

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Інститут електроенергетики
Факультет інформаційних технологій
Кафедра безпеки інформації та телекомунікацій

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеня бакалавра

галузь знань 17 Електроніка та телекомунікації

спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка

освітній рівень бакалавр

На тему: Проектування мережі мультисервісного доступу мікрорайону
за технологією WiMAX

Виконала: студентка 4 курсу, група 172-17-1

Альтишулер Анна Борисівна

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
Кваліфікаційної роботи	к.т.н., доц. Галушко О.М.			
Розділів:				
Спеціальний	к.т.н., доц. Галушко О.М.			
Економічний	к.е.н., доц. Романюк Н.М.			
Рецензент				
Нормоконтроль	к.т.н., доц. Галушко О.М.			

Дніпро
2021

**Міністерство освіти і науки України
Державний вищий навчальний заклад
Національний технічний університет
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

**Інститут електроенергетики
Факультет інформаційних технологій
Кафедра безпеки інформації та телекомунікацій**

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри
безпеки інформації та телекомунікацій
д.т.н., професор Корнієнко В.І.
«_____» _____ 2021 року

**ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеня бакалавра**

спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка

(код і назва спеціальності)

студента 172-17-1 Альтшулер Анни Борисівни

(група)

(прізвище ім'я по-батькові)

Тема: «Проектування мережі мультисервісного доступу мікрорайону за технологією WiMAX»

Наказ ректора Державного ВНЗ НТУ «ДП» від 07.06.2021 р. №317-с

Розділ	Зміст	Термін виконання
Стан питання, постановка задачі	Огляд МСМ, технології WiMAX, опис сфери використання, принципу роботи та архітектури мереж WiMAX	25.02 2021 – 31.03 2021
Спеціальна частина	Характеристика мікрорайону, розрахунок параметрів проєктованої мережі, вибір обладнання та реалізація мережі WiMAX	01.04 2021 – 04.06 2021
Економічний розділ	Розрахунок вартості проєктування мережі мультисервісного доступу	05.06.2021 – 16.06.2021

Завдання видав _____

(підпис керівника)

Галушко О.М.

(прізвище, ініціали)

Завдання прийняв _____

(підпис)

Альтшулер Анна Борисівна

(прізвище, ініціали)

Дата видачі завдання: 18 лютого 2021 р

Строк подання дипломного проєкту до ДЕК: 20 червня 2021 р.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 91 с., 30 рис., 12 табл., 4 додатки, 37 джерел

Об'єкт дослідження: мережа мультисервісного доступу за технологією WiMAX

Предмет дослідження: проектування мережі WiMAX.

Мета кваліфікаційної роботи: створення умов для побудови сучасної мультисервісної мережі за технологією WiMAX для населення мікрорайону «Західний» міста Дніпра.

У першому розділі зроблено огляд технологій мультисервісного доступу, опис технології стандарту WiMAX 802.16, розглянуто основні принципи архітектури мережі WiMAX та її розгортання.

У спеціальному розділі для проектування обрано мікрорайон «Західний» міста Дніпра, наведена його характеристика (ландшафт, тип забудови, кількість абонентів), виконано розрахунок параметрів проектованої мережі, обрано необхідне обладнання та представлена реалізація мережі WiMAX.

В економічній частині проведений розрахунок капітальних витрат на придбання, введення в експлуатацію та підтримку роботи проектованої мережі.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи полягає в інтенсивному розвитку бездротових мереж, вона ставить завдання збільшення їх продуктивності, а безпосередньо – забезпечення мікрорайону «Західний» міста Дніпра якісним доступом до мережі Інтернет при застосуванні технології WiMAX.

МЕРЕЖА АБОНЕНТСЬКОГО ДОСТУПУ, ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕДАЧІ, МУЛЬТИСЕРВІСНА МЕРЕЖА, ШИРОКОСМУГОВИЙ ДОСТУП, WiMAX, БЮДЖЕТ ЛІНІЇ, ЗОНА ПОКРИТТЯ, ПРОПУСКНА ЗДАТНІСТЬ.

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка: 91с., 30 рис., 12 табл., 4 приложения, 37 источников

Объект исследования: сеть мультисервисного доступа по технологии WiMAX

Предмет исследования: проектирование сети WiMAX.

Цель квалификационной работы: создание условий для построения современной мультисервисной сети по технологии WiMAX для населения микрорайона «Западный» города Днепра.

В первой главе сделан обзор технологий мультисервисного доступа, описание технологии стандарта WiMAX 802.16, рассмотрены основные принципы архитектуры сети WiMAX и ее развертывания.

В специальном разделе для проектирования избран микрорайон «Западный» города Днепра, приведена его характеристика (ландшафт, тип застройки, количество абонентов), произведен расчет параметров проектируемой сети, избрано необходимое оборудование и представлена реализация сети WiMAX.

В экономической части произведен расчет капитальных затрат на приобретение, ввод в эксплуатацию и поддержку работы проектируемой сети.

Актуальность темы квалификационной работы заключается в интенсивном развитии беспроводных сетей, оно ставит задачу увеличения их производительности, а непосредственно - обеспечение микрорайона «Западный» города Днепра качественным доступом к сети Интернет при применении технологии WiMAX.

СЕТЬ АБОНЕНТСКОГО ДОСТУПА, ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕДАЧИ, МУЛЬТИСЕРВИСНАЯ СЕТЬ, ШИРОКОПЛОСНЫЙ ДОСТУП, WiMAX, БЮДЖЕТ ЛИНИИ, ЗОНА ПОКРЫТИЯ, ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ.

ABSTRACT

Explanatory note: 91p., 30 fig., 12 tab., 4 appendices, 37 sources

Object of study: WiMAX multiservice access network

Subject of research: WiMAX network design.

The aim of the thesis: to create conditions for the construction of a modern multiservice network using WiMAX technology for the population of the "Zahidnyi" district of the city of Dnipro.

The first section provides an overview of multiservice access technologies, a description of the technology of the WiMAX 802.16 standard, the basic principles of WiMAX network architecture and its deployment.

In a special section for design, the residential district "Zahidnyi" of the city of Dnipro is selected, its characteristics (landscape, type of building, number of subscribers) are calculated, the parameters of the designed network are calculated, the necessary equipment is selected and the implementation of WiMAX network is presented.

In the economic part, the calculation of capital costs for the acquisition, commissioning and maintenance of the designed network.

The urgency of the topic of qualification work is the intensive development of wireless networks, it aims to increase their productivity, and directly - to provide the neighborhood "Zahidnyi" of the city of Dnipro with quality access to the Internet using WiMAX technology.

SUBSCRIBER ACCESS NETWORK, TRANSMISSION TECHNOLOGIES, MULTISERVICE NETWORK, BROADBAND ACCESS, WIMAX, LINE BUDGET, COVER ZONE, CAPACITY.

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

AAA - Authentication, Authorization, Accounting;
AES - Advanced Encryption Standard;
AK - Authorization Key;
ASN – Access Service Network;
BPSK - Binary Phase-shift Keying;
BWA - Broadband Wireless Access;
CSN – Connectivity Service Network;
DP - Decision Point;
DSL – Digital Subscriber Line;
EP - Enforcement Point;
FDD – Frequency Division Duplex;
GSM - Global System for Mobile Communications;
IDU - In-Door Unit;
IETF - The Internet Engineering Task Force;
IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers;
IP – Internet Protocol;
KEK - Key Encryption Key;
LTE - Long-Term Evolution;
MAC – Medium Access Control;
NAP - Network Access Point;
NGN - Next Generation Network;
NLOS - Non-line-of-sight;
NSP – Network Service Provider;
ODU - Outdoor Unit;
OFDM – Orthogonal frequency-division multiplexing;
PKM - Privacy Key Management;
PON - Passive Optical Network;

QAM - Quadrature Amplitude Modulation;
QoS - Quality of service;
QPSK - Quadrature Phase Shift Keying;
TDD – Time Division Duplex;
TDMA - Time Division Multiple Access;
TEK - Traffic Encryption;
WiMAX – Worldwide Interoperability for Microwave Access;
Wi-Fi - Wireless Fidelity;
WLAN – Wireless Local Area Network;
АС – Абонентська станція;
БМ – Базова модель;
БС — Базова станція;
МДВ – Модуль доступу виносний;
МС – Мобільна станція;
МСМ – Мультисервісна мережа;
ШПФ – Швидке перетворення Фур'є.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
1 СТАН ПИТАННЯ, ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ	12
1.1 Поняття мереж мультисервісного доступу	12
1.2 Технології доступу мультисервісних мереж	14
1.3 Технологія стандарту WiMAX 802.16.....	15
1.4 Сфера використання технології WiMAX.....	17
1.5 Принцип та режими роботи технології WiMAX.....	18
1.6 Основні принципи архітектури мережі WiMAX та її розгортання	21
1.6.1 Розгортання систем WiMAX	23
1.6.2 Діапазон частот.....	25
1.7 Базова модель мережі WiMAX	27
1.8 Фізичний рівень мереж WiMAX	30
1.8.1 Модуляція OFDM.....	30
1.8.2 Завадостійке кодування	33
1.8.3 Гнучкість.....	34
1.8.4 Метод доступу	35
1.9 Захист інформації у технології WiMAX.....	35
1.10 Безпека WiMAX для здоров'я людини	38
1.11 Обладнання технології WiMAX.....	39
1.12 Постановка задачі кваліфікаційної роботи	41
1.13 Висновок	42
2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	43
2.1 Характеристика району для проектування мережі	43
2.2 Розрахунок параметрів мережі	45
2.2.1 Розрахунок бюджету лінії.....	45
2.2.2 Розрахунок зони покриття	49

2.2.3 Розрахунок пропускної здатності	53
2.3 Вибір обладнання	59
2.3.1 Загальна характеристика системи WIMIC-6000.....	60
2.3.2 Переваги системи WIMIC-6000.....	62
2.3.3 Технічні характеристики системи WIMIC-6000.....	64
2.3.4 Конструкція системи WIMIC-6000	67
2.3.5 Будова та принцип роботи системи WIMIC-6000	70
2.4 Висновок.....	73
3 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ	74
3.1 Розрахунок капітальних витрат на побудову мережі.....	74
3.2 Розрахунок експлуатаційних витрат	76
3.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань.....	77
3.2.2 Розрахунок річного фонду заробітної плати	77
3.2.3 Розрахунок відрахувань на соціальні заходи.....	79
3.2.4 Визначення річних витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт	79
3.2.5 Розрахунок вартості спожитої електроенергії.....	80
3.2.6 Визначення інших витрат	80
3.3 Розрахунок доходу	81
3.4 Розрахунок прибутку	82
3.5 Висновок.....	82
ВИСНОВКИ	83
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	84
ДОДАТОК А	88
ДОДАТОК Б	89
ДОДАТОК В.....	90
ДОДАТОК Г.....	91

ВСТУП

Потреба сучасної людини в доступі до інформаційних ресурсів з кожним роком зростає. Вони проникли в усі сфери діяльності людини. Без них неможлива електронна пошта, доступ до віддалених баз даних і т.д. Швидкий розвиток бездротових технологій зв'язку зробив можливим забезпечення доступу до Інтернет майже будь-якої точки планети. Системи бездротової мережі передачі даних існують вже чимало часу. Однак в останні роки їх розвиток здійснюється надзвичайно інтенсивно, ставши одним з основних напрямків розвитку телекомунікаційної індустрії.

Проблема останньої милі завжди була актуальною задачею для зв'язківців. До теперішнього часу з'явилося багато технологій останньої милі, і перед будь-яким оператором зв'язку стоїть завдання вибору технології, яка оптимально вирішує завдання доставки будь-якого виду трафіку своїм абонентам. Універсального рішення цього завдання не існує, у кожній технології є своя область застосування, свої переваги і недоліки.

В даній кваліфікаційній роботі розглядається задача організації бездротової мультисервісної мережі в мікрорайоні міста за технологією WiMAX. Технології WiMAX об'єднує в собі найкраще, що є в технологіях 3G, IEEE 802.11 та ін. Пропускна здатність каналів даної мережі анітрохи не поступається провідним технологіям. За відомостями WiMAX Forum, налічується вже близько 175 впроваджень фіксованої версії. Багато аналітиків бачать у ній конкурентну або взаємодоповнювальну технологію дротового широкосмугового доступу DSL. Дальність розповсюдження радіохвиль в кілька разів перевищує звичайні Wi-Fi мережі, що дозволяє організувати великомасштабні мережі в рамках міста. Тому саме технології WiMAX є найкращим рішенням для забезпечення абонентів мікрорайону широкосмуговим доступом в інтернет.

Механізми розподілу ресурсів в мережах WiMAX стають критично важливими для забезпечення необхідної якості обслуговування і надійності

функціонування такої мережі. Мережі WiMAX, що функціонують на основі рекомендацій IEEE 802.16, реалізують механізм забезпечення, необхідного для різних видів трафіку якості обслуговування шляхом надання певного ресурсу - смуги передачі - відповідно до запиту абонентської станції.

Мережі WiMAX відносно прості і гнучкі в розгортанні на досить великих відстанях без проведення робіт з прокладання кабелю, а також надання користувачам зв'язку зі швидкістю в одиниці Мбіт/с, що особливо актуально для місць з нерозвиненою мережевою інфраструктурою.

В даній кваліфікаційній роботі докладно розглянуті технології побудови мереж мультисервісного доступу, розроблена схема організації мережі на основі технології WiMAX, розраховані зони покриття кожної базової станції, проведено розрахунок пропускної здатності мережі зв'язку та вибір апаратури базових та абонентських станцій. В ході проектування даної мережі ретельно розглянути і проаналізовано всі чинники, для забезпечення абонентів якісними послугами.

1 СТАН ПИТАННЯ, ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Поняття мереж мультисервісного доступу

Мультисервісна мережа дозволяє відмовитися від чисельних накладених вторинних мереж, забезпечити впровадження нових послуг з різною вимогою до обсягу передаваної інформації та якості її передачі. Оператор мультисервісної мережі зможе найбільш повно реалізувати смугу пропускання для інтеграції різних видів трафіку та надання різних послуг. Користувач же зможе задовольнити свої потреби в отриманні будь-якої інформації при доступі з будь-якої точки і в будь-який час. Потреба у створенні мультисервісних мереж диктується сформованим ринком телекомунікаційних послуг [1].

Мультисервісна мережа утворює єдину інформаційно-телекомунікаційну структуру, яка підтримує всі види трафіку (дані, голос, відео) і надає всі види послуг (традиційні та нові, базові та додаткові) в будь-якій точці, в будь-який час, в будь-якому наборі і обсязі, з диференційованою гарантованою якістю і за цінами, що задовольняють різні категорії користувачів.

Мультисервісна мережа забезпечує:

- управління всіма послугами передачі даних: виділеними лініями, FrameRelay, АТМ, «прозорими» локальними мережами;
- агрегування трафіку на рівні широкосмугового доступу;
- агрегування трафіку мобільних мереж і консолідацію трафіку в опорній мережі;
- інфраструктуру телефонного зв'язку нового покоління;
- зближення фізичного рівня і рівня даних в рішенні завдання побудови опорного оптичного вузла CoreNode;
- агрегування трафіку опорних/прикордонних ІР-маршрутизаторів.

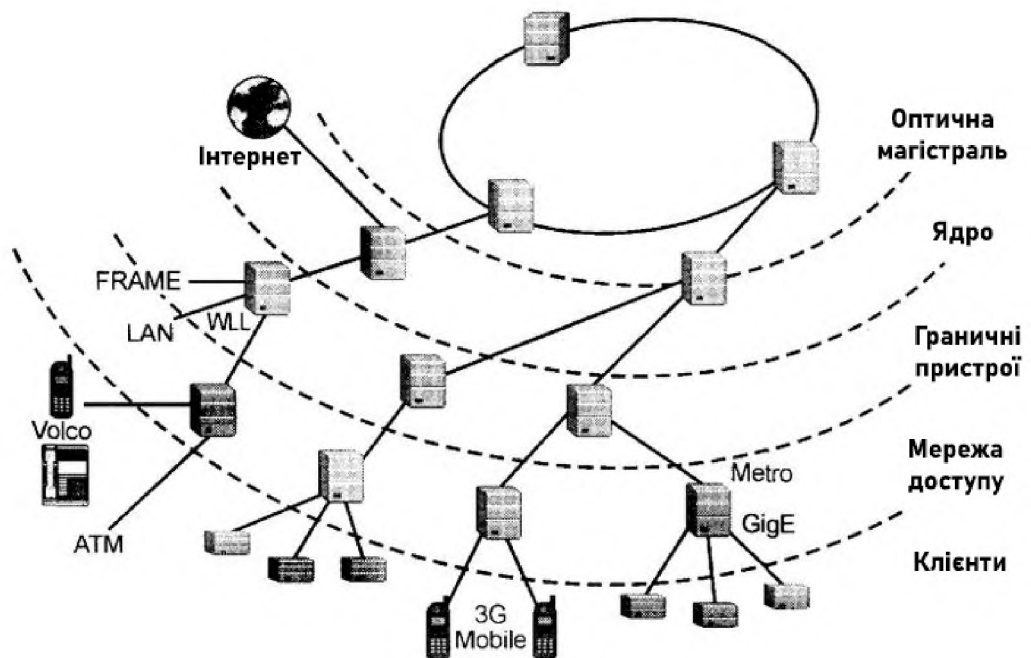


Рисунок 1.1 - Мультисервісна мережа

Мультисервісна мережа будується виходячи з універсальних середовищ передачі, універсальних мережевих технологій і протоколів, які забезпечують конвергенцію мереж і інтеграцію послуг. У ситуації технологій конвергенції єдине мультисервісне середовище забезпечує надання всіх послуг об'єднаних мереж. При цьому оператори отримують можливість розширювати як номенклатуру, так і якість послуг, що надаються, проникаючи в раніше закриті для себе суміжні області телекомунікаційної галузі. Ця можливість дозволяє створювати і принципово нові послуги, які стоять на стику або є комбінацією традиційних технологій передачі голосу, даних і відео.

Таким чином, мультисервісна мережа надає розширений набір послуг з різним співвідношенням ціна/якість. В основу концепції побудови МСМ як мережі зв'язку наступного покоління (NGN) покладено ідею про створення універсальної мережі, яка б дозволяла переносити будь-які види інформації, такі як мова, відео,

аудіо, графіку і т.д., а також забезпечувати можливість надання необмеженого спектра інфокомунікаційних послуг.

Базовим принципом концепції МСМ є відділення функцій перенесення і комутації, функцій управління викликом і функцій управління послугами одна від одної. Однією з основних цілей побудови МСМ, як уже зазначалося раніше, є розширення спектру послуг, що надаються:

- послуги служби телефонного зв'язку (надання місцевого, міжміського та міжнародного телефонного з'єднання);
- послуги служб передачі даних (надання виділеного каналу передачі даних, постійного і комутованого доступу в мережу Інтернет, віртуальних приватних мереж передачі даних);
- послуги телематичних служб («електронна пошта», «голосова пошта», «доступ до інформаційних ресурсів», телефонія по ІР-протоколу, «аудіоконференція» і «відеоконференція»);
- послуги служб рухомого електрозв'язку;
- послуги постачальників інформації: відео та аудіо за запитом, інтерактивні новини, електронний супермаркет, дистанційне навчання та ін.

1.2 Технології доступу мультисервісних мереж.

Оптичний доступ

Суть технології PON (Passive Optical Network) полягає в тому, що між центральним вузлом і віддаленими абонентськими вузлами створюється повністю пасивна оптична мережа, що має топологію «дерево» [2].

Дротовий доступ

Серед провідних технологій доступу перше місце все ще займає ISDN - це повністю цифрова, але все ж телефонна мережа загального користування. Для організації домашнього високошвидкісного доступу в Інтернет зручні асиметричні DSL-рішення, наприклад, стала найбільш поширеною технологія ADSL. Все більш

популярним і затребуваним стає симетричний доступ, наприклад SHDSL. Технологія SHDSL допускає використання репітерів, що дозволяє організувати канали зв'язку довжиною до 18,5 км.

Бездротовий доступ

Радіодоступ абонентів до послуг телефонії та передачі даних організовується за допомогою технологій WLL. Однією з перших WLL-технологій, що набули широкого поширення на ринку, по праву вважається стандарт DECT. Крім того, для організації бездротового абонентського доступу використовуються технології класів WPAN (IrDA (зв'язок по ІЧ-каналі) і Bluetooth), WLAN (технологія Wi-Fi) і WMAN.

Нове модне слово в секторі бездротових міських (Wireless MAN) мереж - WiMAX. Це комерційна назва групи стандартів IEEE 802.16, підтриманих промисловою групою, до складу якої входить ряд відомих компаній-розробників. Цей протокол розроблений для організації бездротового доступу на рівні мегаполісів і покликаний вирішити проблему "останньої милі" для найвимогливіших провайдерів, а також скоротити фінансові витрати та часові витрати на розгортання нових підключень завдяки уніфікації рішення. Заявлені високі швидкості (до 70 Мбіт/с) і дальність зв'язку (до 50 км) повинні забезпечити технології WiMAX велике майбутнє.

1.3 Технологія стандарту WiMAX 802.16

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) - телекомунікаційна технологія, розроблена з метою надання універсального бездротового зв'язку на великих дистанціях для широкого спектру пристроїв (від робочих станцій і портативних комп'ютерів до мобільних телефонів). Заснована на стандарті IEEE 802.16, який так само називають WirelessMAN. Назва WiMAX було створено WiMAX Forum-організацією, яка була заснована в червні 2001 року з метою просування та розвитку WiMAX [3].

WiMAX мережі засновані на тих самих принципах, що і мережі для стільникових телефонів. Але, на відміну від них, базові станції WiMAX забезпечують широкосмуговий зв'язок на площі радіусом більше, ніж 30 км з пропускнуною спроможністю, яку можна порівняти з кабельним з'єднанням - до 75 Мбіт/с.

WiMAX відрізняється тим, що стабільно працює навіть при відсутності прямої видимості базової станції, використовуючи відбитий сигнал. Ця унікальна властивість дає можливість підтримувати стабільний високошвидкісний канал в умовах щільної міської забудови. Важливою є й економічність в споживанні частотного ресурсу: за цими показниками WiMAX випереджає конкурентів в 1,5 рази, що гарантує можливість одночасної роботи великої кількості користувачів, які не заважають один одному [4].

WiMAX - це наступний крок на шляху до широкосмугового, а також до бездротового світу. Ця технологія поширює широкосмуговий бездротовий доступ до нових місць і на великі відстані, а також значно зменшує витрати на створення мереж в нових районах. Технологія WiMAX пропонує більший діапазон та пропускну здатність, ніж інші широкодоступні технології бездротового доступу, такі як Wi-Fi та сімейство стандартів UWB, і забезпечує неймовірну альтернативу дротовому розгортанню щодо технологій «останньої милі».

Устаткування WiMAX функціонує в декількох частотах (каналах) шириною 10 МГц в межах діапазону 2 ГГц - 11 ГГц. Зрозуміло, що специфічний розподіл частотних діапазонів різних країн диктує необхідність можливості роботи в різних ділянках. Настільки широкий розкид діапазонів обраний для обліку специфіки більшості країн світу. Так, в Північній Америці для WiMAX використовуються ділянки в діапазонах 2,5 і 5 ГГц, в Центральній і Південній Америці - 2,5, 3,5 і 5 ГГц, на Близькому Сході, в Африці, Західній і Східній Європі - 3,5 і 5 ГГц, в Азіатсько-Тихоокеанському регіоні - 2,3, 3,5 і 5 ГГц [13].

Основні переваги WiMAX полягають у наступному [5]:

- якщо порівнювати з дротовими (xDSL, T1), бездротовими або супутниковими системами, мережі WiMAX повинні дозволити операторам і сервіс-провайдерам економічно ефективно охопити не тільки нових потенційних користувачів, а й розширити спектр інформаційних та комунікаційних технологій для користувачів, які вже мають фіксований (стаціонарний) доступ;
- стандарт поєднує в собі технології рівня оператора зв'язку (для об'єднання багатьох підмереж і надання їм доступу до Інтернет), а також технології «останньої милі», що створює універсальність і, як наслідок, підвищує надійність системи;
- легкість інтеграції в локальні мережі завдяки одному з елементів технології - протоколу IP;
- об'єднання в собі технологій рівня оператора зв'язку і технології «останньої милі»;
- простота установки і, як результат, зменшення витратності просування;
- охоплення великої території, важкодоступних ділянок; передача сигналу від базової станції до клієнта можлива на дистанції від 1 до 10 кілометрів;
- висока швидкість передачі даних.

1.4 Сфера використання технології WiMAX

WiMAX може використовуватися для вирішення наступних завдань [6]:

- з'єднання точок доступу Wi-Fi одна з одною й іншими сегментами Інтернету;
- забезпечення бездротового широкосмугового доступу як альтернативи виділеним лініям і DSL;

- надання високошвидкісних сервісів передачі даних (до 3 Мбіт/с) і телекомунікаційних послуг;
- створення точок доступу, не прив'язаних до географічного положення.

WiMAX дозволяє здійснювати доступ в Інтернет на високих швидкостях, з набагато більшим покриттям, ніж у мережі Wi-Fi. Це дозволяє використовувати технологію як «магістральні канали», продовженням яких виступають традиційні DSL-ні виділені лінії, а також локальні мережі. В результаті подібний підхід дозволяє створювати високошвидкісні мережі у масштабах цілих міст.

1.5 Принцип та режими роботи технології WiMAX

У загальному вигляді мережі WiMAX складаються з наступних основних частин — базових і абонентських станцій, а також обладнання, що зв'язує базові станції між собою, з постачальником сервісів і з Інтернетом.

Для з'єднання базової станції з абонентською використовується високочастотний діапазон радіохвиль від 1,5 до 11 ГГц. В ідеальних умовах швидкість обміну даними може досягати 70 Мбіт/с, при цьому не вимагається забезпечення прямої видимості між базовою станцією і приймачем.

Як вже говорилося вище, WiMAX застосовується як для вирішення проблеми «останньої милі», так і для надання доступу в мережу офісним та районним мережам.

Між базовими станціями встановлюються з'єднання (прямої видимості), що використовують діапазон частот від 10 до 66 ГГц, швидкість обміну даними може досягати 120 Мбіт/с. При цьому, принаймні одна базова станція підключається до мережі провайдера з використанням класичних дротових з'єднань. Однак, чим більше число БС підключено до мереж провайдера, тим вища швидкість передачі даних і надійність мережі в цілому.

Структура мереж сімейства стандарту IEEE 802.16 схожа з традиційними мережами GSM. Базові станції технології WiMAX діють на дистанціях близько десятків кілометрів, для їх встановлення не обов'язково будувати вежі - допускається установка на дахах будівель при дотриманні умови прямої видимості між станціями. Технологія WiMAX дозволяє працювати в Інтернеті за будь-якої погоди, як в «чистому полі», так і в умовах щільної міської забудови, забезпечуючи високу якість зв'язку та швидкість передачі даних [3].

Тобто встановлюються базові станції, які утворюють покриття бездротової мережі. Це покриття забезпечує безперервну телекомунікацію на певній території за допомогою постійного радіоканалу в НВЧ діапазоні.



Рисунок 1.2 - Схема принципу роботи WiMAX

Пристрій користувача автоматично приймає сигнал найближчої базової станції з більш потужним сигналом в «зоні доступу» [7].

Мережі WiMAX призначені для надання сервісів як нерухомим, так і рухомим користувачам. WiMAX підтримує такі режими роботи [8]:

1) фіксований (fixed). Даний режим забезпечує гарантований зв'язок при використанні без руху користувача;

2) сеансовий (nomadic), тобто із змінним місцем розташування. Користувач має можливість підключитися до мережі оператора з будь-якого місця, де оператор надає покриття. Протягом однієї сесії користувач повинен бути нерухомий.

3) пересувний (portable). Користувач має можливість пересуватися зі швидкістю до 5 км/год без втрати встановленої сесії, в тому числі переходити з однієї зони в іншу (handover). Під час хендовера допускаються перерви в передачі даних до 2 с.

4) мобільний (mobile). Користувач може пересуватися, в тому числі переходити із зони в зону, зі швидкістю до 120 км/год без погіршення якості обслуговування. Гарантується якість обслуговування для додатків реального часу (VoIP, відео-телефонія, перегляд відео без буферизації) і нереального часу. Час хендовера не перевищує 50 мс, час перерви в передачі даних не більше 5 мс (або не більше тривалості одного кадру).

Режими роботи WiMAX відображено на рисунку 1.3.

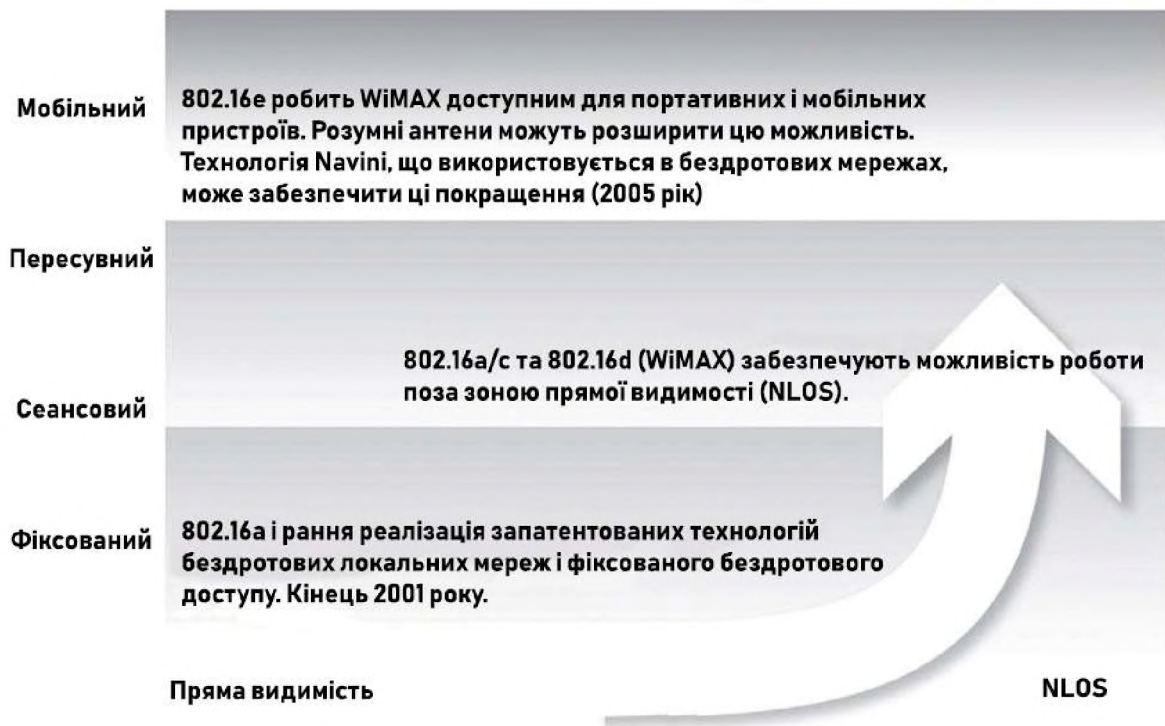


Рисунок 1.3- Режими роботи WiMAX

1.6 Основні принципи архітектури мережі WiMAX та її розгортання

Мережа WiMAX являє собою сукупність бездротового і базового (опорного) сегментів. Перший описується в стандарті IEEE 802.16, другий же визначається специфікаціями WiMAX-форуму. Базовий сегмент - це все, що не відноситься до радіомережі, тобто зв'язок базових станцій одна з одною, зв'язок з локальними і глобальними мережами (в тому числі з Інтернетом) і т.п. Базовий сегмент ґрунтується на IP-протоколах (IETF RFC) і стандартах Ethernet (IEEE 802.3-2005). Однак власне архітектура мережі, включаючи механізми автентифікації, криптозахисту, роумінгу, хендовера і т. п. (в частині, що не відноситься до бездротової мережі), описується в документах WiMAX-форуму Network Architecture.

Специфікації мережі WiMAX ґрунтуються на технології пакетної комутації, протоколах IP і Ethernet, доповнюючи їх у міру необхідності.

Архітектура WiMAX-мережі повинна забезпечувати незалежність архітектури мережі доступу, включаючи радіомережу, від функцій і структури транспортної IP-мережі. Мережа WiMAX повинна бути такою, що легко масштабується і гнучко змінюється, засновується на принципах декомпозиції (тобто будується на основі стандартних логічних модулів, що об'єднуються через стандартні інтерфейси). Масштабованість і гнучкість можлива за таких експлуатаційних параметрів, як щільність абонентів, географічна протяжність зони покриття (районна, міська або приміська мережі), частотні діапазони, топологія мережі (ієрархічна, плоска, mesh і т. п.), мобільність абонентів (фіксовані, мобільні, номадичні) [9].



Рисунок 1.4 – Стек протоколів WiMAX

На WiMAX Forum була створена специфікація архітектури, завдяки якій є можливий визначити величезну кількість нюансів роботи. До цього числа входить розподіл мережевих адрес, взаємодія з іншими мережами, аутентифікація.

Необхідно відзначити, що архітектура мережі не має суворої прив'язки до тієї чи іншої окремої конфігурації, тому забезпечується досить висока гнучкість і масштабованість.

1.6.1 Розгортання систем WiMAX

Побудова мережі фіксованого бездротового доступу припускає використання трьох типів обладнання - базових станцій, абонентських станцій і устаткування для організації зв'язку між базовими станціями. У мережах доступу на базі WiMAX знайдуть застосування як вузькоспрямовані антени, так і антени з більш широким сектором охоплення, аж до всеспрямованих. Топологія мережі представлена на рисунку 1.5.

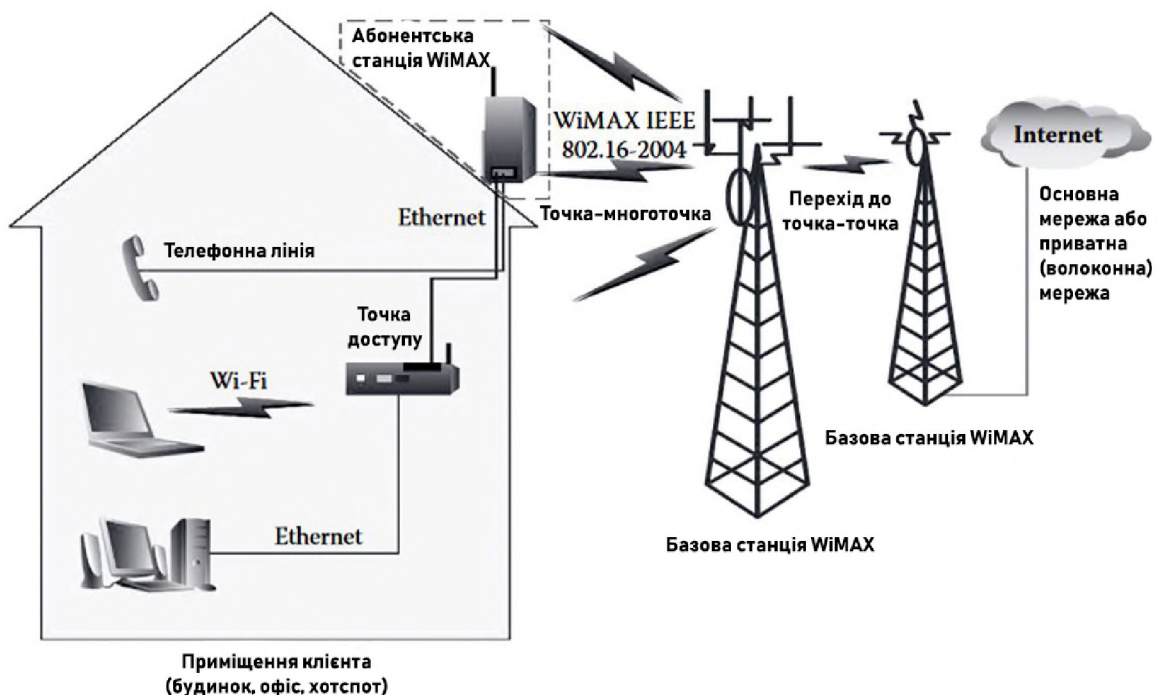


Рисунок 1.5 – Топологія мережі WiMAX

Для з'єднання «точка-точка» - рис. 1.6 використовуються дві спрямовані одна на одну антени; так будуються, наприклад, радіорелейні лінії передач, в яких відстань між сусідніми релейними вежами може обчислюватися десятками кілометрів.

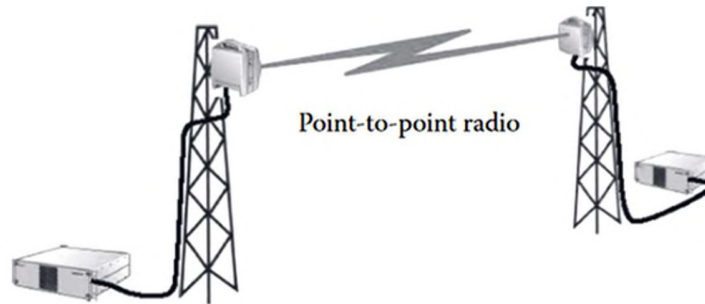


Рисунок 1.6 – Топологія «точка-точка»

При топології «точка-многоточка» поміщається базова станція з всеспрямованою або секторною антеною, а всі абоненти, що нею обслуговуються, забезпечуються сфокусованими на неї спрямованими антенами.

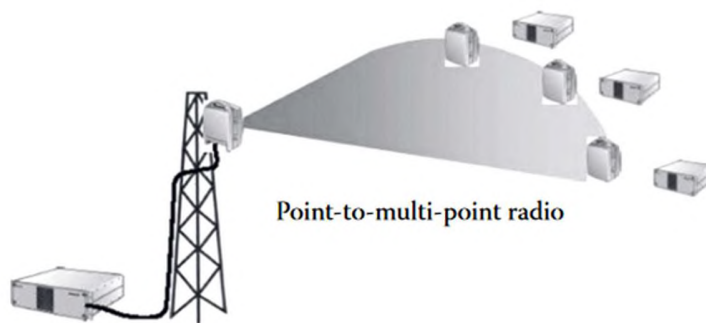


Рисунок 1.7 – Топологія «точка-многоточка»

Інший тип зв'язку вийде при використанні тільки всеспрямованих антен. У цьому випадку буде досягнута можливість з'єднання «кожного з кожним», або «многоточка-многоточка» (mesh).

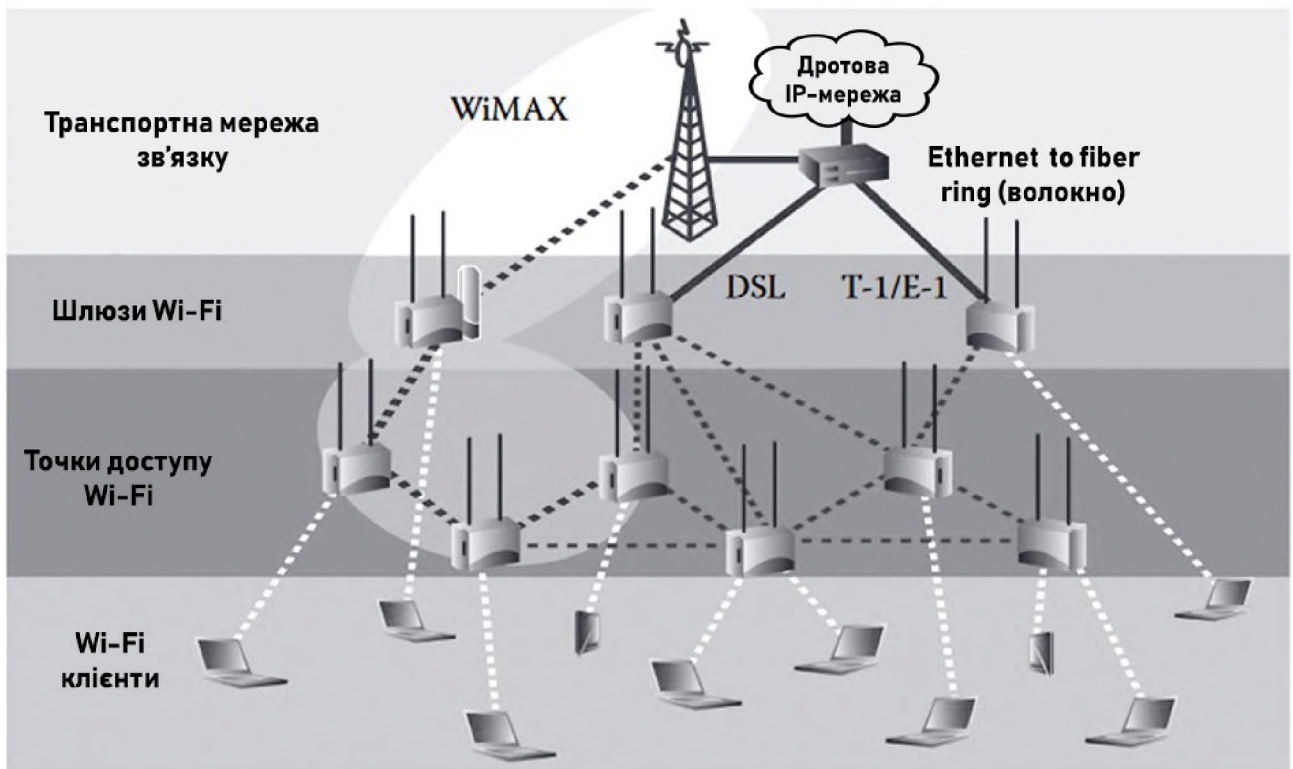


Рисунок 1.8 – Топологія «многоточка-многоточка»

Базова станція WiMAX являє собою модульне рішення, яке може в міру необхідності доповнюватися різними блоками, наприклад, модулями для зв'язку з магістральною мережею провайдера. У мінімальній конфігурації встановлюється модуль радіоінтерфейсу і модуль з'єднання з провідною мережею.

1.6.2 Діапазон частот

Для мереж WiMAX використовуються діапазони частот нижче 1 ГГц, 2.3-2.7 ГГц, 3.3-3.8 ГГц і 5.15-5.85 ГГц. Більш низькі частоти характеризуються відносно більш низькими втратами потужності радіосигналу при його поширенні на великі відстані [16].

Для вирішення завдання максимізації зон покриття обслуговуваних територій найефективніше використання діапазонів частот нижче 1 ГГц. При

цьому очевидно, що використовувати низькі частоти під бездротовий широкопasmовий фіксований доступ, який реалізує цю стратегію, не вигідно, оскільки вартість частотного ресурсу нижче 1 ГГц на деякій території значно перевищує вартість усіх розміщених на цій території базових станцій і одержуваного доходу від обслуговування корпоративних і домашніх абонентів протягом багатьох років.

Таким чином, якщо навіть смуги частот нижче 1 ГГц і будуть коли-небудь широкодоступним для використання WiMAX або будь-якою іншою технологією мобільного широкопasmового доступу типу 3G або LTE, то відсутність достатнього частотного ресурсу (якщо, звичайно, не посунуться телевізійні оператори) не дозволить забезпечити високу швидкість передачі даних при масовому обслуговуванні абонентів.

Діапазони 2 і 3 ГГц мають доступні смуги частот в 200-500 МГц. Ці частоти використовуються для мобільного широкопasmового доступу за технологією WiMAX з наданням послуг високошвидкісної передачі даних, відео та голосу. Висока щільність розміщення базових станцій і доступність щодо менш дорогого (у порівнянні з частотами нижче 1 ГГц) великого частотного ресурсу дозволяє забезпечити високі значення щільності потоку даних і масове обслуговування індивідуальних абонентів на задовольняють сучасним вимогам швидкості передачі даних.

Частотний діапазон 3.3-3.8 МГц може бути ефективно використаний як під фіксований, так і під мобільний широкопasmовий доступ WiMAX. Частотний діапазон 5 ГГц найбільш ефективний для використання мережами фіксованого доступу WiMAX. При цьому в даному діапазоні також будуть розвиватися і мережі мобільного WiMAX. Високі втрати при поширенні радіохвиль в діапазоні частот 5 ГГц зменшують радіус обслуговування рухомих користувачів до декількох сотень метрів.

Очевидно, що головним фактором, що впливає на швидкість впровадження систем WiMAX, є питання регулювання спектра, так як розвиток ринку послуг WiMAX безпосередньо залежить від виділення операторам необхідного частотного ресурсу. Сьогодні найбільш перспективними з точки зору майбутнього розвитку технології WiMAX є діапазони в районі 2,4, 3,5 і 5,6 ГГц. Слід враховувати, що поширення радіохвиль в різних ділянках спектра має свої особливості, які багато в чому визначають дальність дії обладнання, а також стійкість до багатоприменності [7].

1.7 Базова модель мережі WiMAX

Базова модель мережі (БМ) WiMAX - це логічне уявлення мережевої архітектури WiMAX – рис. 1.9. Термін «логічне» в даному випадку означає, що модель розглядає набір стандартних логічних функціональних модулів і стандартних інтерфейсів (точок сполучення цих модулів). При практичній реалізації один пристрій може включати кілька функціональних елементів або, навпаки, функція може бути розподілена між різними пристроями.

БМ включає три основні елементи - безліч абонентських (мобільних) станцій (AC), сукупність мереж доступу (сервісна мережа доступу ASN) і сукупність мереж підключення (CSN). Крім того, в БМ входять так звані базові точки (R1-R8), через які відбувається сполучення функціональних модулів.

Мережа ASN належить провайдеру мережі доступу (NAP) - організації, що надає доступ до радіомережі для одного або кількох сервіс-провайдерів WiMAX (NSP). У свою чергу, сервіс-провайдер WiMAX - організація, що надає IP-з'єднання і послуги WiMAX кінцевим абонентам. В рамках даної моделі вже сервіс-провайдери WiMAX укладають угоди з Інтернет-провайдерами, операторами інших мереж доступу, угоди про роумінг і т.п. Сервіс-провайдери можуть бути домашніми і гостьовими, кожен зі своєю мережею CSN.

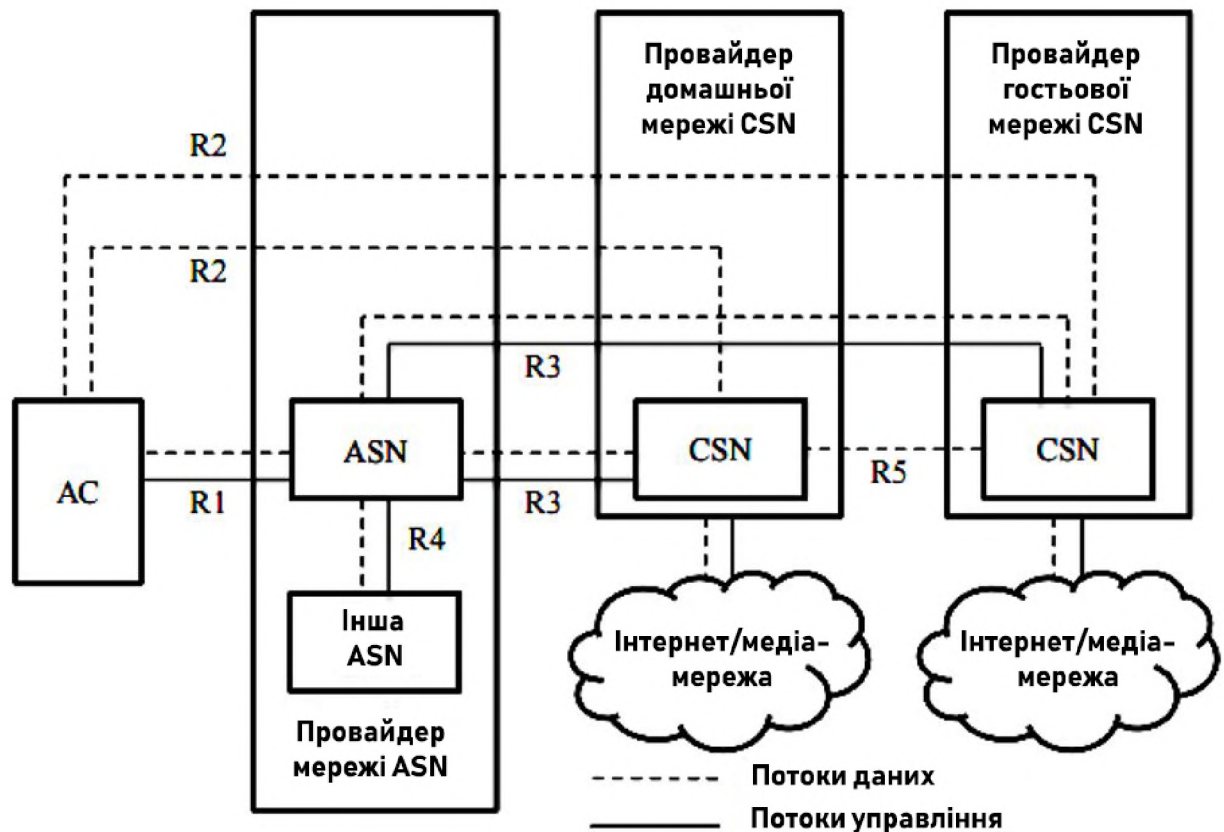


Рисунок 1.9 – Базова модель мережі WiMAX

Мережа доступу ASN - це безліч базових станцій (БС) бездротового доступу за стандартом IEEE 802.16 і шлюзів для зв'язку з IP-мережею. БС в рамках даної моделі - це логічний пристрій, підтримуючий набір протоколів IEEE 802.16 і функції зовнішнього сполучення. Логічна БС - односекторна, з одним частотним номіналом. Очевидно, що реальна базова станція являє собою набір декількох логічних БС.

Шлюз ASN - це також логічний пристрій, що зв'язує базові станції однієї ASN з іншими мережами доступу і з мережею підключення CSN. Шлюз ASN забезпечує зв'язність як на рівні каналів передачі даних, так і на рівні управління.

Шлюз ASN опціонально може бути представлений як сукупність двох груп функціональних елементів - блоку рішення (DP Decision Point) і блока виконання

(EP Enforcement Point). EP реалізує функції, пов'язані з передачею потоку даних, в той час як в DP зосереджені функції, що безпосередньо не відносяться до передачі даних (наприклад, функції контролера управління радіоресурсами мережі). Ці два функціональних модуля з'єднані через базову точку R7. Навіщо в стандарт введена така модель, можна тільки здогадуватися. Ніде докладніше вона не розкрита, але без згадки про можливість такої декомпозиції функцій ASN-шлюзу неможливо пояснити наявність R7. В цілому розподіл функцій між реальними шлюзами і базовими станціями визначається так званими профілями ASN.

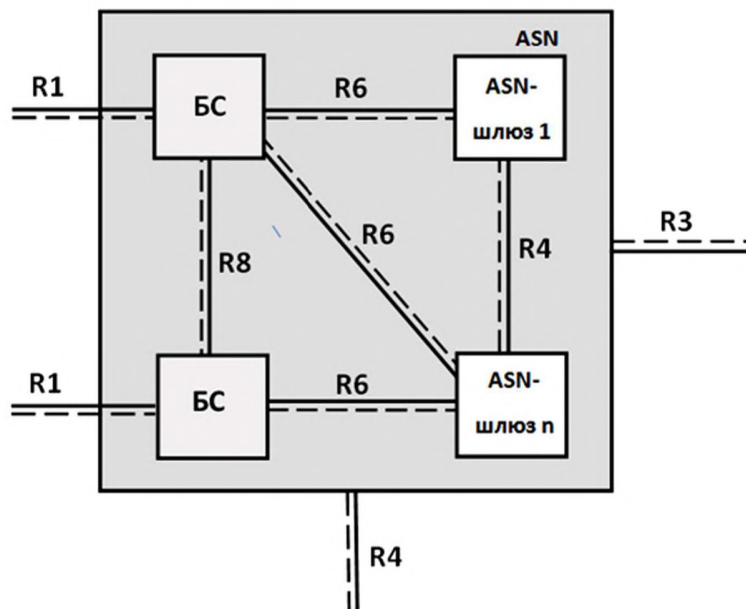


Рисунок 1.10 – Логічна модель мережі доступу ASN

Мережа підключення CSN - це власне мережа оператора WiMAX, саме в ній реалізуються функції управління авторизацією, автентифікацією і доступом (AAA), підключення абонентів WiMAX до глобальних IP-мереж, надавання таких послуг, як IP-телефонія, доступ до телефонних мереж загального користування, доступ в Інтернет і приватні мережі і т. п. Важливо відзначити, що базова модель

мережі WiMAX допускає, що однією мережею доступу ASN можуть користуватися кілька сервіс-провайдерів WiMAX (кожен зі своєю CSN). І навпаки - одна CSN може підключатися до мереж доступу різних провайдерів.

В CSN реалізовані такі функції, як надання мобільним абонентам IP-адрес і інших мережевих параметрів на період мережевої сесії -контролю доступу та зберігання профілів абонентів, передача (тунелювання) даних між мережами доступу і підключення, білінг абонентів WiMAX і міжоператорські розрахунки, тунелювання даних між різними CSN при роумінгу, забезпечення мобільності при виході МС за межі однієї ASN. Підтримуються такі WiMAX-послуги, як з'єднання «точка-точка», авторизація та/або підключення до мультимедійних IP-сервісів [9].

1.8 Фізичний рівень мереж WiMAX

На фізичному рівні в стандарті IEEE 802.16-2004 визначені три методи передачі даних: метод модуляції однієї несучої (SC), метод ортогонального частотного мультиплексування (OFDM) і метод множинного доступу на основі такого мультиплексування (OFDMA).

Специфікація фізичного рівня WirelessMAN-OFDM є найбільш цікавою з точки зору практичної реалізації. Вона базується на технології OFDM, що значно розширює можливості обладнання, зокрема, дозволяє працювати на відносно високих частотах в умовах відсутності прямої видимості. Крім того, в неї включена підтримка топології «кожен з кожним» (mesh), при якій абонентські пристрої можуть одночасно функціонувати і як базові станції, що значною мірою знижує розгортання мережі і допомагає подолати проблеми прямої видимості.

1.8.1 Модуляція OFDM

При формуванні OFDM-сигналу цифровий потік даних ділиться на кілька підпотоків, і кожна піднесуча зв'язується зі своїм підпотокком даних. Амплітуда і фаза піднесучої обчислюються на основі обраної схеми модуляції. Відповідно до

стандарту, окремі піднесучі можуть модулюватися з використанням бінарної фазової маніпуляції (BPSK), квадратурної фазової маніпуляції (QPSK) або квадратурної амплітудної маніпуляції (QAM) близько 16 або 64. Варіанти відображення біт на фазову площину для кожного виду маніпуляції представлені на рис. 1.11. У передавачі амплітуда як функція фази перетворюється в функцію від часу за допомогою зворотного швидкого перетворення Фур'є (ЗШПФ). У приймачі за допомогою швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) здійснюється перетворення амплітуди сигналів як функції від часу в функцію від частоти.

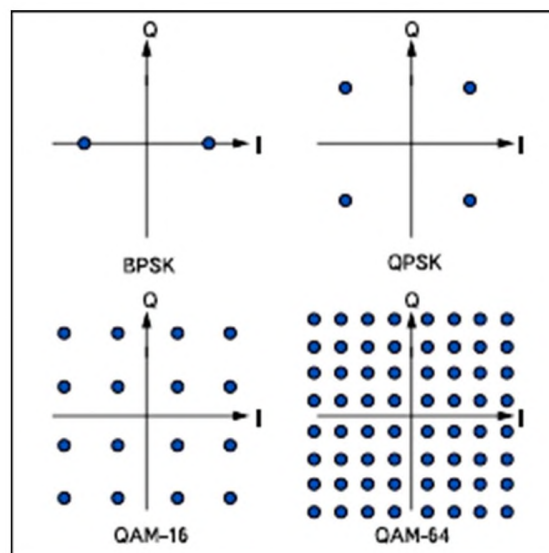


Рисунок 1.11 - Варіанти відображення біт на фазову площину

Застосування перетворення Фур'є дозволяє розділити частотний діапазон на піднесучі, спектри яких перекриваються, але залишаються ортогональними. Ортогональність піднесучих означає, що кожна з них містить ціле число коливань на період передачі символу. Як видно з рис. 1.12, спектральна крива будь-якої з піднесучих має нульове значення для «центральної» частоти суміжній кривій. Саме ця особливість спектра піднесучих і забезпечує відсутність між ними інтерференції [12].

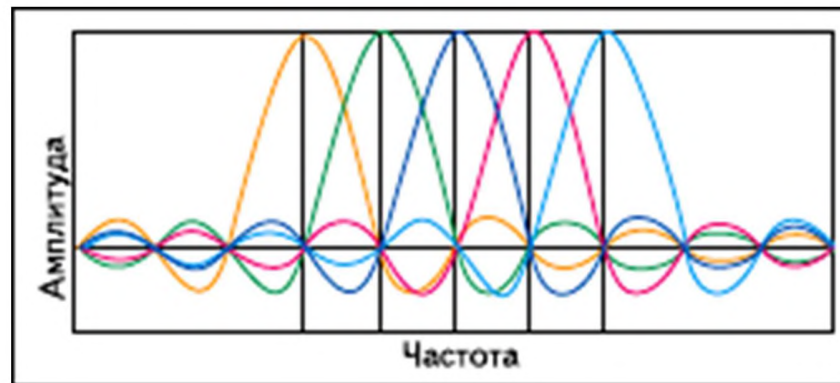


Рисунок 1.12 - Ортогональні піднесучі

У системах BWA основним руйнівним чинником для цифрового каналу є перешкоди від багатопроменевого прийому. Цей вид перешкод вельми характерний для ефірного прийому в містах з різноповерховою забудовою через багаторазові відображення радіосигналу від будівель і інших споруд [15].

Радикальним вирішенням цієї проблеми є застосування технології ортогонального частотного мультиплексування OFDM, яка спеціально розроблена для боротьби з перешкодами при багатопроменевому прийомі.

Для того щоб уникнути міжсимвольних спотворень, перед кожним OFDM-символом вводиться захисний інтервал, який називають циклічним префіксом. Циклічний префікс являє собою фрагмент корисного сигналу, що гарантує збереження ортогональності піднесучих (але тільки в тому випадку, якщо відбитий сигнал при багатопроменевому поширенні не затриманий більше, ніж на тривалість циклічного префікса). Крім того, циклічний префікс дозволяє вибрати вікно для перетворення Фур'є в будь-якому місці часового інтервалу символу.

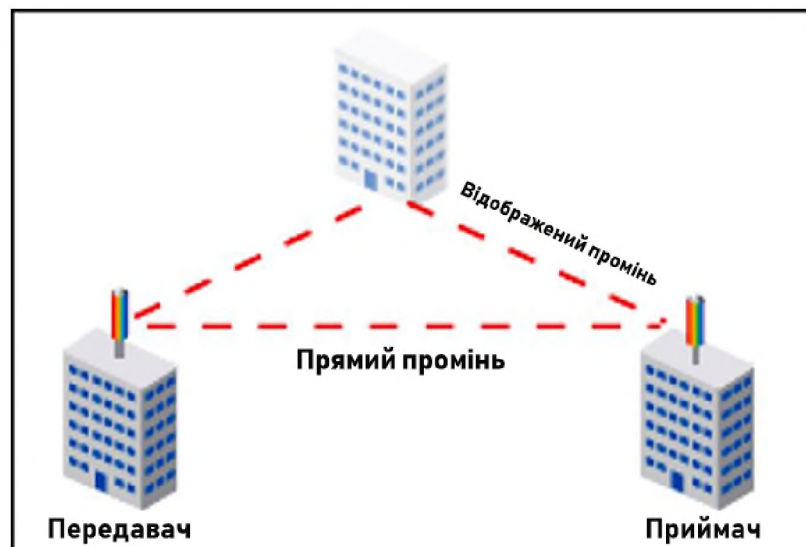


Рисунок 1.13 - Ілюстрація ефекту багатопроменевого поширення

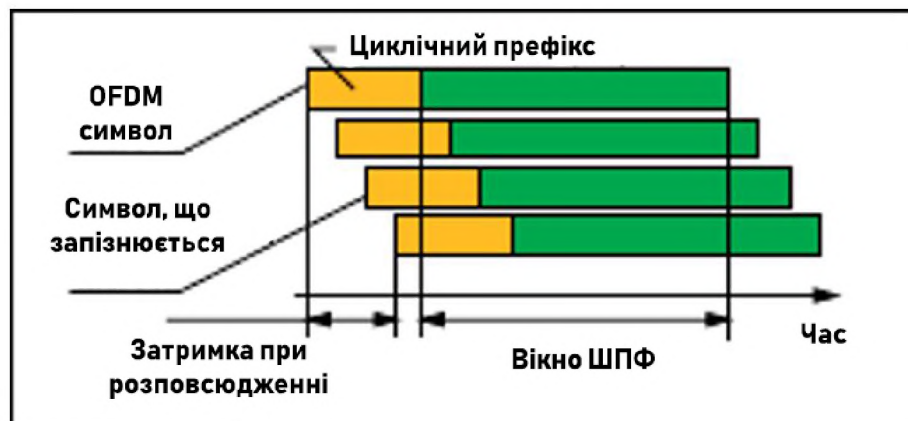


Рисунок 1.14 - Обробка OFDM-символу при багатопроменовому поширенні

1.8.2 Завадостійке кодування

Багатопроменеve поширення радіосигналу може призводити до ослаблення і навіть повного придушення деяких піднесучих внаслідок інтерференції прямого і затриманого сигналів. Для вирішення цієї проблеми використовується завадостійке кодування. У стандарті IEEE 802.16-2004 передбачені як традиційні технології завадостійкого кодування, так і відносно нові методи. До традиційних

відноситься сверточное кодування з декодуванням за алгоритмом Вітербі і коди Ріда-Соломона. До відносно нових - блокові і згорткові турбокоди. Для збільшення ефективності кодування без зниження швидкості коду застосовується перемеження даних. Перемеження збільшує ефективність кодування, оскільки пакети помилок дробляться на дрібні фрагменти, з якими справляється система кодування.

1.8.3 Гнучкість

Важливою особливістю фізичного рівня є можливість вибору ширини для смуги пропускання каналу. Стандарт передбачає вибір ширини смуги з кроком від 1,25 МГц до 20 МГц з безліччю проміжних варіантів, що дозволяє більш ефективно використовувати радіочастотний спектр. Крім того, в стандарт закладена адаптивна сигнально-кодова конструкція, тобто система підлаштовується до характеристик каналу в кожен момент часу, «перекачуючи» швидкість в завадостійкість і навпаки. Відповідно до стандарту, в залежності від відношення сигнал/шум (S/N) система обирає метод модуляції, при якому може бути забезпечена стійка робота (рис. 1.15).

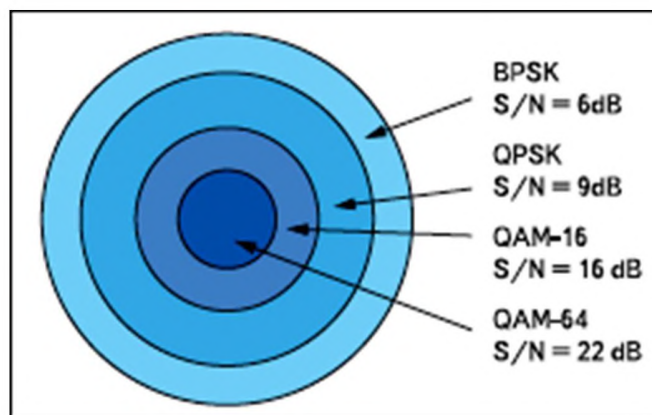


Рисунок 1.15 - Переважний метод модуляції в залежності від відношення сигнал/шум

Додатковими інструментами фізичного рівня для підвищення ефективності використання радіоспектра служать вимір якості каналу і автоматичне керування потужністю сигналу.

1.8.4 Метод доступу

У стандарті IEEE 802.16-2004 використовується технологія множинного доступу з поділом за часом (TDMA), згідно з якою базова станція виділяє абонентським станціям тимчасові інтервали, щоб вони могли передавати дані в певній черговості, а не випадковим чином.

Для реалізації дуплексного режиму обміну даними використовуються дві технології: двобічний режим з поділом за часом (TDD) спадного і висхідного потоків і двобічний режим з поділом по частотах (FDD) [12].

1.9 Захист інформації у технології WiMAX

Відповідно до стандарту, для запобігання несанкціонованого доступу і захисту даних здійснюється шифрування всього переданого через мережу трафіку. Базова станція (БС) WiMAX являє собою модульний конструктив, в який при необхідності можна встановити кілька модулів зі своїми типами інтерфейсів, але при цьому має підтримуватися адміністративне програмне забезпечення для управління мережею. Це програмне забезпечення забезпечує централізоване управління всією мережею. Логічне додавання в існуючу мережу абонентських комплектів здійснюється також через цю адміністративну функцію.

Абонентська станція (АС) являє собою пристрій, що має унікальний серійний номер, MAC-адресу, а також цифровий підпис X. 509, на підставі якого відбувається аутентифікація АС на БС. При цьому, згідно зі стандартом, термін дійсності цифрового підпису АС становить 10 років. Після установки АС у клієнта і подачі живлення АС авторизується на базовій станції, використовуючи певну частоту радіосигналу, після чого базова станція, ґрунтуючись на перерахованих вище ідентифікаційних даних, передає абоненту конфігураційний файл TFTP-

протоколу. У цьому файлі конфігурації знаходиться інформація про піддіапазонну передачу (прийом) даних, тип трафіку і доступну смугу, розклад розсилки ключів для шифрування трафіку і інша необхідна для роботи АС інформація. Необхідний файл з конфігураційними даними створюється автоматично, після занесення адміністратором системи АС в базу абонентів, з призначенням останньому певних параметрів доступу.

Після процедури конфігурації аутентифікація АС на базовій станції відбувається наступним чином:

Абонентська станція надсилає запит на авторизацію, в якому міститься сертифікат X.509, опис методів шифрування, що підтримуються, і додаткова інформація.

Базова станція у відповідь на запит на авторизацію (в разі достовірності запиту) надсилає відповідь, в якій міститься ключ на аутентифікацію, зашифрований відкритим ключем абонента, 4-бітний ключ для визначення послідовності, необхідний для визначення наступного ключа на авторизацію, а також час життя ключа .

В процесі роботи АС через проміжок часу, який визначається адміністратором системи, відбувається повторна авторизація та аутентифікація, і в разі успішного проходження аутентифікації і авторизації потік даних не переривається.

У стандарті використовується протокол РКМ (Privacy Key Management), відповідно до якого визначено кілька видів ключів для шифрування інформації, що передається [12]:

- Authorization Key (АК) - ключ, який використовується для авторизації АК на базовій станції;
- Traffic Encryption Key (ТЕК) - ключ, який використовується для криптографічного захисту трафіку;

– Key Encryption Key (KEK) - ключ, який використовується для криптографічного захисту переданих в ефір ключів.

Відповідно до стандарту, в кожен момент часу використовуються два ключі одночасно, час життя яких перекривається. Дана міра необхідна в середовищі з втратами пакетів (а в ефірі вони неминучі) і забезпечує безперервність роботи мережі. Є велика кількість динамічно змінюючихся ключів, досить довгих, при цьому встановлення безпечних з'єднань відбувається за допомогою цифрового підпису. Відповідно до стандарту, криптозахист виконується відповідно до алгоритму 3-DES, при цьому відключити шифрування не можна. Опціонально передбачено шифрування за надійнішого алгоритму AES.

Системи WiMAX були розроблені з самого початку з урахуванням надійної безпеки. Стандарт включає найсучасніші методи забезпечення конфіденційності даних користувача і запобігання несанкціонованого доступу з додатковою оптимізацією протоколу для мобільності. Безпека обробляється підрівнем конфіденційності в WiMAX MAC.

Ключові аспекти безпеки WiMAX:

- підтримка конфіденційності - призначена для користувача, дані шифруються з використанням криптографічних схем з перевіреною надійністю для забезпечення конфіденційності. Підтримуються як AES (розширений стандарт шифрування), так і 3DES (стандарт потрібного шифрування даних);
- 128-бітний або 256-бітний ключ, який використовується для отримання шифру, генерується на етапі аутентифікації і періодично оновлюється для додаткового захисту.

Аутентифікація пристрою/користувача

WiMAX надає гнучкі засоби для аутентифікації абонентських станцій і користувачів для запобігання несанкціонованого використання. Структура аутентифікації заснована на EAP Internet Engineering Task Force (IETF), яка

підтримує різні облікові дані, такі як ім'я користувача/пароль, цифрові сертифікати і смарт-карти.

Термінальні пристрої WiMAX поставляються з вбудованими цифровими сертифікатами X.509, які містять їх відкритий ключ і MAC-адресу. Оператори WiMAX можуть використовувати сертифікати для аутентифікації пристрою і використовувати ім'я користувача/пароль або аутентифікацію смарт-карти поверх нього для аутентифікації користувача.

Гнучкий протокол управління ключами

Протокол конфіденційності та управління ключами версії 2 (PKMv2) використовується для безпечної передачі ключового матеріалу з базової станції на мобільну станцію, періодичної повторної авторизації і відновлення ключів.

Захист керуючих повідомлень

Цілісність бездротових керуючих повідомлень захищена за допомогою схем дайджесту повідомлень, таких як CMAC на основі AES або HMAC на основі MD5.

Підтримка швидкої передачі обслуговування

Для підтримки швидкої передачі обслуговування WiMAX дозволяє MS використовувати попередню аутентифікацію з конкретної цільової BS для прискорення повторного входу.

Схема тристороннього рукошлякування підтримується для оптимізації механізмів повторної аутентифікації для підтримки швидкої передачі обслуговування, одночасно запобігаючи будь-які атаки типу «людина посередині» [13].

Таким чином, WiMAX буквально розв'язує руки, забезпечуючи надійний широкопasmовий доступ в Інтернет [10].

1.10 Безпека WiMAX для здоров'я людини

Персональні пристрої з підтримкою WiMAX підпадають під ті ж стандарти, що застосовуються до інших радіопродуктів, таких як мобільні телефони та їх

базові станції. Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) рекомендує такі міжнародні стандарти, як ICNIRP, які прийняли уряди та установи охорони здоров'я у всьому світі [14].

Стандарти встановлюють межі впливу, яким повинна відповідати продукція, і включають значні межі безпеки для захисту споживачів та широкої громадськості.

Персональні пристрої з підтримкою WiMAX випромінюють низький рівень радіохвиль (також відомих як радіочастотні електромагнітні поля) під час використання. Використання радіохвиль є загальною частиною нашого повсякденного життя і забезпечує переваги та задоволення від телебачення та радіо, а також все більший спектр послуг бездротового зв'язку.

Щодо випромінювання радіочастот, бездротових технологій та охорони здоров'я, загальний висновок Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) такий: «Незважаючи на великі дослідження, на сьогоднішній день немає доказів того, що вплив низькорівневих електромагнітних полів шкодить здоров'ю людини».

Щодо WiMAX та охорони здоров'я, висновок Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) такий: «Беручи до уваги дуже низькі рівні експозиції та зібрані на сьогодні результати досліджень, немає переконливих наукових доказів того, що слабкі радіочастотні сигнали від базових станцій та бездротових мереж спричиняють негативні наслідки для здоров'я».

1.11 Обладнання технології WiMAX

Обладнання WiMAX існує в двох формах [7]:

- базові станції, встановлені постачальниками послуг для розгортання технології в зоні обслуговування;
- приймачі, встановлені у клієнтів.

Базова станція

Базова станція WiMAX складається з внутрішнього обладнання і вежі. Загальний діапазон становить до 10 км. Деякі виробники стверджують, що вона може охоплювати 50 км або 30 миль, але на практиці більш достовірними виявляються цифри 10 км і 6 миль.

Будь-який вузол всередині зони покриття матиме доступ до Інтернету. Цей девайс працює як рівень управління доступом до середовища передачі даних і розподіляє завантаження і завантаження смуги пропускання відповідно до вимог абонента.

Базові станції WiMAX можуть варіюватися від пристроїв, які підтримують лише кілька абонентських станцій, до обладнання, яке підтримує тисячі абонентських станцій та забезпечує безліч функцій. Незалежно від кількості абонентських станцій, яку підтримує базова станція, вона повинна керувати різноманітними функціями, які не потрібні абоненту обладнання. Деякі базові станції повинні підтримувати складні можливості антен і забезпечувати ефективно повторне використання частоти. Як результат, базові станції WiMAX матимуть багато різних конфігурацій. З апаратного боку це обладнання, як правило, використовує готові мікропроцесори та дискретні радіочастотні компоненти [11].



Рисунок 1.16 – Зовнішній вигляд БС

Приймач

Приймач WiMAX - окрема коробка або карти PCMCIA, які розташовані на комп'ютері або ноутбучі. Він також називається обладнанням для обслуговування клієнтів.

Антенa

Зовнішня або внутрішня антена також є автономною коробкою і розміщується в ноутбучі або комп'ютері. Цей прилад схожий на Wi-Fi-мережу, але зона покриття набагато більша, ніж у бездротової мережі Wi-Fi.

Антенa використовується для поліпшення рівня сигналу користувача WiMAX з базової станції. Зовнішня антена в основному використовується в щільних районах і високих гірських місцевостях. WiMAX антена, підключена до внутрішнього блоку через провід, забезпечує більш чіткі сигнали.

Ретранслятор

Ретранслятор (роутер) насправді є системою посилення з точки доступу. Він використовується для підключення системи до магістралі. Користувач може підключити численні базові станції один до одного за допомогою високошвидкісних каналів зворотного зв'язку.

Ретрансляція дозволяє користувачеві WiMAX переміщатися з однієї базової станції на іншу [7].

1.12 Постановка задачі кваліфікаційної роботи

Для досягнення мети дипломної роботи поставлено такі завдання:

- скласти характеристику житлового масиву для проектування мережі і визначити число абонентів;
- виконати розрахунок параметрів мережі;
- розробити план розміщення і варіанти установки БС;
- обрати необхідне обладнання;
- проаналізувати отримані результати;

– визначити капітальні та експлуатаційні витрати та економічний ефект від впровадження проекрованої мережі.

1.13 Висновок

У першому розділі розглянуто мережі мультисервісного доступу, виконано порівняльний аналіз технологій доступу мультисервісних мереж, наведено опис технології стандарту WiMAX 802.16, основні принципи архітектури мережі WiMAX та її розгортання, а також сформульовані задачі на проектування мережі мультисервісного доступу обраного мікрорайону за технологією WiMAX

2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Характеристика району для проектування мережі

Для проектування мультисервісної мережі обрано житловий мікрорайон «Західний» в Новокодацькому районі міста Дніпро, в західній його частині. З одного боку «Західний» оточений промзоною, з іншого — лісами та балками.

Мікрорайон «Західний» є спальним районом міста. Характер забудови - багатоповерхова забудова 5-9 поверхів, ряд 2-3 поверхових будівель і приватний сектор. До середини 1970-х у мікрорайоні з'явилися квартали п'ятиповерхових та дев'ятиповерхових будинків, гуртожитки, 2 школи, 3 дитсадочки, магазини. Найдовший на житловому масиві будинок складається з 12 під'їздів. На житловому масиві діє супермаркет, ринок, дрібні магазини.

Поряд розташована Дніпропетровська виправна колонія для чоловіків № 89. Вона поділяється на 3 частини — житлова зона, виробнича зона на 6 цехів і штрафний ізолятор. На «Західному» розташована міська клінічна лікарня №4 — багатопрофільний медичний заклад, що надає консультативно-діагностичну та лікувальну допомогу мешканцям Дніпра та Дніпропетровської області [17].

Площа мікрорайону «Західний» становить приблизно 2,5 квадратних кілометра, а населення – близько 12 тис. чоловік.

Таблиця 2.1 – Чисельність багатоповерхових будівель

Тип будівлі	Кількість будівель, шт.
9 поверхів	32
5 поверхів	24
2-3 поверха	28
Приватний сектор	125

В якості потенційних абонентів мережі ШСД розглядається вікова група від 15 до 75 років, яка, як правило, становить 75% від усього населення, тобто 9 тис. чоловік. Кабельним інтернетом охоплені приблизно 85%, що становить 7,65 тис. чоловік. 15% потенційних абонентів з яких-небудь причин не змогли підключитися до цих операторів (неможливість прокладки кабелю, обриви лінії через вандалізм і т.д.). Ця частина потенційних абонентів становить 1,35 тис. чоловік. Вважається, що навантаження в ГНН створює половина активних користувачів мережі - тобто 675 абонентів. Таким чином, необхідно вибрати обладнання, що забезпечує наведене число абонентів.

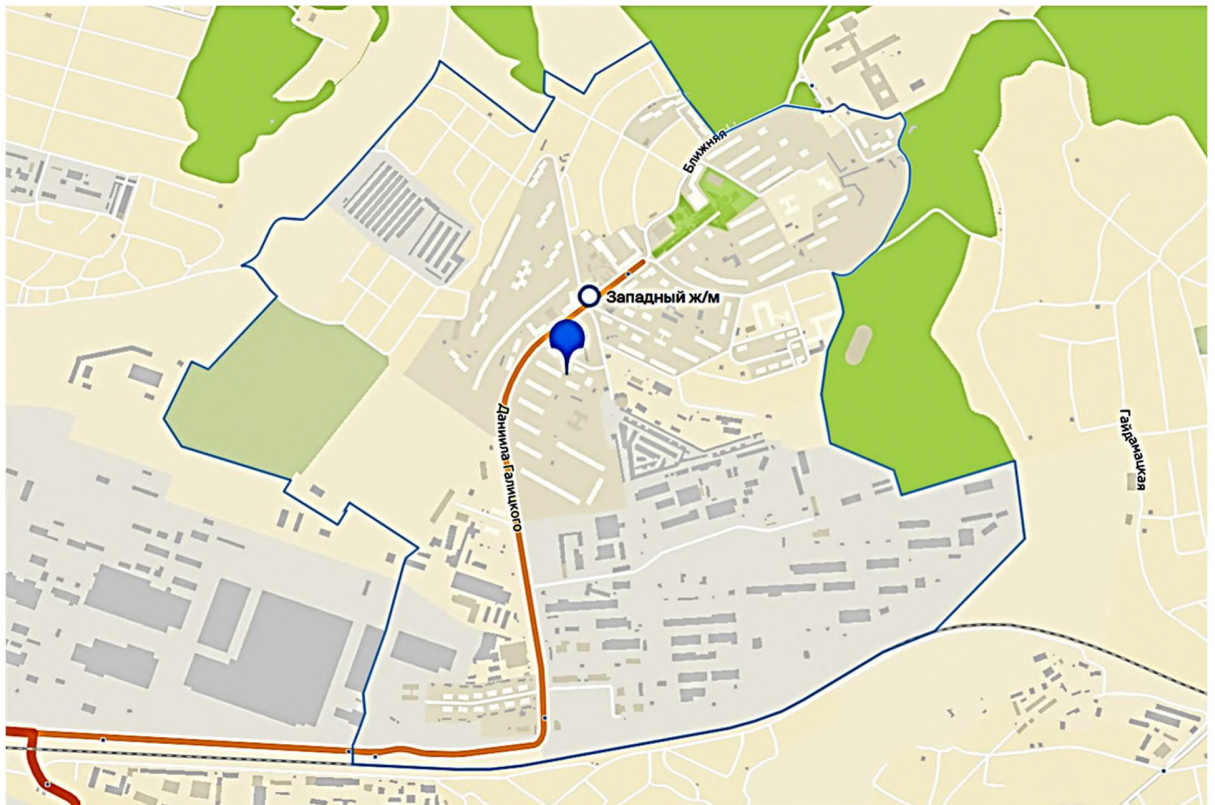


Рисунок 2.1 – Карта житлового мікрорайону «Західний»

В умовах міської забудови будь-якого типу і будь-якої погоди WiMAX здатний забезпечувати стійку роботу мережі. Для економії ресурсів, раціональним

місцем для розміщення БС є дахи висотних будівель. Чим вище щільність населення і складніше умови поширення сигналу, тим менше розмір стільники, а, отже, і зона покриття.

2.2 Розрахунок параметрів мережі

Найголовнішим етапом при проектуванні ШБД є так зване частотно-територіальне планування. Воно відбувається у декілька етапів, що включають у себе обрання конфігурації мережі, місця розміщення БС. Проводяться розрахунки можливості забезпечення якісного покриття, розподіляються частоти каналів для БС, виконуються пристосування плану до заданих умов проектованої зони, для кожної БС і мережі в цілому формуються зони обслуговування, а також оцінюються і мінімізуються внутрисистемні перешкоди. Часто при плануванні перевіряється можливість забезпечення необхідної ємності мережі для обслуговування абонентського навантаження [22].

Частотно-територіальне планування мереж радіозв'язку передбачає вибір структури мережі, місць установки базових станцій, вибір типу, висоти і орієнтації антен, а також розподіл частот між базовими станціями [23].

Для мереж WiMAX використовуються діапазони частот 2,3 ... 2,7 ГГц, 3,3 ... 3,8 ГГц і 5,15 ... 5,85 ГГц. Послуги фіксованого широкосмугового доступу WiMAX в діапазоні частот 2,3 ... 2,7 ГГц не є вигідними через дорожнечу ресурсу. Діапазон частот 3,3 ... 3,8 ГГц підходить як під фіксований, так і під мобільний широкосмуговий доступ. Частотний діапазон 5 ГГц ефективний для використання мереж фіксованого доступу WiMAX. Але через високі втрат в діапазоні 5 ГГц значно знижується радіус обслуговування.

2.2.1 Розрахунок бюджету лінії

На першому етапі частотно-територіального планування мережі бездротового широкосмугового доступу проводиться розрахунок бюджету каналу

зв'язку для даного обладнання з метою визначення максимально допустимих втрат в каналі зв'язку і первинної оцінки радіусу зони обслуговування [22].

Для розрахунку дальності зв'язку використовується рівняння бюджету лінії, яка зв'язує рівні потужності на вході приймача і вихідної потужності передавача, що знаходяться один від одного на заданій відстані. При розрахунку дальності зв'язку обирається найменше з значень бюджету для низхідного (DL) і висхідного (UL) напрямків. Бюджет лінії залежить від технічних характеристик базової і абонентської станцій. Завмирання сигналу не враховуються моделлю поширення радіохвиль, тому їх слід врахувати при розрахунку бюджету лінії (запас на завмирання становить 10 дБ) [24].

На кордонах секторів в канал зв'язку вносить спотворення міжканальна інтерференція, рівень якої прийнято: для низхідного каналу $I_{DL} = 2$ дБ, для висхідного $I_{UL} = 3$ дБ. Для врахування того факту, що будівлі перешкоджають поширенню електромагнітних хвиль, необхідно ввести додаткову поправку U_C , значення якої залежить від щільності забудови [25].

Таблиця 2.2 містить значення поправочного коефіцієнта U_C .

Таблиця 2.2 – Значення поправочного коефіцієнта U_C

Тип забудови	U_C , дБ
Сільська місцевість	5
Передмістя	0
Міський район	-3
Щільна міська забудова	-4

Так як мережа проектується в міському районі, то $U_C = -3$ дБ.

Приймемо середні значення параметрів АС та БС для обладнання, які наведено у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Значення параметрів БС та АС

Випромінювана потужність передавача БС, дБм	24
Випромінювана потужність передавача АС, дБм	24
Чутливість приймача БС, дБм	-90
Чутливість приймача АС, дБм	-83
Коефіцієнт підсилення антени передавача БС, дБі	16
Коефіцієнт підсилення антени передавача АС, дБі	16

Бюджет лінії для низхідного напрямку від базової станції до абонентської станції (БС → АС) можна розрахувати за формулою [26]:

$$DL_{\text{БП}} = P_{\text{ТхБС}} - P_{\text{А0АС}} + G_{\text{ТхБС}} + G_{\text{RxАС}} - L_f - F - I_{\text{DL}} + U_c \quad (2.1)$$

де $P_{\text{ТхБС}}$ – випромінювана потужність передавача БС, дБм;

$P_{\text{А0АС}}$ – чутливість приймача АС, дБм;

$G_{\text{ТхБС}}$ – коефіцієнт підсилення антени передавача БС, дБі;

$G_{\text{RxАС}}$ – коефіцієнт підсилення антени приймача АС, дБі;

L_f – втрати в фідері, дБ;

F – завмирання радіосигналу, дБ;

I_{DL} – рівень міжканальної інтерференції, дБ;

U_c – поправочний коефіцієнт типу забудови, дБ.

$$DL_{\text{БП}} = 24 - (-83) + 16 + 16 - 0,9 - 10 - 2 + (-3) = 123,1 \text{ дБ}$$

Для висхідного напрямку від абонентської станції до базової станції (АС → БС) бюджет лінії має вигляд:

$$UL_{\text{БП}} = P_{\text{ТхАС}} - P_{\text{А0БС}} + G_{\text{ТхАС}} + G_{\text{RxБС}} - F - I_{\text{UL}} + U_c \quad (2.2)$$

де P_{TxAC} – випромінювана потужність передавача АС, дБм;

P_{AoBC} – чутливість приймача БС, дБм;

G_{TxAC} – коефіцієнт підсилення антени передавача АС, дБі;

G_{RxBC} – коефіцієнт підсилення антени приймача БС, дБі.

$$UL_{BP} = 24 - (-90) + 16 + 16 - 10 - 3 + (-3) = 130 \text{ дБ}$$

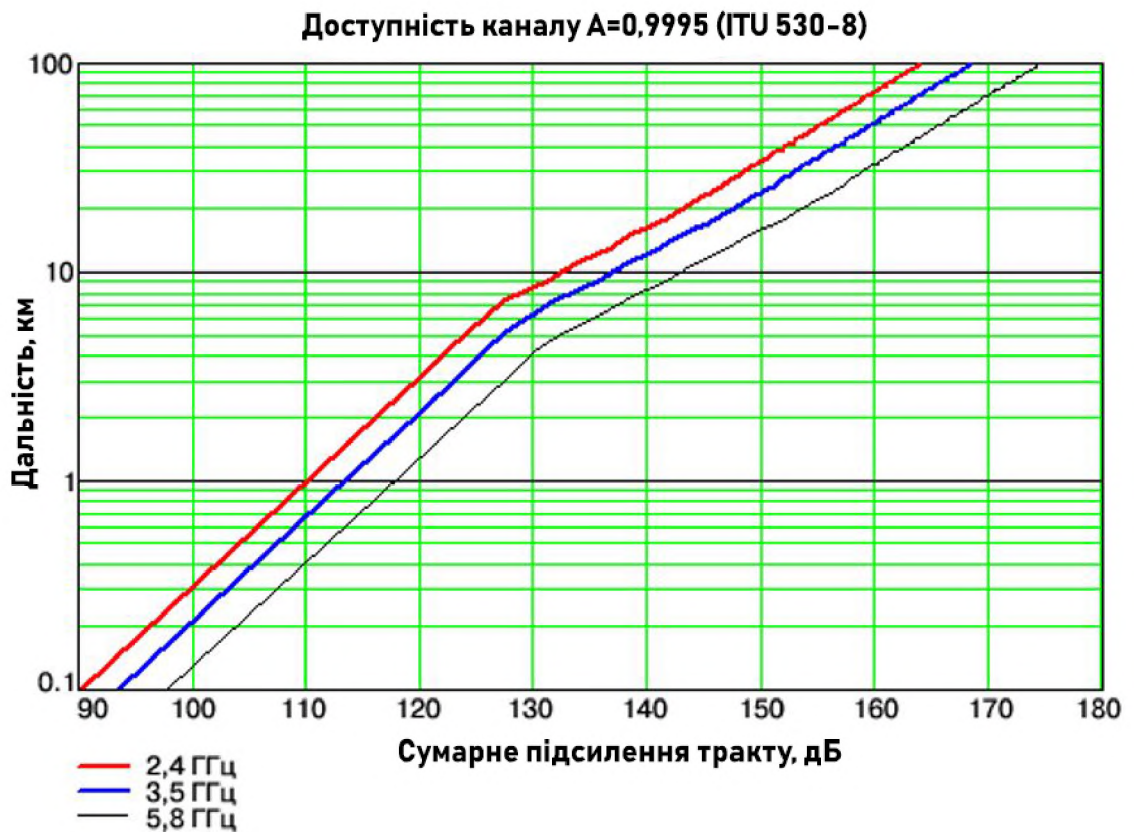


Рисунок 2.2 – Графік для визначення дальності роботи бездротового каналу зв'язку

Для кожної швидкості приймач має певну чутливість. Для невеликих швидкостей (наприклад, 1-2 мегабіта/с) чутливість найвища. Для високих швидкостей чутливість набагато менше. Залежно від марки радіо-модулів максимальна чутливість може трохи варіюватися. Ясно, що для різних швидкостей максимальна дальність буде різною [27].

За графіком на рис. 2.2 визначаємо, що значення 130 дБ відповідає значенню дальності зв'язку $R = 6$ км (для частоти 3,5 ГГц).

2.2.2 Розрахунок зони покриття

Для розрахунку оптимальної відстані від базової станції до абонента необхідно оцінити рівень втрат при поширенні радіохвиль. Втрати на трасі при поширенні електромагнітних хвиль в реальному середовищі визначають зменшення рівня потужності сигналу. Ці втрати не повинні перевищувати енергетичний бюджет лінії (мінімальний з 2-х значень).

Об'єкти відбиття передавач-приймача, що знаходяться в стороні від прямої видимості, можуть привести до появи відбитих сигналів. Внаслідок чого відбувається спадання інтенсивності сигналу з відстанню, завмирання і спотворення прийнятого сигналу.

Ще однією причиною втрати випромінюваної потужності в каналі зв'язку є вплив атмосфери. В основному це несприятливі метеорологічні умови, такі як дощ, туман, сніг і т. п. Зазначені фактори призводять до розсіювання радіохвиль, що послаблює сигнал. Для зменшення несприятливого впливу слід скорочувати відстані між передавачем і приймачем, використовувати більш низькі частоти.

Як інструмент прогнозування втрат розповсюдження радіохвиль можна використовувати різні статистичні і квазідетерміністські математичні моделі поширення радіохвиль.

Серед них: ITU-R P.1546, P.1812, P.526, Cost Hata, Lonley-Rice, Erceg, SUI, SPM і WLL.

Використовуємо модель Ерцгега, що застосована робочою групою IEEE 802.16 для фіксованого WiMAX. Ця модель базується на експериментальних вимірах, проведених в США. З урахуванням деякої мінімальної відстані d_0 рівень втрат розраховується за формулою [26]:

$$L(d) = A + 10\gamma \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + s + \Delta L_f + \Delta L_h \quad (2.3)$$

$$A = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi d_0}{\lambda} \right)$$

де d – відстань від БС до АС ($d \geq d_0$, $d_0 = 100$ м);

λ – довжина хвилі, м;

s – рівень затінення сигналу;

ΔL_f – поправочний коефіцієнт для частоти;

ΔL_h – поправочний коефіцієнт для висоти антени АС, що залежить від типу місцевості; $\gamma = a - bh_b + \frac{c}{h_b}$, де h_b – висота антени БС.

Постійні a , b , c залежать від ландшафту місцевості (табл. 2.4). Рівень затінення сигналу s , що змінюється по логнормальному закону розподілу з нульовим середнім, також залежить від типу ландшафту місцевості:

- А – горбиста місцевість, помірний ліс;
- В – рівнина з рідкими горбами;
- С – рівнина, рідкий ліс.

Таблиця 2.4 – Параметри рівняння, що залежать від ландшафту місцевості

Параметр	A	B	C
a	4.6	4.0	3.6
b	0.0075	0.0065	0.0050
c	12.6	17.1	20.0
s, дБ	10.6	9.6	8.2

Без використання поправочних коефіцієнтів ΔL_f , ΔL_h формула 2.4 дійсна тільки для частот менше 2 ГГц і висоти антени приймача до 2 м. Поправочний коефіцієнт для іншої частоти ΔL_f записується в такий спосіб:

$$\Delta L_f = 6 \log_{10} \left(\frac{f}{2000} \right) \quad (2.4)$$

де f – частота радіосигналу, МГц.

Формула для обчислення поправочного коефіцієнту для висоти антени ΔL_h залежить від ландшафту місцевості:

$$\Delta L_h = -10.8 \log_{10} \left(\frac{h_s}{2} \right) \text{ для типів A та B}$$

$$\Delta L_h = -20 \log_{10} \left(\frac{h_s}{2} \right) \text{ для типу C,}$$

де h_s – висота антени приймача, м.

Прийmemo $h_s = 3$ м, $h_b = 30$ м, $\lambda = 0,085$ м, $d = 400$ м, ландшафт місцевості типу B, частота 3500 МГц.

Тоді рівень втрат буде:

$$L(d) = 20 * \log_{10} \left(\frac{4\pi 100}{0,85} \right) + 10 * \left(4 - 0,0065 * 36 + \frac{17,1}{30} \right) * \log_{10} \left(\frac{400}{100} \right) + 9,6 \\ + 6 * \log_{10} \left(\frac{3500}{2000} \right) + \left(-10,8 * \log_{10} \left(\frac{3}{2} \right) \right) = 98,661 \text{ дБ}$$

Таким чином, дальність поширення радіохвилі по моделі Ерцгега буде

$$R = 0,52 \text{ км.}$$

Площа території, де проектується мережа становить $S = 2,1 \text{ км}^2$ (якщо виключити кладовище та гаражний кооператив - зону, де покриття не потрібне). Для визначення кількості БС використовується формула:

$$N_{\text{БС}} = \frac{S}{2,598 * R^2} = \frac{2,1}{2,598 * 0,52^2} = 2,99 \quad (2.5)$$

Трьох базових станцій буде достатньо.

Після того, як вимоги до функціонування мережі сформульовані, потрібна перевірка можливості розміщення БС на обраних місцях.

У мережах стандарту WiMAX, зона покриття однієї базової станції, так само як і в системах стільникового зв'язку, апроксимується шестикутником. Шестикутники найкраще апроксимують кругову форму зони радіо покриття базової станції на рівній місцевості без перешкод, а краї шестикутників добре апроксимують кордони між сотами рівних розмірів [28].

План розміщення БС на території жилого масиву «Західний» виглядає як показано на рисунку 2.3. На території кладовища та гаражного кооперативу не обов'язково мати добре покриття, тож зони було розташовано саме таким чином.

2.2.3 Розрахунок пропускної здатності

За рахунок наявності захисного інтервалу між піднесучими ефективна ширина спектру сигналу трохи більше ширини каналу (BW), тому використовувану смугу частот можна розрахувати, як добуток ширини каналу BW, числа використовуваних піднесучих $N_{\text{вик}}$, повного числа піднесучих OFDM сигналу $N_{\text{всього}}$ і коефіцієнта дискретизації μ .

Слід зауважити, що $N_{\text{вик}}$ складається з суми числа піднесучих даних $N_{\text{дан}}$ і числа пілотних піднесучих $N_{\text{пілот}}$ – формула (2.6).

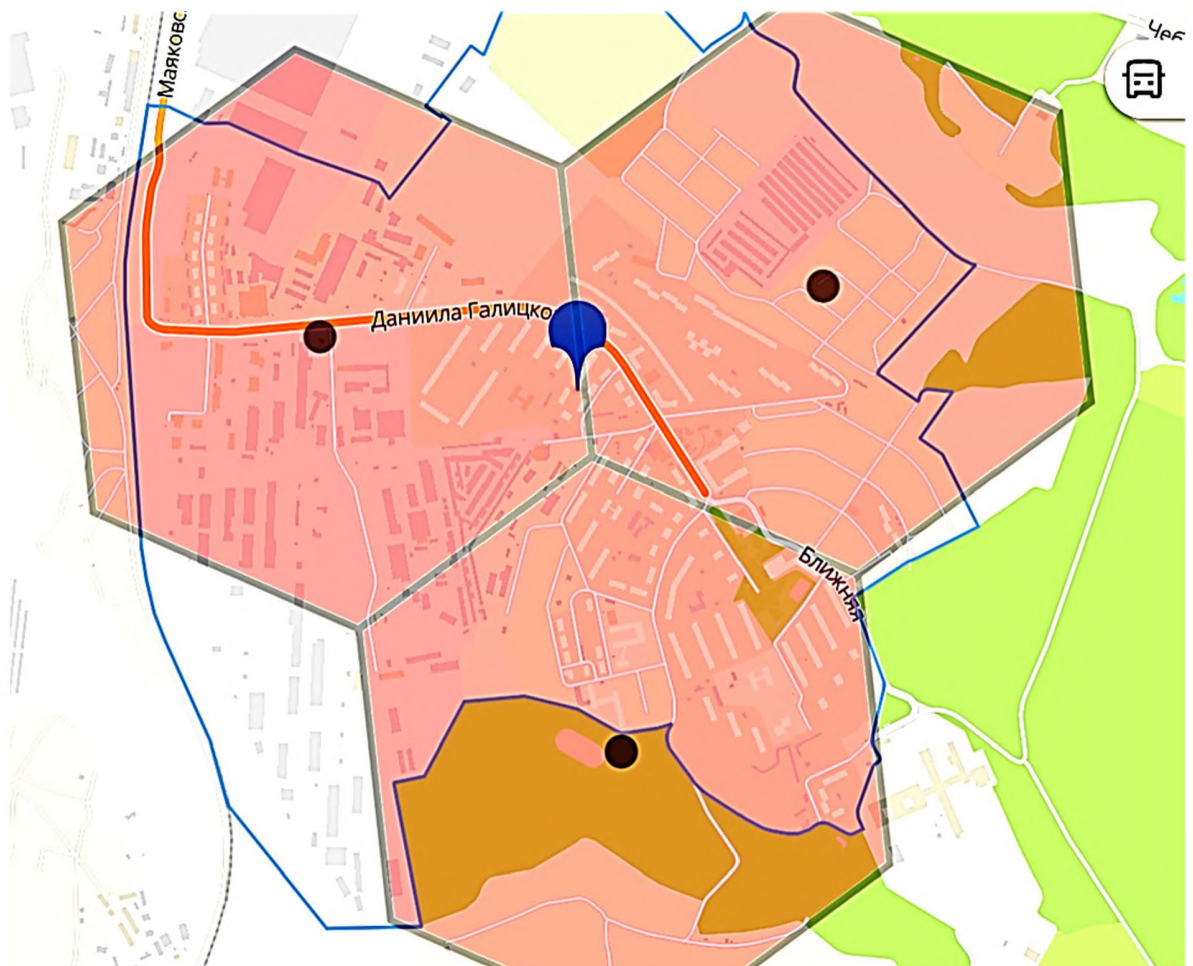


Рисунок 2.3 – План розміщення БС на території жилого масиву «Західний»

Число піднесучих даних визначається для низхідного напрямку $N_{\text{данDL}}$ і висхідного напрямку $N_{\text{данUL}}$. Коефіцієнт дискретизації n визначає інтервал між піднесучими (разом з шириною смуги і кількістю піднесучих даних), і корисний час символу [30].

$$N_{\text{вик}} = N_{\text{дан}} + N_{\text{пілот}} \quad (2.6)$$

Таким чином, для обраного діапазону частот отримуємо наступні дані $N_{\text{всього}} = 256$, $N_{\text{дан}} = 192$, $N_{\text{пілот}} = 8$, $N_{\text{порож}} = 56$. Тоді за формулою (2.6) знайдемо число піднесучих, що використовуються - $N_{\text{вик}}$:

$$N_{\text{вик}} = 192 + 8 = 200$$

Кількість піднесучих для низхідного і висхідного каналу визначається відповідно з відношення TDD. Таким чином, для обраного відношення отримуємо наступні дані.

$$N_{\text{данDL}} = 120, N_{\text{данUL}} = 80.$$

Реальна смуга пропускання:

$$F_S = n * BW = \frac{8}{7} * 7 = 8 \text{ МГц} \quad (2.7)$$

Для частоти 7 МГц коефіцієнт $n = 8/7$.

Рознос піднесучих:

$$\Delta f = F_S / N_{\text{всього}} = 8 / 256 = 31,25 \text{ кГц} \quad (2.8)$$

Довжина активної частини символу:

$$T_b = \frac{1}{\Delta f} = \frac{1}{31,25 \text{ кГц}} = 32 \text{ мс} \quad (2.9)$$

Захисний інтервал $\delta = 1/32$. Тобто тривалість захисного інтервалу:

$$T_g = \delta * T_b = \frac{1}{32} * 32 \text{ мс} = 1 \text{ мс} \quad (2.10)$$

Загальний час символу:

$$T_s = T_b + T_g = 32 + 1 = 33 \text{ мс} \quad (2.11)$$

Швидкість передачі даних залежить від ширини смуги каналу і використаної схеми модуляції. На швидкість передачі даних впливають захисний інтервал символу T_g , відношення розподілу ресурсів вниз/вгору (DL/UL) і час передачі протокольної інформації (T_h). Момент часу, протягом якого ніякі дані не передаються, а надсилається різна системна інформація, необхідна для ініціалізації і синхронізації, називається часом передачі протокольної інформації.

За формулою (2.12), можна розрахувати швидкість передачі даних у напрямку вниз (BC \rightarrow AC) [29]:

$$R_{DL} = BWn \left(\frac{N_{данDL}}{N_{всього}} \right) v R_{сим} \left(1 - \left(\frac{1}{T_h} + T_g \right) \right) K_{TDDDL} \quad (2.12)$$

де $N_{данDL}$ – число піднесучих для передачі даних у напрямку BC \rightarrow AC;

v – швидкість згорткового кодування;

$R_{сим}$ – кількість біт на символ;

T_h – час передачі протокольної інформації; T_g – захисний інтервал;

K_{TDDDL} – коефіцієнт розподілу ресурсів у напрямку БС \rightarrow АС.

Для розрахунку швидкості передачі даних у напрямку вгору (АС \rightarrow БС):

$$R_{DL} = BWn \left(\frac{N_{данUL}}{N_{всього}} \right) v R_{сим} \left(1 - \left(\frac{1}{T_h} + T_g \right) \right) K_{TDDUL} \quad (2.13)$$

де $N_{данUL}$ - число піднесучих для передачі даних у напрямку АС \rightarrow БС;

K_{TDDUL} – коефіцієнт розподілу ресурсів UL.

При розрахунках T_h приймається рівним 20% від основного часу передачі.

$$T_h = T_s * 0,2 = 33 * 0,2 = 6,6 \text{ мс}$$

Співвідношення між напрямками вниз/вгору дозволяє регулювати відношення швидкостей. Значення v , $R_{сим}$ залежить від обраної схеми модуляції (рис. 2.4) [31].

Тип модуляції	Швидкість згорткового кодування	Кількість інформаційних біт на символ	Кількість інформаційних біт на OFDM-символ
BPSK	1/2	0,5	88
QPSK	1/2	1	184
QPSK	3/4	1,5	280
QAM16	1/2	2	376
QAM16	3/4	3	568
QAM64	2/3	4	760
QAM64	3/4	4,5	856

Рисунок 2.4 – Залежність значень v , $R_{сим}$ від обраної схеми модуляції

За формулами (2.12, 2.13) розрахуємо швидкість передачі у напрямку вниз і вгору [32]:

$$\begin{aligned} R_{DL \text{ BPSK}_{1/2}} &= 7 * 10^6 * \frac{8}{7} * \left(\frac{120}{256}\right) * \frac{1}{2} * 0,5 * \left(1 - \left(\frac{1}{6,6} + 0,001\right)\right) * 1,5 \\ &= 1,19 \text{ Мбіт/с} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{UL \text{ BPSK}_{1/2}} &= 7 * 10^6 * \frac{8}{7} * \left(\frac{80}{256}\right) * \frac{1}{2} * 0,5 * \left(1 - \left(\frac{1}{6,6} + 0,001\right)\right) * 1 \\ &= 0,53 \text{ Мбіт/с} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{DL \text{ QPSK}_{1/2}} &= 7 * 10^6 * \frac{8}{7} * \left(\frac{120}{256}\right) * \frac{1}{2} * 1 * \left(1 - \left(\frac{1}{6,6} + 0,001\right)\right) * 1,5 \\ &= 2,38 \text{ Мбіт/с} \end{aligned}$$

$$R_{UL \text{ QPSK}_{1/2}} = 7 * 10^6 * \frac{8}{7} * \left(\frac{80}{256}\right) * \frac{1}{2} * 1 * \left(1 - \left(\frac{1}{6,6} + 0,001\right)\right) * 1 = 1,06 \text{ Мбіт/с}$$

$$\begin{aligned} R_{DL \text{ QPSK}_{3/4}} &= 7 * 10^6 * \frac{8}{7} * \left(\frac{120}{256}\right) * \frac{3}{4} * 1,5 * \left(1 - \left(\frac{1}{6,6} + 0,001\right)\right) * 1,5 \\ &= 5,36 \text{ Мбіт/с} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{UL \text{ QPSK}_{3/4}} &= 7 * 10^6 * \frac{8}{7} * \left(\frac{80}{256}\right) * \frac{3}{4} * 1,5 * \left(1 - \left(\frac{1}{6,6} + 0,001\right)\right) * 1 \\ &= 2,38 \text{ Мбіт/с} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{DL \text{ 16QAM}_{1/2}} &= 7 * 10^6 * \frac{8}{7} * \left(\frac{120}{256}\right) * \frac{1}{2} * 2 * \left(1 - \left(\frac{1}{6,6} + 0,001\right)\right) * 1,5 \\ &= 4,77 \text{ Мбіт/с} \end{aligned}$$

$$R_{UL \text{ 16QAM}_{1/2}} = 7 * 10^6 * \frac{8}{7} * \left(\frac{80}{256}\right) * \frac{1}{2} * 2 * \left(1 - \left(\frac{1}{6,6} + 0,001\right)\right) * 1 = 2,12 \text{ Мбіт/с}$$

$$\begin{aligned} R_{DL \text{ 16QAM}_{3/4}} &= 7 * 10^6 * \frac{8}{7} * \left(\frac{120}{256}\right) * \frac{3}{4} * 3 * \left(1 - \left(\frac{1}{6,6} + 0,001\right)\right) * 1,5 \\ &= 10,73 \text{ Мбіт/с} \end{aligned}$$

$$R_{UL\ 16QAM3/4} = 7 * 10^6 * \frac{8}{7} * \left(\frac{80}{256}\right) * \frac{3}{4} * 3 * \left(1 - \left(\frac{1}{6,6} + 0,001\right)\right) * 1 = 4,77 \text{ Мбіт/с}$$

$$R_{DL\ 64QAM2/3} = 7 * 10^6 * \frac{8}{7} * \left(\frac{120}{256}\right) * \frac{2}{3} * 4 * \left(1 - \left(\frac{1}{6,6} + 0,001\right)\right) * 1,5$$

$$= 12,71 \text{ Мбіт/с}$$

$$R_{UL\ 64QAM2/3} = 7 * 10^6 * \frac{8}{7} * \left(\frac{80}{256}\right) * \frac{2}{3} * 4 * \left(1 - \left(\frac{1}{6,6} + 0,001\right)\right) * 1 = 5,65 \text{ Мбіт/с}$$

$$R_{DL\ 64QAM3/4} = 7 * 10^6 * \frac{8}{7} * \left(\frac{120}{256}\right) * \frac{3}{4} * 4,5 * \left(1 - \left(\frac{1}{6,6} + 0,001\right)\right) * 1,5$$

$$= 16,09 \text{ Мбіт/с}$$

$$R_{UL\ 64QAM3/4} = 7 * 10^6 * \frac{8}{7} * \left(\frac{80}{256}\right) * \frac{3}{4} * 4,5 * \left(1 - \left(\frac{1}{6,6} + 0,001\right)\right) * 1$$

$$= 7,15 \text{ Мбіт/с}$$

Підведемо підсумки розрахунків у вигляді таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Швидкість передачі даних в залежності від виду модуляції

Швидкість передачі даних, Мбіт/с	BPSK 1/2	QPSK 1/2	QPSK 3/4	16QAM 1/2	16QAM 3/4	64QAM 2/3	64QAM 3/4
Вниз (DL)	1,19	2,38	5,36	4,77	10,73	12,71	16,09
Вгору (UL)	0,53	1,06	2,38	2,12	4,77	5,65	7,15
R	1,72	3,44	7,74	6,89	15,5	18,36	23,24

З таблиці бачимо, що максимальна швидкість передачі для одного сектора БС при $BW = 7$ МГц дорівнює $R_{\max} = 23,24$ Мбіт/с, що знаходиться в межах значень на рис. 2.5.

Модуляція	QPSK	QPSK	QAM16	QAM16	QAM64	QAM64
Швидкість згорткового кодування	1/2	3/4	1/2	3/4	2/3	3/4
1,75 МГц	1,04	2,18	2,91	4,36	5,94	6,55
3,5 МГц	2,08	4,37	5,82	8,73	11,88	13,09
7,0 МГц	4,15	8,73	11,64	17,45	23,75	26,18
10 МГц	8,31	12,47	16,63	24,94	33,25	37,40
20 МГц	16,62	24,94	33,25	49,87	66,49	74,81

Рисунок 2.5 - Залежність значень R_{\max} від обраної схеми модуляції

Такі характеристики повністю задовольняються обладнанням системи WIMIC-6000, що має швидкість передачі даних до 37,67 Мбіт/с на 1 сектор.

2.3 Вибір обладнання

На обраній зоні необхідна установка вишок з обладнанням базової станції. Приблизна висота установки антен буде обрана згідно рисунка 2.6.

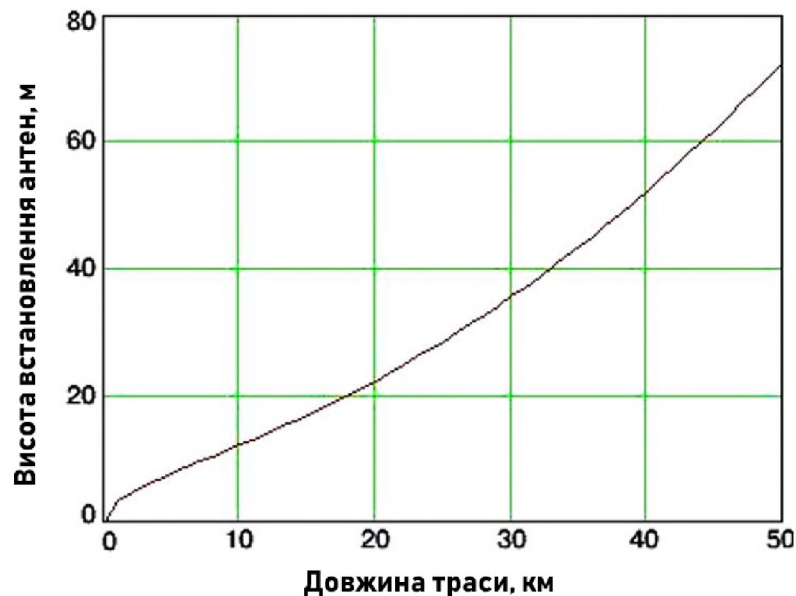


Рисунок 2.6 – Попередня оцінка висоти установки антен

З найбільш значних виробників обладнання для WiMAX зазначимо компанії Alvarion, Airspan, Alcatel-Lucent, CiscoSystem, Wi-LAN (Libra), Motorola, ProximWireless, Radwin, Revolution и другие. Обладнання більшості з них сертифіковано WiMAX-форумом [18].

Нагадаємо, архітектура мережі WiMAX включає три основні елементи - абонентські (мобільні) станції (AC), сукупність мереж доступу (сервісна мережа доступу, ASN) і сукупність мереж підключення (CSN). Мережа доступу ASN включає базові станції та шлюзи (ASN-шлюзи). Мережа підключення CSN - це наземна IP-мережа оператора WiMAX, саме в цій мережі розміщені AAA-сервери [19].

2.3.1 Загальна характеристика системи WIMIC-6000

Система WIMIC-6000 призначена для підключення локальних мереж і окремих комп'ютерів до мереж передачі даних по радіоканалу. Апаратура забезпечує побудову бездротових мереж типу "точка - многоточка" з кількістю абонентських станцій до 200 і швидкістю передачі даних до 37,67 Мбіт/с на 1 сектор (до 226 Мбіт/с в базовій станції з шести секторів) [20].

Типові області застосування системи:

- створення і розширення операторських мереж високошвидкісного доступу до Інтернет і ТфОП для корпоративних та індивідуальних клієнтів;
- побудова віртуальних приватних бездротових мереж для корпоративних користувачів;
- підключення точок доступу бездротових мереж Wi-Fi;
- організації відеоспостереження і послуг телефонії (на основі VoIP);
- розгортання тимчасових пересувних бездротових мереж для служб оперативного реагування;

– створення бездротових мереж для передачі мультимедійної інформації в інтересах державних, муніципальних та освітніх установ.

Система WiMIC-6000 працює в діапазоні частот від 5725 до 6425 МГц. Робота апаратури WiMIC-6000 заснована на рекомендації IEEE 802.16-2004.

Система WiMIC-6000 складається з базової станції (БС) WiMIC-6000В і абонентських станцій (АС) WiMIC-6000S, що підключаються по радіоканалу.

Приклад топології системи радіодоступу з 4х-секторної БС показаний на рис. 2.7.

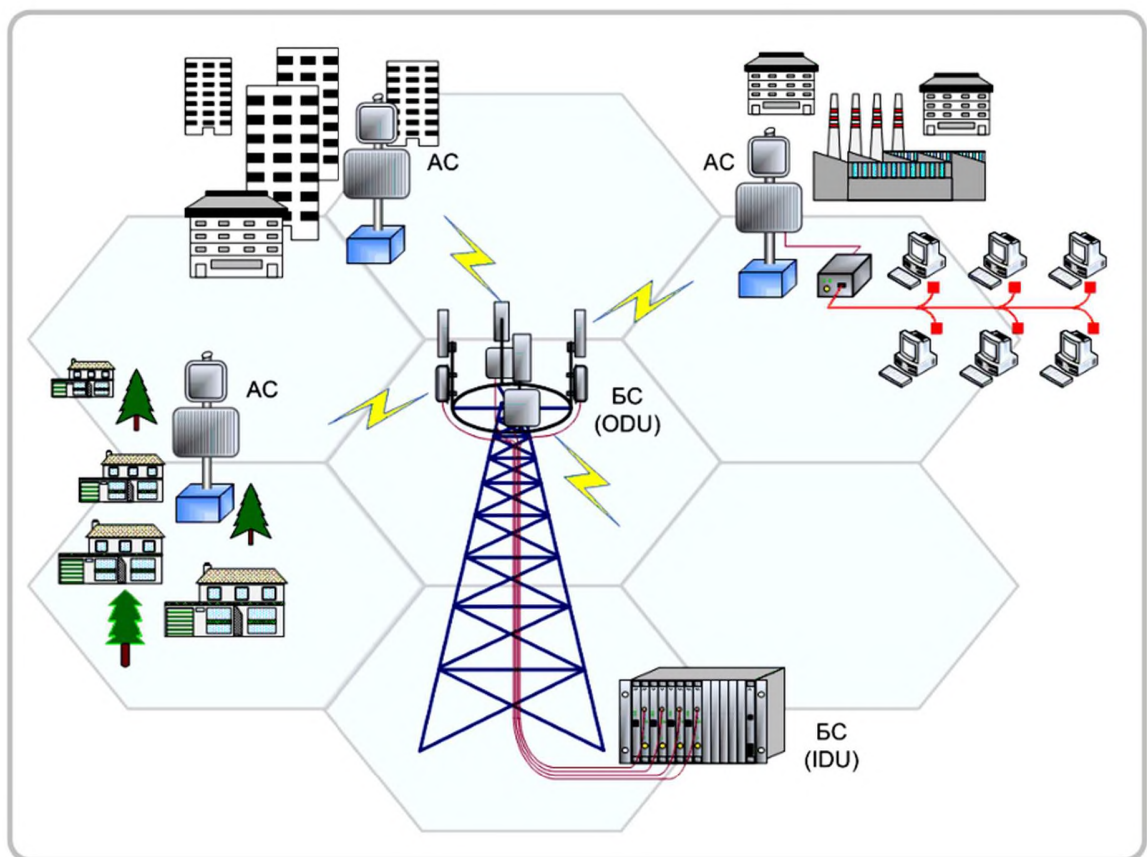


Рисунок 2.7 - Приклад топології системи радіодоступу

Базова станція виконана по розділеній архітектурі з виносними антенами і приймально-передавальними модулями (ППМ) і модулем доступу МДВ-6, що

встановлюється всередині приміщення.

Модульний принцип побудови модуля доступу МДВ-6 дозволяє нарощувати ємність базової станції до 6 секторів. Максимальна призначена для користувача ємність - до 1200 абонентів на шестисекторну БС.

Зона покриття визначається конкретними умовами поширення сигналу. При наявності прямої радіовидимості забезпечується дальність зв'язку до 30 км, при роботі на відображеннях (NLOS) - до 4 ... 5 км. Зі збільшенням відстані відбувається адаптивне зниження методу модуляції з відповідним зменшенням пропускної здатності.

2.3.2 Переваги системи WIMIC-6000

Перевагами системи WIMIC-6000 є [20]:

- використання технології OFDM з 256 піднесучими (OFDM-256): забезпечує надійну зв'язок у випадках обмеженої видимості або її відсутності (NLOS, робота на відображеннях). NLOS спрощує і здешевлює установку, підвищує стійкість зв'язку при багатопробієвому поширенні сигналів;
- використання сучасних видів модуляції і кодування: схеми модуляції до QAM64 дозволяють домогтися високої ефективності використання радіочастотного спектру (до 5 біт/с/Гц). Швидкість передачі становить до 37.7 Мбіт/с в смузі частот 10 МГц. Тип модуляції може змінюватися адаптивно від BPSK до QAM64, в залежності від дальності абонента і умов поширення сигналу. Для підвищення завадостійкості застосовується каскадне кодування - Ріда-Соломона/згорткове з різними швидкостями;
- висока призначена для користувача ємність: понад 1000 абонентів на базову станцію (6 секторів);
- можливість зміни ширини використовуваної смуги частот: смуга

частот встановлюється в значення: 1.75; 3.5; 7; 10 МГц. Це дозволяє більш ефективно виконувати частотно-територіальне планування мережі;

- вільний від конфліктів (колізій) багатостанційний доступ: Множинний доступ з тимчасовим методом поділу абонентських каналів (TDMA) виключає появу колізій і сприяє збереженню високої пропускної здатності системи;

- висока площа обслуговування: завдяки використанню технології OFDM-256 і адаптивних методів модуляції розширюється площа обслуговування;

- є система забезпечення якості обслуговування (QoS): пропускна здатність системи розподіляється з урахуванням необхідної якості сервісу кожного абонента;

- інтерфейс абонентського пристрою ETHERNET: інтерфейс ETHERNET (10/100Base-T) набув значного поширення, зручний у використанні, дозволяє легко інтегрувати різні типи сервісів (TDMoIP, VoIP, відеоспостереження і т.д.);

- забезпечується комплексний захист інформації: виконується шифрування даних в ефірі, авторизація абонентських пристроїв і перевірка достовірності сертифікатів;

- централізоване управління мережею: система мережевого управління заснована на протоколі SNMP і володіє широкими можливостями (конфігурація, діагностика аварійних ситуацій, моніторинг характеристик, управління QoS і безпекою, ведення журналів роботи і т.д.).

2.3.3 Технічні характеристики системи WIMIC-6000 [21]

Таблиця 2.6

Діапазон частот	5.725-6.425 ГГц
Технологія мультиплексування даних абонентів (в напрямку точка доступу - абонентська станція)	TDM
Тип доступу до середовища передачі (в напрямку абонентська станція - точка доступу)	TDMA
Метод дуплексування	FDD або TDD
Максимальна пропускна здатність стовбура	37.67 Мбіт/с
Забезпечення якості обслуговування QoS	Наявна
Технологія передачі	OFDM-256
Способи модуляції	Адаптивна, від BPSK до QAM-64
Заводостійке кодування	Каскадне: Ріда-Соломона/Вітербі
Спектральна ефективність	до 5 біт/с/Гц
Полоса сигналу	1.75; 3.5; 7; 10 МГц
Потужність на виході передавача, БС / АС	24/24 дБм
Установка частоти передавача	Програмно
Нестабільність частоти передачі	$<5 \times 10^{-6}$
Кількість АС в одному секторі	до 200
Максимальна кількість секторів (на МДВ-6)	6
Топологія розміщення абонентських станцій	Довільна
Максимальна дальність зв'язку	40 км
Засоби шифрування	3DES
Електроживлення	мінус 48/60 В

Таблиця 2.7 - Підтримувані види модуляції і рівні кодування

Модуляція	Кодування (сумарне)	Швидкість передачі (сира, в смузі 10 МГц, FDD), Мбіт/с
BPSK	1/2	4.19
QPSK	1/2	8.37
QPSK	3/4	12.56
16-QAM	1/2	16.64
16-QAM	3/4	25.11
64-QAM	2/3	33.48
64-QAM	3/4	37.67

Таблиця 2.8 - Параметри приймача

Схема модуляції	Чутливість (при смузі 10 МГц), дБм
BPSK 1/2	-90
QPSK 1/2	-89
QPSK 3/4	-87
16-QAM 1/2	-83
16-QAM 3/4	-81
64-QAM 2/3	-76
64-QAM 3/4	-74

Таблиця 2.9 - Характеристики антени

Тип антени	WM60-01
Імпеданс, Ом	50
Поляризація	Верт.
Розмір антени, мм	460x120x50
Коефіцієнт посилення антени не менше, дБ	16
Відношення F/B, дБ, не менше	25
Ширина діаграми за рівнем 3 дБ, град.	
- в горизонтальній площині	60
- у вертикальній площині	7
Тип роз'єму	N-типу
Вага, кг	1.5

Таблиця 2.10 - Характеристики абонентської станції

Інтерфейс користувача	Ethernet 10/100Base-T (рек. IEEE 802.3), повний дуплекс
Мережеві сервіси	Система прозора для IEEE 802.3 додатків і сервісів
Пріоритезація трафіка	За рекомендацією IEEE 802.1q/p
Тип обладнання	Выносное (ODU)
Температура навколишнього середовища (ODU)	-50 / +50 °C
Максимальна відстань IDU-ODU	100 м
Габарити	320x300x60 мм
Маса	<3 кг
Споживана потужність	<25 Вт

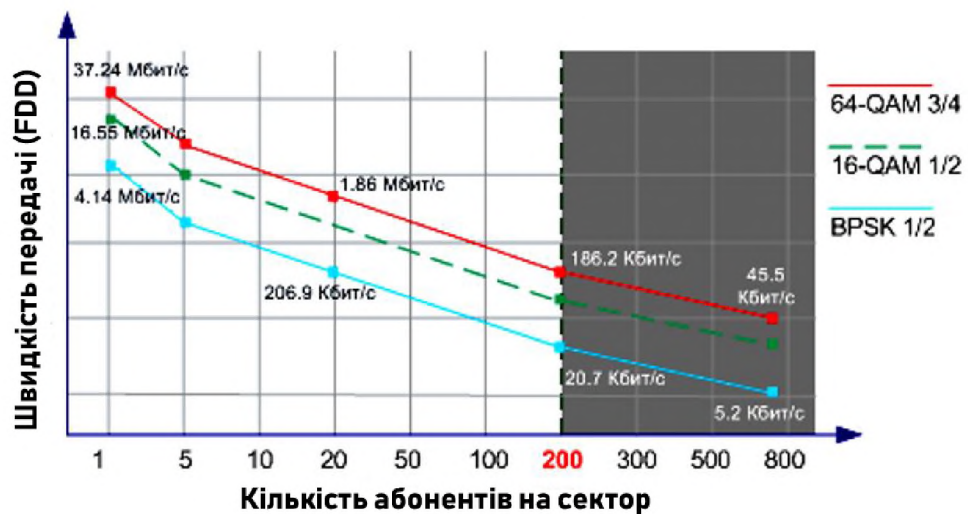


Рисунок 2.8 - Залежність пропускної здатності на одну абонентську станцію від кількості абонентів і за видом модуляції

2.3.4 Конструкція системи WIMIC-6000

Базова станція системи WIMIC-6000 складається з модуля доступу МДВ-6, що встановлюється всередині приміщення (IDU), і виносного обладнання (ODU) - приймача і антен, що розміщуються на щоглі. Устаткування ODU і IDU зв'язуються між собою коаксіальним кабелем. Внутрішньо обладнання БС має модульну конструкцію з можливістю установки блоків для розширення числа секторів до шести.

Як в базовій станції, так і в абонентській станціях застосовуються зовнішні антени. Для експлуатації в різних умовах можуть бути обрані антени з різними характеристиками.

Приймач БС і абонентська станція виконані в компактному пило- та вологозахищеному алюмінієвому корпусі.

Абонентська станція є функціонально закінченим пристроєм для зовнішньої

установки (ODU), на стороні абонента встановлюється тільки адаптер живлення.

Зовнішній вигляд абонентської станції показаний на рис. 2.5.



Рисунок 2.9 - Зовнішній вигляд АС WIMIC-6000.

Виносне обладнання кріпиться на трубостійки діаметром 30 ... 50 мм за допомогою скоб. Ескіз кріплення БС і абонентського терміналу показаний на рисунку 2.10.

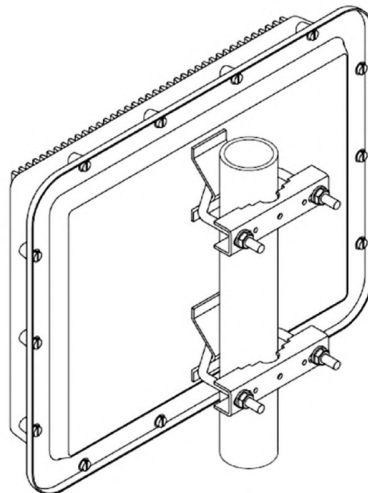


Рисунок 2.10 - Кріплення БС і абонентського терміналу.

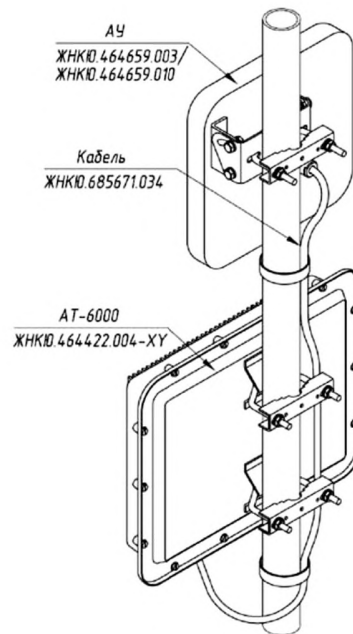


Рисунок 2.11 - Кріплення абонентського терміналу та антени

На рисунку 2.11 показано кріплення на трубостойки абонентського терміналу та антени, а також спосіб укладання з'єднувального кабелю.



Рисунок 2.12 - Приклад установки 4х-секторної БС.

На малюнку 2.12 наведено приклад установки 4х-секторної БС. При монтажі антен БС відстань між антенами сусідніх секторів має бути не менше 0,2 м.

2.3.5 Будова та принцип роботи системи WIMIC-6000

Базова станція

Один сектор БС утворюється двома блоками: БСО-1 і БМВ-1. Блок мережевої обробки БСО-1 відповідно до рекомендації IEEE 802.16-2004 обробляє вхідний трафік для відповідності MAC-рівню, забезпечує якість обслуговування (QoS) і роботу підрівня безпеки. Блок модема БМВ-1 забезпечує бездротове з'єднання з профілем OFDM-256, адаптивно перемикається модуляцією, програмно змінюємою смугою пропускання, виконує телеметрію і телеуправління прийомопередавачами.

Приймач ППМ-6000 переносить спектр сигналу в заданий діапазон частот.

Базова станція з виносними прийомопередавачами складається з модуля доступу МДВ-6 (IDU), приймально-передавальних модулів ППМ-6000 (ODU), і секторних антен.

Завдяки модульній архітектурі ємність базової станції може нарощуватися до 6 секторів.

ODU і IDU зв'язуються між собою коаксіальним кабелем (один на сектор) довжиною до 200 м.

У складі БС використовуються секторні антени з шириною діаграми спрямованості 60, 90 градусів, або інші.

Базова станція виконана з рознесеними конструкціями ODU і IDU, при яких формування сигналу і перенесення на проміжну частоту виконує IDU, а перенесення спектра в робочий діапазон частот - ODU (ППМ). ODU і IDU зв'язуються між собою коаксіальним кабелем.

Блок мережевої обробки відповідно до рекомендації IEEE 802.16-2004

обробляє вхідний трафік для відповідності MAC рівню, забезпечує якість обслуговування (QoS) і роботу під рівня безпеки. Блок модема забезпечує бездротове з'єднання (PHY) з профілем OFDM-256 (256 піднесучих), адаптивно перемикається модуляцією від BPSK до 64-QAM, програмно змінною смугою пропускання від 1,75 до 10 МГц.

Абонентська станція

Абонентська станція складається з терміналу AT-6000, планарної антени, і адаптера живлення АЖ-01 (IDU). Термінал є виносним обладнанням (ODU), виконаний в компактному корпусі. На території абонента не розташовується інших пристроїв, крім блока живлення, від якого живиться AT-6000. Антена підключається за допомогою кабелю.

За умовами експлуатації апаратура WiMiC ділиться на дві групи.

До першої групи належить зовнішнє обладнання (ODU), яке встановлюється на відкритому повітрі:

- антенні пристрої БС і АС;
- ППМ;
- кабелі з'єднання ODU з внутрішнім обладнанням;
- абонентські термінали (АТ).

До другої групи відноситься внутрішнє обладнання (IDU), яке встановлюється в приміщенні:

- модуль доступу МДВ-6;
- фільтр живлення ФЖ-02;
- блок мережевий обробки БМО-1;
- блок модему БМВ-1;
- блок живлення АЖ-01.

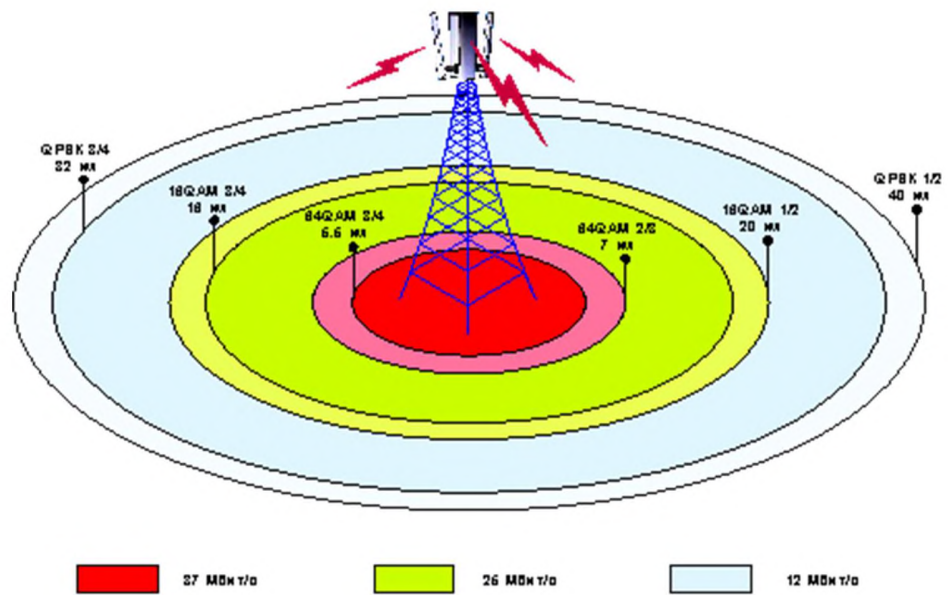


Рисунок 2.13 - Розрахункові значення зон покриття при наявності прямої видимості

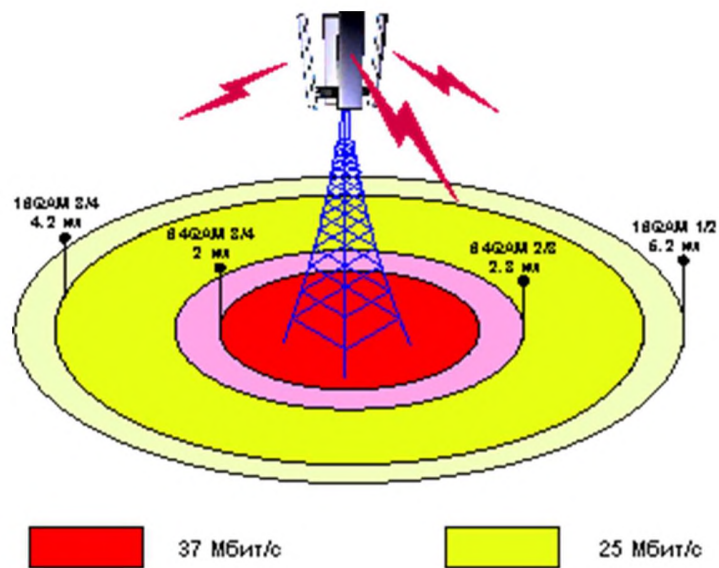


Рисунок 2.14 - Розрахункові значення зон покриття при роботі на відображеннях (NLOS)

Примітка: зі збільшенням відстані відбувається зниження схеми модуляції зі зменшенням пропускної спроможності.

2.4 Висновок

У другому розділі обрано мікрорайон для проектування мультисервісної мережі мікрорайон - «Західний», створена його характеристика, виконано частотно-територіальне планування проектованої мережі, розрахунок її параметрів, обрано необхідне обладнання та наведено його основні характеристики, представлена реалізація мережі WiMAX, та обрано оптимальне розташування базових станцій.

3 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розрахунок капітальних витрат на побудову мережі

Капітальні вкладення - це витрати на створення нових, реконструкцію і технічне переозброєння діючих основних засобів. За допомогою капітальних вкладень здійснюється як просте, так і розширене відтворення основних засобів [33].

Для будівництва проектованої мережі широкосмугового доступу необхідні такі капітальні вкладення:

- на придбання обладнання WIMIC-6000;
- на побудову широкосмугової бездротової мережі на технології WiMAX;
- на транспортні і заготівельно-складські витрати;
- на монтаж і налагоджування обладнання.

При визначенні величини проектних капіталовкладень ($K_{пр}$) можна скористатися формулою:

$$K_{пр} = K_{об} + Z_m + Z_y + Z_t \quad (3.1)$$

де $K_{об}$ – вартість придбання обладнання за проектом;

Z_m – витрати на монтажні та налагоджувальні роботи;

Z_y - витрати на упаковку;

Z_t – витрати на транспортні і заготівельно-складські потреби.

Витрати на транспортні і заготівельно-складські потреби визначають як 3,9% від вартості обладнання, вартість монтажу і налаштування приймаємо 10% від вартості обладнання, витрати на упаковку - 0,5% від вартості обладнання.

Тоді величина проектних капіталовкладень ($K_{пр}$) визначається формулою:

$$K_{пр} = K_{об} + 0,144 * K_{об} \quad (3.2)$$

Основне виробниче обладнання проекрованої мережі показано в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Капітальні витрати на проектовану мережу широкопasmового доступу.

Найменування	Кількість	Ціна за од., грн	Сума, грн
Обладнання WiMIC-6000 (IDU, ODU)	36 шт.	40100	1443600
Секторна антенна для БС WM60-01	18 шт.	12700	228600
ASN-шлюз Cisco ASR1004-10G/K9	3 шт.	315955	947865
Шафа для монтажу обладнання MGSWA 19, 18U	3 шт.	9601	28803
Щогла тригранна алюмінієва M440FL h = 8м	3 шт.	9487	28461
Коаксіальний кабель TMSLMR-600	100 м	304	30400
ПК	1 шт.	16000	16000
Ліцензія використання радіоресурсу	1 шт.	221300	221300
Разом			2945029

За формулою 3.2 проектні капіталовкладення складають:

$$K_{\text{пр}} = K_{\text{об}} + 0,144 * K_{\text{об}} = 2945029 + 424084 = 3369113 \text{ грн.}$$

3.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати - це поточні витрати на експлуатацію та обслуговування об'єкта проектування за певний період (рік), виражені в грошовій формі.

До основних статей експлуатаційних витрат по електротехнічного устаткування відносяться:

- амортизаційні відрахування (C_a);
- заробітна плата обслуговуючого персоналу ($C_з$);
- відрахування на соціальні заходи від заробітної плати (C_c);
- витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт обладнання (C_T);
- вартість електроенергії, споживаної об'єктом проектування (C_e);
- інші експлуатаційні витрати ($C_{\text{інш}}$).

Таким чином, річні експлуатаційні витрати складуть:

$$C = C_a + C_з + C_c + C_T + C_e + C_{\text{інш}} \quad (3.3)$$

Розрахунок експлуатаційних витрат ведеться по проектному і базовому варіантам паралельно.

3.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Амортизація - це систематичний розподіл вартості необоротних активів, що амортизується (первісна мінус ліквідаційна вартість) упродовж строку їх корисного використання (експлуатації) [34].

Строк корисного використання основних засобів, що визначається за групами, для передавальних пристроїв складає 10 років [35].

Норма амортизації H_a при методі прямолінійного списання постійна протягом всього амортизаційного періоду і дорівнює:

$$H_a = \frac{\Phi_{\Pi}}{\Phi_{\Pi} * T_{\Pi}} * 100 = \frac{3369113}{3369113 * 10} * 100 = 10\% \quad (3.4)$$

де T_{Π} – строк корисного використання (амортизаційний період).
Тоді річні амортизаційні відрахування АВ за прямолінійним методом:

$$C_a = \frac{\Phi_{\Pi} * H_a}{100} = \frac{3369113 * 10}{10} = 336911,3 \text{ грн} \quad (3.5)$$

3.2.2 Розрахунок річного фонду заробітної плати

Заробітна плата — це винагорода, обчислена, як правило, в грошовому виразі, яку за трудовим договором роботодавець виплачує працівникові за виконану ним роботу. Розмір заробітної плати залежить від складності та умов виконуваної роботи, професійно-ділових якостей працівника, результатів його праці та господарської діяльності підприємства.

Розрахунок річного фонду заробітної плати здійснюється за категоріями персоналу, який обслуговує об'єкт проектування, відповідно до їх чисельності, режиму роботи, годинними тарифними ставками, посадовими окладами, що

застосовуються на підприємстві формами і системами оплати праці та преміювання.

Основна заробітна плата працівників - це винагорода за виконану роботу відповідно до встановлених норм праці (норми часу, виробітку, обслуговування, посадові обов'язки).

Додаткова заробітна плата - це винагорода за працю понад установлені норми, за особливі умови праці. До додаткової заробітної плати відносяться премії, пов'язані з виконанням виробничих завдань і функцій, доплати і надбавки, гарантійні і компенсаційні виплати, передбачені чинним законодавством.

Результати розрахунку основної заробітної плати обслуговуючого персоналу представлені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Розрахунок річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу

Найменування професій працівників	Кількість, чоловік	Годинна тарифна ставка, грн	Номінальний річний фонд робочого часу, год	Разом, основна зарплата за тарифом, грн
Провідний інженер	1	90,27	1744	157430
Інженер	3	36,11	1744	188927
Налагоджувальник обладнання абонентів	3	28,83	1744	150838
Оператори	3	36,11	1744	188927
Разом	10	-	-	686122

Додаткова заробітна плата обслуговуючого персоналу визначається в розмірі 10-15% від основної заробітної плати.

Таким чином, загальна величина річного фонду заробітної плати становить:

$$C_3 = Z_{\text{заг}} + Z_{\text{дод}} = 686122 + 0,1 * 686122 = 754734,2 \text{ грн} \quad (3.6)$$

де $Z_{\text{заг}}$, $Z_{\text{дод}}$ - основна і додаткова заробітна плата відповідно, грн.

3.2.3 Розрахунок відрахувань на соціальні заходи

Відрахування на соціальні заходи (єдиний соціальний внесок) визначаються на підставі встановленого чинним законодавством відсотка від суми основної та додаткової заробітної плати, що на 2021 рік складає 22% [36].

$$C_c = C_3 * 0,22 = 754734,2 * 0,22 = 166041,52 \text{ грн}$$

3.2.4 Визначення річних витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт

Річні витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт обладнання включають витрати на матеріали, запасні частини, заробітну плату ремонтним робітникам і можуть визначатися за фактичними даними підприємства.

Витрати з ремонту обладнання є однією з великих статей витрат і в середньому становить 10%.

$$C_T = \Phi_{\Pi} * 0,1 = 3369113 * 0,1 = 336911,3 \text{ грн}$$

3.2.5. Розрахунок вартості спожитої електроенергії

Вартість електроенергії, споживаної об'єктом проектування протягом року, визначається виходячи з його встановленої потужності, річного фонду робочого часу і тарифів на електроенергію:

$$C_e = W_r * C_e \quad (3.7)$$

де W_r - кількість спожитої за рік електроенергії, кВт · год;

C_e - тариф на електроенергію станом на конкретну дату, грн./кВт · год;

$$C_e = 168 \frac{\text{коп}}{\text{кВт*год}}$$

$$W_r = (40 \text{ Вт} * 36 + 20 \text{ Вт} * 18 + 765 \text{ Вт} * 3) * 8760 \text{ год} = 35872,2 \text{ кВт*год}$$

Витрати на електроенергію складають:

$$C_e = 35872,2 * 168 = 60265,30 \text{ грн}$$

3.2.6. Визначення інших витрат

Інші витрати по експлуатації об'єкта проектування включають витрати з охорони праці, на спецодяг та ін. Відповідно до практики, ці витрати визначаються в розмірі 4% від річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу.

$$C_{\text{інш}} = C_3 * 0,04 = 754734,2 * 0,04 = 30189,37 \text{ грн}$$

Таким чином, річні експлуатаційні витрати складуть:

$$C = 336911,3 + 754734,2 + 166041,52 + 336911,3 + 60265,30 + 30189,37 \\ = 1685052,99 \text{ грн}$$

3.3 Розрахунок доходу

Дохід – гроші або матеріальні цінності, одержувані державою, юридичною та фізичною особою внаслідок будь-якої діяльності (виробничої, комерційної, посередницької і т. ін.) за певний період часу.

Загальний дохід у випадку проектування мережі складається з доходу від підключення абонентів в мережу та доходу від щомісячної абонентської плати.

Можлива кількість абонентів проекрованої мережі становить 1350, вартість підключення абонентів до мережі WiMAX – 1300 грн. Тоді дохід на підключення становитиме:

$$D_{\text{підкл}} = 1300 \cdot 1350 = 1755000 \text{ грн}$$

Середня місячна плата становить 130 грн/міс. Дохід від річної абонентської плати:

$$D_{\text{абонпл}} = 1350 \cdot 130 \cdot 12 = 2106000 \text{ грн}$$

Загальний дохід:

$$D = D_{\text{підкл}} + D_{\text{абонпл}} = 1755000 + 2106000 = 3861000 \text{ грн.} \quad (3.8)$$

3.4 Розрахунок прибутку

Прибуток — сума, на яку доходи перевищують пов'язані з ними витрати. Він визначається за формулою:

$$\Pi = Д - С = 3861000 - 1685052,99 = 2175947,01 \text{ грн} \quad (3.9)$$

За другий рік без підключення абонентів прибуток складатиме:

$$\Pi = D_{\text{абонпл}} - С = 2106000 - 1685052,99 = 420947,01 \text{ грн}$$

З розрахунків бачимо, що проект на побудову широкосмугової бездротової мережі на технології WiMAX повністю окупиться за перший рік після впровадження.

3.5 Висновок

В економічному розділі розраховано капітальні витрати, що складають 3369113 грн, експлуатаційні витрати – 1685052,99 грн, дохід, який в перший та другий рік складає відповідно складає 3861000 грн (при підключенні всіх можливих абонентів) та 2106000 грн, а також прибуток, що становить 2175947,01 грн та 420947,01 грн відповідно за перший та другий рік.

З'ясовано, що проект на побудову широкосмугової бездротової мережі на технології WiMAX повністю окупиться за перший рік. Таким чином, проект з надання послуги Internet абонентам мікрорайону «Західний» є вигідним.

ВИСНОВКИ

У першому розділі кваліфікаційної роботи здійснено огляд поширених технологій мультисервісних мереж. Докладно розглянуто технологію бездротового доступу стандарту WiMAX 802.16, її особливості та переваги, сфери використання, принципи архітектури, обладнання, доцільність впровадження.

У спеціальному розділі дипломного проекту здійснено ретельне дослідження мікрорайону «Західний», а саме пошук можливості впровадження бездротової мережі WiMAX. Проведено дослідження обраного мікрорайону, а саме: ландшафту, площі, типу забудовита кількості потенційних абонентів. Виконано частотно-територіальне планування мережі та підібрано кількість та оптимальне розташування базових станцій. Розглянуто та обрано варіанти побудови мережі, згідно отриманих під час дослідження району проектування даних. Вибрано та описано відповідне обладнання в кількості, необхідній для реалізації проекту.

В економічному розділі, на підставі переліку обраного обладнання, необхідного для організації доступу мережі WiMAX у мікрорайоні «Західний» міста Дніпра, проведено розрахунок капіталовкладень на втілення проекту. На підставі отриманих за результатом розрахунку даних, здійснено аналіз окупності та економічної ефективності впровадження проекту. Результати розрахунку в економічній частині свідчать про те що проект є економічно-ефективним та перспективним.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. О.В. Махровский. Технологии мультисервисных сетей связи: Учебное пособие. ГОУВПО. – СПб., 2009. – 120 с.
2. Технологии и средства связи (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: http://lib.tsonline.ru/articles2/techobzor/ustr_multiserv_shirokopolosn_dostupa. – Загол.з екрана.
3. spacegrad.ru (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <http://spacegrad.ru/wiki/WiMAX>. – Загол.з екрана.
4. Антенны профессиональной радиосвязи Vitex(Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <http://www.vitex.kiev.ua/tehwiMAX>. – Загол.з екрана.
5. Кольцов А.С. Федорков О.Д. Перспективні інформаційні технології та середовища. Частина 2 (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <https://nashaucheba.ru/v23299/?cc=1>. – Загол.з екрана.
6. Вікіпедія Вільна енциклопедія (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/WiMAX>. – Загол.з екрана.
7. Гаджет-квест Обзоры устройств, описание программ (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <https://driverunpaid.ru/obzory-ustrojstv/wimax-router.html>. – Загол.з екрана.
8. Реферати українською (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: http://bukvar.su/informatika_programmirovanie/page,5,171832-Razvertyvanie-seteiy-WiMAX.html. – Загол.з екрана.
9. Вишнеvский В., Портной С., Шахнович И. Энциклопедия WiMax. Путь 4G. — М.: Техносфера, 2009. — 472 с. — ISBN 978-5-94836-223-6.
10. blog.imena.ua (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <https://www.imena.ua/blog/wimax-gigant-shirokopolosnogo-interneta/>. – Загол. з екрана.
11. D. Pareek, WiMAX: Taking Wireless to the MAX, Auerbach Publications, Taylor & Francis Group, 2006.

12. Архипкин А. Стандарт WiMAX: техническое описание, варианты реализации и специфика применения / Андрей Архипкин. // Беспроводные технологии. – 2006. – №3.
13. CoderLessons.com (Электрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL:<https://coderlessons.com/tutorials/telekom/uznaite-wimax/wimax-funktsii-bezopasnosti>. – Загол.з екрана.
14. EMF Explains 2.0 (Электрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL:<http://www.emfexplained.info/?ID=25133>. – Загол.з екрана.
15. НАТЕКС (Электрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL:<http://www.nateks.ru/publication/wimax-i-fiksirovannyy-shirokopolosnyy-bes>. – Загол.з екрана.
16. Технология фиксированного широкополосного беспроводного доступа WiMAX стандарта IEEE 802.16-2004 (Электрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: http://unidata.com.ua/add/WiMAX_technology.pdf. – Загол.з екрана.
17. Вікіпедія Вільна енциклопедія (Электрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D1%85%D1%96%D0%B4%D0%BD%D0%B8%D0%B9_\(%D0%94%D0%BD%D1%96%D0%BF%D1%80%D0%BE\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D1%85%D1%96%D0%B4%D0%BD%D0%B8%D0%B9_(%D0%94%D0%BD%D1%96%D0%BF%D1%80%D0%BE)). – Загол.з екрана.
18. Иванов А. Оборудование WiMAX – решение компании Alvarion / А. Иванов, В. Портной. // Первая миля. – 2009. – №2.
19. Шахнович И. Архитектура сети WiMAX: основные элементы и принципы / И. Шахнович. // Первая миля. – 2009. – №1. – С. 6–15.
20. Корпорация Капитал-Технология (Электрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <http://www.kkt.ru/catalog/uwb/Micran/wimic-6000>. – Загол.з екрана.
21. Конверсия-3 (Электрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <http://www.conver.ru/files/WiMIC.pdf>. – Загол.з екрана.

22. Гипросвязь (Электрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <http://giprosvjaz.by/ru/services/chastotno-territorialnoe-planirovanie-setej-radiosvyazi25> – Загол.з екрана.
23. Драганов В.М., Маковеевко Д.А. Элементы частотно-территориального планирования сетей сотовой связи – Методическое руководство – Одесская национальная академия связи им. А. С. Попова, Одесса, 2009
24. WiMAX Forum. WiMAX System Evaluation Methodology. – 2007. – 209 p.
25. Javornik T., Kandus G., Hrovat A., Ozimek I. Comparison of WiMAX coverage at 450MHz and 3.5GHz, SoftCOM 2006, 14th International Conference on Software, Telecommunications & Computer Networks, Split, Dubrovnik, Hrvatska, sep. 2006. – P. 71–75.
26. Научная электронная библиотека «КиберЛенинка» (Электрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-rascheta-parametrov-seti-mobile-wimax>. – Загол.з екрана.
27. Studbooks.net (Электрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: https://studbooks.net/2117282/informatika/raschet_zony_deystviya_signala. – Загол.з екрана.
28. Весоловский Кшиштоф. Системы подвижной радиосвязи /Пер. с польского И.Д. Рудинского; под ред. А.И. Ледовского. –М.: Горячая Линия - Телеком, 2006.
29. About Fixed WiMAX Design Library (Электрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/ads2008/wman/ads2008/About_Fixed_WiMAX_Design_Library.html. – Загол.з екрана.
30. Владимиров С.С. Беспроводные сети передачи данных: практикум - СПбГУТ. — СПб, 2016. — 58 с.
31. IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Working Group (Электрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL:https://www.ieee802.org/16/tg3/contrib/802163c-01_29r4.pdf. . – Загол.з екрана.

32. Remzhuk (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <https://remzhuk.ru/standart-802-16-osnovnye-parametry-wi-max-v-setyah-svyazi-s-podvizhnymi/>. – Загол.з екрана.
33. Bookwu.net (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: http://bookwu.net/book_marketing_1031/25_8.3-kapitalni-vitrati-ta-finansuvannya-remontu-osnovnih-zasobiv-pidpriyemstva. – Загол.з екрана.
34. Навчальні матеріали онлайн (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: https://pidru4niki.com/14960517/finans/amortizatsiya_osnovnih_zasobiv_metodi_narahuvannya. – Загол.з екрана.
35. Factor (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <https://i.factor.ua/ukr/law-24/section-121/article-698/2014-07-31/>. – Загол.з екрана.
36. Дебет-кредит сервіси для бухгалтера (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <https://services.dtkr.ua/catalogues/indexes/13>. – Загол.з екрана.
37. Yasno (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: https://yasno.com.ua/news/b2b_news/prices_for_small_business_2021. – Загол.з екрана.

ДОДАТОК А. Відомість матеріалів кваліфікаційної роботи

№	Формат	Найменування	Кількість листоків	Примітки
<i>Документація</i>				
1	A4	Реферат	3	
2	A4	Список умовних скорочень	2	
3	A4	Зміст	2	
4	A4	Вступ	2	
5	A4	Стан питання. Постановка задачі.	31	
6	A4	Спеціальна частина	31	
7	A4	Економічний розділ	9	
8	A4	Висновки	1	
9	A4	Перелік посилань	4	
10	A4	Додаток А	1	
11	A4	Додаток Б	1	
12	A4	Додаток В	1	
13	A4	Додаток Г	1	

ДОДАТОК Б. Перелік документів на оптичному носії

- 1 Електронна версія пояснювальної записки (Пояснювальна Записка Альтшулер.doc та Пояснювальна Записка Альтшулер.pdf)
- 2 Електронна версія демонстраційного матеріалу (Презентація Альтшулер.pdf)

ДОДАТОК В. Відгук керівника економічного розділу

ВІДГУК

Керівник розділу

(підпис)

Романюк Н.М.

ДОДАТОК Г. Відгук керівника кваліфікаційної роботи

ВІДГУК

на кваліфікаційну роботу бакалавра

**на тему: «Проектування мережі мультисервісного доступу мікрорайону за
технологією WiMAX»**

студентки групи 172-17-1 Альтшулер Анни Борисівни

Керівник дипломної роботи,

доцент _____ **Галушко О.М.**
(підпис)