - 5,4 - 5,4 = 97,2 \text{ дБ}.$$

За графіком (червона крива для 2,4 GHz) визначаємо відповідну цьому значенню дальність. Отримуємо дальність рівну  $\sim 300$  метрам.

Було проведено розрахунок для швидкості 54 Mbps.

При швидкості 1 Mbps:

$$P_{min, \text{дБ}} = -89 \text{ дБмВт};$$

тоді:

$$Y_{\text{дБ}} = P_{t, \text{дБ}} + G_{t, \text{дБ}} + G_{r, \text{дБ}} - P_{min, \text{дБ}} - L_{t, \text{дБ}} - L_{r, \text{дБ}} = 25 + 8,5 + 8,5 - (-89) - 5,4 - 5,4 = 120,2 \text{ дБ}.$$

За графіком (червона крива для 2,4 GHz) визначаємо відповідну цьому значенню дальність. Отримуємо дальність рівну  $\sim 3000$  метрів.

Розрахуємо сумарне підсилення тракту для комп'ютерів, що знаходяться в офісах. Будемо вважати, що кабінети розташовані симетрично відносно точки доступу, яка підключається до сервера. Перешкодою є залізні двері, згасання від них рівне 7 дБ, по таблиці 3.1. Тоді втрати в кожному напрямку:

$$P_{t,\text{дБ}} = 25 \text{ дБмВт}; G_{t,\text{дБ}} = 8,5 \text{ дБі}; G_{r,\text{дБ}} = 4 \text{ дБі}; P_{\text{min},\text{дБ}} = -66 \text{ дБмВт}; \\ L_{t,\text{дБ}} = 5,4 \text{ дБ}; L_{r,\text{дБ}} = 1 \text{ дБ};$$

Звідси

$$Y_{\text{дБ}} = P_{t,\text{дБ}} + G_{t,\text{дБ}} + G_{r,\text{дБ}} - P_{\text{min},\text{дБ}} - L_{t,\text{дБ}} - L_{r,\text{дБ}} = 25 + 8,5 + 4 - (-66) - 5,4 - 1 = 97,1 \text{ дБ}.$$

За графіком (червона крива для 2,4 GHz) визначаємо відповідну цьому значенню дальність. Отримуємо дальність рівну  $\sim 300$  метрам.

Розрахунок для швидкості 54 Mbps.

При швидкості 1 Mbps :

$$P_{\text{min},\text{дБ}} = -89 \text{ дБмВт};$$

тоді:

$$Y_{\text{дБ}} = P_{t,\text{дБ}} + G_{t,\text{дБ}} + G_{r,\text{дБ}} - P_{\text{min},\text{дБ}} - L_{t,\text{дБ}} - L_{r,\text{дБ}} = 25 + 8,5 + 4 - (-89) - 5,4 - 1 = 119,6 \text{ дБ}.$$

За графіком (червона крива для 2,4 GHz) визначаємо відповідну цьому значенню дальність. Отримуємо дальність рівну  $\sim 3000$  метрів.

3.6.2 Розрахунок дальності роботи бездротового каналу зв'язку за формулою

Без виведення наведемо формулу для розрахунку дальності. Вона береться з інженерної формули розрахунку втрат у вільному просторі:

$$FSL = 33 + 20(\lg F + \lg D)$$

де  $FSL$  (free space loss) - втрати у вільному просторі (дБ);

$F$  - центральна частота каналу на якому працює система зв'язку (МГц);

$D$  - відстань між двома точками (км).

$FSL$  визначається сумарним підсиленням системи. Воно вираховується наступним чином:

Сумарне підсилення = Потужність передавача (дБмВт) + | Чутливість приймача (- дБмВт) (по модулю) | + Коеф. підсилення антени передавача + Коеф. підсилення антени приймача - згасання в антенно-фідерному тракті передавача - згасання в антенно-фідерному тракті приймача - SOM.

Для кожної швидкості приймач має певну чутливість. Для невеликих швидкостей (наприклад, 1-2 мегабіта) чутливість найвища: від -90 дБмВт до -94 дБмВт. Для високих швидкостей, чутливість набагато менше.

Залежно від марки радіо-модулів максимальна чутливість може трохи варіюватися.

SOM (System Operating Margin) - запас в енергетиці радіозв'язку (дБ). Враховує можливі фактори, що негативно впливають на дальність зв'язку, такі як:

- температурний дрейф чутливості приймача і вихідної потужності передавача;
- всілякі погодні аномалії: туман, сніг, дощ;
- неузгодженість антени, приймача, передавача з антенно-фідерним трактом.

Параметр SOM обирається рівним 15 дБ. Вважається, що 15-ти децибельний запас при підсиленні достатній для інженерного розрахунку.

Центральна частота каналу  $F$  береться з таблиці 3.5.

В результаті отримаємо формулу дальності зв'язку:

$$D = 10^{\left(\frac{FSL - 33}{20} - \lg F\right)} \quad (3.21)$$

$$D = 0,15 \text{ km} = 150 \text{ м.}$$

Таблиця 3.5 - Обчислення середньої частоти

Канал	Центральна частота (МГц)
1	2412
2	2417
3	2422
4	2427
5	2432
6	2437
7	2442
8	2447
9	2452
10	2457
11	2462
12	2467
13	2472
14	2484

## ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі було зроблено обґрунтування впровадження бездротової мережі зв'язку на базі технології Wi-Fi в готельному комплексі.

Завданням роботи була побудова мережі бездротового доступу (Wi-Fi) в готельному комплексі з установкою 19 точок доступу за технологією Wi-Fi Mesh для надання послуг SIP-телефонії та Інтернет. У проект було закладено 20 терміналів для надання SIP-телефонії.

В роботі був зроблений аналіз різних технологій бездротового доступу та основних стандартів, які використовуються при створенні бездротових Mesh мереж. У технічній частині роботи розглянуто варіант побудови мережі бездротового доступу з установкою точок доступу зовнішнього та внутрішнього використання для з'єднання між собою. Зображено план-схему фізичного розташування точок доступу. Проведено розрахунки необхідних параметрів бездротової мережі.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Беспроводный абонентский доступ абонентских линий справочник, по подвижной наземной связи (включая беспроводный доступ)/Сост.: Роберт У. Джонс – МСЭ Сектор радиосвязи, 2006.
2. Мясковский Г.М. Системы производственной радиосвязи: Справочник. – М.: Связь, 2003.
3. Корнышев Ю.Н., Фань Г.Л. Теория распределения информации: Учебное пособие. – М.: Радио и связь, 2005.
4. Громаков Ю.А. Стандарты и системы подвижной радиосвязи. – М.: Эко-Трендз Ко, - 2007.
5. Безопасность беспроводных сетей / М. Максим, Д. Поллино – Компания Ай Ти; ДМК Пресс, 2004.
6. Феер К. Беспроводная цифровая связь / Пер. с англ.; Под ред. В.И. Журавлева. – М.: Радио и Связь, 2000.
7. Савостицкий Ю.А. Простые формулы для оценки числа требуемых каналов и вероятности потери вызова // Электросвязь. – №8. – 2001.
8. Дейв Молта. Положение дел в индустрии беспроводных ЛВС // Сети и системы связи. - №11. – 2004.
9. Дейв Молта. Развитие БЛВС // Сети и системы связи. - №1. – 2004.
10. Дейв Молта. Звезды Wi-Fi // Сети и системы связи. - №11. – 2004.
11. Джесси Линдеман. Проектирование и тестирование беспроводной ЛВС // Сети и системы связи. - №6. – 2004.
12. Питер Рисеви. Беспроводной рай. // Сети и системы связи. - №14. – 2002.
13. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети: принципы, технологии, протоколы. – С-П.:Питер, 2001
14. Звезды Wi-Fi. Электронная версия на сайте <http://www.comquest.ru>
15. Описание системы WI-FI, электронная версия на сайте <http://www.wi-fi.com>
16. Архитектура и проектирование беспроводных сетей [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа до ресурсу: [http://antihackers.ru/index.php?option=com\\_content&view=category&id=4&Itemid=5](http://antihackers.ru/index.php?option=com_content&view=category&id=4&Itemid=5)

17. CISCO Internetworking Technology Overview / пер. В. Плешакова [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <http://lib.mexmat.ru/books/85359>.

18. CISCO Internetworking Technology Handbook [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.cisco.com/en/US/docs/internetworking/technology/handbook/Bridging-Basics.html>.

19. IEEE Standard for Information technology-Telecommunications and information exchange between systems-Local and metropolitan area networks-Specific requirements — Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11-2007.pdf>.

20. Харченко Н.А. Аналіз можливостей адаптивного алгоритму маршрутизації у бездротових мережах передачі даних / Н.А. Харченко, М.О. Ємець // тези доповідей одинадцятої міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління» 8-9 квітня 2021 року., Харків, Т1 секції 1,2, С. 92.