

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра електроніки та комп'ютерної техніки

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту

на тему:

«Проектування мережі бездротового зв'язку WiMAX стандарту IEEE 802.16e
для сільського населеного пункту.»

Завідувач кафедри

А.С.Опанасюк

Керівник

Д'яченко О.В.

Виконав студент групи ТК-81

Кашук О.О.

Суми 2022

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ

Сумський Державний Університет

Факультет _____ ЕЛІТ _____ Кафедра _____ ЕКТ _____

Спеціальність _____ Телекомунікації _____

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри Опанасюк А.С.

«_____» _____ 20__ р.

Завдання на дипломний проект студентів

Кашук Олександр Олександрович _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту _____ Проектування мережі бездротового зв'язку WiMAX стандарту IEEE 802.16e для сільського населеного пункту. _____

затверджено наказом по інституту від « 12 » квітня 20 22 р. № 0241-VI

2. Термін здачі студентом закінченого проекту 10.06.2022 _____

3. Вихідні дані до проекту Тип системи – SI2000; виконувана задача – міська АТС; ємність системи – до 10000 абонентів; підключені віддалені пристрої Harris 20-20 LX ємністю 425 абонентів, Мультиком D-4000 ємністю 83 абонентів. _____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці) структура і призначення універсальної системи зв'язку та основні її функції, обґрунтування принципу побудови та основних функціональних блоків системи, розрахунок та розподіл навантаження на мережі.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Календарний план

№ п/п	Найменування етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Огляд літератури	14.04.2022	
2	Принцип побудови та основні функціональні блоки	02.05.2022	
3	Розрахунок та розподіл навантаження на мережі	17.05.2022	
4	Розрахунок кількості обладнання системи	24.05.2022	
5	Представлення роботи керівнику	03.06.2022	

Студент-дипломник _____

Керівник проекту _____

« _____ » _____ 20__ р.

РЕФЕРАТ

Тема дипломного проекту: «Проектування мережі бездротового зв'язку WiMAX стандарту IEEE 802.16e для сільського населеного пункту». Дипломний проект складається з 3 розділів, розділи у свою чергу розбиті на окремі підрозділи. Робота містить 34 сторінки. При написанні роботи було опрацьовано 10 джерел.

У першому розділі дипломного проекту був зроблений вибір напрямку й тема для дипломної роботи, надана характеристика системи, описана загальна структура і призначення системи, наведено основні функції системи. У другому розділі зроблене обґрунтування принципу побудови та основних функціональних блоків системи. У третьому розділі були зроблені розрахунки розподілу навантаження на мережі. Був виконаний вибір та розрахунок необхідних елементів системи. Зроблені висновки по виконаній роботі.

Ключові слова: ПРОЕКТУВАННЯ, МЕРЕЖА, ОБЛАДНАННЯ

Зміст

ВСТУП	3
1. ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАНДАРТУ WiMAX	5
1.1 Особливості стандарту IEEE 802.16e.....	5
1.2 Частотні діапазони стандарту IEEE 802.16	7
1.3 Фізичний рівень	8
1.4 MAC-рівень	12
1.5 Архітектура побудови мережі WiMAX.....	18
2. МЕТОДИ ПЛАНУВАННЯ МЕРЕЖ WiMAX	22
2.1 Принципи побудови мережі WiMAX у селищі міського типу	22
2.2 Методи ослаблення соканальних перешкод	31
3. ВИБІР АПАРАТУРИ І ПЛАНУВАННЯ МЕРЕЖІ	32
3.1 Вибір апаратури та розрахунок мережі	32
ВИСНОВОК	39
ЛИТЕРАТУРА	41

					ЕлІТ 6.172.00.02.400 ПЗ			
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Кашук О.О.</i>			Проектування мережі бездротового зв'язку WiMAX стандарту IEEE 802.16e для сільського населеного пункту Пояснювальна записка	<i>Лит.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Д'яченко О.В.</i>					3	
<i>Реценз.</i>						СумДУ гр. ТК-81		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверж.</i>		<i>Опанасюк А.С.</i>						

ВСТУП

Темою дипломного проекту є проектування бездротової мережі WiMAX стандарту IEEE 802.16e для сільського населеного пункту.

Системи бездротової передачі існує стільки ж, як і сама людська цивілізація. Однак, в останні 15-20 років розвиваються надзвичайно інтенсивно, ставши одним з основних напрямків розвитку телекомунікаційної індустрії.

Міграція телекомунікаційних технологій відбувається у двох основних напрямках:

від мовних послуг кінцевому користувачеві до передачі швидкісних потоків даних, яка у свою чергу вже ділиться на цілий комплекс різних сервісів, що включають і мовлення, і дані, і відео.

від нерухомих користувачів до кочівників та мобільних, що може забезпечити лише бездротовий зв'язок.

Технологія WiMAX, що акумулювала в собі досягнення не тільки більш простих технологій бездротового доступу (Wi-Fi), але й технології стільникових мереж 3-го покоління. З Wi-Fi в WiMAX перейшла технологія ОЧР, що дозволяє отримати високі швидкості передачі в радіоканалі без помітної міжсимвольної інтерференції. Як і в стандартах стільникового зв'язку, таких як UMTS, CDMA-2000, у WiMAX використовують найсучасніші методи надмірного кодування та повторну передачу неприйнятих пакетів. Разом з тим, на відміну від стільникових мереж, специфікації WiMAX не описують структури мережі, що ускладнює організацію роумінгу та можливості отримання послуг у мережах WiMAX інших операторів.

Стандарт 802.16d забезпечує фіксований бездротовий доступ як у зоні прямої видимості між антенами базової та абонентської станцій, так і поза нею. У цій версії використовується метод модуляції за допомогою ортогональних несучих (OFDM). У межах прямої видимості обладнання може працювати в діапазонах частот 10-66 ГГц, поза прямою видимістю потрібні частоти нижче 11 ГГц.

В специфікаціях WiMAX Forum, описуваних сертифікаційних профілях для испытаний на совместимость оборудования разных производителей, указаны частотные диапазоны 3,5 и 5,8 ГГц. Первое сертифицированное оборудование WiMAX появилось в конце 2005 г. Сейчас производители активно разрабатывают абонентские устройства в комнатном и уличном исполнении, а также PCMCIA-карты для портативных компьютеров.

Стандарт 802.16e, по суті, модернізацією попередньої версії, націлений на мобільних користувачів. Він підтримує функції хендовера та роумінгу та розрахований на застосування в діапазонах частот нижче 6 ГГц, а одна з його головних переваг – відсутність вимог прямої видимості для зв'язку.

Починаючи з 2007-2008 р., мережі WiMAX активно розвиваються у США, Японії, Європейському континенті та у Південно-Східній Азії. Між операторами мереж WiMAX і операторами мережі 3G йде досить гостра конкурентна боротьба, де ринок послуг досить насичений засобами зв'язку, проте в державах, де інфраструктура кабельної мережі та розгортання стільникових мереж 3G вимагає невиправдано більше витрат, розгортання мереж WiMAX може

					ЕлІТ 6.172.00.02.400 ПЗ	Арк.
						4
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

створити економічно вигідний високошвидкісний радіодоступ . У зв'язку з цим дуже актуальним розгортання в Туркменістані 1-ступеня мереж WiMAX в середніх населених пунктах, наприклад - в селищі Халач. У цьому потрібно визначення можливості покриття зони, розрахунку пропускної спроможності окремих сотах, про те, щоб перейти до планування самої мережі. Цим питанням присвячено цей дипломний проект

Дипломний проект складається з 5 розділів та додатка. Розглядаються характеристики та методи планування мереж стандарту WiMAX, здійснено розрахунки покриття зон та пропускної спроможності мережі. Розглянуто вимоги до техніки безпеки під час розгортання мережі WiMAX.

Додаток містить карту селища Халач, на якій відмічені місця розташування базової станції.

					ЕЛІТ 6.172.00.02.400 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

1. ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАНДАРТУ WiMAX

1.1 Особливості стандарту IEEE 802.16e

У 2004 році з'явився стандарт широкосмугового бездротового доступу IEEE 802.16-2004 [1]. Тоді здавалося, що світ ось-ось зробить крок у нову реальність, де користувачеві практично в будь-якій точці Землі будуть доступні засоби високошвидкісного інформаційного обміну, від передачі даних до телефонного зв'язку і телебачення.

Але незабаром з'ясувалося, що стандарт ще не все. Необхідно виділення частотного ресурсу, побудова інфраструктури мереж, чималі зусилля з інтеграції вже існуючих послуг, зрештою, залучення до нової технології творців контенту кінцевих користувачів. Однак головна проблема полягала в тому, що стандарт IEEE 802.16-2004 був орієнтований на фіксований доступ: розташування абонента визначалося раз і назавжди. А в 21 столітті це вже сприймається як анахронізм.

Змінити ситуацію було покликано затверджений наприкінці 2005 року документ IEEE Std 802.16e-2005 (опублікований 28 лютого 2006 року), який називають стандартом IEEE 802.16e. Таке найменування не зовсім точно, оскільки IEEE 802.16e — це набір виправлень існуючого стандарту 802.16-2004 та доповнення «Фізичний та MAC-рівні для спільної мобільної та фіксованої роботи в діапазонах, що ліцензуються» [2]. Саме ці "доповнення" (через які стандарт IEEE 802.16e називають "мобільний WiMAX") і відкривають шлях стандарту 802.16 у безмежний світ мобільних додатків. В результаті він стає серйозним конкурентом технологій стільникового зв'язку третього та наступних поколінь, як і інших перспективних технологій бездротового доступу.

Що ж пропонує новий стандарт IEEE 802.16? Поняття «мобільність» відносять до двох категорій абонентів — до так званих номадичним («кочуючим») і власне рухливим. Номадичні абоненти можуть переміщатися в межах дії мережі, але в момент сеансів зв'язку вони локалізовані (перебувають у зоні одного і того ж сегмента базової станції) — наприклад, користувачі ноутбуків, які можуть увімкнути їх вдома, в офісі, на лавці в парку тощо. п. Рухливі абоненти повинні мати доступ до мережі безпосередньо в процесі руху (той самий користувач з ноутбуком в автомобілі, що рухається). Якщо для номадичних абонентів важливою є швидка реєстрація в будь-якій точці мережі (в ідеалі – мережі будь-якого провайдера), то забезпечити справжню рухливість набагато складніше. Насамперед необхідні процедури передачі абонента від однієї базової станції (БС) до іншої (або між різними сегментами однієї БС) так, щоб сам абонент цього не відчував. Це функції так званої естафетної передачі (хендовера).

Крім того, мобільність абонентів диктує зовсім інші вимоги до управління ресурсами мережі та можливості їх оперативного перерозподілу. Посилюється і вимога до вторинного використання частотного ресурсу мережі. Саме тому в новій редакції стандарту значну увагу приділено можливості пропорційного

					ЕлІТ 6.172.00.02.400 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

зменшення частотної смуги каналу, а також технології багатоканальних антенних систем (MIMO). Для мобільних пристроїв дуже важливо знизити енергоспоживання, чому сприяють спеціальні режими та процедури нового стандарту.

Крім власне мобільності особливу увагу IEEE 802.16e приділяє проблемам якості послуг (QoS). Адже IEEE 802.16 розглядається як стандарт надання послуг операторського класу, зокрема й у мобільних абонентів. Тому питання QoS для цієї технології відіграє першорядну роль.

Потрібно уточнити, що в цій роботі під терміном WiMAX маємо на увазі стандарт IEEE 802.16e.

1.2 Частотні діапазони стандарту IEEE 802.16

У стандарті 802.16 передбачено роботу в діапазонах 2...11 ГГц і 10-66 ГГц. У діапазоні 10-66 ГГц радіозв'язок можливий лише у разі прямої видимості між фіксованими точками. Характеристики стандарту наведено у табл. 1.1.

Таблиця 1.1.

Стандарт	Прийнятий мм.гггг	Полоси частот, ГГц	Моб.	Схема передачі	Швидкості передачі	Ширина Каналу, МГц
802.16	12.2001	11 - 66	ні	Одна несущая	32 – 134,4 Мбит/с	20, 25, 28
802.16- 2004	06.2004	2 - 11	ні	Одна несуча або 256, або 2048 OFDM	1 – 75 Мбит/с	1,75; 3,5; 7; 14; 1,25; 5; 10; 15; 8,75
802.16-e	12.2005	2 – 11 (фикс.) 2 –6(моб)	є	Одна несуча або 256, або 128, 512, 1024, 2048 OFDM	1 – 75 Мбит/с	1,25; 5; 10; 20

Оскільки технологія WiMAX відноситься до бездротових технологій, передачу інформації здійснюють по радіоканалах, утворених між антенами пристроїв, що є складовими частинами мережі. При передачі випромінюваного антеною радіосигналу з допомогою впливу середовища змінюються ті чи інші параметри сигналу. В результаті прийнятий сигнал завжди відрізняється від переданого. Земна атмосфера для передачі електромагнітних хвиль є не найкращим середовищем. Радіохвилі здатні огинати перешкоди (явище дифракції), розміри яких порядку довжини хвилі та менше. На робочих частотах систем WiMAX довжина хвилі менше 15 см, тому явище дифракції дуже мало. Цікаві два види поширення сигналу: в умовах прямої видимості (LOS – Line of

					ЕЛІТ 6.172.00.02.400 ПЗ	Арк.
						6
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Sight) та в умовах відсутності прямої видимості (NLOS – Non Line of Sight). У разі міської забудови характерна відсутність прямої видимості.

У стандарті 802.16 використовують такі технології передачі (табл. 1.2):

Таблица 1.2.

Технология передачи	Диапазоны, ГГц	Дополнительные технологии	Варианты дуплекса
WirelessMAN-SC	10 – 66		временной, частотный
WirelessMAN-SCa	Ниже 11, лицензир.	AAS, ARQ, STC, мобильный	временной, частотный
WirelessMAN-OFDM	Ниже 11, лицензир.	AAS, ARQ, Mesh, STC, мобильный	временной, частотный
WirelessMAN-OFDMA	Ниже 11, лицензир.	AAS, ARQ, HARQ, STC, мобильный	временной, частотный
WirelessMAN	Ниже 11, нелицензир.	AAS, ARQ, Mesh, STC	временной

У табл. 1.2 введені такі позначення:

AAS - adaptive antenna system; адаптивна антена система використання більш ніж однієї антени на станціях для збільшення ємності мережі та покращення покриття,

ARQ – автоматичний repeat request; технологія та використовуваний у ній інформаційний пакет, що забезпечують повторну передачу неприйнятих пакетів,

HARQ – hybrid автоматичний repeat request; гібридна технологія повторної передачі неприйнятих пакетів,

STC – space/time coding; просторово-часове кодування

1.3 Фізичний рівень

В основі стандарту мобільного WiMAX IEEE 802.16e лежить технологія ОЧРД (OFDMA – OFDM Access), що надає можливість виділяти окремим базовим та абонентським станціям не весь, а частину каналного ресурсу у відповідній смузі робочих частот. Повний каналний ресурс (безліч піднесучих частот) може бути розділений між декількома сусідніми базовими станціями, що дозволяє організовувати м'який хендовер при переміщенні абонентів від однієї базової станції до іншої. Тому стандарт 802.16e часто називають мобільним WiMAX.

На рис. 1.1 показані різні процеси та функціональні етапи обробки інформаційних сигналів на фізичному рівні.

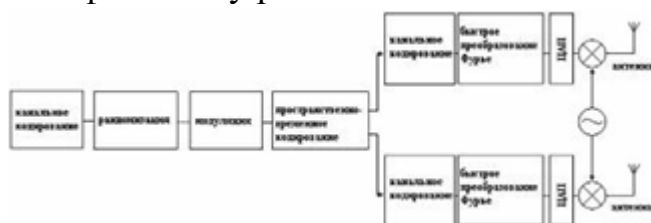


Рис. 1.1. Функціональні етапи обробки сигналів фізично.

Дані інформацію фізично передають як безперервної послідовності кадрів. Кожен кадр має фіксовану довжину (2 (2,5) ... 20 мс), тому його інформаційна ємність залежить від символної швидкості та методу модуляції. Кадр складається з преамбули, керуючої секції та послідовності пакетів з даними. Мережі IEEE 802.16 дуплексні. Можливе як частотне FDD, так і тимчасове TDD

поділ висхідного та низхідного каналів. При тимчасовому дуплекс каналів кадр ділять на низхідний і висхідний субкадри (їх співвідношення може гнучко змінювати в процесі роботи в залежності від потреб смуги пропускання для висхідних і низхідних каналів), розділені спеціальним захисним інтервалом.

Структура кадру мобільного WiMAX наведено на рис. 1.2.

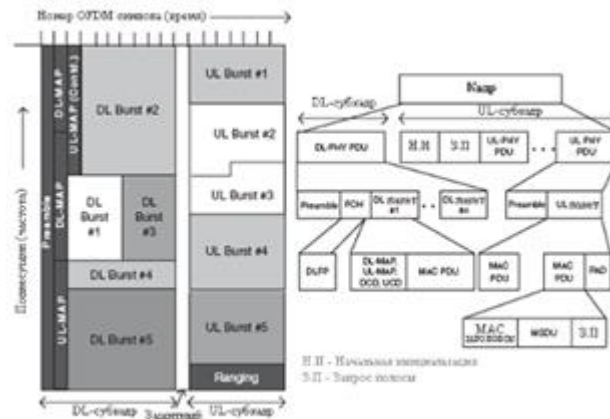


Рис. 1.2. Розделение канального ресурса при временном дуплексе.

У стандарті 802.16 число піднесучих змінюється зі зміною робочої смуги. Це дозволяє зберегти, постійним рознесення частот між піднесучими та активну довжину символу. Відповідно до специфікацій в 802.16e визначені смуги 1,25; 5; 10 та 20 МГц. (Табл. 1.3). Тому технологію ОЧРД, що використовується в 802.16e, називають SOFDMA (Scalable OFDMA) - ОЧРД (МОЧРД), що масштабується.

Таблица 1.3.

Параметр	Характеристики ОЧРД			
Полоса частотного каналу, МГц	1,25	5	10	20
Число поднесучих	128	512	1024	2048
Відношення Tg/Tb	1/32, 1/16, 1/8, 1/4			
Розширення полоси	28/25			
Разнос піднесучих, кГц	10,94	10,94	10,94	10,94
Активна довжина ствола, мкс	91,4	91,4	91,4	91,4
Захисний проміжок, мкс, при Tg/Tb = 1/8	11,4	11,4	11,4	11,4
Довжина OFDM символу, мкс	102,9	102,9	102,9	102,9

Часткове використання каналного ресурсу може бути організовано по-різному. У варіанті FUSC (Full Usage of Subcarriers) створення окремих підканалов використовують весь каналний ресурс. Один підканал складається з 48 піднесучих, що використовуються для передачі даних, додаткової кількості пілотних піднесучих та захисних піднесучих, розташованих по краях частотного каналу. Варіанти розподілу даних для передачі даних і пілотних сигналів наведені в табл. 1.4 та проілюстровані рис.1.3.

Розподіл даних для передачі даних і пілотних повідомлень показано на рис. 1.4. Піднесучі, що формують один канал, можуть, але необов'язково бути суміжними.

Таблица 1.4.

Число поднесучих	128	512	1024	2048
Число поднесучих в підканалі	48	48	48	48
Число підканалів	2	8	16	32
Число поднесучих для передачі даних, Nдан	96	384	768	1536
Постійні пілотные поднесучі	1	6	11	24

Перемінні пілотні піднесучі	9	36	71	142
Захисні піднесучі (зліва/зправа)	11/10	43/42	87/86	173/172

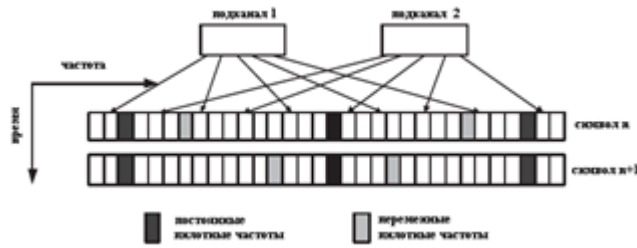


Рис. 1.3. Схема розміщення піднесучих в режимі FUSC.

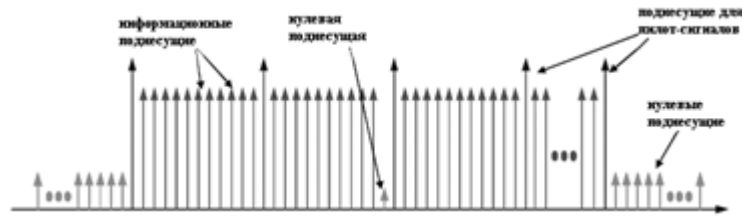


Рис. 1.4. Розподіл піднесущих частот

При PUSC (Partial Usage of Subcarriers) мінімальною каналною одиницею у напрямку вниз є кластер. Кожен кластер утворюють 14 розташованих поруч піднесучих. Формально один кластер завжди складено з 2-х послідовних ОЧР знаків, тобто. з 28 піднесучих, де на 24 передають дані, а на 4 – пілотні сигнали (рис.1.5). Як і при FUSC, ліворуч і праворуч по краях частотного знаходяться захисні піднесучі. Розподіл піднесущих при PUSC пояснює табл. 1.5. Один підканал складається із двох кластерів (рис. 1.5).

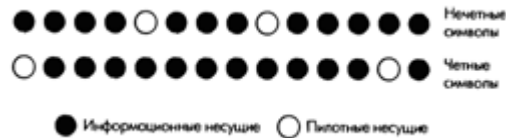


Рис. 1.5. Структура кластера при PUSC.

Таблиця 1.5.

Полоса частотного каналу, МГц	1,25	5	10	20
Число піднесущих	128	512	1024	2048
Число піднесущих в кластері	14	14	14	14
Число кластерів	6	30	60	120
Число підканалів	3	15	30	60
Піднесущие, використані для передачі даних	72	360	720	1440
Пілотні піднесучі	12	60	120	240
Захисні піднесучі (зліва/зправа)	22/21	46/45	92/91	184/183

У напрямку догори при PUSC мінімальною одиницею каналного ресурсу є елемент – тайл (tile). Кожен тайл складений з 4 символів, що піднесуть тривалістю 3 ОЧР (рис. 1.6). На 8 піднесучих всередині елемента передають дані, 4 піднесучі використовують для передачі пілотних сигналів.

Піднесені



Рис. 1.6. Організація тайлів в напрямку вгору.

Далі проводиться розбивка на підканали; при передачі нагору 6 тайлів утворюють один підканал. Профілі пакетів (burst) залежать від виду модуляції та схеми надлишкового кодування.

1.4 MAC-рівень

Фізичний рівень стандарту IEEE 802.16 забезпечує безпосередню доставку потоків даних між БС та АС. Усі завдання, пов'язані з формуванням структур цих даних, і навіть управлінням роботою системи вирішуються на MAC (Medium Access Control) - рівні.

Устаткування стандарту IEEE 802.16 формує транспортне середовище для різноманітних послуг (сервісів).

Перше завдання, яке вирішується в IEEE 802.16, – це механізм підтримки різноманітних сервісів верхнього рівня. Розробники стандарту прагнули створити єдиний всім додатків протокол MAC-рівня, незалежно від особливостей фізичного каналу (рис. 1.7). Це значно спрощує зв'язок терміналів кінцевих користувачів із міською мережею передачі.

Фізично середовища передачі різних фрагментах WMAN можуть бути різні, але структура даних єдина. В одному каналі можуть працювати (не одноразово) сотні різних терміналів великої кількості кінцевих користувачів.

Цим користувачам необхідні різні послуги (додатки): передача голосу і даних з тимчасовим поділом, з'єднання по протоколу IP, пакетна передача мови через IP (VoIP) і т.п. Якість послуг (QoS) кожного окремого сервісу не повинна змінюватись під час роботи через мережі IEEE 802.16. Алгоритми та механізми доступу MAC-рівня мають вирішувати всі ці завдання.

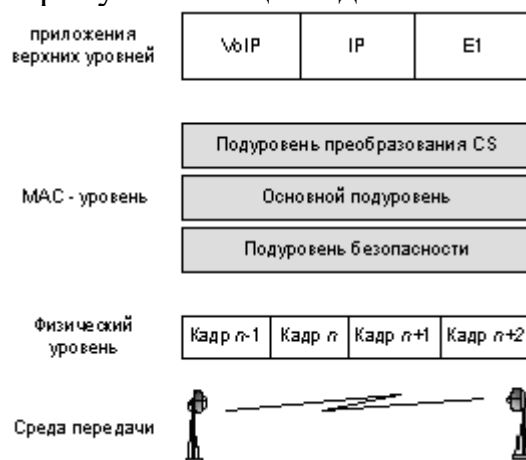


Рис. 1.7. Структура MAC-рівня стандарту IEEE 802.16.

Структурно MAC-рівень IEEE 802.16 поділений на три підрівні (рис. 1.7):
- рівень перетворення сервісу CS (Convergence Sublayer);

- основний рівень CPS (Common Part Sublayer);
- рівень захисту PS (Privacy Sublayer)

На підрівні захисту реалізують функції, що забезпечують криптозахист даних та механізми автентифікації/запобігання несанкціонованому доступу. Для цього передбачені набори алгоритмів криптозахисту та протокол керування ключем шифрування. Ключ кожної АС базова станція може передавати у процесі авторизації, використовуючи схему роботи клієнт (АС) – сервер (БС).

На рівні перетворення сервісу відбувається трансформація потоків даних протоколів верхніх рівнів для передачі через мережі IEEE 802.16. Для кожного типу програм верхніх рівнів стандарт передбачає свій механізм перетворення. Специфікації стандарту IEEE 802.16 містять механізми роботи в режимі АТМ та пакетної передачі. Під пакетною передачею мають на увазі досить широкий набір різних пакетів типу IP, PPP та IEEE Std 802.3 (Ethernet).

Мета роботи на CS-підрівні – оптимізація переданих потоків даних кожного додатка верхнього рівня з урахуванням їхньої специфіки. Розрізняють 4 типи трафіку за вимогами до затримок:

UGS – Unsolicited Grant Service – передача в реальному часі сигналів та потоків телефонії (E1) та VoIP. Допустима затримка менше 5 - 10 мс в одному напрямку при BER = 10-6 ... 10-4.

rtPS – Real Time Polling Service – потоки реального часу із пакетами змінної довжини (MPEG відео).

nrtPS – Non-Real-Time Polling Service – підтримка потоків змінної довжини під час передачі файлів у ширококутовому режимі.

BE – Best Effort – решта трафіку.

Механізм забезпечення QoS полягає в приєднанні на рівні конвергенції в MAC заголовок відомостей про тип потоку, що передається. Для цього використовують або 32-бітовий ідентифікатор потоку послуг SFID (Service Flow Identifier) або CID (Connection Identifier).

Для оптимізації потоків, що транслюються, передбачений також спеціальний механізм видалення повторюваних фрагментів заголовків PHS (Payload Header Suppression) АТМ осередків і пакетів, які відновлюють на приймальному кінці.

На рис. 1.8 вказані операції, які виконуються на окремих підрівнях рівня MAC.

Подуровень конвергенции - Упаковка PDU для нижестоящего уровня - Распаковка PDU для вышестоящего уровня
Общая часть MAC - Ввод и подавление заголовков - Режим запроса повторной передачи - Фрагментация - Установление соединения/разъединения - Управление качеством (QoS) - Многопользовательские услуги - Соединение/разъединение с сетью - Управление предоставляемой полосой частот
Подуровень безопасности - Поддержка режима шифрации (AES-CCM) - Обмен данными о переходе к шифрации

- Обмен ключом авторизации
- Взаимная аутентификация

Рис. 1.8. Основні операції на рівні MAC.

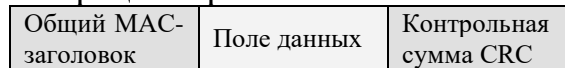


Рис. 1.9. Пакет MAC – рівня.

Сформовані пакети даних MAC PDU (MAC Protocol Data Unit, блоки даних MAC-рівня) далі передають на фізичний рівень і транслюють каналом зв'язку. Пакет MAC PDU (рис. 1.9) включає заголовок та поле даних (його може і не бути), за яким може слідувати контрольна сума CRC (cyclic redundancy check).

Визначено два формати заголовка MAC. Перший - основний заголовок MAC, з якого починається кожен протокольний блок даних рівня MAC PDU і містить повідомлення управління MAC або дані CS. Другий – заголовок запиту додаткової пропускної спроможності. Загальний заголовок використовують у пакетах, у яких є поле даних. Формат основного заголовка MAC наведено на рис. 1.10.

Заголовок запиту смуги використовують, коли АС звертається до БС із запитом про виділення або збільшення смуги пропускання у висхідному каналі. При цьому в заголовку вказують CID та розмір необхідної смуги. Поле даних після заголовка запиту смуги відсутнє

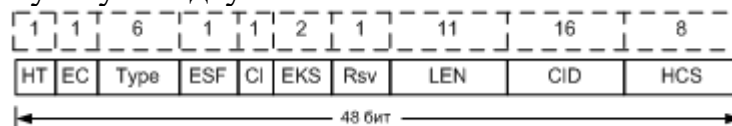


Рис. 1.10. Формат основного заголовка MAC.

Поля основного заголовка MAC визначені у табл. 1.6.

Поля основного заголовка MAC

Таблица 1.6.

Поле	Довжина, бит	Опис
HT	1	Показник типу заголовка. HT=0 – заголовок общего типу HT=1 – заголовок запроса пропускной способности
EC	1	Признак шифрования поля данных. EC=0 – зміст поля даних не шифрується EC=1 – зміст поля даних шифрується
Type	6	Тип поля данных.
ESF	1	Показник наявності расширенного подзаголовка.
CI	1	Признак наявності контрольной суммы CRC. CI=0 – контрольна сума відсутня CI=1 – контрольная сумма CRC складає в пакеті
EKS	2	Индекс ключа шифрования
Rsv	1	Rsv=0 – не використовується
LEN	11	Довжина в байтах пакета MAC PDU, включая MAC заголовок і контрольну сумму CRC, якщо вона присутня.
CID	16	Ідентифікатор з'єднання.
HCS	8	Контрольная сумма заголовка.

Поле даних може містити підзаголовки MAC, керуючі повідомлення і дані додатків верхніх рівнів, перетворені на CS-підрівні. У стандарті описано п'ять типів MAC-підзаголовків:

- упаковки – використовують, якщо поле даних одного PDU містить

кілька пакетів верхніх рівнів;

фрагментації – використовують, якщо, навпаки, один пакет верхнього рівня розбитий на кілька PDU;

управління наданням каналу – використовується абонентською станцією, щоб повідомити базову станцію про необхідність в управлінні пропускнуою спроможністю;

розширений підзаголовок, за допомогою якого всередині одного пакету MAC PDU може розташовуватися кілька підзаголовків;

Mesh – використовують у Mesh-мережах;

Підзаголовки розташовуються відразу за основним заголовком MAC.

Керуючі повідомлення – це основний механізм керування системою IEEE 802.16. Опис профілів пакетів, керування доступом, механізми криптозахисту, динамічна зміна роботи системи тощо. – всі функції управління, запиту та підтвердження реалізують через керуючі повідомлення. Запити смуги можуть бути епізодичними для БС, так і планованими. У першому випадку запити реалізують за допомогою пакетів, що складаються із заголовка запиту, що передаються на конкурентній основі абонентськими станціями у спеціально виділеному для них інтервалі висхідного каналу. Процедура планових запитів лінії у висхідному каналі називається опитуванням (polling). БС опитує АС про їх потреби у збільшенні смуги пропускання. Реально це означає, що базова станція надає конкретної АС інтервал передачі запиту про надання/зміні смуги, тобто. при запиті лінії не використовують алгоритм змагань.

Опитування може бути здійснене в «реальному часі»: інтервали для запиту надають АС з тим самим періодом, з яким у неї може виникнути потреба зміни умов доступу (наприклад, у кожному кадрі). Інший варіант опитування – поза «реальним часом». У цьому випадку БС надає АС інтервал для запиту також періодично, але цей період істотно більший.

Для програм, у яких періодичність та розмір пакетів фіксовані (наприклад, телефонії по Е1), передбачено механізм доступу до каналу без вимоги UGS (Unsolicited Grant Service). У цьому випадку БС із заданим періодом надає АС передачі даних інтервали фіксованого розміру, відповідні швидкості потоку даних. Якщо в ході роботи АС потрібно змінити умови доступу, вона робить це за допомогою спеціального підзаголовка MAC управління наданням каналу. У цьому підзаголовку є прапор «Опитуй мене», встановивши який, АС запитує у БС інтервал для нової смуги. Істотно, що у згаданому підзаголовку є спеціальний біт індикації переповнення вихідного буфера передавача АС, що призводить до втрати даних (slip). БС може відреагувати на появу цього сигналу, наприклад, збільшивши смугу даної АС.

Технології, що використовуються в стандарті 802.16, вимагають відповідного управління радіоканалом, особливо управління характеристиками фізичного рівня передачі в залежності від індивідуальних особливостей каналу конкретного абонента та його потреб у пропускну здатності. Рівень управління радіоканалом RLC (Radio Link Control) забезпечує ці можливості, і традиційні функції управління потужністю випромінювання.

									Арк.
									17
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЕЛІТ 6.172.00.02.400 ПЗ				

1.5 Архітектура побудови мережі WiMAX

Специфікації стандарту WiMAX визначають передачу трафіку та сигнальний обмін лише на радіоінтерфейсі. Щодо з'єднання БС з Інтернетом, мережами бездротового доступу та мережами різних операторів, рішення з архітектури мережі приймає оператор спільно з виробником. З метою уніфікації та певної оптимізації WiMAX Forum запропоновано базову архітектуру мережі (рис. 1.12).

На рис. 1.12 показано NRM (network reference model – базова модель мережі) WiMAX, що є логічним уявленням мережевої архітектури. NRM поділяє систему на три логічні частини:

1. мобільні станції, які використовуються абонентами для отримання доступу до мережі;
2. ASN (access services network) – мережа доступу до послуг, власністю оператора доступу до мережі (NAP – Network Access Provider); ASN складається з однієї або кількох базових станцій, якими управляє один або кілька шлюзів ASN (ASN-GW).
3. CSN (connectivity services network) – підмережа оператора, що забезпечує вихід на IP та інші мережі для реалізації абонентських послуг. Ця підмережа забезпечує необхідні комутаційні функції та функції безпеки. Абонента може обслуговувати оператор домашньої мережі NSP (Network Services Provider). Абонент може також перебувати у роумінгу. І тут його обслуговує оператор візитної мережі; при цьому відбувається обмін сигнальною інформацією CSN візитного та домашнього оператора.

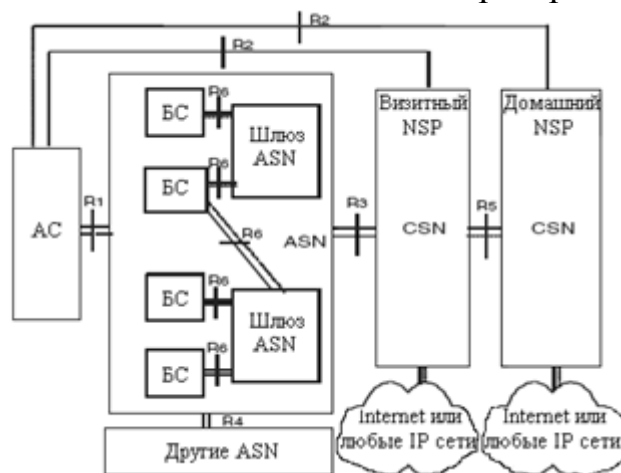


Рис. 1.11. Базовая модель сети.

ASN виконує такі функції:

- з'єднання на рівні L2 з AC;
- пошук та вибір мережі на основі переваг абонента про CSN/NSP;
- забезпечення безпеки: передача даних про пристрої, користувачів та послуги, серверу безпеки, тимчасове зберігання профілів користувачів;
- організація наскрізних IP-з'єднань між AC та CSN;
- управління радіоресурсом (RRM) відповідно до класу трафіку та необхідного QoS;
- забезпечення мобільності, тобто. виконання процедур хендовера, локалізації та пейджингу.

WiMAX Forum визначив різні способи організації ASN, що отримали

назву профілів. Існують профілі А, В, С. Шлюз ASN є логічним пристроєм, який може бути організовано по-різному. Профіль В ASN представляє просту організацію, яка включає БС та шлюз ASN. Профілі А і С поділяють функції між БС та шлюзом ASN по-різному, а саме, в управлінні мобільністю та радіоресурсами.

Функціонально БС забезпечує як один сектор із виділеним частотним діапазоном, підтримуючи інтерфейс IEEE 802.16e з АС. Додаткові функції, що виконуються БС в обох профілях, включають розподіл для висхідного та низхідного каналів, класифікацію трафіку та SFM (управління сервісним потоком). При цьому повинні бути виконані вимоги QoS для різних класів трафіку, що передаються по радіоінтерфейсу. БС також управляє статусом АС (активний, непрацюючий), підтримує тунельний протокол у напрямку шлюзу ASN, забезпечує з допомогою сервера DHCP динамічними адресами. БС також транслює сигнальний обмін протоколами MM, забезпечуючи всі рівні захисту, передбачені стандартом. БС може бути підключена одночасно до двох шлюзів для балансу навантаження.

Шлюз ASN є основним елементом мережі. Під час сеансів зв'язку шлюз організує хендовер абонентам та пейджинг АС, керує доступом до мережі.

Для кожного підключеного абонента в шлюзі відкрито базу даних, що містить профілі абонента та ключі шифрування. На шлюз покладено завдання авторизації потоку послуг згідно з профілем абонентів та QoS. У напрямку БС шлюз підтримує тунельне з'єднання; у напрямку ядра мережі (CSN) шлюз організує з'єднання за стандартним IP протоколом.

У табл. 1.8 показано поділ функцій ASN між БС і шлюз ASN відповідно до профілями ASN, встановленими WiMAX Forum. Профіль В характеризується інтеграцією щодо одного елементу. Профіль доцільно використовувати у невеликих за обсягом мережах. Профілі А та С передбачають організацію шлюзу у вигляді окремого функціонального вузла. Відмінність між профілями А та С незначні. У профілі А за хендовер відповідає шлюз ASN; у профілі С це БС, а шлюз ASN виконує функцію перемикачів при хендовері. У профілі управління радіоресурсами здійснює шлюз ASN, що дозволяє динамічно перерозподіляти радіоресурс між різними БС. У профілі С радіоресурс фіксований кожної БС та її призначення для конкретних абонентів виробляє сама БС.

Таблиця 1.8.

Процедура	Функція	Ім'я об'єкту ASN		
		Профіль А	Профіль В	Профіль С
Безопасність	Аутентифікатор	Шлюз ASN	ASN	Шлюз ASN
	Ретранслятор аутентифікації	БС	ASN	БС
	Распределитель ключів	Шлюз ASN	ASN	Шлюз ASN
	Отримувач ключів	БС	ASN	БС
Мобильність	Маршрутизація потоку даних	Шлюз ASN и БС	ASN	Шлюз ASN и БС
	Кермування хендовером	Шлюз ASN	ASN	БС

	Сервер контекста (буфер)	Шлюз ASN и БС	ASN	Шлюз ASN и БС
	ПО мобільного інтернету	Шлюз ASN	ASN	Шлюз ASN
Управління радиоресурсами	Контроллер радиоресурсов	Шлюз ASN	ASN	БС
	ПО контроллера	БС	ASN	БС
Пейджинг	ПО пейджинга	БС	ASN	БС
	Управління пейджингом	Шлюз ASN	ASN	Шлюз ASN
QoS	Авторизація сервісного потоку	Шлюз ASN	ASN	Шлюз ASN
	Управління сервісним потоком	БС	ASN	БС

CSN забезпечує такі функції:

- виділення адрес IP АС для сеансів зв'язків;
- безпека в мережі, для чого в CSN організують сервер AAA (authentication, authorization and accounting – автентифікації, авторизації та обліку);
- організацію передачі трафіку з необхідним QoS відповідно до рівня обслуговування абонентів. При знаходженні абонента у роумінгу CSN домашнього оператора підтримує профіль послуг абонента у оператора;
- білінг наданих абоненту послуг;
- тунелювання потоків між CSN різних операторів з метою забезпечення роумінгу;
- управління мобільністю (хендовер між БС, керованими різними ASN);
- вихід на інші мережі, насамперед в Інтернет, та забезпечення таких сучасних послуг як локалізація абонентів, VoIP та передача мультимедійної інформації

2. МЕТОДИ ПЛАНУВАННЯ МЕРЕЖ WiMAX

2.1 Принципи побудови мережі WiMAX у селищі міського типу

Халач - селище міського типу, центр Халацького району Лебапської області Туркменістану, розташоване на лівобережжі річки Амудар'ї (6 км від річки).

Можлива кількість абонентів для підключення до мережі WiMAX

Халач є другим за чисельністю населення селищем міського типу Лебапської області після Сердарабаду, в якому проживає 110 906 осіб. У центральній частині селища, де створюватиметься мережа WiMAX, чисельність населення становить близько 20 000 осіб. У кожній сім'ї проживає близько 5 осіб, це приблизно 4 000 сімей. Припустимо, у сім'ї до мережі WiMAX підключається 1 особа. Тоді загальна кількість абонентів, що

										Арк.
										22
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЕЛІТ 6.172.00.02.400 ПЗ					

підключаються до мережі, складе приблизно 4000. Якщо враховувати, що не всі абоненти, відразу підключаться до мережі (а частина взагалі не підключатиметься), то середня кількість складе близько 2800 абонентів (70% із 4000 абонентів).

Промисловість

У центрі селища розташовані будівлі адміністративного призначення. Також у селищі функціонують вовняна, прядильно-ткацька, швейна, килимова, кондитерська та меблева фабрики, бавовноочисний, шкіряний, пивоварний та молочний заводи.

Наявні телекомунікації

У центрі селища у спеціальних будинках розташовані АТС та телерадіоцентр. Базову станцію проектованої мережі WiMAX передбачається розмістити у приміщенні АТС. Антена базової станції може бути встановлена на наявну щоглу, що належить АТС.

У мережах стандарту мобільного WiMAX, зона покриття однієї базової станції, 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 межі між сотами рівних розмірів. На практиці область покриття базової станції не має правильної кругової форми, оскільки вона залежить від структури місцевості та перешкод – будівель, дерев тощо. Поділ області покриття системи на стільники рівного розміру неможливий і з технічних причин. При розміщенні базових станцій необхідно враховувати безліч факторів, таких як доступ до відповідних ділянок місцевості та можливість використання природних елементів місцевості – башти, високі труби та будівлі. Такі елементи нечасто розташовуються в центрах спланованих сот. Тому планування сот є складне завдання, в ході вирішення якої в сучасних системах проводять польові вимірювання за допомогою спеціалізованого обладнання. З певною точністю стільники можна спроектувати на основі обробки даних цифрової карти місцевості складним спеціалізованим програмним забезпеченням, яке імітує поширення електромагнітних хвиль на цифровій моделі місцевості. Один з підходів до моделювання поширення електромагнітних хвиль полягає в тому, що хвилі розглядаються як світлові промені, які відбиваються і розсіюються на різних перешкодах місцевості з певними коефіцієнтами відображення та розсіювання. Цей підхід, який називають методом трасування променів (англ. ray tracing method), вимагає точних даних про область покриття та великих обчислювальних ресурсів. Пакети професійного програмного забезпечення, що застосовуються для моделювання розповсюдження хвиль та проектування сот, використовують більш складні моделі розповсюдження.

За обмеженою кількістю результатів вимірювань можна калібрувати моделі поширення сигналів, що використовуються в програмному забезпеченні, що дозволяє отримувати більш точні результати [5].

Ключовий принцип роботи стільникової системи полягає в багаторазовому використанні одних і тих же частотних каналів у різних

					ЕЛІТ 6.172.00.02.400 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

стілників, розташованих у зоні покриття системи відповідним чином. Група з N сот, використовує всі доступні частоти несучих, крім їх повторне використання, називається стільниковим кластером (англ. Cell cluster).

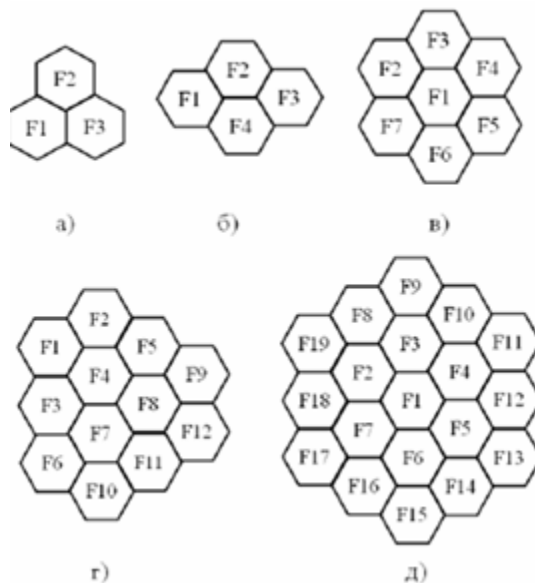


Рис. 2.1. Побудова багатоелементних стільникових кластерів: а) триелементного, б) чотириелементного, в) семіелементного, г) дванадцятиелементного, д) дев'ятинадцятиелементного

Для аналізу розміру та особливостей кластера розглянемо геометричні властивості набору шестикутників, зображених на рис. 2.1

Нехай радіус кола, описаного навколо кожного шестикутника, дорівнює r . Очевидно, що r - це також відстань від центру шестикутника до його вершини. Якщо згадати властивості рівностороннього трикутника зі стороною r , то легко довести, що відстань між двома сусідніми шестикутниками дорівнює r . Прийmemo його за одиницю довжини. У системі координат з кутом між осями координат, рівним 60° , відстань від центру будь-якого шестикутника до початку координат становить:

$$(2.1) \quad R = \sqrt{3}r \sqrt{i^2 + ij + j^2}$$

де i і j - координати центру шестикутника, що розглядається, виражені у прийнятих одиницях довжини, рівних r . У табл. 2.1 представлені кластери, для кожної, що відповідає своє значення i і j .

Таблиця 2.1.

Кластери, (C)	i	j
1	0	0
3	1	1
4	2	0
7	2	1
9	3	0

12	2	2
13	3	1
16	4	0
19	3	2
21	4	1
27	3	3

Вираз (2.1) прямо впливає з узагальненої теореми Піфагора, яка стверджує, що квадрат довжини сторони R , що лежить навпроти кута, утвореного сторонами з довжинами u та v , дорівнює:

$$R^2 = u^2 + v^2 - 2uv \cos \alpha \quad (2.2)$$

У випадку, зображеному на рис. 2.2, $u=3r$, $v=2\sqrt{3}r$ та $\alpha=120^\circ$.

Таким чином, $i = 3$ та $j = 2$.

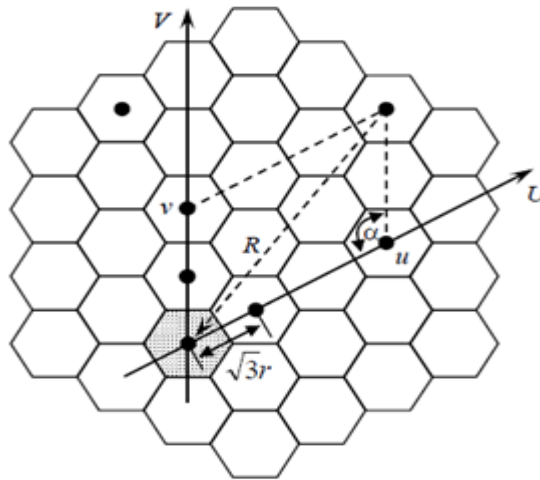


Рис. 2.2. Розделение зоны радиопокрытия на соты.

Вважатимемо заштриховану соту, розташовану на початку зображеної рис. 2.2 системи координат, опорної. Побудуємо навколо неї стільниковий кластер. Інші кластери повинні бути розташовані навколо нього таким чином, щоб області, що покриваються ними, не перекривалися і не мали розривів.

Виникає наступне питання: скільки сотів у кластері забезпечує найбільш компактне покриття для стандарту WiMAX? Відповідь це питання впливає з наступних міркувань. Нехай центральні стільники сусідніх кластерів розташовані на відстані R від центру опорної стільники.

У їхньому розпорядженні знаходиться такий самий набір частотних каналів, що й у опорної стільники. Кожен кластер може бути представлений одним великим шестикутником, площа якого дорівнює сумі площ усіх сотників, що належать кластеру. Це зображено на рис. 2.3.

Площа однієї гексагональної стільники радіусу r дорівнює:

(2.3)

а площа великого шестикутника, що дорівнює сумі N площ шестикутників радіусу r , центри яких розташовані на відстані R один від одного, становить:

$$S_{R/\sqrt{3}} = \frac{3}{2}\sqrt{3}\left(\frac{R}{\sqrt{3}}\right)^2 = \frac{3R^2}{2\sqrt{3}} \quad (2.4)$$

Необхідно, щоб виконувалася наступна рівність

$$S_{R/\sqrt{3}} = NS_r \quad (2.5)$$

При підстановці (2.1) і (2.4) в (2.5) отримуємо вираз, який визначає кількість N сот у кластері:

$$N = i^2 + j^2 + ij \quad (2.6)$$

Очевидно, що кількість стільників у кластері не обмежена. Кластер, що створює регулярну мережеву структуру, може складатися з однієї, трьох, чотирьох, семи, дванадцяти і т. д. сот.

На рис. 2.3 зображено кластер з $N = 3$ сотами, для яких $i = 1$ і $j = 1$. На підставі (2.1) та (2.6) можна отримати важливе співвідношення, яке буде використане в подальших міркуваннях:

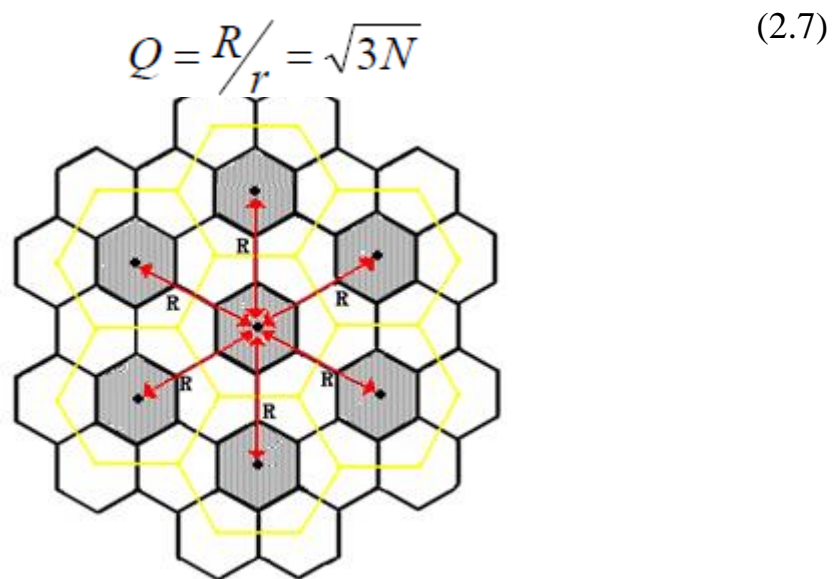


Рис. 2.3. Аппроксимация кластеров большими треугольниками.

Якщо розробки системи не враховувалося кількість сотів у кластері, їх топографічне розташування і розподіл каналів, то такій системі спостерігатиметься значний вплив друг на друга каналів у різних сотах, використовують одні й самі несучі частоти.

Ці явища називаються соканальними завадами. Вони залежить від параметра Q , визначеного у виразі (2.7).

Параметр Q називається коефіцієнтом ослаблення соканальних перешкод (англ. co-snapnel interference reduction factor).

При збільшенні Q соканальні перешкоди слабшають, оскільки збільшується відстань, що розділяє стільники з однаковими каналами, або зменшується їх розмір.

Відстань R залежить від відношення потужності сигналу Ps до потужності перешкоди P1 (енергетичний параметр зв'язності v). У свою чергу, це відношення залежить від кількості сот Ko відповідно до формули:

$$(2.8) \quad v^2 = \frac{P_S}{P_I} = \frac{P_S}{\sum_{k=1}^{K_0} P_{I_k}}$$

де Pk - середня потужність перешкод, що генеруються k-ою сотою.

На рис. 2.4 зображена типова конфігурація взаємодіючих сот. У разі гексагональних стільників шість розташованих у першому ярусі стільників взаємодіють з центральною сотою, яка вважається опорною. Отже, Ko = 6.

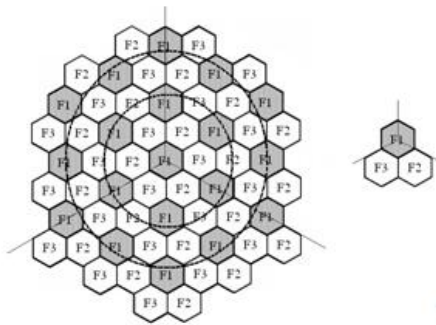
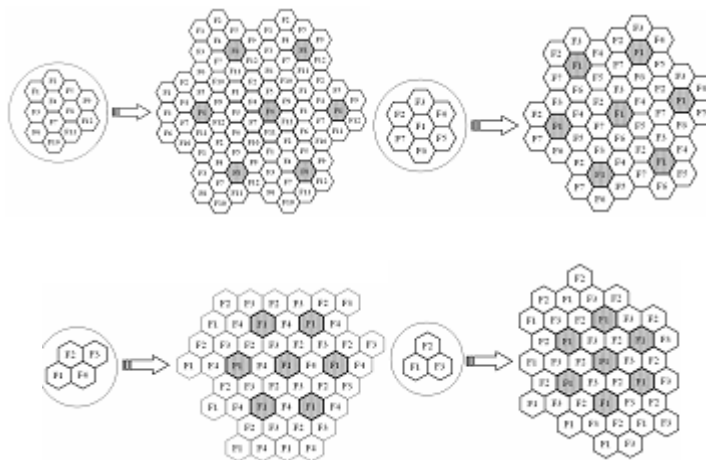


Рис. 2.4. Распределение в пространстве интерферирующих сот.

Для регулярної структури, побудованої на основі типових кластерів з N=3, 7, 9, 12, 19 кількість сот Ko, що впливають один на одного, завжди буде дорівнює 6 (рис. 2.5.)



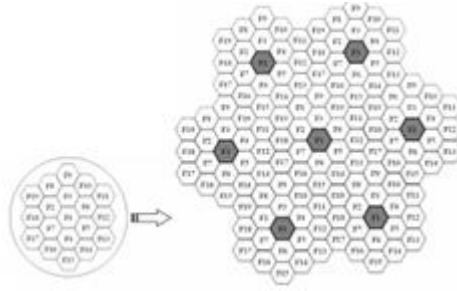


Рис. 2.5. Распределение кластеров с регулярной структурой.

Передбачається, що вплив сот другого ярусу на центральну соту можна знехтувати через велику відстань між ними. Соканалні перешкоди спотворюють не тільки сигнал, що приходить на базову станцію центральної стільниці, а й сигнали, що приходять на рухомі станції, які зараз знаходяться в цій соті. Припустимо, базові станції випромінюють сигнали з однаковою потужністю. Тоді відношення сигналу до соканалних перешкод на межі центральної стільниці одно:

$$v^2 = \frac{P_S}{P_I} = \frac{r^{-\gamma}}{\sum_{k=1}^{K_0} R_k^{-\gamma}} \quad (2.9)$$

При поширенні у вільному просторі $\gamma=2$, у той час як при двопробеновому поширенні $\gamma=4$. Насправді, значення γ лежить в інтервалі від 2 до 5,5 залежно від умов поширення.

Звернемо увагу на те, що в припущенні про рівну потужність, що випромінюється базовими станціями, відношення «сигнал/соканална перешкода» залежить тільки від геометричних властивостей розподілу сот, відстаней між базовими станціями, що використовують одні й ті самі частотні канали, і радіуса зони радіопокриття базової станції. .

Заради простоти запропонуємо, що в зображеній на рис. 2.3 системі всі відстані R_k рівні R . Тоді з (2.9) випливає, що

$$v^2 = \frac{P_S}{P_I} = \frac{r^{-\gamma}}{6R^{-\gamma}} = \frac{Q^\gamma}{6} \quad (2.10)$$

$$Q = \left(6 \frac{P_S}{P_I} \right)^{1/\gamma} = (6v^2)^{1/\gamma} \quad (2.11)$$

Формула (2.11) визначає взаємозв'язок відношення відстані між стільниками, що використовують одні й ті самі частоти та радіус стільниці, з відношенням «сигнал/соканална перешкода» та типом навколишнього середовища.

У традиційних стільникових системах відношення PS/PI вибирається таким, щоб забезпечити якість передачі мови, прийнятне принаймні для 75% користувачів на 90% області покриття системи [5].

Прийнявши $\gamma=4$, формули (2.11) отримаємо розрахункове $Q = 3$. Відповідно до табл. 2.2 це значення $Q = 3$. Оскільки значення Q залежить від кількості N сот у кластері за формулою (2.7), то при підстановці в цю формулу значення $Q = 3$ отримаємо $N = 3$.

Коефіцієнт зменшення соканальних перешкод Q залежно від кількості елементів кластері N , представлений в табл. 2.2.

Таблиця 2.2.

Кількість сот в кластері	3	4	7	12	19
Коефіцієнт зменшення соканальних перешкод	3.00	3.46	4.58	6.00	7,55

Як очевидно з табл. 2.2, у розглянутій 3-х стільникової структурі, відношення сигнал/перешкода, яке дорівнює 3.00, як правило, недостатньо для чинних стандартів.

Розглянемо найгірший випадок, що ілюструється рис. 2.6 та 2.7. Якщо звернути увагу на те, що відстані між рухомою станцією, розташованою в точці А на межі стільника, і всіма впливовими базовими станціями приблизно рівні $(R-r)$, $(R-r)$, $(R-r/2)$, R , $(R+r/2)$, $(R+r)$, отримаємо:

$$\frac{P_s}{P_i} = \frac{r^{-\gamma}}{2(R-r)^{-\gamma} + \left(R - \frac{r}{2}\right)^{-\gamma} + R^{-\gamma} + \left(R + \frac{r}{2}\right)^{-\gamma} + (R+r)^{-\gamma}} = \quad (2.12)$$

$$= \frac{1}{\frac{2(Q+1)^\gamma + (Q-1)^\gamma}{(Q^2-1)^\gamma} + \frac{\left(Q + \frac{1}{2}\right)^\gamma + \left(Q - \frac{1}{2}\right)^\gamma}{\left(Q^2 - \frac{1}{4}\right)^\gamma} + \frac{1}{Q^\gamma}}$$

При $Q=3$ та $\gamma=4$ значення P_s/P_i становить 12,6. У логарифмічному масштабі ця величина приблизно дорівнює 11 дБ. Якщо взяти точні відстані від точки А до центрів інтерферуючих сот, то отримаємо трохи краще значення P_s/P_i , проте воно все ж таки буде менше потрібних 18 дБ. На практиці, внаслідок неідеального розташування базових станцій, багатопроменевого поширення та спотворень, зумовлених нерівностями місцевості, це ставлення буде ще гіршим. Тому розрахованого раніше значення $Q = 3$ буде замало.

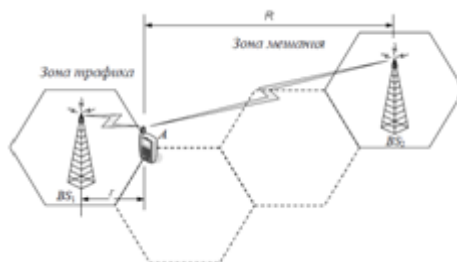


Рис. 2.6. Найхудший случай соканальных помех.

На рис. 2.7 та у формулі (2.12) розглядається найгірша ситуація, оскільки рухома станція знаходиться на максимально можливому віддаленні від базової станції її власної стільниці. Тому наведена вище оцінка вважається дуже песимістичною. Тим не менш, саме такий підхід до розробки систем дозволяє досягти високої надійності.

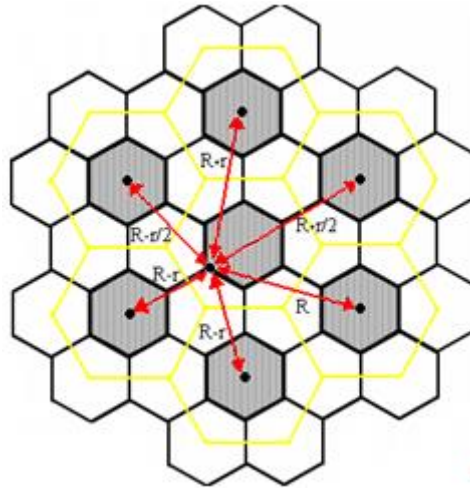


Рис. 2.7. Найхудший случай соканальных помех при $N=3$.

Існують кілька основних розв'язків проблеми недостатньої величини параметра Q для кластера, де антена базових станцій має горизонтальну діаграму спрямованості.

2.2 Методи ослаблення соканальних перешкод

При організації мережі необхідно знайти золоту середину, використовуючи найбільший частотний діапазон при збереженні співвідношення сигнал/шум на мінімально допустимому рівні.

Існують кілька основних розв'язків проблеми недостатньої величини параметра Q для кластера зі всеспрямованими антенами.

3. ВИБІР АПАРАТУРИ І ПЛАНУВАННЯ МЕРЕЖІ

3.1 Вибір апаратури та розрахунок мережі

1. Базова станція WiMAX Base Station Air4Gs – компактна, оптимізована за вартістю мікробездротова базова станція [10]

Для планування мережі візьмемо обладнання компанії Airspan. Зробимо розрахунок параметрів мережі з використанням схваленого обладнання WiMAX Forum.

Станція Air4Gs має високу продуктивність, конструкцією – «все-в-одному», застосовується для зовнішнього використання – «все на вулиці», є обладнанням операторського класу. З невеликою, тонкою та легкою форм-фактором Маса - 10,5 kg/23.15 фунтів. Низьке енергоспоживання – менше 90 Вт.

Air4Gs є простим і доступним в установці та обслуговуванні.

Base Station Air4Gs може працювати з каналами шириною 5 МГц та 10 МГц.

Air4Gs ідеально підходить для операторів та операторських мереж у приміських та сільських районах, а також розширення (розгортання) міських мереж. Продукт оптимізований для вертикальних додатків, таких як Smart Grid або транспорту, де часто є потреба у потужних, економічно ефективних рішеннях. Air4Gs це базова станція мобільного WiMAX (IEEE802.16e), стандартні інтерфейси R1 та R6.



Рис.3.1. Базовая станция Air4Gs

Характеристики БС:

Таблица 3.1.

Підтримання діапазони частот, ГГц	2.3-2.4, 2.5-2.7, 3.3-3.8, 4.9-5.0
Ширина каналу, МГц	1.75, 3.5, 5, 10
Число поднесучих	256 ; 512 и 1024
Метод дуплексирования	FDD + TDD
Модуляція	2-ФМ; 4-ФМ; 16-КАМ; 64-КАМ.
Підтримувані профілі	Фиксований WiMAX (розширюваний до

	мобільного WiMAX)
Стандарт	IEEE 802.16e-2005
Потужність передатчика	до 40дБм на сектор
Відчуття прийомника	-115 дБм (1/16), -103 дБм (1/1)
Коефіцієнт посилення антенн (UL/DL)	17дБ
Антенна конфігурація	МІМО: колова 2x2;
Кодування з коррекцією помилок	Точне кодування; турбокодування.
Кабелі з'єднання ODU и IDU	Повністю зовнішнє використання
Діаграма направленості антенни одного сектора	60°, 90°, 120°, 180°, 360°

2. Mobile WiMAX ASN шлюз рішення (AN1 WiMAX ASN-GW)[10]

IEEE 802.16e-2005 спільно з мережею WiMAX Forum еталонної моделі (NRM) має здатність керувати мобільністю абонентів, забезпечує можливість ідентифікації, обліку та застосування політики у розрахунку на абонента, а також для виконання функцій AAA. Це досягається шляхом розподілу WiMAX мережі на дві основні частини:

- Доступ до служби Network (ASN);
- Підключення мережевих служб (ДНС)

ASN складається з базових станцій WiMAX та ASN Gateway (ASNGW).

ДНС у Центрі мережі, забезпечує контроль та управління функцій IMS (специфікація передачі мультимедіа в електрозв'язку на основі протоколу IP), DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol – протокол динамічної конфігурації вузла), FTP (File Transfer Protocol – протокол передачі файлів) та AAA (Authentication, Authorization, Accounting).

Мережа керується програмним пакетом AS8200 Netspan.

Одним з ключових елементів ASN є ASNGW, яка контролює та керує трафіками від великої кількості базових станцій WiMAX. Платформа AN1 є ідеальним середовищем початкового рівня для розподілу покриття WiMAX додатків до невеликого числа абонентів та задоволення вимог до пропускної спроможності. Створюється мережа, архітектура якої забезпечує економічну ефективність на сільських мережах та мережах невеликих населених пунктів.

Кожен шлюз ASN може зосередити трафіку від декількох базових станцій, що скорочує необхідну кількість керованих пристроїв та AAA операцій при мінімізації затримки встановлення з'єднання за рахунок зменшення кількості дзвінків у мережі. HA: (Home Agent, частина CSN) - елемент мережі, який відповідає за можливість роумінгу

Основні характеристики та переваги

- Повний ASN шлюз та функціональність HA(Home Agent, частина CSN)
- Надійна продуктивність, тарифи, угоди, обробка пакетів
- Повний набір можливостей, управління мобільністю, у тому числі й CMIP (Common Management Information Protocol. Протокол загальної керуючої інформації) – стандарт управління мережею OSI. PMIP v4/v6
- Міцна конструкція, операторський клас відповідає NEBS/ETSI вимогам, а також можливістю відновлення програмного забезпечення

3. Netspan -програма управління мережею

Продукти Airspan включають всі функції, необхідні для початкової установки і введення в експлуатацію продукції, а також їх безперебійної та

									Арк.
									33
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЕЛІТ 6.172.00.02.400 ПЗ				

ефективної роботи. Для цього всі продукти включають широкі можливості управління функціями цих продуктів, а також централізоване управління та операції (O & M) системи.

Netspan забезпечує виконання наступних функцій:

- Справність керування
- Управління конфігурацією
- Обробка аварійних сигналів
- Управління продуктивністю
- Управління безпекою

Netspan будується відповідно до архітектури клієнт/сервер. Сервер Netspan працює на платформі ПК, використовуючи базу даних SQL для зберігання конфігурації, статистики та історій тривоги з радіомережі. Доступ до сервера Netspan від різних стандартних веб-браузерів – за допомогою веб-служби сервера Netspan.

Управління мережею за допомогою Netspan здійснюється одним працівником – оператором цілодобово.

4. Секторна антена для базової станції INT-SEC-17/5X-N (Рис.3.4.)[11]

Опис антени

SECTOR – це професійні антени, призначені для побудови базових станцій високої ємності в сільських районах. Антени мають можливість нахилу, що забезпечує потужний сфокусований сигнал у секторі. Завдяки високому посиленню та широкому куту охоплення антени, у малонаселених районах досягається покриття якісним сигналом великої площі. Високоякісний корпус дозволяє досягати високого результату навіть за суворих погодних умов.

Ключові переваги

- Випромінювальна поверхня покрита лаком - надійність за будь-яких погодних умов
- Антена відносно невелика та легка.
- Опромінювач мікросмужкового типу.
- Модульна конструкція забезпечує надійне функціонування за найсуворіших погодних умов.
- Сегментування покриття дозволяє обслуговувати більше користувачів однією базовою станцією.
- Антенне кріплення має можливість нахилу, що дозволяє оптимізувати покриття та зменшити вплив сторонніх мереж.
- Кріплення з можливістю регулювання у горизонтальній та вертикальній площинах забезпечує точне націлювання антени.

Технічні характеристики антена

Таблиця 3.2.

Діапазон частот, МГц	2300-3800MHz
посилення	17dBi

в горизонтальній плоскості (-3dB)	60°
в вертикальній плоскості (-3dB)	6°
в горизонтальній плоскості (-10dB)	134°
в вертикальній плоскості (-10dB)	25°
вперед / назад відношення	> 24dB
кросс поляризації	> 27dB

5. Мобільна станція – модем BreezeMAX USB 200[12]

Мобільні пристрої BreezeMAX включають BreezeMAX USB 200 WiMAX Модем і BreezeMAX PC карту - компактні, малогабаритні радіомодеми, розроблені для фіксованого та мобільного функціонування з підтримкою Plug and Play інсталяції та самостійної ініціалізації. Обладнані передовими handoff алгоритмами, ці мобільні пристрої дозволяють користувачам ноутбуків та настільних комп'ютерів з'єднуватись з WiMAX мережами у будь-який час, у будь-якому місці.

Технические характеристики модема:

Таблиця 3.3.

Підтримувані діапазони частот, ГГц	2,3-2,4; 2,5-2,7; 3,4-3,6.
Ширина каналу, МГц	5; 7; 10.
Число поднесучих	512; 1024.
Метод дуплексування	Часовий.
Модуляція	4-ФМ; 16-КАМ; 64-КАМ.
Підтримання профілі	Мобільний, фіксований WiMAX
Стандарт	802.16e
Потужність передатчика	До 23 дБ при 4-ФМ
Відчутність прийомника	-94 дБм при 4-ФМ
Коефіцієнт посилення антени (UL/DL)	3 дБ/4,4 дБ
Пропускна здібність	В Виходящому каналі (DL) 20 Мбит/с; в восходящому каналі (UL) 5 Мбит/с.
Приміняємі технології	MIMO; Стандартний ARQ; гібридний ARQ.

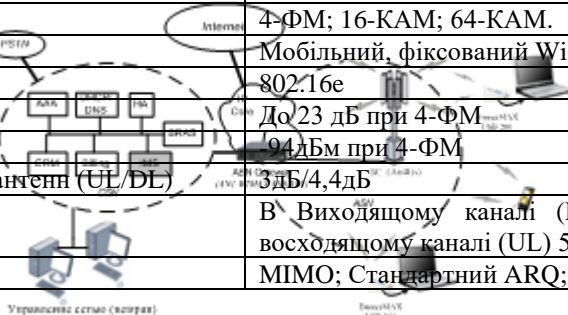


Рис. 3.6. Схема підключення компонентів проектованої мережі.

ВИСНОВОК

Використання інформаційних технологій Mobile WiMAX дозволяє надати відносно дешеве покриття бездротовим широкосмуговим доступом до Інтернету. Як показали розрахунки при проектуванні, використання даної технології буде ефективно при покритті невеликої території, такої як Халач. При використанні бездротового доступу оператор може заощадити як на трудових резервах (обслуговування мережі всього 8 працівниками), так і при розгортанні базових станцій (потрібний тільки їх монтаж та установка), що істотно позначиться на собівартості послуг.

У процесі розробки запропоновано та обґрунтовано використання мережі WiMAX з необхідними функціями та робочими характеристиками.

Для досягнення вищого енергетичного потенціалу ліній зв'язку (link budget), зменшення загасання сигналів та кращого покриття мікроспотів (micro-spot), використані різні технології рознесення. Прибуткова бізнес-модель WiMAX з більш високим покриттям користувачів, задоволеністю користувачів та покращує енергетичні потенціали ліній зв'язку (link budget) WiMAX може бути досягнута при використанні передових антенних технологій (MIMO та AAS): MIMO A/B & STC

Далі була розроблена конфігурація мережі, яка задовольняє критеріям швидкодії, надійності, вартості, інформаційної безпеки.

Мережа об'єднує такі пристрої:

- мобільні станції (модем BreezeMAX USB 200);
- базові станції (Air4Gs);
- ASN шлюз;
- доступ до служби Network (ASN).

У роботі запропонована для використання мережна архітектура ASN, заснована на простій ієрархії зі сконфігурованими однорідними (commodity) мережевими елементами, що забезпечує структуру між базовою мережею CSN і радіомережею WiMAX, а також здійснено розрахунок числа базових станцій, і показано розподіл їх у зоні селища.

У вартість проекту не входить вартість мобільних станцій, тому що для користування послугами абоненти самі будуть змушені їх купувати.

Основну вартість створення бездротової мережі WiMAX становить вартість обладнання та програмного забезпечення.

Проектована мережа дасть можливість отримати річний економічний ефект у сумі 2099294,3 грн., Що дозволить окупити витрати протягом 2 років.

					ЕЛІТ 6.172.00.02.400 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

У розділі охорони праці було розглянуто характеристики об'єкта проектування та умов його експлуатації, заходи з техніки безпеки та пожежної профілактики. Порівнявши їх із нормативними значеннями, зроблено висновок, що ці норми охорони праці дотримуються.

До цього часу користування послугами Інтернету в селі Пологи було недоступне. Розроблена мережа WiMAX дозволяє забезпечити мешканців селища економічно доступною та необхідною мережею.

					ЕЛІТ 6.172.00.02.400 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

ЛИТЕРАТУРА

1. IEEE Std 802.16-2004. IEEE Standard for Local and metropolitan area networks. Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems. - IEEE, October 2004.
2. IEEE Std 802.16e-2005 and IEEE Std 802.16-2004/Cor 1-2005 Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems. Amendment 2: Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands. – IEEE, 28 February 2006.
3. Вишнеvский В.М., Портной С.Л., Шахнович И.В. Энциклопедия WiMAX Путь к 4G. – М., 2009г.
4. Jeffrey G. Andrews, Arunabha Ghosh, Rias Muhamed. Fundamentals of WiMAX. Understanding Broadband Wireless Networking. – Prentice hall, 2007.
5. Весоловский Кшиштоф. Системы подвижной радиосвязи /Пер. с польского И.Д. Рудинского; под ред. А.И. Ледовского. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006.
6. IEEE Std 802.16e-2005. Mobile WiMAX Part1: A Technical Overview and Performance Evaluation. – IEEE, August 2006.
7. IEEE 802.16e-2005: IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks, Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Systems. October. 2005.
8. Luciano Sarperi, Mythri Hunukumbure, Sunil Vadgama. Simulation Study of Fractional Frequency Reuse in WiMAX Networks. – Fujitsu laboratories of Europe Ltd., March, 2008.
9. Mogensen P.E., Eggers P., Jensen C., Andersen J.B. Urban Area Radio Propagation Measurements at 955 and 1845 MHz for small and Micro Cells. – GLOBECOM, 1991.
10. <http://www.acomputer.ru/site/Site2.asp?id=123973>

					ЕЛІТ 6.172.00.02.400 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41