

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ КОМП'ЮТЕРНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ ТА МЕРЕЖ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач кафедри  
комп'ютерних систем та мереж

\_\_\_\_\_ Ігор ЖУКОВ  
“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА  
РОБОТА  
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

**ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВР**

**Тема:** «Комп'ютерна мережа підприємства з Wi-Max сегментом» \_\_\_\_\_

**Виконавець:** \_\_\_\_\_ Владислав МАКСИМЧУК  
(підпис)

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Юрій ПУШКІН  
(підпис)

**Нормоконтролер:** \_\_\_\_\_ Сергій ЖУРАВЕЛЬ  
(підпис)

**Київ 2023**

# НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет комп'ютерних інформаційних технологій

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

комп'ютерних систем та мереж

Ігор ЖУКОВ

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 р.

## ЗАВДАННЯ

### на виконання кваліфікаційної роботи

Максимчука Владислава Олександровича

(прізвище, ім'я, по батькові випускника в родовому відмінку)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Комп'ютерна мережа підприємства з Wi-Max сегментом»

затверджена наказом ректора від «26» квітня 2023 р. № 591/ст

2. Термін виконання роботи: з 22.05.2023 р. по 25.06.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: аналіз технологій та стандартів сучасних комп'ютерних мереж; вибір оптимального Wi-Max обладнання для комп'ютерної мережі підприємства; розрахунок параметрів мережі Wi-Max; вибір технологій з'єднань; рекомендації щодо впровадження Wi-Max сегмента у комп'ютерну мережу підприємства

4. Зміст пояснювальної записки: аналіз технологій та стандартів сучасних мереж; вибір оптимального Wi-Max обладнання; розробка сегменту мережі з Wi-Max технологією

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: слайди презентації в програмному пакеті Microsoft PowerPoint

## 6. Календарний план-графік

| № пор. | Завдання                                                      | Термін виконання          | Відмітка про виконання |
|--------|---------------------------------------------------------------|---------------------------|------------------------|
| 1      | Розробити деталізований зміст розділів кваліфікаційної роботи | 22.05.2023-<br>24.05.2023 | Виконано               |
| 2      | Вступ                                                         | 25.05.2023                | Виконано               |
| 3      | АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ТА СТАНДАРТІВ СУЧАСНИХ МЕРЕЖ                | 26.05.2023-<br>28.05.2023 | Виконано               |
| 4      | ВИБІР ОПТИМАЛЬНОГО WI-MAX ОБЛАДНАННЯ                          | 29.05.2023-<br>02.06.2023 | Виконано               |
| 5      | РОЗРОБКА СЕГМЕНТУ МЕРЕЖІ З WI-MAX ТЕХНОЛОГІЄЮ                 | 03.06.2023-<br>07.06.2023 | Виконано               |
| 6      | Усунення недоліків та захист кваліфікаційної роботи           | 08.06.2023-<br>20.06.2023 | Виконано               |

7. Дата видачі завдання: “22” травня 2023 р.

Керівник кваліфікаційної роботи

\_\_\_\_\_ (підпис керівника)

Юрій ПУШКІН

(П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання

\_\_\_\_\_ (підпис випускника)

Владислав МАКСИМЧУК

(П.І.Б.)

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота «Комп'ютерна мережа підприємства з Wi-Max сегментом» містить 63 сторінки, 15 рисунків, 1 таблиця, 20 використаних джерел.

СТАНДАРТ, ТЕХНОЛОГІЯ, БАЗОВА СТАНЦІЯ, ДЖИТТЕР, WI-MAX, LTE, WI-FI, АТАКА, ЗАХИСТ, ПАРАМЕТРИ.

Об'єкт дослідження – технологія Wi-Max та її можливості в контексті побудови комп'ютерних мереж підприємства.

Предмет дослідження – взаємодія Wi-Max сегмента з іншими компонентами мережі, такими як провідні мережі, бездротові підмережі, сервери та робочі станції.

Мета кваліфікаційної роботи – вивчення та аналіз комп'ютерної мережі підприємства з використанням Wi-Max сегмента.

Метод дослідження – аналіз реальних випадків застосування Wi-Max мереж у підприємствах; аналіз передачі даних, якості зв'язку та продуктивності мережі.

Матеріали кваліфікаційної роботи рекомендується використовувати при впровадженні Wi-Max технології в комп'ютерну мережу підприємства. Це дозволить забезпечити ефективну і успішну імплементацію мережі з використанням Wi-Max технології. Також, дослідження дозволить оцінити продуктивність, швидкість передачі даних, якість зв'язку та загальну ефективність комп'ютерної мережі з Wi-Max сегментом. Ці дані допоможуть підприємству визначити переваги та можливі обмеження даної технології, а також прийняти рішення щодо її використання.

## ЗМІСТ

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ .....                                                  | 7  |
| ВСТУП.....                                                                       | 9  |
| РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ТА СТАНДАРТІВ СУЧАСНИХ МЕРЕЖ .....                    | 12 |
| 1.1. Основні принципи та характеристики комп'ютерних технологій .....            | 12 |
| 1.1.1. Максимальна пропускна здатність .....                                     | 12 |
| 1.1.2. Основні властивості джиттеру .....                                        | 13 |
| 1.2. Інструменти та засоби вимірювання смуги пропуску .....                      | 13 |
| 1.2.1. Інструмент Iperf .....                                                    | 13 |
| 1.2.2. Утиліта ABGET .....                                                       | 14 |
| 1.2.3. Інструмент PATHLOAD .....                                                 | 15 |
| 1.2.4. Утиліта SpeedTest .....                                                   | 16 |
| 1.2.5. Утиліта Psiber Pinger Plus .....                                          | 18 |
| 1.3. Основні характеристики технології Wi-Max .....                              | 20 |
| 1.3.1. Переваги лінії Wi-Max.....                                                | 23 |
| 1.3.2. Режими роботи мережі Wi-Max .....                                         | 25 |
| 1.3.3. Принцип роботи мережі Wi-Max .....                                        | 26 |
| 1.4. Схожі технології Wi-Max сегменту .....                                      | 29 |
| 1.4.1. Порівняння технологій LTE і WiMAX .....                                   | 30 |
| РОЗДІЛ 2 ВИБІР ОПТИМАЛЬНОГО WI-MAX ОБЛАДНАННЯ.....                               | 37 |
| 2.1. Мережеві пристрої Wi-MAX.....                                               | 37 |
| 2.2. Бездротовий пристрій BreezeMax від Alvarion.....                            | 38 |
| 2.3. Особливості та основні принципи встановлення базової станції Breeze-Max ... | 41 |
| 2.4. Особливості абонентської станції Wi-Max .....                               | 44 |
| 2.5. Забезпечення безпеки інформації.....                                        | 46 |
| РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА СЕГМЕНТУ МЕРЕЖІ З WI-MAX ТЕХНОЛОГІЄЮ.....                      | 49 |
| 3.1. Розрахунок параметрів мережі Wi-MAX .....                                   | 49 |
| 3.1.1. Розрахунок зони покриття базової станції .....                            | 49 |
| 3.1.2. Розрахунок кількості базових станцій (Node B).....                        | 54 |

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1.3. Кількість абонентів, які використовують одну базову станцію..... | 56 |
| 3.1.4. Розрахунок пропускної здатності мережі мобільного Wi-MAX.....    | 56 |
| 3.2. Оцінка переваг та недоліків використання Wi-Max .....              | 58 |
| ВИСНОВКИ.....                                                           | 60 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....                                        | 62 |

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

|        |   |                                                   |
|--------|---|---------------------------------------------------|
| Wi-Max | - | Worldwide Interoperability for Microwave Access   |
| LTE    | - | Long-Term Evolution                               |
| TCP    | - | Transmission Control Protocol                     |
| UDP    | - | User Datagram Protocol                            |
| SCTP   | - | Stream Control Transmission Protocol              |
| IP     | - | Internet Protocol                                 |
| HTTP   | - | HyperText Transfer Protocol                       |
| HTTPS  | - | HyperText Transfer Protocol Secure                |
| DHCP   | - | Dynamic Host Configuration Protocol               |
| LAN    | - | Local Area Network                                |
| WAN    | - | Wide Area Network                                 |
| MAC    | - | Media Access Control                              |
| IEEE   | - | Institute of Electrical and Electronics Engineers |
| Wi-Fi  | - | Wireless Fidelity                                 |
| DSL    | - | Digital Subscriber Line                           |
| OFDMA  | - | Orthogonal Frequency Division Multiple Access     |
| QoS    | - | Quality of Service                                |
| SC     | - | Subcarrier                                        |
| QPSK   | - | Quarter Phase Shift Keying                        |
| 16QAM  | - | Quadrature Amplitude Modulation                   |
| VoIP   | - | Voice over Internet Protocol                      |
| IP TV  | - | Internet Protocol Television                      |
| MBS    | - | Multicast and Broadcast Service                   |
| OHH    | - | Optimized Hard Handoff                            |
| TDD    | - | Time Division Duplex                              |
| HARQ   | - | Hybrid Automatic Repeat Request                   |
| HSPA   | - | High-Speed Downlink Packet Access                 |

|      |   |                                   |
|------|---|-----------------------------------|
| MIMO | - | Multiple Input Multiple Output    |
| FDD  | - | Frequency Division Duplex         |
| CDMA | - | Code Division Multiple Access     |
| VLAN | - | Virtual Local Area Network        |
| AES  | - | Advanced Encryption Standard      |
| MCS  | - | Modulation and Coding Scheme      |
| ШБД  | - | Широкосмуговий Бездротовий Доступ |
| БС   | - | Базова Станція                    |



## ВСТУП

**Актуальність теми.** У сучасному світі, де інформаційні технології займають центральне місце в бізнес-процесах, підприємства шукають нові та ефективні способи побудови комп'ютерних мереж для задоволення своїх потреб у зв'язку та обміні даними. Завдяки широкому розповсюдженню мобільних пристроїв, зростанню обсягу даних та потреби в бездротовому зв'язку, технологія Wi-Max стає актуальною та перспективною альтернативою для побудови комп'ютерних мереж у підприємствах.

Однією з головних переваг Wi-Max є його широкосмуговий зв'язок, який дозволяє забезпечити високу швидкість передачі даних та покриття на значній відстані. Це особливо важливо для підприємств, які мають розподілені підрозділи або велику площу покриття. Wi-Max також забезпечує надійну та безперервну роботу мережі навіть в умовах високого навантаження та густозаселених районах.

Крім того, Wi-Max технологія дозволяє підприємствам заощадити кошти на проведення кабельних робіт, оскільки вона базується на бездротовому зв'язку. Це робить її особливо привабливою для малих та середніх підприємств з обмеженими фінансовими ресурсами, а також для галузей, де швидкий та мобільний зв'язок є критичним, наприклад, логістика, транспорт, туризм тощо.

Враховуючи вищезазначені фактори, актуальність дослідження комп'ютерних мереж підприємства з Wi-Max сегментом є очевидною. Вивчення та практична реалізація цієї технології може допомогти підприємствам оптимізувати свої комунікаційні процеси, підвищити продуктивність та забезпечити конкурентні переваги на ринку.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

**Мета і завдання дослідження.** Метою даної дипломної роботи є вивчення та аналіз комп'ютерної мережі підприємства з використанням Wi-Max сегмента. Головною метою є встановлення ефективності та придатності Wi-Max технології для побудови комп'ютерних мереж у підприємственому середовищі. Серед завдань дослідження можна відмітити наступні:

- Вивчити теоретичні основи Wi-Max технології, її принципи роботи та можливості в контексті побудови комп'ютерних мереж.
- Дослідити наявні технології комп'ютерних мереж у підприємстві та оцінити їх ефективність та недоліки.
- Розробити концепцію комп'ютерної мережі з використанням Wi-Max сегмента, враховуючи потреби та вимоги підприємства.
- Оцінити ефективність використання Wi-Max технології у побудові комп'ютерної мережі підприємства з погляду швидкості передачі даних, покриття, надійності та безпеки.
- Запропонувати рекомендації та висновки щодо використання Wi-Max технології для побудови комп'ютерних мереж у підприємственому середовищі, враховуючи отримані результати дослідження.

**Об'єктом дослідження** – є технологія Wi-Max та її можливості в контексті побудови комп'ютерних мереж підприємства.

**Предметом дослідження** – є взаємодія Wi-Max сегмента з іншими компонентами мережі, такими як провідні мережі, бездротові підмережі, сервери та робочі станції.

**Методи досліджень.** Аналіз реальних випадків застосування Wi-Max мереж у підприємствах. Цей метод дозволяє дослідити конкретні випадки успішної імплементації та використання Wi-Max технології у практичних умовах; Проведення спостережень за роботою комп'ютерної мережі підприємства з Wi-Max сегментом, аналізування передачі даних, якості зв'язку та продуктивності. Цей метод дозволяє отримати практичні дані про реальні умови функціонування мережі.

#### **Практичне значення отриманих результатів.**

На основі проведеного дослідження можна розробити рекомендації та стратегію впровадження Wi-Max технології в комп'ютерну мережу підприємства. Це дозволить забезпечити ефективну і успішну імплементацію мережі з використанням Wi-Max технології. Також, дослідження дозволить оцінити продуктивність, швидкість передачі даних, якість зв'язку та загальну ефективність комп'ютерної мережі з Wi-Max сегментом. Ці дані допоможуть підприємству визначити переваги

та можливі обмеження даної технології, а також прийняти рішення щодо її використання.

# РОЗДІЛ 1

## ТЕХНОЛОГІЇ І СТАНДАРТИ СУЧАСНИХ МЕРЕЖ

### 1.1 Основні принципи та характеристики комп'ютерних технологій

На сьогоднішній день існує кілька основних метрик для вимірювання мережі, де метрика є числовим значенням, що впливає на вибір маршруту в комп'ютерних мережах. Нижче наведено найпоширеніші метрики.

#### 1.1.1. Максимальна пропускна здатність

Максимальна пропускна здатність у мережах Ethernet визначається швидкістю передачі даних і може бути різною залежно від типу Ethernet і використовуваних технологій [1]. Важливо зазначити, що максимальна пропускна здатність може бути обмежена іншими факторами, такими як якість кабелю, тип мережевих комутаторів або маршрутизаторів, навантаження мережі та наявність колізій. Такі фактори можуть впливати на реальну швидкість передачі даних у конкретній мережі Ethernet.

Пропускна здатність виступає універсальною характеристикою, яка описує максимальну кількість об'єктів, що проходять через канал, вузол або переріз. Ця характеристика широко використовується спеціалістами у галузях зв'язку, транспорту, гідравліки, оптики, акустики та машинобудування.

У стандартному Ethernet, який використовує технологію 10/100 Mbps, максимальна пропускна здатність складає 100 Mbps (мегабіт на секунду). Це означає, що мережа може передавати до 100 мегабіт даних на секунду. У більш швидкісних версіях Ethernet, таких як Gigabit Ethernet (1000 Mbps) і 10 Gigabit Ethernet (10 000 Mbps), максимальна пропускна здатність відповідно складає 1 гігабіт і 10 гігабіт на секунду [2]. Ці швидкості дозволяють значно більшу кількість даних передавати протягом одиниці часу.

У мережах Ethernet пропускна здатність оцінюється за кількістю кадрів або кількістю байтів даних, що передаються по мережі протягом одиниці часу. Якщо в

мережі відсутні колізії, максимальна швидкість передачі кадрів мінімального розміру (64 байти) становить 14881 кадрів на секунду.

### **1.1.2. Основні властивості джиттеру**

Джиттер - використовується для опису непередбачуваності в моментах прибуття пакетів даних до приймача [3]. Він вказує на випадкові зміни у затримці або інтервалі між передачею послідовних пакетів.

Джиттер може бути спричинений різними факторами, такими як коливання швидкості передачі даних, затримки в мережі, конфлікти ресурсів, відмінності в потоках даних, а також навантаження на мережу. Це може призвести до нерівномірного прибуття пакетів, порушення послідовності та збурення в передачі сигналу. Надмірний джиттер може спричинити проблеми зі звуком або відео в реальному часі, особливо в телекомунікаційних додатках, де точність та послідовність даних мають велике значення. Для забезпечення якісної передачі сигналу і зменшення джиттера застосовуються різні методи, такі як буферизація, синхронізація часу, планування передачі даних і управління потоками.

У загальному розумінні, джиттер - це небажаний фактор, який може впливати на якість передачі даних в мережі. Коли моменти прибуття мовних пакетів до пункту призначення стають нерегулярними, це призводить до спотворення звукового сигналу, а при великих значеннях джиттера, що перевищують кілька десятків мілісекунд, мова стає незрозумілою.

## **1.2. Інструменти та засоби вимірювання смуги пропуску**

### **1.2.1. Інструмент Iperf**

Iperf є безкоштовним інструментом для вимірювання пропускну здатності мережі. Він широко використовується для оцінки швидкості передачі даних між двома вузлами у комп'ютерних мережах. Iperf працює в режимі клієнта-сервера, де один вузол виступає в ролі сервера, а інший - в ролі клієнта. Він генерує мережевий

трафік між цими вузлами і вимірює швидкість передачі даних, задержку та інші метрики.

Інструмент має декілька режимів роботи, таких як TCP і UDP. За допомогою TCP-режиму Iperf оцінює пропускну здатність мережі, використовуючи зворотну зв'язок і контролюючи потере пакетів. У UDP-режимі Iperf вимірює максимальну швидкість передачі даних, незалежно від того, чи доставляються пакети. Iperf надає детальну інформацію про результати вимірювань, включаючи пропускну здатність, задержку, джиттер та втрати пакетів. Цей інструмент може бути використаний для тестування і налагодження мереж, оцінки їх продуктивності та виявлення проблем зі з'єднанням. Він підтримує налаштування різних параметрів, пов'язаних з синхронізацією, буферами та протоколами (TCP, UDP, SCTP з IPv4 і IPv6). Під час кожного тесту він надає інформацію про втрати, пропускну здатність, джиттер та інші параметри [4].

Вимірювання здійснюється наступним чином: на одному комп'ютері запускається iPerf в режимі "сервер", він може створювати свої вимірювання або використовувати наявні, а на другому комп'ютері в режимі "клієнт" з вказаною IP-адресою першого комп'ютера ("сервера"). "Клієнт" відправляє згенеровані запити на "сервер". "Сервер" зчитує та запам'ятовує отримані параметри і після визначеного часу відображає виміряну інформацію. Для інструмента iPerf створено графічний додаток під назвою jperf.

Iperf підтримується на різних платформах, включаючи Windows, Linux та macOS. Він має відкритий вихідний код і активно розвивається спільнотою користувачів.

### **1.2.2. Утиліта ABGET**

Утиліта ABGET є командною рядковою програмою, призначеною для завантаження файлів з веб-сервера за допомогою протоколу HTTP або HTTPS. Вона надає зручний спосіб для тестування та перевірки швидкості завантаження файлів з сервера. ABGET дозволяє користувачам вказати URL-адресу файлу, який потрібно завантажити, а також здійснювати додаткові налаштування, такі як вказівка розміру

буфера, кількості одночасних з'єднань, інтервалу між запитами тощо. Після запуску утиліти ABGET починається процес завантаження файлу з сервера, під час якого відображається прогрес та статистика щодо швидкості завантаження. Однією з особливостей ABGET є його можливість використовувати одночасні з'єднання для швидкого завантаження файлів. Це дозволяє виконувати тестування завантаження з великою кількістю одночасних запитів і вимірювати пропускну здатність сервера.

Утиліта ABGET корисна для адміністраторів систем та розробників, які хочуть оцінити продуктивність свого веб-сервера або виконати тестування завантаження файлів. Вона надає простий і ефективний спосіб оцінки швидкості завантаження та перевірки пропускну здатності сервера.

### **1.2.3. Інструмент PATHLOAD**

Утиліта PATHLOAD є інструментом для вимірювання пропускну здатності та затримки мережі. Вона дозволяє користувачам визначити пропускну здатність шляху між двома вузлами мережі, а також виміряти затримку передачі даних в цьому шляху. Працює на основі активного вимірювання, використовуючи методологію, що полягає в передачі трафіку зі зростаючою швидкістю і вимірюванні часу, необхідного для передачі цього трафіку через мережу. За результатами вимірювань PATHLOAD визначає пропускну здатність та затримку мережі. Також, надає користувачам можливість налаштувати розмір пакетів, швидкість передачі даних, тривалість вимірювання та інші параметри. Вона також підтримує режими вимірювання одностороннього та двостороннього шляху, що дозволяє отримати детальну інформацію про пропускну здатність та затримку у обох напрямках.

Утиліта PATHLOAD корисна для мережних інженерів, дослідників та адміністраторів мережі, які потребують вимірювання та аналізу пропускну здатності та затримки мережі. Вона допомагає виявити проблеми зі збільшенням затримки або зниженням пропускну здатності у мережі і допомагає зрозуміти, які аспекти мережі впливають на її продуктивність.

#### 1.2.4. Утиліта SpeedTest

Утиліта Speedtest є популярним інструментом для вимірювання швидкості Інтернет-з'єднання. Вона дозволяє користувачам перевірити якість їхнього з'єднання, включаючи швидкість завантаження (download) і швидкість відвантаження (upload).

Ця утиліта доступна як веб-версія на сайті Speedtest.net, а також у вигляді мобільних додатків для iOS та Android. Вона широко використовується користувачами для перевірки швидкості свого Інтернет-з'єднання та порівняння його зі заявленими параметрами від постачальників послуг Інтернету.

Основний принцип роботи Speedtest полягає в тому, що він встановлює з'єднання з сервером Speedtest, розташованим у вашому регіоні. Після встановлення з'єднання, Speedtest надсилає тестові пакети даних до сервера і отримує їх у відповідь. За час, який потрібний для цього обміну, вимірюється швидкість передачі даних. Speedtest також може надавати додаткову інформацію про мережу, таку як пінговий час до різних серверів і постачальників Інтернету, а також інформацію про вашу IP-адресу та географічне розташування.

Speedtest здатен виміряти такі параметри, як:

1. Download Speed. Це швидкість, з якою ваше з'єднання отримує дані з Інтернету. Вимірюється у мегабітах за секунду (Mbps) або кілобітах за секунду (Kbps).
2. Upload Speed. Це швидкість, з якою ваше з'єднання відправляє дані до Інтернету. Вимірюється також у мегабітах за секунду або кілобітах за секунду.
3. Ping. Це час, який займає передача сигналу від вашого комп'ютера до сервера Speedtest і назад. Вимірюється у мілісекундах (ms) і використовується для визначення якості з'єднання і його стабільності.

Під час тестування відправляється HTTP-запит до вибраного сервера, і вимірюється час, необхідний для отримання відповіді.

*Тест швидкості завантаження (Download Speed), складається з наступних кроків:*

1. Клієнтські комп'ютери завантажують невеликі файли з сервера, і вимірюється швидкість завантаження для оцінки швидкості з'єднання.



2. На підставі цього результату вибирається обсяг даних, які будуть завантажені під час реального тесту. Метою є визначення правильної кількості даних, які можуть бути завантажені за 10 секунд. Це вважається достатнім для визначення швидкості каналу і не забирає багато часу.

3. Для уникнення кешування браузером отриманих бінарних файлів, файли заповнюються випадковими згенерованими даними.

4. Під час тестування використовуються до чотирьох HTTP-потоків, цього достатньо для насичення з'єднання, що в теорії забезпечує більш-менш точне вимірювання.

5. Клієнт отримує контрольні пакети до 30 разів на секунду.

6. Ці контрольні пакети потім агрегуються в 20 частин (кожна з яких містить 5% вибірки від загальної кількості).

7. 10% найшвидших частин та 30% найповільніших частин видаляються. Пояснення цього буде подано докладніше нижче.

8. Остання частина усереднюється, і відображається кінцевий результат, який можна вважати кінцевою швидкістю. Оскільки дані передаються через HTTP, вони піддаються впливу таких факторів, як буферизація на рівні, а також пропускна здатність залежить від можливих зовнішніх переривань, які отримує процесор під час тестування. Ці фактори призводять до необхідності відкидання перших 10% і останніх 10% результатів як тих, які підлягали втручанню.

Оскільки тести досить короткі, це робиться для зручності використання сервісу Speedtest.net. Існує такий вплив, як "час розгону", коли завантаження "набирає оберти", і оскільки час тестування невеликий, цей розгін вносить значну частку низькопропускового трафіку в кінцевий результат, що викликає необхідність відкидання 20% інших найменших результатів вимірювань.

*Тест швидкості відвантаження (Upload Speed), складається з наступних кроків:*

1. В клієнтському пристрої генерується невеликий обсяг випадкових даних, які відправляються на веб-сервер для оцінки швидкості з'єднання.

2. На основі результату вибирається необхідний розмір частин, які будуть випадково згенеровані для проведення тесту відвантаження.

3. Потім за допомогою функціоналу POST дані відправляються на сервер через протокол HTTP, і таким чином вимірюється швидкість відвантаження.

4. Під час тесту відвантаження використовуються до чотирьох потоків HTTP.

5. Частини сортуються за швидкістю, швидка половина результатів усереднюється і виводиться як кінцевий результат.

*Визначення кількості потоків.*

Speedtest.net - використовує чотири потоки HTTP для тестів завантаження та відвантаження. Більше двох потоків необхідно для точного вимірювання швидкості, оскільки це мінімізує вплив затримок HTTP на низькоскоростних з'єднаннях. Після попереднього тесту, якщо швидкість з'єднання менша за 4 Мбіт/с, Speedtest.net буде використовувати чотири потоки, в іншому випадку залишаться два потоки.

### **1.2.5. Утиліта Psiber Pinger Plus**

Psiber Pinger Plus є утилітою для мережевої діагностики та тестування, яка використовується для вимірювання рівня якості мережевого зв'язку, зокрема часу відгуку (ping) та пропускної здатності мережі.

Pinger Plus дозволяє ідентифікувати тип лінії (10/100/1000 BaseTX) та перевіряти доступність мережевих ресурсів за допомогою звичайної команди Ping. При цьому до пам'яті пристрою можна зберігати до 8 IP-адрес, що дуже зручно для регулярної перевірки доступності серверів, маршрутизаторів та іншого обладнання. Також реалізована функція ідентифікації розеток. При підключенні мережевого тестера до розетки, пристрій відправляє спеціальний сигнал у лінію, що змушує світловий індикатор концентратора або комутатора відповідати даній розетці. Якщо в мережі присутній DHCP-сервер, Pinger Plus дозволяє перевірити його працездатність. Для налаштування пристрою можна використовувати веб-інтерфейс.

*Ця утиліта має наступні функції та можливості:*

1. Ping-тестування: Psiber Pinger Plus може виконувати ping-запити до вказаної IP-адреси або доменного імені. Вона вимірює час, необхідний для відправлення запиту та отримання відповіді, що дозволяє оцінити якість з'єднання.

2. Тестування пропускної здатності: Psiber Pinger Plus може генерувати мережевий трафік для вимірювання пропускної здатності мережі. Вона надсилає пакети даних і вимірює швидкість передачі даних між двома точками в мережі.

3. Відображення результатів: Утиліта надає інформацію про час відгуку, втрату пакетів, пропускну здатність та інші метрики мережі. Результати можуть бути відображені на екрані пристрою або збережені для подальшого аналізу.

4. Конфігурація параметрів: Psiber Pinger Plus дозволяє налаштовувати різні параметри тестування, такі як розмір пакету, інтервал між запитом, тривалість тесту та інші. Це дозволяє користувачам адаптувати тест до своїх потреб і отримувати більш точні результати.

*Також включає наступні практичні особливості:*

- Визначення швидкості і типу сервісу 10/100/1000 BaseTX;
- Перевірка IP-адреси призначення з перевіркою клієнта DHCP;
- Тестування наявності з'єднання LAN/WAN;
- Вимірювання часу відгуку пакету для оцінки продуктивності мережі;
- Визначення MAC-адреси або IP-адреси;
- Видавання сигналу для запалювання світлодіода порту комутатора (ідентифікація порту);
- Збереження складних конфігурацій, що складаються з джерела адреси IP-адресата, міжмережевої адреси та маски підмережі;
- Налаштування через веб-браузер або безпосереднє підключення допоміжної клавіатури.

Утиліта Psiber Pinger Plus є корисним інструментом для мережних адміністраторів, технічних спеціалістів та користувачів, які потребують вимірювати та аналізувати якість своєї мережі. Вона дозволяє швидко виявляти проблеми зі зв'язком, втрату пакетів та інші недоліки, що допомагає у підтримці та оптимізації мережевої інфраструктури.

### 1.3. Основні характеристики технології Wi-Max

Технологія WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) є комунікаційною технологією, розробленою для забезпечення універсального бездротового зв'язку на великій відстані з широким спектром пристроїв, від робочих станцій і компактних комп'ютерів до мобільних телефонів [5]. Стандарт IEEE 802.16 надає послуги з організації бездротових мереж і абонентського широкосмугового бездротового доступу (ШБД) на радіусі до 50 км від міста.

Відповідно до специфікацій стандарту IEEE 802.16, дальність передавання вважається до 50 кілометрів, що дозволяє обслуговувати навіть в умовах відсутності прямої видимості. Один сектор базової станції може обмінюватися інформацією зі швидкістю понад 70 Мбіт/с, і кількість секторів може досягати 6.

Технологія WiMAX націлена на конкуренцію у забезпеченні "останнього кілометра" зв'язку і отримала назву "Міжнародні мережі бездротового зв'язку в мікрохвильовому діапазоні". Перша смуга частот 10-66 ГГц призначена для використання в цій технології, що пояснює "мікрохвильовий діапазон". Обладнання WiMAX працює у декількох частотних каналах шириною 10 МГц в діапазоні частот від 2 до 11 ГГц, в залежності від країни.

WiMAX забезпечує доступ до Інтернету зі швидкістю, що відповідає мережам класу T1, і має значно більшу дальність передавання сигналу порівняно з Wi-Fi. Локальна мережа Wi-Fi є продовженням "магістральної гілки" мережі WiMAX і DSL. WiMAX поширюється на великі території, забезпечуючи зв'язок на відстані 10 кілометрів і більше, що робить його ефективним рішенням для проблеми "останнього кілометра".

Наведена схема показує підключення до мережі WiMAX.

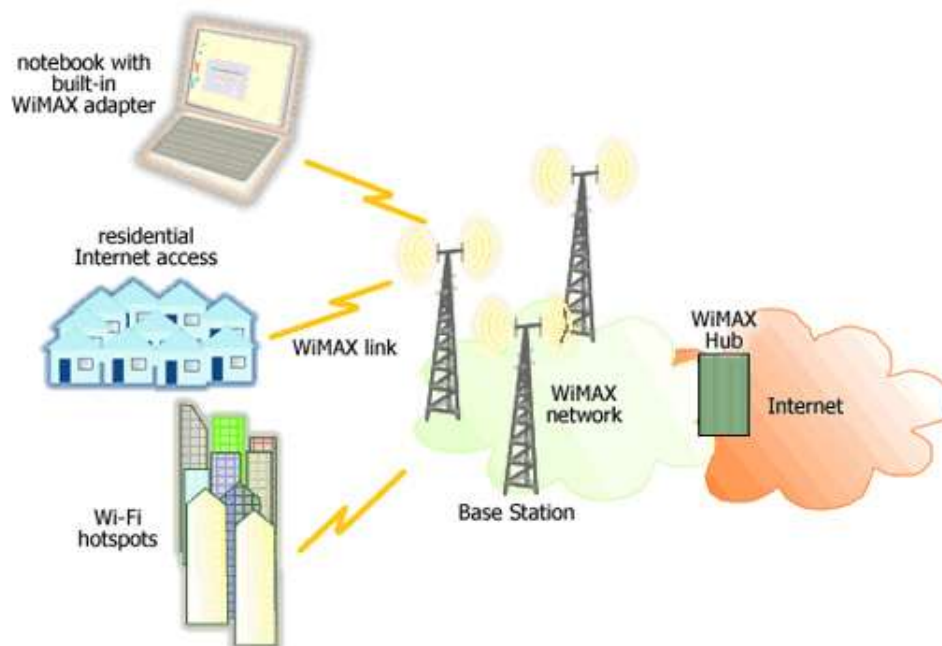


Рис. 1.1. Організація мережі на основі стандарту Wi-MAX

Стандарт IEEE 802.16, в свою чергу, подібний до традиційних мереж мобільного зв'язку за своєю структурою. Він використовує базові станції з радіусом дії до 50 км, які можуть бути розміщені на вежах або дахах будинків. Для зв'язку між базовою станцією і клієнтом потрібні абонентські пристрої. Сигнал відправляється на комп'ютер за допомогою стандартного Ethernet-кабелю або Wi-Fi.

За допомогою точки доступу стандарту 802.11 або локальної дротової мережі стандарту Ethernet, сигнал може потрапляти до WiMAX, що дозволяє зберегти інфраструктуру місцевих та офісних мереж від кабельного підключення до WiMAX. Стандарт IEEE 802.16 (WiMAX) системи широкопasmового бездротового зв'язку (BWA) надає послуги підключення до Інтернету, телефонії, передачі даних, аудіо- та відеоінформації для віддалених абонентів.

Оптимізація мережі з використанням WiMAX має три основні частини. Перша частина - широке використання нового стандарту IEEE 802.16-2004 WiMAX замість старих стандартів IEEE 802.16a і 802.16d, які працюють з антеною у формі "стілєникової тарілки". Друга частина - використання внутрішніх антен, що робить технологію WiMAX зручнішою і доступнішою. Третя частина - використання спеціального стандарту IEEE 802.16e, опублікованого в 2006 році, що дозволяє

технології WiMAX працювати з невеликими мобільними пристроями, подібно до сучасної мережі Wi-Fi.

Розвиток таких складних стандартів базується на співіснуванні різних бездротових технологій, використанні передових антен, впровадженні нових методів модуляції, таких як OFDMA, а також розробці нових послуг, наприклад, QoS, передача даних і захист. Ця велика робота розкриває всі аспекти технології WiMAX, проте вона є довгою і складною.

Технологія WiMAX розвивається в кількох напрямках. По-перше, вона використовується для фіксованого бездротового зв'язку. Пізніше з'явилася можливість спілкування за допомогою КПК та інших пристроїв, дозволяючи людям вийти на вулицю, увійти в зону покриття базової станції, відкрити свій ноутбук і підключитися до Інтернету. Це забезпечує повну мобільність для будь-якої особи в зоні дії базової станції. У Казахстані також потрібне доступне рішення, що забезпечує мобільність та віддалені послуги. Крім того, споживачі вимагають "універсальні послуги", які надають доступ до телефонної мережі та Інтернету. Технологія WiMAX має численні переваги в продуктивності та вартості мережі порівняно з провідними та стільниковими технологіями. Вона забезпечує високу пропускну здатність для ширококутового підключення, підтримуючи багато абонентів одночасно, при цьому маючи низькі витрати, велику зону покриття та різноманітність послуг.

Wi-MAX Forum пропонує п'ять різних типів підключення для ширококутових бездротових мереж:

1. Зафіксований Wi-MAX: цей режим дозволяє передавати трафік у фіксованих місцях з'єднання.
2. Nomadic Wi-MAX: цей режим забезпечує сеансовий доступ, дозволяючи підключатися до мережі на обмеженій території.
3. Portable Wi-MAX: цей режим дозволяє зберігати зв'язок під час переміщення на невеликих швидкостях.
4. Mobile Wi-MAX: цей режим забезпечує мобільний доступ з безперебійним високошвидкісним зв'язком у зоні покриття бездротової мережі.

Кожен з цих типів підключення має свої особливості, які потрібно враховувати при розробці комунікаційних моделей.

У діапазоні частот 10-66 ГГц, робота радіохвиль обмежена прямою видимістю. Це означає, що половина клієнтів, які перебувають у зоні дії базової станції, можуть бути підключені, оскільки вони мають прямий огляд, а решта 50% не мають прямої видимості. З цією умовою на увазі, модель 802.16 розробила додаток, який працює у діапазоні частот від 2 до 11 ГГц.

Технологія SC (Subcarrier) використовує передачу даних з використанням однієї несучої. У діапазоні частот 10-66 ГГц можна створити мережу WirelessMAN. Ця технологія підтримує такі типи модуляції: QPSK, 16QAM і 64QAM, а ширина каналу передачі даних становить 25-28 МГц.

### ***1.3.1. Переваги лінії Wi-Max***

Wi-MAX, відомий як Worldwide Interoperability for Microwave Access, є телекомунікаційною мережею, яка забезпечує універсальний бездротовий зв'язок для пристроїв короткого спектра на великі відстані [6]. Ця мережа базується на стандарті IEEE 802.16, також відомому як WirelessMAN, і отримала назву "Wi-MAX" від організації Wi-MAX Forum, створеної у червні 2001 року для розробки цього стандарту. У 2002 році з'явився стандарт Wi-MAX 802.16a, а пізніше, у 2004 році, був випущений стандарт 802.16d. В 2005 році був представлений стандарт 802.16e.

В даній роботі, краще обрати і використовувати мережу Wi-MAX стандарту 802.16e для створення мережі передавання даних на підприємстві.

Базові станції Wi-MAX є ширококутовими системами бездротового доступу «точка-багатоточка», що дозволяють операторам зв'язку легко і швидко підключати до своєї мережі малі і середні галузеві абоненти в міських і приміських районах. Базові станції Wi-MAX використовують динамічне ширококутове розгалуження, що дозволяє надавати різноманітні швидкодіючі послуги і розширювати пропускну здатність для клієнтів за доступною ціною. Багатодіапазонна підтримка, ширококутові базові станції і підтримка мультисервісних послуг роблять Wi-MAX привабливим вибором для нових конкурентоспроможних операторів і інноваційних

споживачів. Кожна базова станція Wi-MAX має покриття в радіусі 10 км і охоплює зону 360°. Ця мережа працює в діапазоні частот від 3,5 до 10 ГГц. Розподіл ширококутового доступу може бути здійснений за допомогою окремої базової станції, яка забезпечує обслуговування сотень кінцевих станцій за їх запитом. Термінальні станції розташовані в зоні обслуговування клієнтів.

Wi-MAX надає якість обслуговування, що еквівалентна оптоволоконному кабелю, для передачі даних, голосу та Інтернету. Це дозволяє операторам надавати різноманітні і гнучкі послуги Інтернету через Wi-MAX з високою якістю обслуговування. Застосування мультиоператорських рішень від базової станції зменшує необхідність встановлення багатьох зовнішніх термінальних станцій, що зменшує витрати на інфраструктуру для нових операторів.

Переваги Wi-MAX включають:

- Підтримка всіх частотних діапазонів, які часто використовуються в Європі, Латинській Америці та Азії, таких як 3,5 ГГц, 10,5 ГГц і 26 ГГц.
- Надання доступу до Інтернету, VPN, інтранету, голосового зв'язку (VoIP), звичайної телефонії, мережі передачі даних, відеоагрегації, послуг провайдера доступу, веб-хостингу та електронної комерції для малого та середнього бізнесу (SME).

Передавач Wi-MAX має такі особливості:

- Надання мультисервісних послуг, таких як передача даних, доступ до Інтернету, телефонні дзвінки (VoIP), відеодзвінки (IP TV), онлайн-ігри тощо.
- Широка пропускна здатність від 30 до 75 Мбіт/с на сектор і від 1 до 10 Мбіт/с на кожного клієнта відповідно.
- Велика зона покриття від 15 до 30 км.
- Розширені можливості забезпечення якості обслуговування (QoS) і вбудовані засоби безпеки.
- Висока ефективність використання частот.
- Інтелектуальний доступ до середовища поширення (запитова смуга, DAMA).
- Висока масштабованість.



- Можливість роботи без прямої видимості. Wi-MAX може використовувати широкий спектр клієнтських пристроїв, включаючи ноутбуки та КПК з вбудованими модулями Wi-MAX.

### ***1.3.2. Режими роботи мережі Wi-Max***

Стандарт 802.16e, виданий у 2005 році, об'єднує раніше випущені стандарти і включає всі їх функції. Wi-MAX складається з наступних режимів:

1. Фіксований Wi-MAX: цей режим передбачає зв'язок між двома станціями, коли вони спрямовані одна на одну. Цей тип з'єднання працює у високочастотному діапазоні 66 ГГц, що дозволяє уникнути багатохвильових відбиттів. Ширина каналу в цьому діапазоні становить 25 або 28 МГц, що забезпечує швидкість обміну даними до 120 Мбіт/с. Цей режим був включений до стандарту 802.16d-2004 і зараз використовується деякими країнами. Однак багато великих компаній, що працюють у цьому режимі, планують переключитися на режим MAX.

2. Кочовий Wi-MAX: цей режим реалізує концепцію «сеансу» для роботи у фіксованому режимі. Він дозволяє клієнтському пристрою переміщатися без прив'язки до однієї базової станції. Цей режим дозволяє використовувати мережу з ноутбуків та інших портативних пристроїв.

3. Портативний Wi-MAX: цей режим передбачає мобільну комунікацію з використанням Wi-MAX. Він дозволяє клієнтам отримувати доступ до мережі за допомогою рухомих пристроїв, таких як ноутбуки.

4. Мобільний Wi-MAX: цей режим також забезпечує мобільну комунікацію за допомогою Wi-MAX, проте з підтримкою більш широкого рухомого діапазону.

Таким чином, Wi-MAX надає різні режими роботи, які дозволяють клієнтам використовувати мережу у фіксованому, портативному та мобільному режимах за допомогою різних пристроїв, таких як ноутбуки. Мобільний Wi-Fi-MAX дозволяє абонентській станції автоматично підключатися до іншої базової станції без відключення. Однак, для цього режиму існує обмеження на швидкість пересування абонентської станції, яка не повинна перевищувати 40 км/год. Цей режим може бути

використаний у міських транспортних засобах. Крім того, у цьому режимі мобільну Wi-Fi-мережу MAX можна використовувати на смартфонах і КПК.

Мобільний Wi-Fi-MAX, впроваджений у стандарті 802.16e-2005, дозволяє абонентській станції рухатися зі швидкістю до 120 км/год. Основні переваги цього режиму включають:

- Стійкість до багатохвильового поширення сигналу і самоперешкод.
- Висока пропускна здатність каналу.
- Використання технології Time Division Duplex (TDD).
- Hybrid - використання технології Automatic Repeat Request (HARQ), яка дозволяє абонентському пристрою зберігати свій маршрут залежно від змін у виклику.
- Знаходження фіксованих частот і використання двоканального режиму при високому навантаженні, що стабілізує передачу даних.
- Використання технології Optimized Hard Handoff (ННО) для швидкого перемикавання абонента між каналами (менше ніж 50 мілісекунд).
- Використання технології Multicast and Broadcast Service (MBS), яка містить функції DVB-H, MediaFLO і 3GPP E-UTRA.
- Використання технології Fractional Frequency Reuse для ефективного регулювання перетину каналів для повторного використання частот.

### ***1.3.3. Принцип роботи мережі Wi-Max***

Wi-MAX складається з основних компонентів, таких як базова станція, абонентська станція, з'єднувальний пристрій для базових станцій та Інтернет. Базова станція встановлює зв'язок з абонентською станцією на відстані до 3 км в діапазоні високих частот (від 2 до 11 ГГц), забезпечуючи швидкість передачі даних до 20 Мбіт/с [7]. Кожній абонентській станції виділяється окремий канал з пропускною спроможністю від 1 до 5 Мбіт/с. Важливо зазначити, що базова станція не обов'язково повинна мати прямий вид на абонентську станцію (див. рис. 1.2).

Базові станції розташовуються на відстані до 50 км одна від одної в діапазоні частот від 10 до 66 ГГц. Під час прямого контакту встановлюється з'єднання, і

швидкість обміну даними між базовими станціями становить 120 Мбіт/с. Одна з базових станцій повинна бути під'єднана до мережі провайдера за допомогою короткодіапазонного високошвидкісного з'єднання.

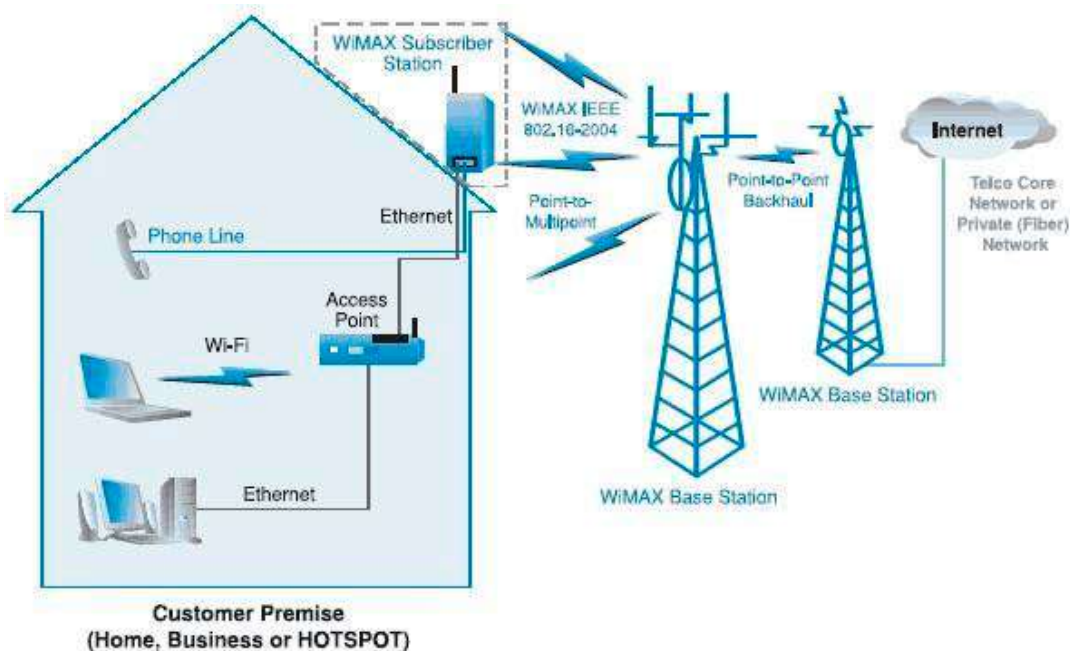


Рис. 1.2 Принцип роботи Wi-MAX

Чим більше базових станцій під'єднано до мережі провайдера, тим вищою буде швидкість та ефективність передачі даних. Немає необхідності встановлювати базову станцію на найвищій точці, можна розмістити її на даху будинку. Швидкість передачі даних за технологією Wi-MAX залежить від багатьох факторів, таких як завантаженість мережі, міська забудова і погодні умови.

Звернемо увагу на збереження конфіденційності даних у мережі Wi-MAX і на комп'ютері. У цій технології використовується потрійне шифрування за алгоритмом DES 3 з довгим ключем шифрування, що ускладнює його розшифрування. Крім того, Wi-MAX має двоетапну сертифікацію як виробника, так і пристрою, що ускладнює використання переданих даних через Wi-MAX канал.

Короткодіапазонні бездротові мережі потребують використання короткого спектра частот в діапазоні від 10 до 66 ГГц. Міліметрові хвилі поширюються відмінно від довгих хвиль, оскільки вони поширюються лише в одному напрямку, схоже на світло, а не в усіх напрямках, як звук. Тому базова станція повинна мати кілька антен,

що охоплюють усі сектори навколишнього середовища, а в кожному секторі працюють окремі користувачі. Сектори незалежні один від одного.

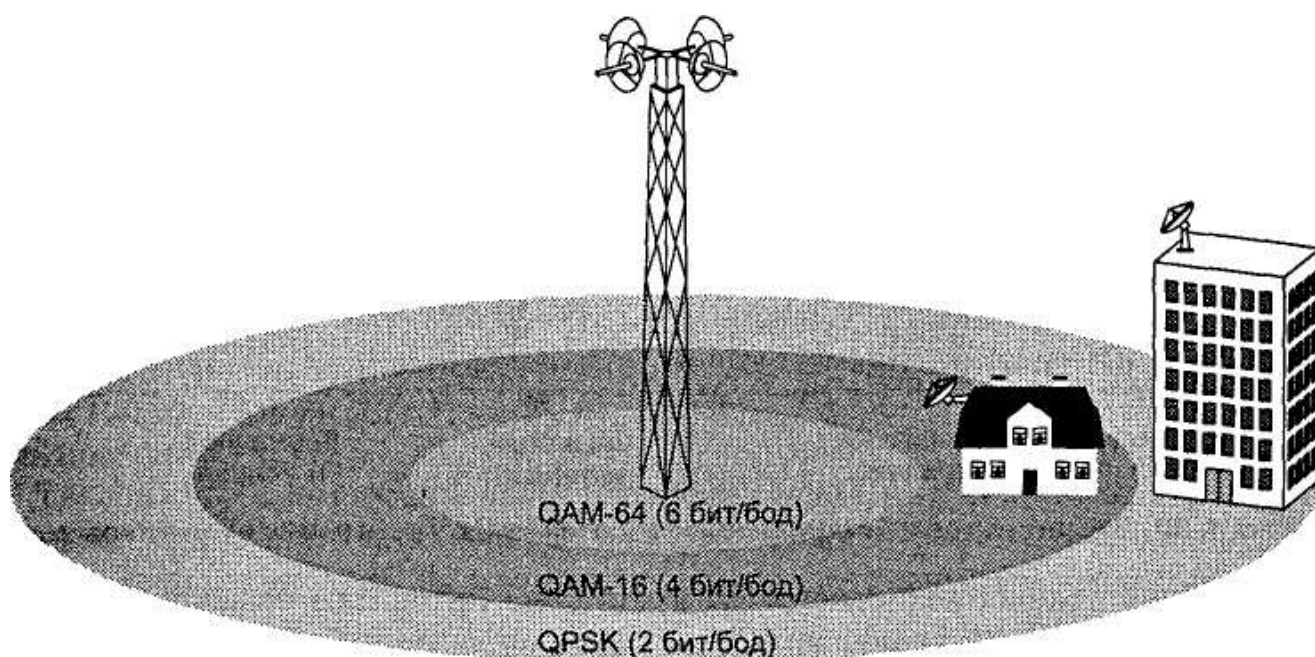


Рис. 1.3. Середовище поширення оперативної інформації стандарту 802.16

Сигнали міліметрового діапазону втрачають потужність по мірі віддалення від передавача (базової станції). Тому в мережі 802.16 використовуються три різних види модуляції, залежно від місця розташування абонентської станції. Якщо абонентська станція знаходиться недалеко від базової станції, використовується QAM-64. Якщо вона знаходиться далеко від середнього рівня, застосовується QAM-16. А якщо вона знаходиться значно далеко, використовується QPSK. Наприклад, QAM-64 забезпечує швидкість 150 Мбіт/с, SEAM-16 - 100 Мбіт/с, а QPSK - 50 Мбіт/с в діапазоні 25 МГц. Значить, зі збільшенням відстані між абонентською станцією та базовою станцією швидкість передачі даних зменшується.

Технологія Wi-Fi, заснована на стандарті 802.11, розроблена для створення локальних мереж в приміщеннях з обмеженим радіусом покриття. Wi-Fi - це бездротова технологія, яка застосовується на невеликих відстанях, таких як офіси, кафе та інші місця. Відстань між точкою доступу і комп'ютером зазвичай не перевищує десять метрів. Wi-Fi працює в межах невеликої площі, зазвичай до 100

метрів. Порівняно зі стільниковим зв'язком, Wi-Fi схожий на стаціонарний бездротовий телефон.

Технологія Wi-MAX, натомість, є широкосмуговою бездротовою мережею, яка охоплює цілий місто, де відстань між базовою станцією і приймачем може бути виміряна кілометрами. У порівнянні з Wi-Fi, Wi-MAX відрізняється високою швидкістю передачі даних та значним покриттям. Технологія Wi-MAX забезпечує стабільний зв'язок та обмін даними в будь-якій ситуації, включаючи густонаселені райони міста.

#### **1.4. Схожі технології Wi-Max сегменту**

Серед схожих технологій на Wi-Max можна виділити наступні:

1. Wi-Max (Worldwide Interoperability for Microwave Access)- був розроблений з метою створення бездротової технології широкосмугового доступу до Інтернету на великій відстані [8]. Стандарт Wi-Max (IEEE 802.16) був вперше опублікований у 2001 році. Він використовує мікрохвильовий діапазон для передачі даних і може забезпечувати покриття від кількох кілометрів до кількох десятків кілометрів.

2. LTE (Long-Term Evolution) походить від попередньої бездротової технології 3G (третього покоління) і був розроблений з метою покращення швидкості передачі даних та продуктивності мобільних мереж. Стандарт LTE був вперше запроваджений у 2009 році і забезпечує значно вищу швидкість передачі даних, ніж попередні покоління. LTE є основним стандартом для мобільного доступу до Інтернету і є актуальним у зв'язку зі зростаючою потребою високошвидкісного мобільного з'єднання. Завдяки високій швидкості передачі даних та низькій затримці, LTE використовується для послуг, таких як потокове відео, онлайн-ігри, відеодзвінки тощо. LTE також забезпечує покриття великих міських територій та підтримує рухомість, що робить його актуальним для мобільних пристроїв, також, забезпечує високу швидкість передачі даних і підтримує мобільність, але має менший радіус покриття порівняно з Wi-Max.

3. 5G є найновішим поколінням бездротових мереж і був розроблений з метою забезпечення ще більшої швидкості передачі даних, низької затримки та підтримки великої кількості підключених пристроїв. Перші комерційні мережі 5G були запуснені в 2019 році. 5G використовує різні частотні діапазони, включаючи високочастотні діапазони, що дозволяє досягати надзвичайно високої швидкості і надзвичайно низької затримки. Ці технології продовжують розвиватися і вдосконалюватися з метою забезпечення все кращого бездротового доступу до Інтернету та передачі даних. Інновації в цих галузях, такі як розширення покриття, підвищення швидкості та покращена мобільність, продовжують змінювати спосіб, яким ми використовуємо Інтернет та комунікуємо між собою.

Це нове покоління бездротових мереж, яке пропонує ще більшу швидкість передачі даних, низьку затримку і підтримку великої кількості підключених пристроїв. 5G також має підтримку мобільності і використовує різні частотні діапазони для забезпечення широкого покриття.

4. Wi-Fi: Це бездротова технологія локальної мережі, яка забезпечує доступ до Інтернету в невеликому радіусі покриття, зазвичай в межах будівлі чи певної зони. Wi-Fi широко використовується в домашніх мережах, офісах, громадських місцях та закладах.

5. WiMAX 2: Це покращена версія Wi-Max, яка пропонує ще більшу швидкість передачі даних і покращену продуктивність. WiMAX 2 базується на стандарті IEEE 802.16m і є розвитком оригінального Wi-Max.

Ці технології мають свої особливості і використовуються в різних сферах, в залежності від потреб користувачів та умов розгортання мереж.

#### ***1.4.1. Порівняння технологій LTE і WiMAX***

Стандарти WiMAX і LTE мають багато спільного. Таким чином, обидва використовують кілька антен (MIMO), ортогональне мультиплексування (OFDM) і працюють на близьких частотах [9]. При цьому швидкість передачі даних однакова.

Згодом системи WiMAX (версія 1.0) використовували тимчасовий дуплексний режим (TDD). Вони забезпечували в 2-3 рази вищу швидкість у низхідному каналі

приблизно з 10 МГц шириною, ніж HSPA (швидкість передачі даних у низхідному та висхідному каналах HSPA не може бути точно класифікована як WiMAX, близьку до TDD).

Наступним етапом розвитку стала система 3GPP і стратегічним кроком були системи LTE (Long Term Evolution). Вони використовують технологію OFDMA у низхідному каналі та SC-FDMA у висхідному каналі. Модуляція до 64-QAM, ширина каналу до 20 МГц. Є режими дуплексу TDD і FDD. Адаптивні антенні системи використовують гнучку мережу зв'язку. Повна мережева архітектура є IP-мережею. Технологія, що використовується в системі LTE, подібна до методів, що застосовуються в мобільному WiMAX, тому системи LTE мають схожу ефективність і порівняльні параметри, як показано в Таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Порівняння необхідних параметрів WiMAX і LTE.

| Налаштування                                  | LTE                | Wi-MAX 1.5 ver.    |
|-----------------------------------------------|--------------------|--------------------|
| Дуплекс                                       | FDD та TDD         | FDD та TDD         |
| Діапазон частот для аналізу                   | 2000 МГц           | 2500 МГц           |
| Ширина каналу                                 | до 20 МГц          | до 20 МГц          |
| Метод доступу від БС                          | OFDMA              | OFDMA              |
| Модуляція                                     | SC-FDMA            | OFDMA              |
| Біт/Гц/с спектральна ефективність             |                    |                    |
| Низхідний канал, (2x2) MIMO                   | 1,57               | 1,59               |
| Висхідний канал, (1x2) SIMO                   | 0,64               | 0,99               |
| Максимальна швидкість мобільної станції, км/с | 350                | 120                |
| Довжина рами, мс                              | 1                  | 5                  |
| Антенні системи                               |                    |                    |
| Низхідний канал                               | 2x2, 2x4, 4x2, 4x4 | 2x2, 2x4, 4x2, 4x4 |
| Висхідний канал                               | 1x2, 1x4, 2x2, 2x4 | 1x2, 1x4, 2x2, 2x4 |

Слід відмітити, що система LTE є революційним поліпшенням порівняно з 3G. Вона переходить від систем CDMA до систем OFDMA та пропонує перехід до IP-системи з комутацією пакетів. Впровадження цієї технології в існуючі мобільні мережі означає, що нові радіочастотні ресурси мінімально потрібні для використання переваг широкого каналу.

Крім того, для забезпечення зворотної сумісності потрібні дворежимні абонентські структури. Тому плавний перехід до системи 3G LTE навіть є проблематичним.

Далі розглянуто подальший розвиток мобільного WiMAX у специфікації версії 2.0. Цей стандарт ґрунтується на IEEE 802.16m і встановлює вимогу щодо включення IMT-Advanced. Порівняно з версією і налаштуваннями WiMAX 1.0, відповідні спектральні ефективності збільшуються вдвічі: висхідний канал до 1,3 біт/с/Гц, низхідний канал до 2,6 біт/с/Гц (рис. 1.4). Ці показники також подвоюються на кордоні стільники бази і становлять відповідно 0,09 біт/с/Гц для низхідного каналу і 0,05 біт/с/Гц для висхідного каналу.

Мовний кодек AMR (12,2 кбіт/с) можливий з 60 одночасними голосовими сеансами на мегагерц. Швидкість переміщення мобільних терміналів збільшується до 500 км/год, а додавання встановлення часу поруч із хендовером, загальною зупинкою радіомережі скорочує час перемикання [10]. При цьому гарантується повна зворотна сумісність з технологіями WiMAX версій 1.0 і 1.5 для технологій WiMAX і LTE.



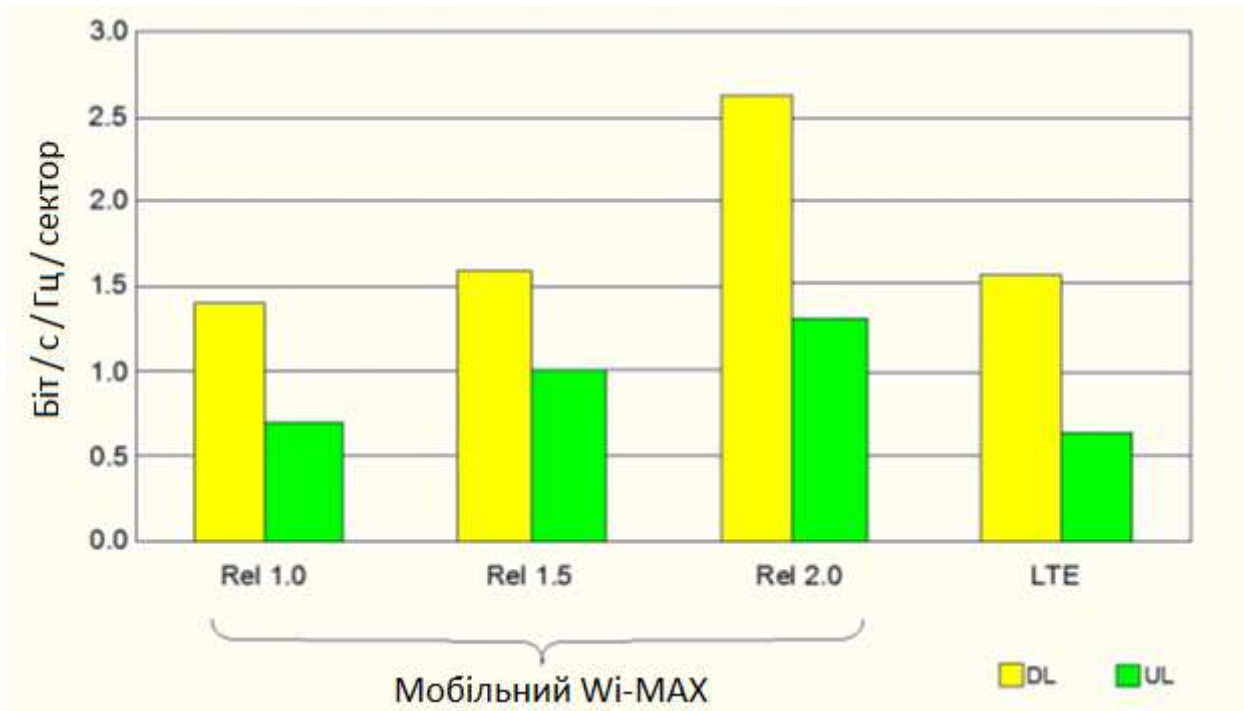


Рис. 1.4 Порівняння середньої ефективності використання спектра

Мобільний WiMAX пропонує ефективну IP-мережу, тоді як мережа LTE є досить складною. У мережах WiMAX використовуються виключно IP-протоколи IETF, тоді як у LTE додатково використовуються різноманітні протоколи, включаючи пропрієтарні протоколи 3G, що призводить до збільшення складності.

Приклад архітектур систем LTE та Wi-Max:

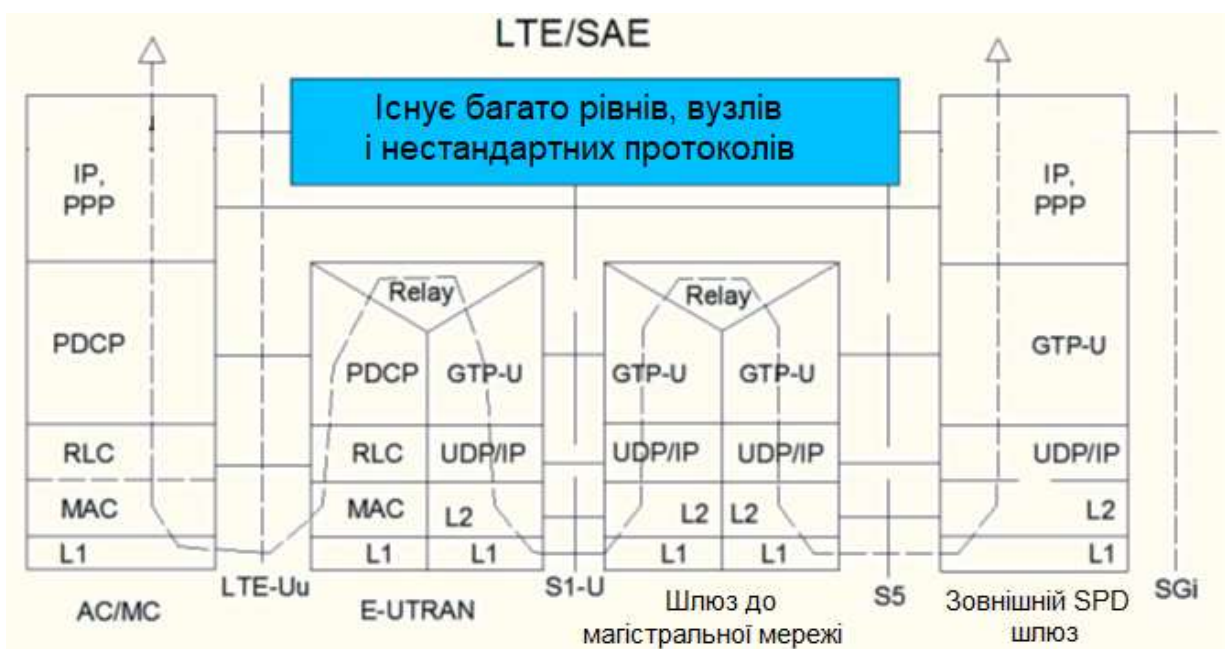


Рис. 1.5 Архітектура системи LTE



Рис. 1.6 Архітектура системи Wi-MAX

На основі порівняльного аналізу я вибрав технологію WiMAX, яка є системою широкопasmового бездротового доступу. Ця технологія дозволяє вирішити три важливі завдання: забезпечити зручний зв'язок з мобільним комп'ютером, офісним ноутбуком та забезпечити комфортні умови для співробітників у бізнес-середовищі, коли проведення кабелю неможливе або вузький. WiMAX є однією з таких технологій.

Ця радіотехнологія стандарту 802.16 забезпечує двосторонній доступ до Інтернету для віддалених місць зі швидкістю до 75 Мбіт/с і забезпечує гарантовану якість обслуговування (QoS) [11]. WiMAX пропонує операторам три авторизовані бізнес-моделі: фіксований доступ, портативний доступ, що замінює кабель або DSL, та повністю структуровану мобільну систему, а також стандарт 802.16m, який є перспективним стандартом.

WiMAX підтримує можливість голосового зв'язку і має низку переваг порівняно з іншими мережами, такими як WiMAX (xDSL, T1), бездротові або супутникові системи. Це дозволяє операторам і постачальникам послуг економічно розширювати спектр інформаційних і комунікаційних технологій, щоб охопити як нових, так і наявних користувачів з фіксованим або мобільним зв'язком. Бездротові технології також мають перевагу гнучкого масштабування.

Через що, важливо враховувати фактори зниження витрат, такі як зменшення покриття або виключення окремих районів, оскільки бездротові технології дозволяють більш гнучко планувати і розгортати мережу.

Дальність покриття є важливим критерієм для системи радіозв'язку. Більшість сучасних технологій бездротового широкосмугового передавання даних вимагають прямої видимості між мережевими об'єктами. Однак, завдяки використанню технології OFDMA у WiMAX, зона покриття клієнтського обладнання може досягати значних відстаней навіть при відсутності прямої видимості до базової станції, охоплюючи відстані у кілометрах.

Технологія WiMAX спрощує інтеграцію і забезпечує зрозумілий підхід, де IP-протокол локальної системи виступає як основний.

WiMAX є підходящою технологією для різних типів мережеских об'єктів, включаючи стаціонарні, переміщувані і мобільні, які можуть бути об'єднані в єдину інфраструктуру. Водночас, якщо деякий час тому послуги мереж 3G були вважаються фантастикою, то зараз все більшу популярність у різних країнах світу набуває саме 4G. Технології 4G забезпечують бездротовий зв'язок зі швидкостями до десятків і сотень мегабіт в секунду. На сьогоднішній день кількість абонентів мережі 4G перевищує три з половиною тисячі осіб. Важливою особливістю мережі 4G є передача даних у спеціальних пакетах, що відрізняється від передачі голосового трафіку і пакетів даних в мережі 3G. Максимальна пропускна здатність мережі 4G може досягати 1 гігабіт в секунду, що дозволяє переглядати відео навіть під час руху, слухати музику та працювати в Інтернеті у транспортних засобах, таких як автомобіль. Крім того, передача даних у мережі 4G здійснюється за протоколом IPv6.

Технологія WiMAX має серйозні переваги порівняно з LTE: WiMAX (802.16e) випереджає прогнози щодо LTE на три роки, які стали стандартом у березні 2009 року. Наступна ітерація WiMAX, 802.16m, що є швидшою, з'явилася в 2012-2013 роках, тоді як LTE-Advanced, що буде представлений у 2010 році, виявився пізніше. Крім того, спектр, використовуваний WiMAX, є більш економічним, ніж спектр LTE. Упровадження LTE було складнішим, в той час як WiMAX продовжує стійко розвиватись.

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

У даному розділі дипломної роботи були проаналізовані технології та стандарти сучасних комп'ютерних мереж. Були розглянуті основні принципи та характеристики комп'ютерних технологій, зокрема максимальна пропускна здатність і основні властивості джиттеру. Також були розглянуті інструменти та засоби вимірювання смуги пропуску, зокрема інструмент Iperf, утиліта ABGET, інструмент PATHLOAD, утиліта SpeedTest та утиліта Psiber Pinger Plus. Після чого, були розглянуті основні характеристики технології Wi-Max, включаючи переваги лінії Wi-Max, режими роботи мережі Wi-Max та принцип її роботи. Були також описані схожі технології Wi-Max сегменту та проведено порівняння технологій LTE і WiMAX.

Загальний аналіз технологій та стандартів сучасних мереж показав, що комп'ютерні технології мають різні принципи та характеристики, а вимірювання смуги пропуску може бути здійснене за допомогою різних інструментів і утиліт. Технологія Wi-Max відзначається своїми особливостями і перевагами, а порівняння з іншими технологіями, такими як LTE, може допомогти визначити найкращий варіант для конкретних потреб.

Отже, дана частина дипломної роботи дозволила розширити розуміння про технології та стандарти сучасних мереж, а також оцінити можливості технології Wi-Max у порівнянні з альтернативними рішеннями.

## РОЗДІЛ 2

### ВИБІР ОПТИМАЛЬНОГО WI-MAX ОБЛАДНАННЯ

#### 2.1 Мережеві пристрої Wi-MAX

Мережа BreezMAX має базову станцію, яка включає в себе IP-маршрутизатор, шлюз для IP-телефонії та АТС мережі. Кожен радіочастотний модуль BSR базової станції може підключати до 256 абонентів. Якщо використовувати максимальний спектр частот, BreezMAX може додати до 12 модулів BSR.

Базова станція BreezMAX реалізує всі QoS (Quality of Service) стандарту IEEE 802.16, які також підтримують VLAN 802.1q/p [12]. Це проілюстровано на малюнку 2.1.



Рис. 2.1. Базова структура мережі на основі BreezMAX

На малюнку 2.1 показана друга базова станція BreezMAX, яка складається з одного внутрішнього радіочастотного модуля (BSR), що розміщується зовні будівлі, і внутрішнього розподільчого блоку. До складу мережі також входять IP-маршрутизатор, шлюз для IP-телефонії та АТС мережі. Кожен радіочастотний модуль BSR може обслуговувати до 256 абонентів. При максимальному використанні

частотного спектра, BreezMAX може додати до 12 модулів BSR. Базова станція, яка показана на малюнку, реалізує всі QoS (Quality of Service) стандарту IEEE 802.16, і також підтримує VLAN 802.1q/p. Послуги надаються в діапазоні частот від 5725 до 5850 МГц.

Загальноміська мережа будується аналогічно стільниковій мережі. Всюди в місті будуть розташовані базові станції (БС). Кожна базова станція може обслуговувати свою групу будівель у радіусі 5-8 км, створюючи за допомогою двоточкових антен зону, яка схожа на структуру соти.

Базові станції можуть мати спрямовані антени, якщо потрібний зв'язок між центрами на віддалі, і вони можуть діяти як двоточкові ретранслятори на 50-кілометровому радіоканалі. За допомогою ретрансляторів можна створювати територіальні мережі, які складаються з наземних локальних мереж. Доступ до глобальних мереж забезпечується однією або кількома базовими станціями, які діють як ретро-ретранслятори або спрямовані антени, і решта забезпечується бездротовим з'єднанням або оптоволоконним з'єднанням з магістральною мережею. Така базова станція називається транзитною точкою доступу.

На першому етапі в обслуговуваних будівлях встановлюються зовнішні антени, які з'єднуються з приймально-передавальним блоком, розташованим усередині будівлі на абонентському пункті (АС). Для забезпечення доступу до внутрішньої мережі, трафік від клієнтів різних пристроїв об'єднується за допомогою мультиплексора. Вихід мультиплексора під'єднується до приймально-передавального блоку клієнтів, а потім передається через мережу Wi-MAX. Трафік від базових станцій підключається до мережі міських магістралей за допомогою оптичної мережі.

З урахуванням середніх можливих швидкостей передачі, рекомендований радіус обслуговування становить 8 км.

## **2.2 Бездротовий пристрій BreezeMax від Alvarion**

На початку своєї діяльності як виробника устаткування для передачі даних, компанія Alvarion розпочала виробництво бездротових модемів Breeze-LINK, що

забезпечували високу швидкість передачі. Ці модеми стали доступною та економічно вигідною альтернативою радіорелейним станціям, і їх використання триває й досі. Розвиток нових технологій та засобів для створення бездротових мереж спричинив виникнення продукту BreezeNET. Однак заміна провідних з'єднань бездротовими мережами та зростаючий попит на розгалужені бездротові мережі змусили компанію створити пристрої, які можна було використовувати зовнішньо. Спочатку такі пристрої використовувалися для внутрішнього застосування, але пізніше їх вбудовували в термokonтейнери або використовували довгі радіокабелі та зовнішні антени. Цей процес привів до розробки нового типу пристрою - BreezeMAX™.



Рис. 2.2. Обладнання BreezeMAX (Альваріон)

BreezeMAX™ - це інноваційний продукт, розроблений компанією Alvarion на основі технології Wi-MAX. Використовуючи метод OFDM, ця система може працювати як у умовах прямої видимості (NLOS), так і з використанням передових технологій та адаптивної модуляції (до 64QAM). Висока спектральна ефективність системи BreezeMAX™ дозволяє операторам будувати мережі Wi-MAX вже сьогодні. Вона працює у діапазоні частот 3,5 ГГц і задовольняє потреби клієнтів у економічних мережах BWA нового покоління. Платформа системи підтримує такі стандарти Wi-MAX, як IEEE 802.16 і HiperMAN.

Особливості системи BreezeMAX, що базується на стандартах Wi-MAX - IEEE 802.16 і ETSI HiperMAN:

- Призначена для різних ринків, включаючи житловий сектор, бізнес-клієнтів, MDU/MTU, користувачів хот-спотів, транзитних та бездротових додатків домашніх мереж.

- Має низьку вартість і просту установку.

- Це система операторського класу.

- Забезпечує високу продуктивність і конфіденційність, має широку набір компонентів та гнучку систему управління мережею (NMS).

- Дозволяє масштабувати установку базової станції, де базова станція на базі шасі (High Density) є особливо корисною для великих площ міських і передміських районів. Також є мініатюрна базова станція для сільської та малонаселеної місцевості.

- Забезпечує зручну і ефективну підтримку абонентів.

- Система має високу продуктивність і пропускну здатність завдяки напівдуплексному та багатоканальному функціоналу базової станції, що дозволяє одній базовій станції обслуговувати значну кількість абонентів.

- Застосування модуляції OFDM дозволяє покривати зони з обмеженим прямим оглядом (NLOS) та збільшувати продуктивність у таких умовах прямої видимості.

- Система надає наскрізне QoS за допомогою розширених функцій QoS, які включають пріоритезацію в класифікаціях 802.16 MAC, 802.1P і DSRSR.

- Застосовується технологія адаптивної модуляції.

- Для управління системою використовується платформа операторського класу NMS під назвою AlvariSTAR, яка підтримує повний функціонал FCAPS.



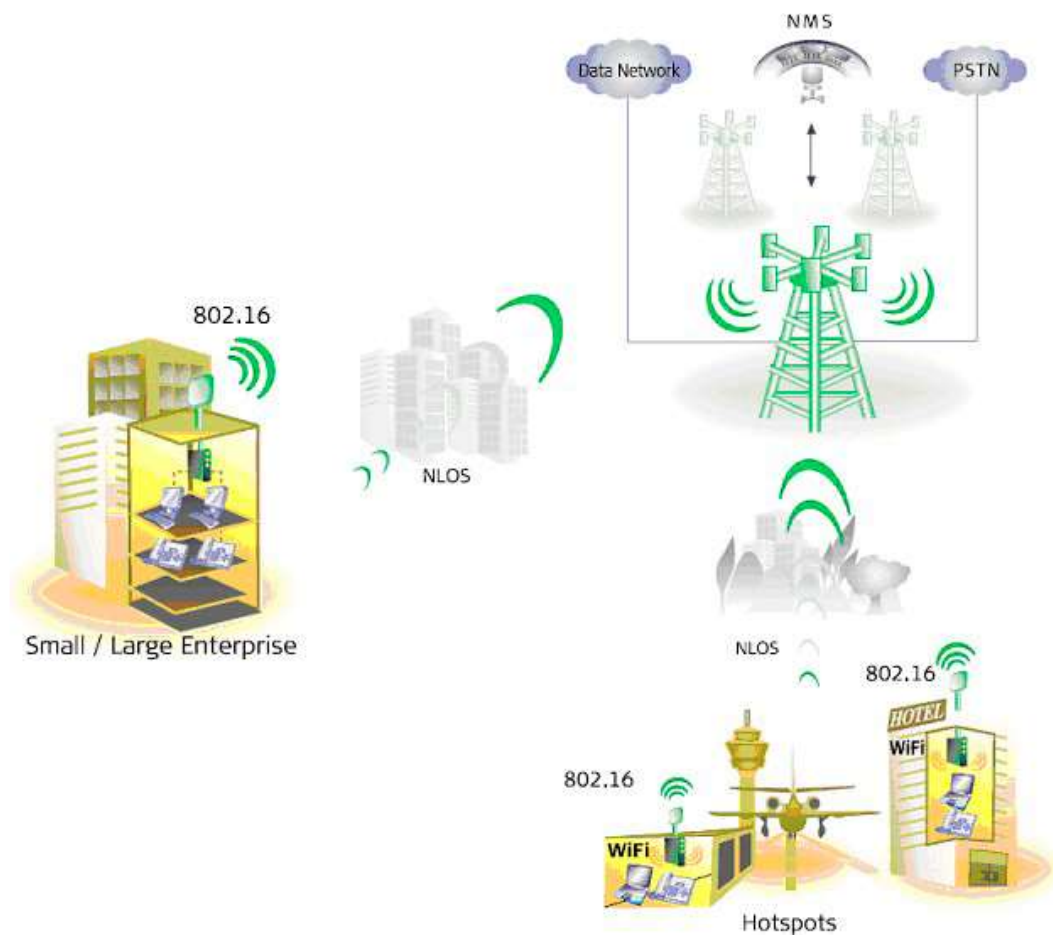


Рис. 2.3 Широкопasmовий бездротовий доступ BreezeMAX

### 2.3. Особливості та основні принципи встановлення базової станції Breeze-Max

Нова система Alvarion BreezeMAX™ працює на передовій платформі Wi-MAX. Вона використовує сучасну технологію OFDM і адаптивну модуляцію (до 64QAM), що дозволяє їй працювати як у умовах прямої видимості (NLOS). BreezeMAX™ працює в частотному діапазоні 3,5 ГГц [13]. Платформа цієї системи задовольняє потреби клієнтів у використанні економічних мереж BWA наступного покоління, і вона підтримує стандарти Wi-MAX, такі як IEEE 802.16 і HiperMAN (рис. 2.4).

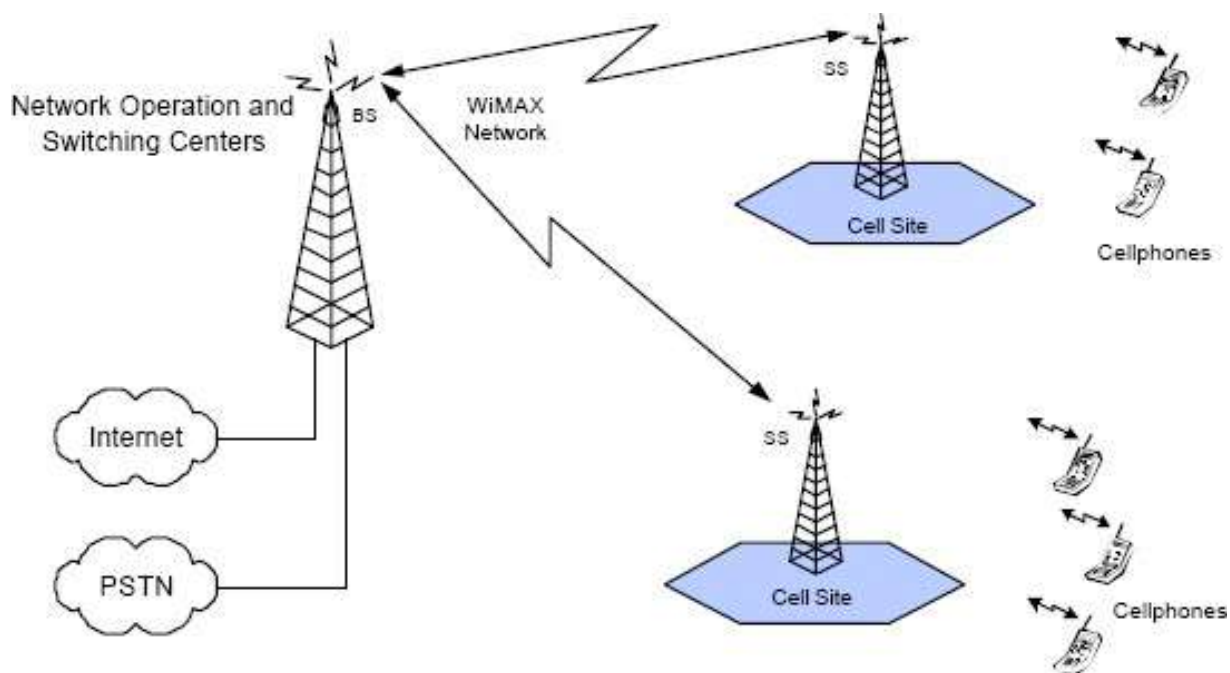


Рис. 2.4. Організація Wi-MAX

Базова станція Alvarion BreezeMAX є ключовим компонентом системи BreezeMAX™ і виконує важливу роль у передачі та отриманні бездротових сигналів. Вона розроблена з урахуванням передових технологій і функціональних можливостей, що дозволяють забезпечити надійну та продуктивну роботу мережі.

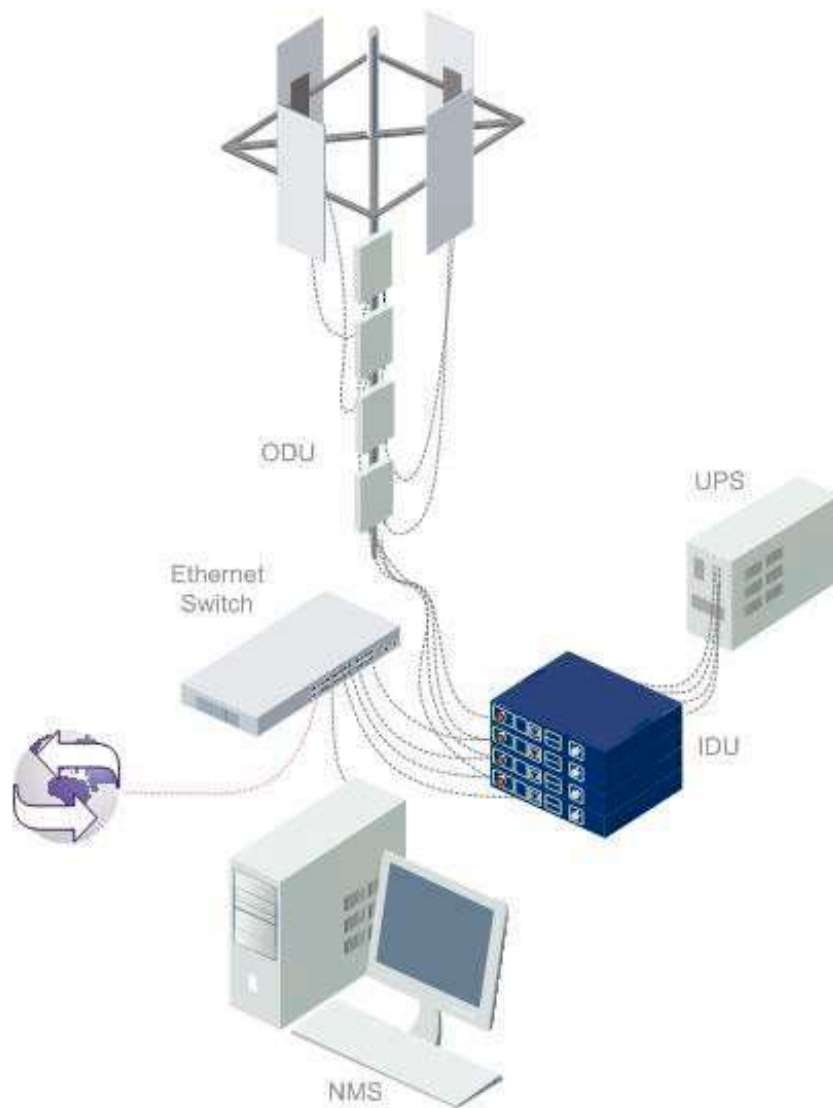


Рис. 2.5. Схема базової станції Wi-MAX

Основні особливості базової станції Alvarion BreezeMAX включають:

1. Базова станція використовує напівдуплексний і багатоканальний функціонал, що дозволяє їй одночасно обслуговувати велику кількість абонентів і забезпечувати швидку передачу даних.

2. Базова станція використовує технологію OFDM, що дозволяє покривати великі відстані і працювати в умовах прямої видимості, забезпечуючи стабільне і надійне з'єднання.

3. Базова станція Alvarion BreezeMAX підтримує стандарти Wi-MAX, такі як IEEE 802.16 і HiperMAN, що забезпечує сумісність з іншими пристроями та системами, що працюють на цих стандартах.

4. Базова станція має гнучку систему управління мережею (NMS), яка дозволяє операторам ефективно керувати та контролювати роботу мережі. Це дозволяє забезпечити високу продуктивність, оптимальне використання ресурсів та забезпечити високу якість обслуговування абонентів.

5. Базова станція може бути масштабована, що дозволяє легко розширювати мережу і додавати нові базові станції при необхідності. Це особливо корисно для міських та заміських районів з великою площею або для сільських і малонаселених місцевостей, де потрібно забезпечити покриття на великій території.

Загалом, базова станція Alvarion BreezeMAX є потужним та надійним пристроєм, який забезпечує ефективну роботу бездротової мережі Wi-MAX і задовольняє потреби операторів і клієнтів у швидкій передачі даних, надійному з'єднанні та якісному обслуговуванні.

## **2.4 Особливості абонентської станції Wi-Max**

Абонентська станція Wi-MAX є важливим компонентом бездротової мережі і виконує роль приймача та передавача сигналу між клієнтськими пристроями і базовою станцією. Вона (рис. 2.6) забезпечує безперервний доступ до мережі Wi-MAX та передачу даних між клієнтами та інфраструктурою мережі.

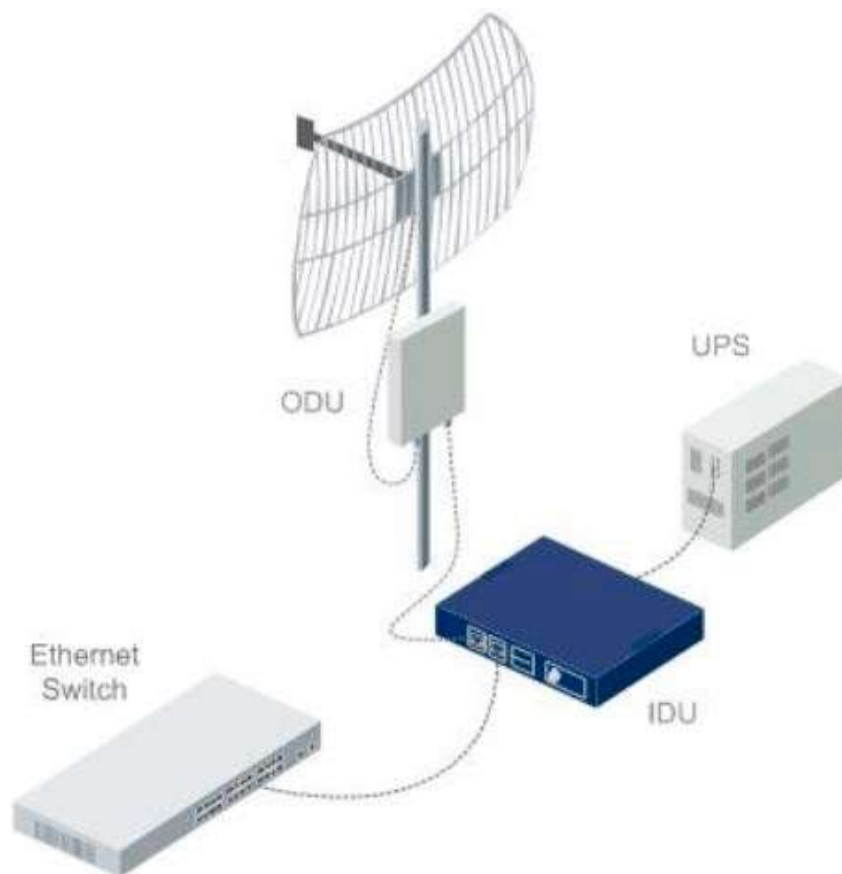


Рис. 2.6. Типова схема абонентської станції Wi-MAX

Особливості абонентської станції Wi-MAX включають:

1. Абонентська станція використовує бездротовий зв'язок для підключення клієнтських пристроїв до мережі Wi-MAX. Це дозволяє забезпечити зручність і мобільність для користувачів, оскільки вони можуть підключатися до мережі без необхідності проводового підключення.

2. Абонентська станція підтримує високу швидкість передачі даних, що дозволяє клієнтам швидко отримувати та відправляти інформацію через мережу Wi-MAX. Це особливо важливо для послуг, які вимагають великого обсягу даних, таких як потокове відео, онлайн-ігри або завантаження великих файлів.

3. Абонентська станція Wi-MAX підтримує підключення різних клієнтських пристроїв, таких як комп'ютери, смартфони, планшети, ноутбуки та інші пристрої, що мають можливість підтримки бездротового зв'язку. Це забезпечує універсальність та сумісність з різними пристроями.

4. Абонентська станція має вбудовані механізми захисту, що дозволяють забезпечити безпеку передачі даних через мережу Wi-MAX. Вона підтримує різні протоколи шифрування та аутентифікації, що забезпечують конфіденційність і цілісність переданих даних.

5. Абонентська станція Wi-MAX може бути розширена шляхом підключення додаткових антен або розширювачів сигналу, що дозволяє покривати більшу територію або покращувати якість зв'язку в областях зі слабким сигналом.

6. Абонентська станція забезпечує можливість керування підключенням до мережі Wi-MAX. Вона автоматично здійснює пошук доступних базових станцій і встановлює з'єднання з найбільш сильним сигналом.

Абонентська станція Wi-MAX є важливим елементом інфраструктури бездротових мереж і дозволяє користувачам підключатися до швидкої та надійної мережі з високою якістю зв'язку. Вона забезпечує безперебійний доступ до інтернету та інших послуг, що розширюють можливості комунікації та сприяють зручності користування.

## **2.5. Забезпечення безпеки інформації**

Забезпечення безпеки інформації під час використання технології Wi-Max є важливим аспектом, оскільки передача даних по бездротовим мережам може бути підатливою до різних загроз інформаційній безпеці. Для забезпечення безпеки використовуються різні заходи та протоколи, що дозволяють захистити дані від несанкціонованого доступу і перехоплення.

Одним з основних аспектів забезпечення безпеки є шифрування даних. Wi-Max використовує різні протоколи шифрування, такі як AES (Advanced Encryption Standard), для захисту переданих даних від несанкціонованого доступу. Шифрування забезпечує конфіденційність інформації, тобто забезпечує, що тільки авторизовані користувачі зможуть отримати доступ до даних. Крім шифрування, Wi-Max також використовує протоколи аутентифікації, які дозволяють перевірити, що користувач,

який намагається підключитися до мережі, є дійсним і має право доступу. Це допомагає уникнути несанкціонованого доступу до мережі і підвищує рівень безпеки.

Також, Wi-Мах може використовувати інші методи захисту, такі як фільтрація MAC-адресів, що дозволяє обмежувати доступ до мережі лише авторизованим пристроям, і використання Firewalls для блокування небажаного трафіку. Важливо також зазначити, що безпека мережі Wi-Мах вимагає відповідальності з боку користувачів. Рекомендується використовувати паролі ідентифікації, не розголошувати їх третім особам і виконувати оновлення програмного забезпечення, щоб уникнути вразливостей.

Узагалі, забезпечення безпеки інформації є важливим аспектом використання технології Wi-Мах. Впровадження відповідних заходів та протоколів допомагає забезпечити конфіденційність, цілісність і доступність даних, що передаються через цю мережу.

## **ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2**

У цьому розділі дипломної роботи були розглянуті мережеві пристрої Wi-MAX, бездротовий пристрій BreezeMAX від Alvarion, особливості та основні принципи встановлення базової станції BreezeMAX та особливості абонентської станції Wi-MAX.

Дослідження мережевих пристроїв Wi-MAX показало, що вони є важливим елементом інфраструктури бездротових мереж. Вони забезпечують передачу даних і забезпечують зв'язок між базовою станцією і абонентськими пристроями. Проаналізовано бездротовий пристрій BreezeMAX від Alvarion, його характеристики та переваги. Виявлено, що BreezeMAX є передовою системою, яка підтримує сучасну технологію OFDM і адаптивну модуляцію, що дозволяє їй працювати в умовах прямої видимості.

Дослідження особливостей та основних принципів встановлення базової станції BreezeMAX показало, що ця станція має високу продуктивність і спектральну ефективність. Вона дозволяє операторам будувати мережі Wi-MAX вже сьогодні і

задовольняти потреби клієнтів у економічних мережах BWA. Дослідження особливостей абонентської станції Wi-MAX виявило, що вона забезпечує безперервний доступ до мережі Wi-MAX і високу швидкість передачі даних. Вона також підтримує різні пристрої та забезпечує безпеку передачі даних.

Отже, вивчення мережевих пристроїв Wi-MAX, бездротового пристрою BreezeMAX від Alvarion, особливостей та принципів встановлення базової станції BreezeMAX і абонентської станції Wi-MAX дає змогу зрозуміти важливі аспекти технології Wi-MAX та її потенціал у сфері бездротових комунікацій.



## РОЗДІЛ 3

### РОЗРОБКА СЕГМЕНТУ МЕРЕЖІ 3 WI-MAX ТЕХНОЛОГІЄЮ

#### 3.1 Розрахунок параметрів мережі Wi-MAX

##### 3.1.1 Розрахунок зони покриття базової станції

Для оцінки потужності базової станції Wi-MAX необхідно визначити зону покриття або відстань зв'язку для кожного сектора [14]. З врахуванням того, що радіус сектора важко визначити, спираючись на схеми розташування станцій, які наведені у додатку, необхідно обчислити зону покриття для мобільної мережі WiMAX.

Після чого, результати можуть бути поєднані для отримання оптимального рішення щодо покриття сектора, а також можуть бути визначені залежності від розташування станції в межах міста.

Для обчислення відстані зв'язку між базовою станцією та антеною мобільної станції використовуються наступні початкові дані:

Базова станція:

- потужність передавача - 27 дБм;
- середня частота прийому і передачі - 2,3 ГГц;
- втрати у фільтрах і ділильних антенах - 7 дБ;
- спрямованість антени - 120°;

Мобільна станція:

- спрямованість антени - 9°;
- коефіцієнт посилення антени - 10 дБм;
- потужність передавача - 27 дБм.

Визначення зони покриття базової станції проводиться на основі методу, який базується на даних про поширення радіохвиль над помірно пересіченою місцевістю. У розрахунку показані криві поширення радіохвиль (рис. 3.1). Наведені криві відповідають вертикальній кривій, яка проходить через висоту передавальної антени на відстані  $r$  у точці прийому при потужності передавача 1 кВт. Проте отримані криві

відрізняються від реальних характеристик передавача, тому для коригування використовуються поправочні коефіцієнти і загальна формула розрахунку мають наступний вигляд:

$$E = E_c + B_{H.} + B_{\Phi} + B_{h2} + B_{PEL} + (\alpha \cdot l) - D_{SU} + B_{\theta}, \quad (1.1)$$

де:

$E_c$  - для отримання наданих показників необхідно виміряти силу сигналу;

$E_c$  - надано з технічних документів для U-RAS Premium Samsung,  $E_c = 60$  дБм;

$B_{\Phi}$  - загасаність у резонаторах, з'єднувальних кабелях та антенних роз'ємах,

$B_{\Phi} = 7$  дБ

$B_{P.H}$  - на основі наступної формули можна визначити точні значення:

$$B_{P.H} = 10 \cdot \lg\left(\frac{1000}{P_H}\right) = 10 \cdot \lg\left(\frac{1000}{27}\right) = 15,7, \text{ Дб} \quad (1.2)$$

де:

$P_H$  – номінальна потужність передавача,  $P_H = 27$  дБм.

$B_{h2}$  – розрахунок висоти приймальної антени, дБ;

$B_{PEL}$  – розрахунок рельєфу місцевості, дБ;

$\alpha \cdot l$  – втрата у фідері трансмітуючої та приймаючої антен,  $\alpha \cdot l = 3$  дБ;

$D_{SU}$  – коефіцієнт потужності антени мобільної станції,

$D_{SU} = 10$  дБ;

$B_{\theta}$  – розрахунок зниження напрямку випромінювання при порівнянні з вертикальним стержнем, дБ.

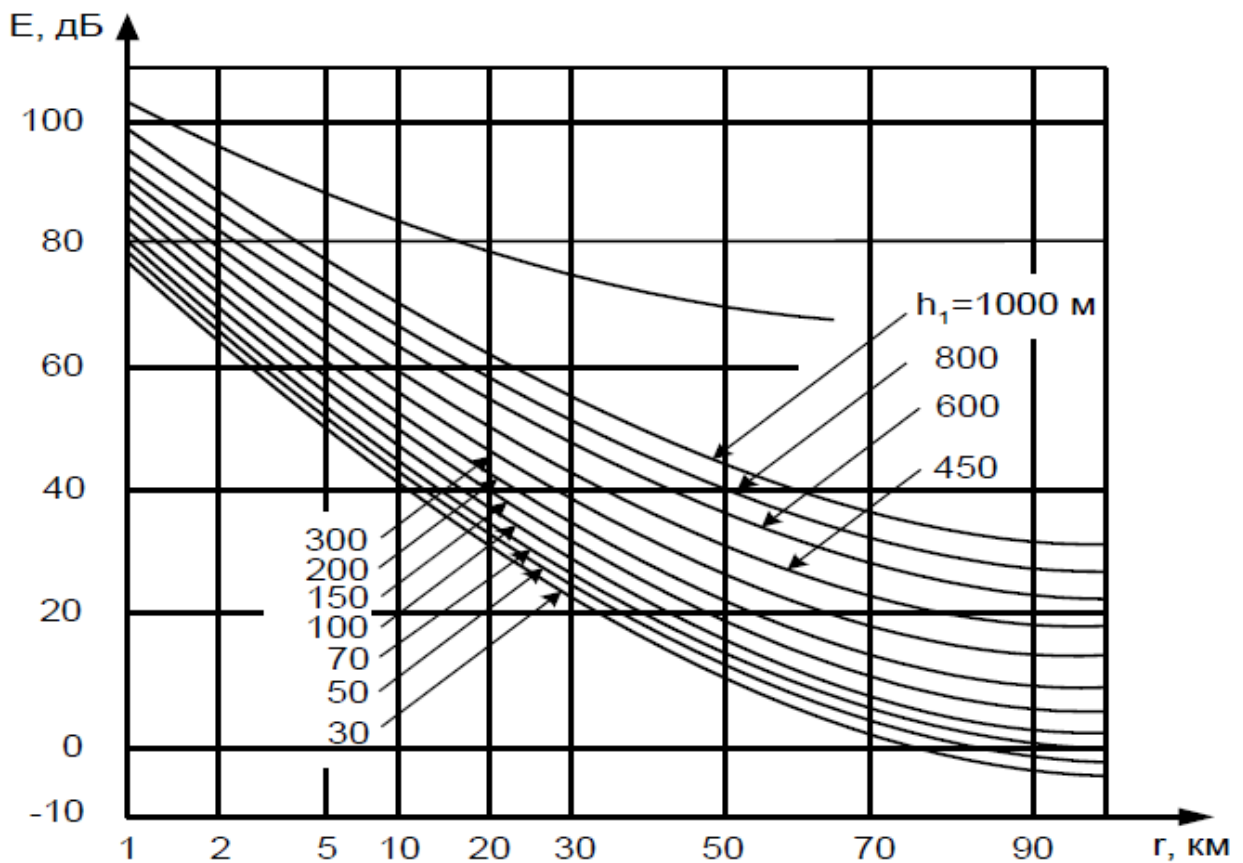


Рис. 3.1 - Радіочастотний спектр на поверхні місцевості міста.

Висота приймальної антени виміряна на відстані 1,5 метра  $B_{h2}$  може бути обчислена за допомогою наступної формули.

$$B_{h2} = 10 \cdot \lg\left(\frac{1,5}{h_2}\right) = 10 \cdot \lg\left(\frac{1,5}{10}\right) = -8,2, \text{ дБ} \quad (1.3)$$

де:

$h_2$  – висота приймальної антени,  $h_2=10$  м.

Радіопокриття в радіусі покриття  $B_{rel}$  враховує точний рельєф місцевості досліджуваної території. Залежно від висоти трансмітуючих антен у різних висотних точках, графіки ефективності коефіцієнта передавання сигналу складаються на основі статистичних даних змін висоти рельєфу. Під середнім рівнем висотного рельєфу розуміється середня висота на відстані 10-15 км від антени, з висотою підйому від БС до 50 м [15]. На малюнку 18 показано графік, який визначає рельєф місцевості.  $\Delta h$

визначає рівень підйому місцевості і вказує на зміну рівня. Якщо  $\Delta h$  перевищує 50 м, то для  $r < 100$  км застосовуються коригувальні параметри, визначені за допомогою графіків 2.2(а) і 2.2(б). У системі U-RAS Premium є секторна конфігурація антени БС. Перший сектор охоплює 120 градусів, отже для охоплення 360 градусів використовуються 3 сектори. Підключення кожного сектора враховує рельєф місцевості, наявність або інші перешкоди для оптимального передавання сигналу.

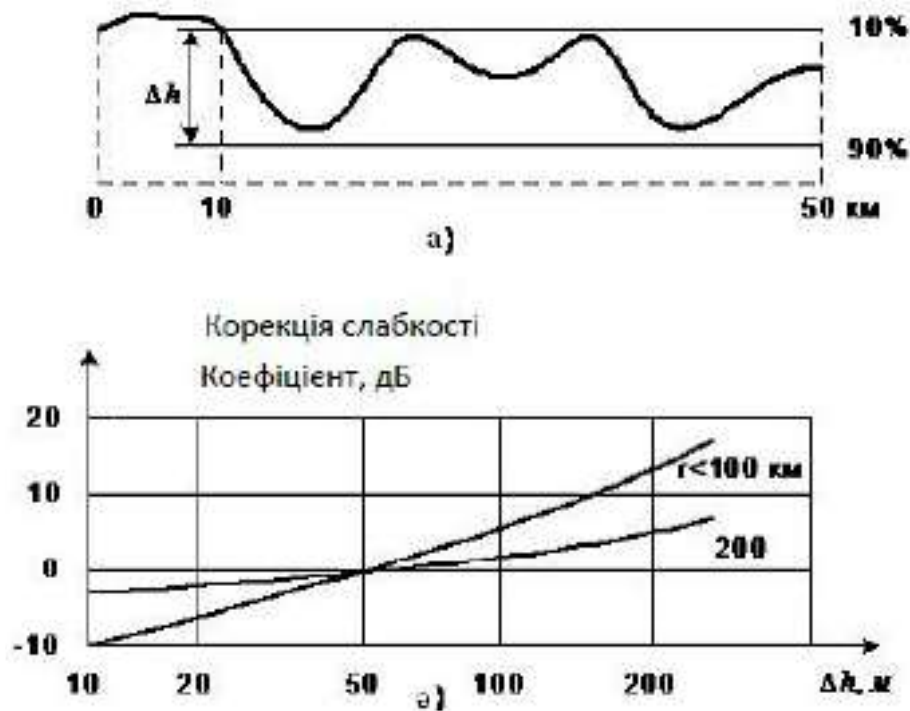


Рис. 3.2 Процедура визначення рельєфу місцевості для подальшого аналізу.

За допомогою графіків на рис. 3.4, можна визначити технічні характеристики кожного сектору та рельєф місцевості за допомогою величини  $V_{rel}$ :

- Перший сектор описується п'ятьма поверхнями будинків та наявністю дерев висотою 15 метрів. Значення  $\Delta h_2 = 15$  метрів. Визначаємо  $V_{rel}$  для рельєфу:  $V_{rel} = -7$  дБ.

- Другий сектор характеризується наявністю будівель та дерев до висоти 30 метрів. Значення  $\Delta h_5 = 30$  метрів. Визначаємо  $V_{rel}$  для рельєфу:  $V_{rel} = -2$  дБ.

- Третій сектор має будівлі та дерева до висоти 10 метрів. Значення  $\Delta h_3 = 10$  метрів. Визначаємо  $V_{rel}$  для рельєфу:  $V_{rel} = -10$  дБ.

Також, для визначення зниження сигналу при порівнянні з горизонтальною площиною, проводиться розрахунок  $\Delta B_\theta$ , який відображений на графіках.

$$B_\theta = 10 \cdot \lg\left(\frac{\theta_E}{360}\right) = 10 \cdot \lg\left(\frac{9}{360}\right) = -16,02 \quad (1.4)$$

де:

За допомогою напрямку спрямованості антени приймача  $\theta_E = 9^\circ$ , ми можемо визначити коефіцієнт напрямленості антени, який встановлюється на базовій станції і спрямований на приймальний пункт [16]. Цей коефіцієнт відображає напрямленість антени в певному напрямку. Для визначення коефіцієнта напрямленості (діаграми спрямованості) антени використовується значення  $\theta_E = 9^\circ$ .

$$E_1 = 60 + 15.7 + 7 - 8.2 - 7 + 3 - 10 - 16.02 = 44.5 \text{ дБ};$$

$$E_2 = 60 + 15.7 + 7 - 8.2 - 2 + 3 - 10 - 16.02 = 49.5 \text{ дБ};$$

$$E_3 = 60 + 15.7 + 7 - 8.2 - 10 + 3 - 10 - 16.02 = 41.5 \text{ дБ}.$$

Звідки видно, що:

- 1 сектор:  $E = 44.5$  дБ;
- 2 сектор:  $E = 49.5$  дБ;
- 3 сектор:  $E = 41.5$  дБ.

На основі графіків ми можемо визначити відстань зв'язку для кожного сектора, враховуючи значення коефіцієнта передачі сигналу. Тому, дальність покриття буде дорівнювати:

- 1 сектор: 6 км;
- 2 сектор: 5 км;
- 3 сектор: 9 км.

Ці значення вказують на відстань зв'язку для кожного сектора, при якій сигнал змінюється на вказані рівні.

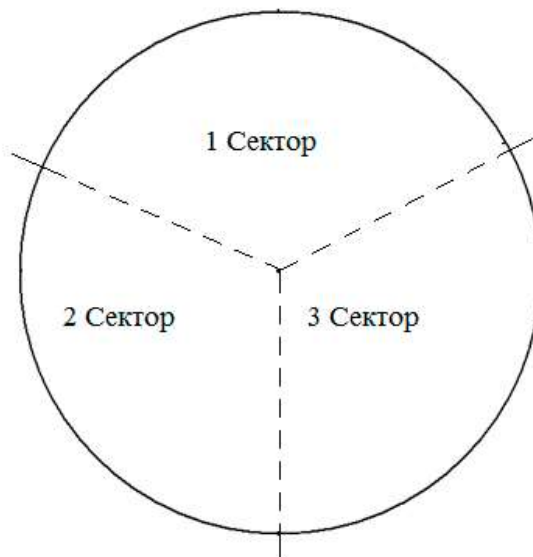


Рис. 3.3 Відстань зв'язку кожного сектора БС

Порівнявши отримані дані про дальність зв'язку, можна визначити середню дальність зв'язку – 6,6 км, що відповідає середній дальності зв'язку згідно технічної документації.

### **3.1.2. Розрахунок кількості базових станцій (Node B)**

Для визначення радіуса дії ( $R = 6.6$  км) мобільної Wi-MAX, розташовуємо базові станції на карті району міста [18]. Окрім того, розраховуємо оптимальне розташування секторів. Це означає, що ми не беремо до уваги комерційну та промислову зону району. В результаті, для мобільного Wi-MAX потрібно створити 5 базових станцій. Райони, які покриваються мобільним Wi-MAX, розглядаються в перспективі як аудиторії, які використовують послуги з високою швидкістю мобільного Wi-MAX.

Оцінюємо покриття зони Мобільного Wi-MAX. Для розрахунку покриття широкої зони використовується наступна формула:

$$S = \frac{3}{2} \sqrt{3} \cdot R^2 \quad (1.5)$$

Для розрахунку площі загальної зони покриття одного сектора Node B використовується наступна формула:

$$S_{сек} = \frac{3}{2} \sqrt{3} \cdot 6,6^2 = 54,8 \text{ км}^2$$

Якщо ми розрахуємо площу загальної області покриття для всіх Node B за допомогою формули, то отримаємо:

$$S = N_{NodeB} \cdot S_{сек}, \quad (1.6)$$

де, N - вказує на кількість базових станцій (Node B) мобільної мережі WiMAX.  
Зона покриття вузла B з 5-ма БС:

$$S = 5 \cdot 54,8 = 274 \text{ км}^2$$

Визначимо відносну зону покриття мобільної мережі WiMAX за формулою:

$$s = \frac{S}{S_{ce}} \cdot 100\%, \quad (1.7)$$

де,  $S_{ce}$  – площа району підприємства,  $\text{км}^2$ .

В результаті отримуємо:

$$s = \frac{274}{339.36} \cdot 100\% = 81\%$$

Іншими словами, 81% району де знаходиться підприємство, буде покрито мережею Mobile Wi-MAX. Це значення можна оцінити як дуже хороше.

### **3.1.3 Кількість абонентів, які використовують одну базову станцію**

Кількість абонентів, обслуговуваних однією базовою станцією, можна знайти за наступною формулою:

$$N_{aBTS} = \text{int}(A/\beta) \cdot N_S, \quad (1.8)$$

де,  $N_S$ -кількість секторів, при яких кількість абонентів буде дорівнювати:

$$N_{aBTS} = \text{int}(12/0,026) \cdot 3 = 1384 \text{ (абонентів)}$$

Тому відштовхуючись від отриманих даних, можна зробити наступний висновок, що для невеликого підприємства вистачить і одної БС, але вона повинна покривати всі сектори, а саме:  $360^\circ$ , тобто, або 4 сектори по  $90^\circ$ , 3 сектори по  $120^\circ$  та й інші варіації.

### **3.1.4 Розрахунок пропускної здатності мережі мобільного Wi-MAX**

Розрахунок місткості сектору мобільного WiMAX здійснюється на основі швидкості передачі даних. Кожна послуга в мережі мобільного WiMAX має власну швидкість, і кількість користувачів у секторі визначається разом з резервом пропускної здатності [19]. Оскільки високошвидкісна передача даних потребує більшої ширини спектра, кількість абонентів, які можуть одночасно користуватися цією послугою, менша, ніж кількість абонентів, які підключені до низькошвидкісної послуги.

Таким чином, пропускна здатність змінюється в залежності від абонентського трафіку у секторі.

Для розрахунку пропускної здатності мережі мобільного Wi-MAX потрібно врахувати кілька факторів, таких як ширина каналу, швидкість передачі даних та ефективність передавача.



1. *Ширина каналу.* У мережі мобільного Wi-MAX ширина каналу вимірюється в мегагерцах (MHz). Для цього розрахунку припустимо, що використовується канал шириною 20 МГц.

2. *Швидкість передачі даних.* Швидкість передачі даних в мережі Wi-MAX може змінюватися залежно від умов та обмежень. Для цього розрахунку потрібно припустити, що максимальна швидкість передачі даних становить 30 Мбіт/с.

3. *Ефективність передавача.* Ефективність передавача визначається параметром, який називається модуляційно-кодуванням (Modulation and Coding Scheme, MCS). Чим вищий рівень MCS, тим вища швидкість передачі даних, але й збільшується імовірність помилок при передачі. Для цього розрахунку потрібно припустити, що використовується MCS рівня 16-QAM (Quadrature Amplitude Modulation).

Розрахунок пропускної здатності мережі можна провести за допомогою формули:

$$F = b * v * s, \quad (1.9)$$

де:

- F = Пропускна здатність;
- b = Ширина каналу;
- v = Швидкість передачі даних;
- s = Ефективність передавача.

Якщо підставити відповідні значення з попередньої формули то можна обрахувати значення пропускної здатності мережі Wi-Max:

$$F = 20 \text{ МГц} * 30 \text{ Мбіт/с} * 16\text{-QAM.}$$

$$F = 600 \text{ Мбіт/с.}$$

Таким чином, розрахункова пропускна здатність мережі мобільного Wi-MAX з урахуванням вищевказаних параметрів становить 600 Мбіт/с [20]. Важливо

зазначити, що це лише розрахункове значення, а фактична пропускна здатність може залежати від різних факторів, таких як завантаженість мережі та інші перешкоди.

### **3.2 Оцінка переваг та недоліків використання Wi-Max**

Оцінка переваг та недоліків використання Wi-Max в порівнянні з іншими технологіями може бути наступною:

Переваги Wi-Max:

1. Великий радіус покриття: Wi-Max може забезпечити широкий бездротовий доступ до Інтернету на відстані до кількох кілометрів від базової станції. Це робить його ефективним для з'єднання великих територій, таких як міста чи сільські райони.

2. Висока швидкість передачі даних: Wi-Max може забезпечити високу швидкість передачі даних, що робить його привабливим для використання в багатокористувацьких середовищах, таких як офісні будівлі або громадські місця.

3. Підтримка мобільності: Wi-Max може підтримувати рухомість користувачів, що дозволяє під'єднання до мережі навіть під час пересування на автомобілі, поїзді чи поштовхах.

4. Висока масштабованість: Wi-Max може підтримувати велику кількість підключених пристроїв, що робить його ефективним для використання в густонаселених місцях.

Недоліки Wi-Max:

1. Висока вартість: Встановлення і підтримка інфраструктури Wi-Max можуть бути дорогими, особливо для покриття великих територій. Це може становити проблему для операторів мережі або провайдерів, які мають обмежений бюджет.

2. Вплив перешкод: Wi-Max сигнал може бути чутливим до перешкод, таких як будівлі, дерева або інші перешкоди на шляху передачі сигналу. Це може призводити до зниження швидкості та надійності з'єднання.

3. Відсутність стандарту: У розробці Wi-Max було використано декілька різних стандартів, що може створювати сумісність та інтероперабельність проблеми між різними пристроями та операторами мережі.

4. Обмежена підтримка в мобільних пристроях: В порівнянні з іншими бездротовими технологіями, такими як 4G або 5G, підтримка Wi-Max у мобільних пристроях може бути обмеженою. Більшість сучасних смартфонів та планшетів не мають вбудованої підтримки Wi-Max.

Враховуючи ці переваги та недоліки, вибір між Wi-Max та іншими технологіями залежатиме від конкретних вимог та потреб користувача, масштабу та призначення мережі.

### **ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3**

У даному розділі дипломної роботи була проведена розробка сегменту мережі з використанням Wi-Max технології. В рамках цього розділу були виконані розрахунки параметрів мережі Wi-Max, зокрема розрахунок зони покриття базової станції, розрахунок кількості базових станцій (Node B), визначення кількості абонентів, які використовують одну базову станцію, і розрахунок пропускної здатності мережі мобільного Wi-Max.

Після розрахунків була проведена оцінка переваг та недоліків використання Wi-Max. За переваги технології можна відзначити велику зону покриття, високу пропускну здатність та можливість мобільного підключення. Однак, серед недоліків можуть бути висока ціна обладнання, обмежена пропускна здатність при великій кількості користувачів та можливість впливу перешкод на якість сигналу.

Результати розрахунків та оцінки переваг та недоліків дозволяють зробити висновок про доцільність та ефективність використання Wi-Max технології для розробки сегменту мережі. Однак, враховуючи недоліки, необхідно провести додатковий аналіз та узгодження з конкретними потребами та обмеженнями перед впровадженням даної технології.

Таким чином, розділ дипломної роботи з розробки сегменту мережі з Wi-Max технологією надає необхідну інформацію для розробки та впровадження ефективної мережевої інфраструктури з використанням даної технології.

## ВИСНОВКИ

У даній дипломній роботі було проведено аналіз технологій та стандартів сучасних мереж. Були розглянуті основні принципи та характеристики комп'ютерних технологій, зокрема максимальна пропускна здатність і основні властивості джиттеру. Також було розглянуто інструменти та засоби вимірювання смуги пропуску, такі як Iperf, ABGET, PATHLOAD, SpeedTest та Psiber Pinger Plus.

Далі були розглянуті основні характеристики технології Wi-Max, включаючи переваги лінії Wi-Max, режими роботи мережі Wi-Max та принцип роботи мережі Wi-Max. Було проведено порівняння технологій LTE і WiMAX, щоб з'ясувати їхні схожості та відмінності.

У другому розділі було здійснено вибір оптимального Wi-Max обладнання, включаючи розгляд мережевих пристроїв Wi-Max, бездротового пристрою BreezeMax від Alvarion, особливостей встановлення базової станції Breeze-Max та особливостей абонентської станції Wi-Max. Також було звернуто увагу на забезпечення безпеки інформації під час використання технології Wi-Max.

У розділі розробки сегменту мережі з Wi-Max технологією було проведено розрахунок параметрів мережі Wi-Max, таких як зона покриття базової станції, кількість базових станцій, кількість абонентів, що використовують одну базову станцію, і пропускна здатність мережі мобільного Wi-Max. Також була здійснена оцінка переваг та недоліків використання Wi-Max.

В результаті проведеного дослідження можна зробити висновок, що Wi-Max технологія є ефективним рішенням для розробки сегменту мережі. Вона має велику пропускну здатність, можливість мобільного підключення і значну зону покриття. Однак, необхідно враховувати недоліки, такі як висока ціна обладнання, обмежена пропускна здатність при великій кількості користувачів та вплив перешкод на якість сигналу.

Таким чином, дана дипломна робота надає вичерпний огляд технологій і стандартів сучасних мереж, аналізує Wi-Max технологію та її особливості, вибирає оптимальне обладнання для впровадження, проводить розрахунки параметрів мережі Wi-Max та оцінює переваги та недоліки цієї технології.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Грищенко, В. В. Бездротові мережі передачі даних: навчальний посібник / В. В. Грищенко. – Київ: Видавничий дім "Слово", 2019. – 256 с.
2. Stallings, W. Wireless Communications and Networks / William Stallings. – Boston: Pearson, 2016. – 576 p.
3. Andrews, J. G. Fundamentals of WiMAX: Understanding Broadband Wireless Networking / Jeffrey G. Andrews, Arunabha Ghosh, Rias Muhamed. – Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2007. – 528 p.
4. Зінченко, І. В. Бездротові мережі зв'язку: технології, протоколи, стандарти / І. В. Зінченко. – Київ: Видавничий дім "ІНЖЕНЕР", 2015. – 288 с.
5. Pahlavan, K. Principles of Wireless Networks: A Unified Approach / Kaveh Pahlavan, Prashant Krishnamurthy. – Boston: Prentice Hall, 2001. – 848 p.
6. Курочкін, О. В. Мережі зв'язку: теорія та практика / О. В. Курочкін. – Київ: Видавничий дім "ІНЖЕНЕР", 2019. – 496 с.
7. WiMAX Forum. WiMAX Technology for Broadband Wireless Access / WiMAX Forum. – Wiley, 2007. – 688 p.
8. Tanenbaum, A. S. Computer Networks / Andrew S. Tanenbaum, David J. Wetherall. – 5th edition. – Upper Saddle River, NJ: Pearson, 2010. – 960 p.
9. Бурлаков, О. Є. Бездротові мережі зв'язку: основи проектування та впровадження / О. Є. Бурлаков, А. В. Кожарін. – Київ: Видавництво НТУУ "КПІ", 2016. – 328 с.
10. Клименко, О. О. Основи цифрової обробки сигналів: навчальний посібник / О. О. Клименко, О. Л. Букреєва, А. А. Клименко. – Київ: Видавничий дім "Києво-Могилянська академія", 2018. – 336 с.
11. Mitchell, B. Local Area Networks: A Complete Guide to Design, Implementation, and Management / Brian Mitchell. – 1st edition. – New York, NY: CRC Press, 2019. – 258 p.

12. Hunt, C. TCP/IP Network Administration / Craig Hunt. – 3rd edition. – Sebastopol, CA: O'Reilly Media, 2002. – 746 p.
13. Романченко, А. І. Безпроводові телекомунікаційні системи: теорія та практика / А. І. Романченко. – Київ: Видавничий центр "МААР", 2018. – 288 с.
14. Соколов, І. В. Бездротові телекомунікаційні системи: теорія та практика / І. В. Соколов, В. І. Тимошенко. – Київ: НТУУ "КПІ", 2017. – 380 с.
15. Голобородько, В. О. Основи комп'ютерних мереж: навчальний посібник / В. О. Голобородько, Ю. О. Клименко. – Київ: НУ "Львівська політехніка", 2017. – 296 с.
16. Fitzgerald, J. Computer Networking Basics: An Introductory Guide for Complete Beginners / James Fitzgerald. – 2nd edition. – CreateSpace Independent Publishing Platform, 2017. – 84 p.
17. Василенко, М. М. Комп'ютерні мережі: навчальний посібник / М. М. Василенко, С. В. Коляда. – Київ: Ліра-К, 2018. – 304 с.
18. Голобородько, В. О. Основи комп'ютерних мереж: навчальний посібник / В. О. Голобородько, Ю. О. Клименко. – Київ: НУ "Львівська політехніка", 2017. – 296 с.
19. Ісаєв, Є. М. Телекомунікаційні системи з багаторівневим розподілом функцій / Є. М. Ісаєв. – Київ: НТУУ "КПІ", 2016. – 420 с.
20. Василенко, М. М. Комп'ютерні мережі: навчальний посібник / М. М. Василенко, С. В. Коляда. – Київ: Ліра-К, 2018. – 304 с.