

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

**НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ**

Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи

на тему: **“РОЗРОБКА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ ДОСТУПУ
ЧЕТВЕРТОГО ПОКОЛІННЯ”**

Виконав: студент 6 курсу, групи ТСДМ-61
спеціальності

172 Телекомунікації та радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

Вознюк С.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник

Тарбаєв С.І.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(прізвище та ініціали)

Київ - 2019

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

Кафедра Телекомунікаційних систем та мереж

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

телекомунікаційних систем та мереж

В.Ф. Заїка

“ ”

_____ 2019 року

З А В Д А Н Н Я

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Вознюку Сергію Васильовичу

1. Тема роботи: “Розробка телекомунікаційної мережі доступу четвертого покоління”;

керівник роботи Тарбаєв Сергій Іванович, к.т.н., доцент,

затверджені наказом вищого навчального закладу від 14.11.2019 №518.

2. Строк подання студентом роботи 20.12.2019 р.

3. Вихідні дані до роботи:

1. Особливості стандарту WiMax.
2. Обладнання для планування мережі.
3. Методи планування мереж WiMax.
4. Науково-технічна література.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

1. Стан і перспективи розвитку безпроводових телекомунікаційних технологій.
2. Вибір обладнання для планування мережі.
3. Методи планування мереж WiMax.
4. Оцінка мінімально необхідного частотного ресурсу для створення мереж безпроводового доступу технології WiMax.

5. Перелік графічного матеріалу (назва слайдів презентації):
1. Тема роботи;
 2. Технології безпроводового зв'язку четвертого покоління;
 3. Область використання технології WiMax;
 4. Типові схеми БС та АС;
 5. Розрахунок радіусу та площі покриття БС;
 6. План проектування і розміщення БС на території міста;
 7. Вихідні дані для розрахунку частотного ресурсу для різних категорій користувачів;
 8. Визначення необхідного радіочастотного ресурсу;
 9. Результати розрахунку необхідного частотного ресурсу;
 10. Висновки.

6. Дата видачі завдання 11.09.2019

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Підбір науково-технічної літератури	27.09.19	Викон.
2.	Стан і перспективи розвитку безпроводових телекомунікаційних технологій	15.10.19	Викон.
3.	Вибір обладнання для планування мережі	31.10.19	Викон.
4.	Методи планування мереж WiMax	15.11.19	Викон.
5.	Оцінка мінімально необхідного частотного ресурсу для створення мереж безпроводового доступу технології WiMax	29.11.19	Викон.
6.	Висновки, вступ, реферат	10.12.19	Викон.
7.	Розробка демонстраційних аркушів	18.12.19	Викон.

Студент

Вознюк С.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

Тарбаєв С.І.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Текстова частина магістерської роботи: 82 сторінок, 26 рисунків, 21 таблиці, 15 джерел.

Об'єкт дослідження – процес безпроводового доступу в стільникових мережах Wi-Max.

Предмет дослідження – розрахунок потрібної пропускної здатності, кількості обладнання і потрібного частотного ресурсу для створення мереж безпроводового доступу технології Wi-Max

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
1. ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПЛАНУВАННЯ МЕРЕЖІ.....	11
1.1. Огляд місцевості для проектування мережі.....	11
1.2. Вибір обладнання	12
1.3 Базова станція.....	16
1.4. Абонентська станція.....	18
1.5. Опис радіомаршрутизатора R5000	19
2. МЕТОДИ ПЛАНУВАННЯ МЕРЕЖ WIMAX	22
2.1. Принципи побудови стільникових кластерів.....	22
2.2. Методи послаблення співканальних перешкод	32
2.3. Аналіз підходу до оцінки поширення радіосигналу в мережі	35
2.4. Розрахунок зони покриття базових станцій.....	37
2.5. Розрахунок пропускної здатності	43
2.6. Розрахунок необхідної кількості БС, для повного радіопокриття.....	48
2.7. Розрахунок капітальних вкладень	50
2.8. Розрахунок експлуатаційних витрат	52
3. ОЦІНКА МІНІМАЛЬНО НЕОБХІДНОГО ЧАСТОТНОГО РЕСУРСУ ДЛЯ СТВОРЕННЯ МЕРЕЖ БЕЗПРОВОДОВОГО ДОСТУПУ ТЕХНОЛОГІЇ WIMAX	57
3.1 . Визначення необхідного радіочастотного ресурсу	57
3.2 . Методика розрахунку верхньої та нижньої межі величини необхідного частотного ресурсу.....	60
3.3 .Розрахунок необхідного частотного ресурсу для створення мереж безпроводового доступу технології WIMAX	74
ВИСНОВКИ	82
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	83
ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ	85

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ATM	(Asynchronous Transfer Mode) – асинхронний режим передачі;
BER	(Bit Error Rate) - ймовірність появи бітових помилок;
ITU-T	(International Telecommunication Union) - Міжнародний телеко- мунікаційний союз;
ISI	(Intersymbol Interference) - міжсимвольна інтерференція;
LTE	(Long Term Evolution) - еволюція в довгостроковій перспективі;
MIMO	(Multiple Input Multiple Output) - декілька входів та виходів;
NGN	(Next Generation Network) – мережа наступного покоління;
OFDM	(Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) – мультиплексуван- ня ортогонально розділених несучих;
TMN	(Telecommunication Management Network) – мережа управління телекомунікаціями;
UMTS	(Universal Mobile Telecommunications System) - універсальна мо- більна телекомунікаційна система;
Wi-Fi	(Wireless Fidelity) - безпроводна технологія з'єднання комп'ютерів в мережу;
Wi-MAX	(Worldwide Interoperability for Microwave Access) – глобальна сумісність для мікрохвильового доступу.

ВСТУП

Обсяги інформації в світі з кожним днем збільшуються. Це є наслідком активного розвитку інформаційних технологій, а також наявністю можливостей і потужностей для обробки і генерування інформації.

У той же самий час, поряд із завданням обробки інформації, існує завдання передачі цього зростаючого обсягу інформації на відстані. Завдання передачі інформації вирішується за допомогою застосування телекомунікаційних систем, побудованих на основі використання прововдових або безпрововдових каналів зв'язку.

Безпрововдові системи передачі займають значну частину світового телекомунікаційного простору. Голосовий зв'язок, передача даних, потокове відео та інші послуги є невід'ємною частиною сервісів, що надаються по безпрововдових каналах зв'язку.

Кількість користувачів безпрововдових систем передачі стає дедалі більше, а ресурси технології безпрововдового з'єднання обмежені. Одночасне зростання навантаження на безпрововдові комунікації і відсутність глобальних можливостей розширення ресурсів безпрововдових каналів зв'язку вимагає підвищення інформаційної ефективності безпрововдової системи передачі, тобто збільшення обсягів інформації, що передається в розрахунку на кожну одиницю ресурсу.

Вирішити ці завдання допомагають технології четвертого покоління LTE та WiMax.

Четверте покоління (4G) безпрововдових широкосмугових мереж, таких як WiMax, проект партнерства третього покоління (3GPP) і LTE, було розроблено на основі вимог QoS для надання різних видів широкосмугових телекомунікаційних сервісів. WiMax – це перспективне покоління мобільного зв'язку 4G, що характеризується високою швидкістю передачі даних і підвищеною якістю голосового зв'язку. До четвертого покоління прийнято відносити перспективні технології, що дають змогу здійснювати передавання даних рухомим абонентам зі швидкістю, що перевищує 10 Мбіт/с. Забезпечення високих значень пропускної здатності у

системі WiMax базується на трьох основних технологіях: мультиплексування за допомогою ортогонального частотного поділу OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), передавання сигналів за допомогою багатоантенних систем MIMO (Multiple Input Multiple Output) і еволюційна системна (сервісна) архітектура мережі (System Architecture Evolution).

Технології WiMAX дозволяють швидко прогресувати як мобільним, так і фіксованим операторам, в тому числі новим операторам, початківцям свою діяльність з чистого аркуша. Сьогодні вже розгорнуто 475 WiMAX мереж в 140 країнах. Близько півмільярда осіб проживають в зоні дії операторів WiMAX.

Основна перевага WiMax - наявність загальноприйнятого стандарту, який дозволяє виробникам працювати над однією технологією, забезпечуючи взаємну сумісність обладнання.

Мета технології WiMax полягає в тому, щоб надати універсальний безпроводовий доступ для широкого спектру пристроїв (робочих станцій, побутової техніки розумного будинку, портативних пристроїв і мобільних телефонів) та їх логічного об'єднання - локальні мережі.

Мета роботи - розробка телекомунікаційної мережі доступу четвертого покоління.

Об'єктом дослідження є процес безпроводового доступу в стільникових мережах Wi-MAX.

Предметом дослідження є розрахунок потрібної пропускної здатності, кількості обладнання і потрібного частотного ресурсу для створення мереж безпроводового доступу технології Wi-MAX.

Методи досліджень. Для досягнення поставленої мети в магістерській роботі використано: методи теорії інформації та передавання сигналів; методи теорії розповсюдження електромагнітних хвиль; методи комп'ютерного моделювання.

Апробація результатів магістерської роботи. Основні результати магістерської атестаційної роботи доповідалися на конференціях Державного університету телекомунікацій та опубліковано в науковому журналі "Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку".

1. ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПЛАНУВАННЯ МЕРЕЖІ

1.1. Огляд місцевості для проектування мережі

Умань - місто обласного значення, адміністративний центр Уманського району Черкаської області. В місті проживає близько 90 тис жителів, площа міста складає 41 км².

На території знаходяться 3 ВУЗа, 5 СУЗів, 13 шкіл, 21 дитячий садок, 6 музеїв, кінотеатр, дендропарк «Софіївка». На рис 1.1. зображено м.Умань, територія для проектування безпроводової радіо мережі.



Рисунок 1.1. Карта міста Умань

При розташуванні кожної базової станції потрібно враховувати безліч факторів, які будуть впливати на роботу БС і рівень сигналу мережі, серед яких най-

важливішими є умови розповсюдження сигналу (Рельєф місцевості, щільність забудови, антропогенні фактори, зелені насадження, наявність радіоперешкод і т.д.) При плануванні також потрібно врахувати можливе майбутнє будівництво нових базових станцій, щоб в подальшому нові базові станції не чинили впливу на старі, врахувати нові будівлі, які споруджуються та можуть перекрити сигнал, врахувати погодні умови в конкретній місцевості та багато іншого.

Чим складніше умови розповсюдження радіосигналу і вище щільність населення, тим менше розміри стільників, або зона покриття базової станції. У цих випадках встановлюються БС з більш високою потужністю сигналу, і розташовуються вони на невеликій відстані один від одного. Наприклад, «Закриття» парків проводиться установкою БС з декількох сторін, при цьому сектору у БС можуть працювати не однаково. Листя дерев дуже сильно екранують сигнал зв'язку, заважаючи його проходженню.

Відмінним місцем для установки БС можуть стати існуючі висотні споруди - житлові будинки, бізнес центри, труби, елеватори і т.д., якщо, звичайно, такі є. Використання корисної площі різних висотних конструкцій дозволяє відчутно заощадити час на будівництво щогли.

1.2. Вибір обладнання

Обладнання WIMAX.

В даний час в WIMAX-форумі беруть участь практично всі виробники систем фіксованого безпроводового доступу, у тому числі ряд провідних комунікаційних компаній, багато з яких (Airspar Networks, Alvarion Ltd, Aperto Networks, Redline Communications, Proxim Corporation, Wi-LAN Inc та ін.) Вже почали випуск pre-WIMAX-систем власної розробки.

Технічні характеристики обладнання WIMAX

Параметри	Стандарти	Обладнання				
		NaterksM utilink	SkyMAN Access	Packet Wave	Vecta Star 3500	Symmetry
Початок випуску	2003- 801.16a 2004- 801.16	2004	2004	2004	2004	2005
Відповід- ність ста- ндарту	-	801.16	801.16	801.16	801.16	801.16e
Метод до- ступу до передачі	TDMA DAMA			TDMA	TDMA Polling + PVC	TDMA
Радіотехн. передачі	OFDM 256 OFDMA 2048	OFDM 256	DSSS OFDM 64	OFDM	OFDM	OFDM
Вид моду- ляції	QPSK 16 QAM 64 QAM	QPSK 16 QAM 64 QAM	BPSK QPSK 16 QAM 64 QAM	QPSK 16QA M	QPSK 16 QAM 64 QAM	QPSK 8 QAM 16 QAM 64 QAM

Технічні характеристики обладнання WIMAX

Параметри	Стандарти	Обладнання				
		Naterks Multilink	SkyMAN Access	Packet Wave	Vecta Star 3500	Symmetry
Метод ду- плексу	TDD/FDD	TDD HD-FDD	-	TDD	FDD	FDD
Робочі ча- стоти, ГГц	2-11	3,4-3,8	2,4-2,92; 5,1-6	2,5- 2,689 3,3-3,8 5,15- 5,35	3,4-3,8	2,3 2,4 3,5
Ширина смуги, МГц	1,25 – 20	3,5 7 14	20	1,75-6	1,75 3,5 7	1,75 3,5
Агрегатна швидкість, Мбіт/с	1-75	До 70 Адап- тивна	До 75	20	До 60	11 (66 на бс)
Радіус, км	4-6	4-6	До 12	15	До 20	6
Дальність, км	До 50	До 33	До 50	До 40	До 90	32
Метод ко- рекції	FEC ARQ	ARQ	-	Код РідаСо ломона	FEC ARQ	-

Технічні характеристики обладнання WIMAX

Параметри	Стандарти	Обладнання				
		NaterksM utilink	SkyMAN Access	Packet Wave	Vecta Star 3500	Symmetry
Сервіси, якість об- слугову- вання. QoS	Класы URG, rtPS, nrtPS, BE	Класи URG, rtPS, nrt PS, BE5 комбін. CIR і PIR	VoIP, VPN Класи обслуг. MIR, BER	CBR, CIR і BE	ATM, DiffServ, VLAN, C IR UBR/VB R	CIR, MIR
Рівень безпеки	Протокол PKM, сертифікат X.509	Протокол PKM, X.509	Пере- вірка MAC і IP	Шифр.: DES 56/112/ 168 біт	-	-
Інтерфей- си	-	10/100 BaseT, 4-8E1	10/100 BaseT	10/100 BaseT,	10/100 BaseT E1/T1	10/100 BaseT E1 v.5.1
Макс. к- сть АС в секторі	-	До 250	150	1022	-	-

Так як у проекті є основним завданням покрити всю територію міста мережею WIMAX, площа якого дорівнює 41 км^2 , можемо обійтися встановивши лише одну базову станцію. Але враховуючи той факт, що в районі проживає велика кількість людей, а точніше 90 тис. чоловік, потрібно ґрунтуватися на максимальній пропускній здатності обладнання. Також потрібно враховувати широкий частотний діапазон. Зупинимося на розробці обладнання фірми InfiNet Wireless - SkyMAN. Робочі частоти якого складають 2,4-2,492; 5,1-6 ГГц. Ширина смуги - 20 МГц.

1.3 Базова станція

БС системи SkyMAN Access призначена для безпроводового підключення абонентів до Інтернету і ТМЗК, а також об'єднання територіально - рознесених корпоративних мереж в єдину мережу.

БС будується за модульним принципом і може включати від одного до 6 модулів, залежно від вимог до пропускної здатності, дальності передачі, використовуваного частотного діапазону і наявності вільних частот. Кожен з модулів (або радіоінтерфейсів в двухмодульній моделі) забезпечує обслуговування одного просторового сектора в межах діаграми напрямленості використовуваної антени. Типові значення зони охоплення кожного сектора 360° (Один сектор), 120° (три сектори), і 60° (шість секторів). Устаткування БС НЕ накладає певних вимог до ширини сектора, яка в конкретних випадках може бути довільною, обумовленою конкретною топологією мережі, наявністю частотного ресурсу і розміщенням абонентів.

До складу БС входять (рис. 1.2 – 1.3):

- Безпроводові маршрутизатори R5000 - від 1 до 6, по одному на сектор. Для малопотужних БС можуть використовуватися двухмодульні безпроводові маршрутизатори - по одному на два сектори. Односекторні БС забезпечують швидкість передачі до 54 Мбіт / с. Багатосекторні БС забезпечують роботу зі швидкістю до 48 Мбіт / с на сектор. Так само:

- Антенно-фідерні пристрої - за кількістю секторів базової станції;
- Ліцензії для підключення спеціалізованих абонентських станцій, на кожен сектор базової станції;
- Програмне забезпечення для управління мережею SkyMAN;
- Комутатор Ethernet (опціонально);
- Шафа для монтажу обладнання (опціонально);
- Джерела безперебійного живлення (опціонально).

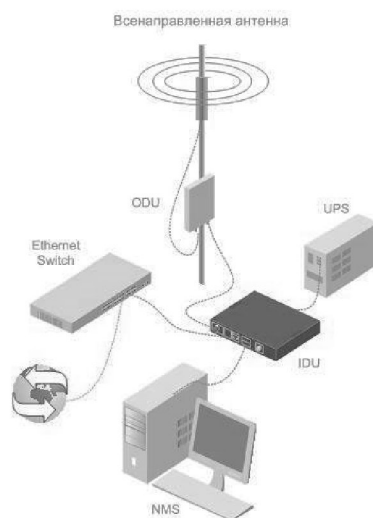


Рисунок 1.2. Типова схема односекторної БС

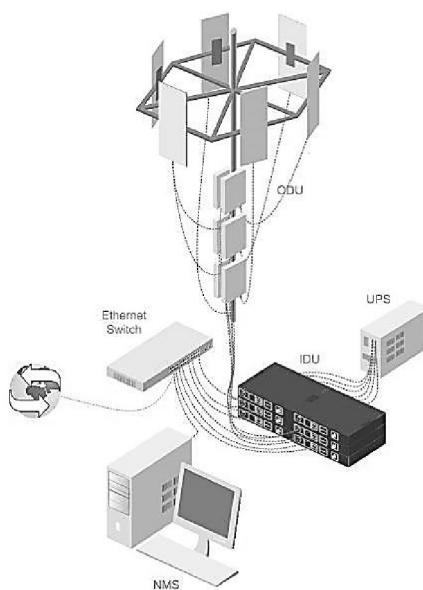


Рисунок 1.3. Типова схема 6-секторної БС

1.4. Абонентська станція

АС (рис. 1.4) призначена для безпроводового підключення абонентів до БС або РС, а також для створення магістральних каналів "точка-точка".

Склад абонентської станції:

- Абонентський безпроводовий маршрутизатор з інтегрованою антеною або роз'ємом для підключення зовнішньої антени;
- Спрямована антена і антенний кабель для моделей без інтегрованої антени.

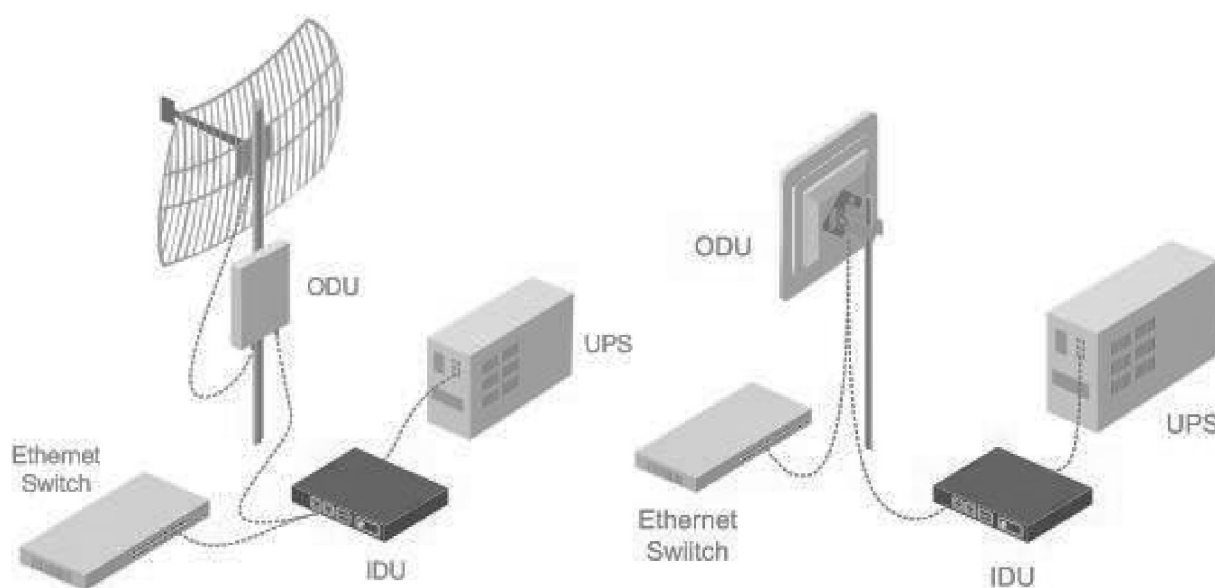


Рисунок 1.4. Типові схеми АС

Система SkyMAN побудована на основі архітектури розподілених безпроводових мереж SkyMAN SA™. Основою системи є безпроводові маршрутизатори R5000, розроблені і випускаються компанією InfiNet Wireless. При побудові мереж ШСД на базі системи SkyMAN використовуються антенно-фідерні пристрої та мережеве обладнання виробництва третіх фірм.

1.5. Опис радіомаршрутизатора R5000

Безпроводові маршрутизатори серії O виконані в зовнішньому (ODU) всепогодному корпусі (рис. 1.5), що підключається до внутрішнього блоку живлення (IDU) спеціалізованим кабелем. Пристрої випускаються для діапазонів 2,4 і 5 ГГц в одномодульному і двухмодульному виконанні.



Рисунок 1.5. Безпроводовий радіомаршрутизатор R5000

Області застосування R 5000:

- Базові станції;
- Ретранслятори (двухмодульного пристрою);
- Можливе використання в якості високопродуктивних абонентських станцій.

Радіотехнічні параметри маршрутизатора R5000

Частотний діапазон	2401-2494 МГц	5150 – 5350 МГц 5460 – 5735 МГц 5725 – 5875 МГц
Технологія розширення спектру	DSSS	64OFDM
Модуляція та швидкість передачі	BPSK QPSK ССК 5.5	BPSK QPSK 16QAM 64QAM
Реальна пропускна здатність	4 Мбіт/с; 11 Мбіт/с	25-26 Мбіт/с; 70 Мбіт/с
Ширина каналу	20 МГц	20 МГц
Антенний інтерфейс	20 дБм (стандарт) 23 дБм (модель Р 200)	14-17 дБм (стандарт) 21 дБм (Р 200) 23-25 дБм (Р 300) 27 дБм (Р 500)
Чутливість приймача	-94 дБм; 1Мбіт/с -91 дБм; 2Мбіт/с -89 дБм; 5.5Мбіт/с -85 дБм; 11Мбіт/с	-90 дБм; 6 Мбіт/с -89 дБм; 9 Мбіт/с -87 дБм; 12 Мбіт/с -84 дБм; 18 Мбіт/с -81 дБм; 24 Мбіт/с -78 дБм; 36 Мбіт/с -73 дБм; 48 Мбіт/с -69 дБм; 54 Мбіт/с
Радіус зони обслуговування БС	до 20 км	до 12 км

Радіотехнічні параметри маршрутизатора R5000

Максимальна довжина відстані точка-точка	50 км	50 км
Рекомендована максимальна кількість абонентів на сектор БС	50	150

2. МЕТОДИ ПЛАНУВАННЯ МЕРЕЖ WIMAX

2.1. Принципи побудови стільникових кластерів

У мережах стандарту мобільного 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 межі між стільниками рівних розмірів (рис. 2.1).

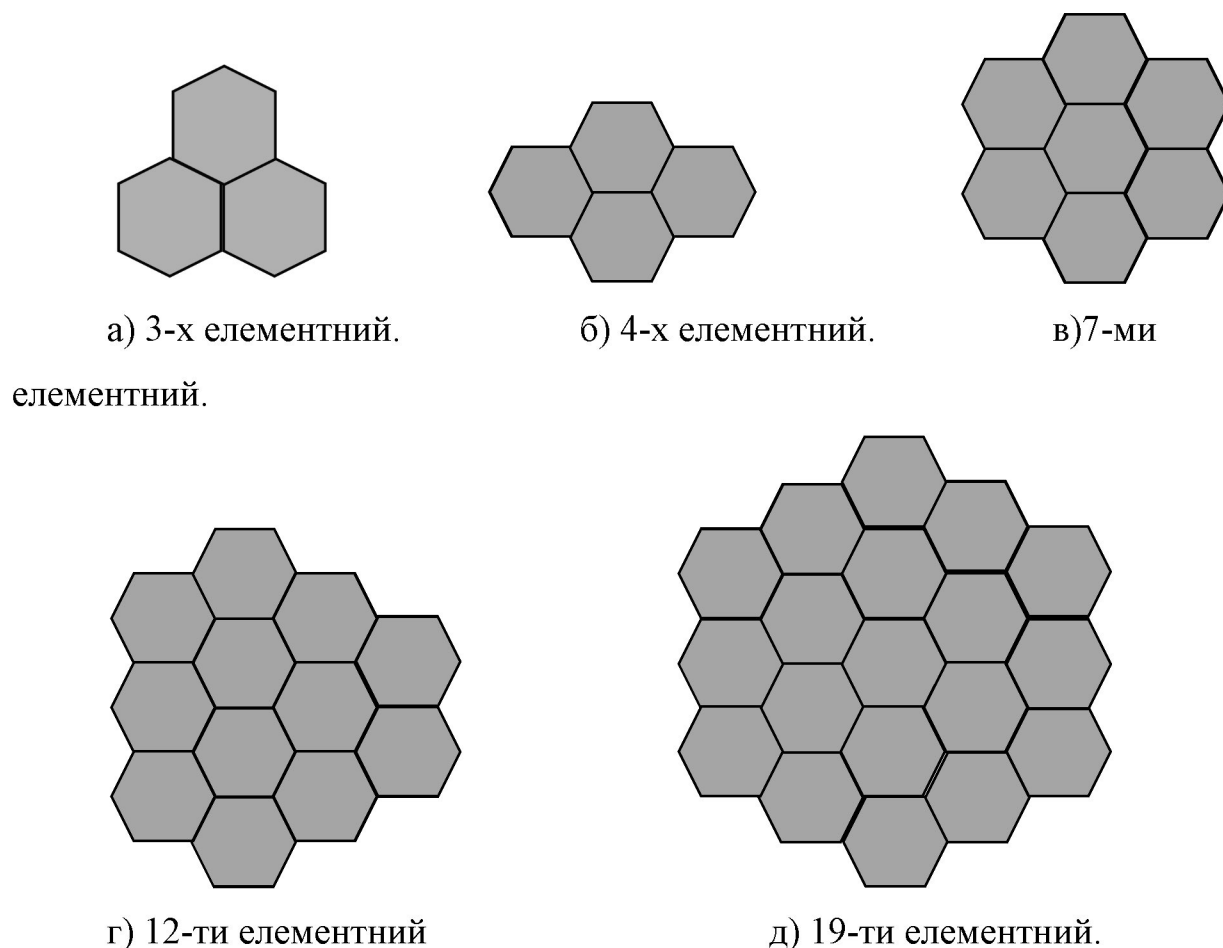


Рисунок 2.1. Побудова багатоелементних стільникових кластерів

На практиці область покриття базової станції не володіє правильною круговою формою, оскільки вона залежить від структури місцевості і перешкод - буді-

вель, дерев і т. д. Поділ області покриття системи на стільники рівного розміру неможливо і з технічних причин. При розміщенні базових станцій необхідно враховувати безліч чинників, таких як доступ до відповідних ділянок місцевості і можливість використання природних елементів місцевості - вежі, високі труби і будови. Такі елементи нечасто розташовуються в центрах ідеально спланованих стільників. Тому планування стільників являє собою складну задачу, в ході вирішення якої в сучасних системах проводять польові виміри 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 світлових променів, які відбиваються і розсіюються на різних перешкодах місцевості з певними коефіцієнтами відображення і розсіювання. Цей підхід, який називають методом трасування променів (англ. Ray tracing method), вимагає точних даних про область покриття і великих обчислювальних ресурсів. Пакети професійного програмного забезпечення, що застосовуються для моделювання розповсюдження хвиль і проектування стільників, використовують більш складні моделі розповсюдження.

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

Ключовий принцип роботи стільникової системи полягає в багаторазовому використанні одних і тих же частотних каналів в різних стільниках, розташованих у зоні покриття системи відповідним чином. Група з N стільників, що використовує всі доступні частоти несучих, виключаючи при цьому їх повторне використання, називається стільниковим кластером (англ. Cell cluster).

Для аналізу розміру і 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 і відстань від центру шестикутника до його вершини.

Якщо згадати властивості рівностороннього трикутника зі стороною r , то легко довести, що відстань між двома сусідніми шестикутниками однакова. 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:

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

де i та j - координати центру розглянутого шестикутника, виражені у прийнятих одиницях довжини, рівних $3r$. У табл. 2.1 представлені кластери, для кожної відповідне своє значення i та j .

Таблиця 2.1.

Координати центрів кластерів

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, $u = 3\sqrt{3}r$, $v = 2\sqrt{3}r$ та $\alpha = 120^\circ$. Таким чином, $i=3$ та $j=2$.

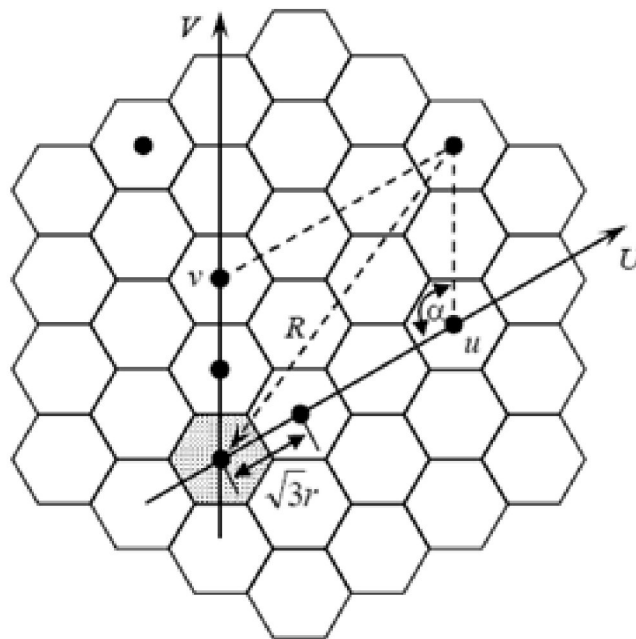


Рисунок 2.2. Поділ зони радіопокриття на стільники

Будемо вважати заштрихованим стільник, розташований на початку зображеної на рис. 2.2 системи координат, опорною. Побудуємо навколо неї стільниковий кластер. Інші кластери повинні бути розташовані навколо нього таким чином, щоб покриваються ними області не перекривалися і не мали розривів.

Виникає наступне питання: яка кількість стільників в кластері забезпечує найбільш компактне покриття для стандарту WIMAX? Відповідь на це питання впливає з наступних міркувань. Нехай центральні стільники сусідніх кластерів розташовані на відстані R від центру опорної стільники.

У їх розпорядженні знаходиться такий же набір частотних каналів, що і у опорної стільники. Кожен кластер може бути представлений одним великим шес-

тикутником, площа якого дорівнює сумі площ всіх належних кластеру стільників. Це зображено на рис. 2.2.

Площа однієї гексагонального стільника радіуса r дорівнює:

$$S_r = \frac{3}{2}\sqrt{3}r^2 \quad (2.3)$$

а площа великого шестикутника, рівного сумі N площ шестикутників радіуса 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 наступна рівність виконувалась:

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

При підстановці (2.1) і (2.4) в (2.5) отримаємо вираз, який визначає кількість N стільників в кластері:

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

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

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

$$Q = R/r = \sqrt{3N} \quad (2.7)$$

Якщо при розробці системи не враховувалася кількість стільників в кластері, їх топографічне розташування і розподіл каналів, то в такій системі буде спостерігатися істотний вплив один на одного каналів у різних стільниках, що використовують одні й ті ж несучі частоти.

Ці явища називаються співканальними перешкодами. Вони залежать від па-

раметра Q , визначеного у виразі (2.7).

Параметр Q називається коефіцієнтом ослаблення співканальних перешкод (англ. Co-channel interference reduction factor).

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

Відстань R залежить від ставлення потужності сигналу P_S до потужності перешкоди P_I (енергетичного параметра зв'язності v). У свою чергу, це відношення залежить від кількості впливаючих один на одного стільників K_0 згідно з формули:

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

де P_{I_k} - середня потужність перешкод, які генерує k -тий стільник.

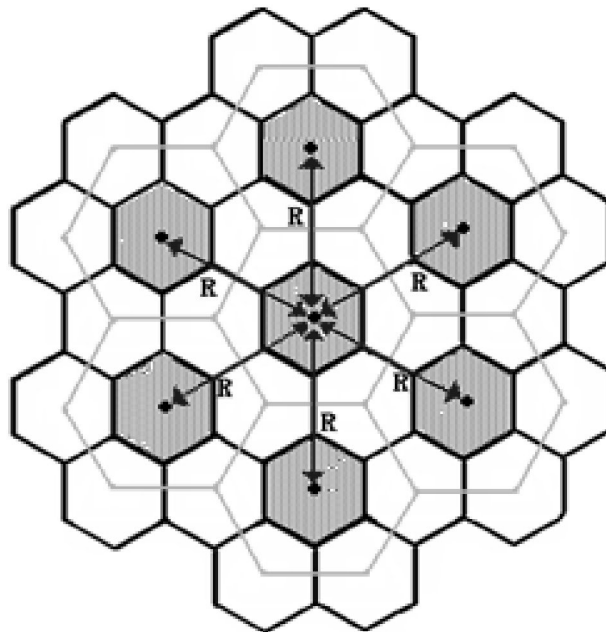


Рисунок 2.2. Апроксимація кластерів великими трикутниками

На рис. 2.4 зображена типова конфігурація взаємодіючих стільників. У разі гексагональних стільників шість розташованих в першому ярусі стільників

взаємодіють із центральний стільник, яка вважається опорною. Таким чином, $K_0 = 6$.

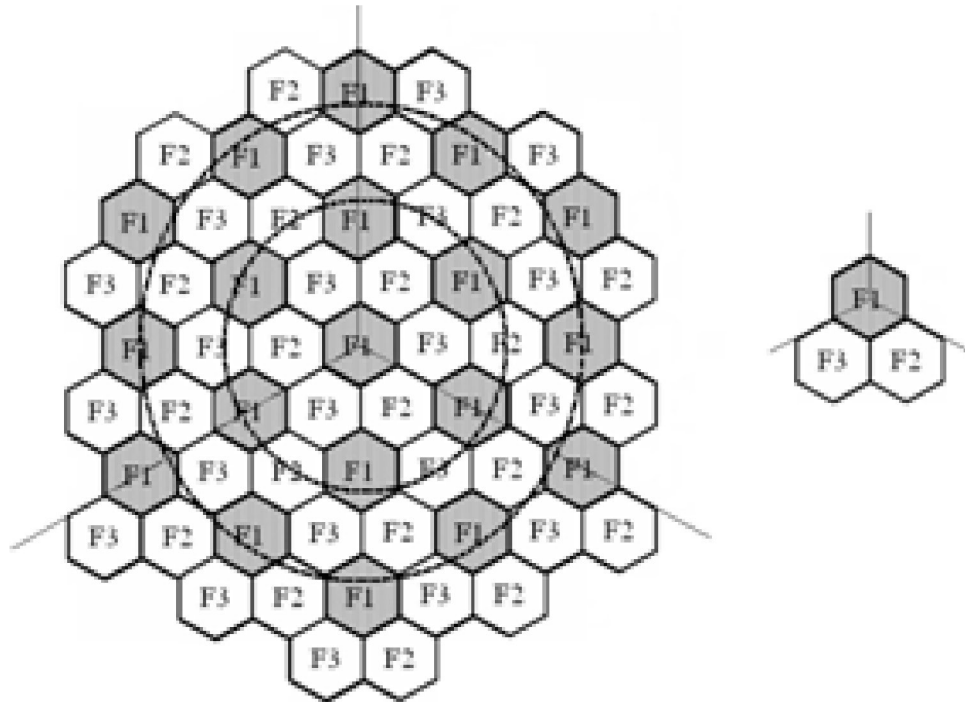


Рисунок 2.4. Розподіл у просторі інтерференціюючих стільників

Для регулярної структури, побудованої на основі типових кластерів з $N = 3, 7, 9, 12, 19$ кількість впливаючих одна на одній стільників K_0 завжди буде дорівнює 6 (рис. 2.5.)

Передбачається, що впливом стільників другого ярусу на центральний стільник можна знехтувати через велику відстань між ними. співканальні перешкоди спотворюють не лише сигнал, що приходить на базову станцію центральної стільники, але і сигнали, що приходять на рухливі станції, які в даний момент знаходяться в цьому стільнику. Припустимо, що базові станції випромінюють сигнали з однаковою потужністю. Тоді відношення сигналу до співканальних перешкод на кордоні центрального стільника рівне:

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

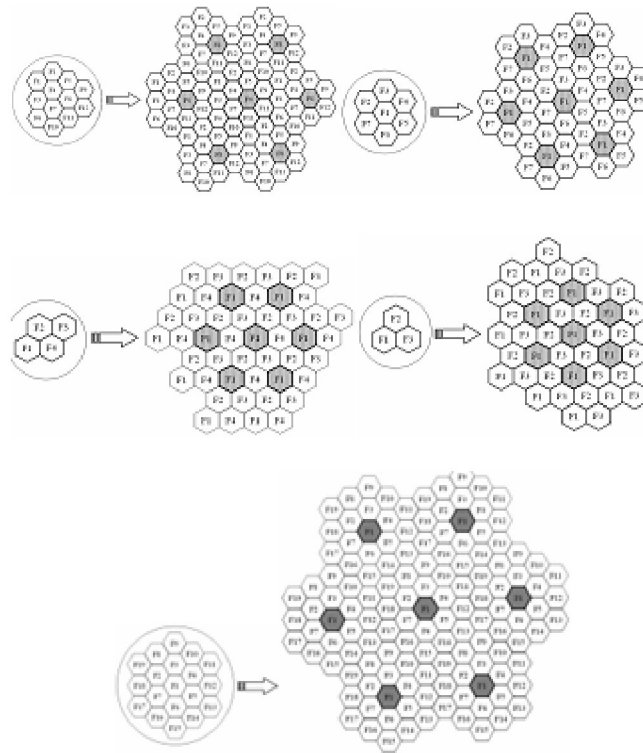


Рисунок 2.5. Розподіл кластерів з регулярною структурою

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 розповсюдження.

Звернемо увагу на те, що в припущенні про рівну потужність, випромінюваної базовими станціями, ставлення «сигнал / співканальна перешкода» залежить тільки від геометричних властивостей розподілу стільника, відстаней між базовими станціями, що використовують одні й ті ж частотні канали, і радіуса зони радіопокриття базової станції.

Припустимо, що в зображеній на рисунку 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 стільника-

ми, що використовують одні й ті ж частоти і радіус стільника, з відношенням «сигнал / співканальна перешкода» і типом навколишнього середовища.

У традиційних стільникових системах відношення P_S/P_I вибирається таким, щоб забезпечити якість передачі мови, прийнятне, принаймні, для 75% користувачів на 90% області покриття системи.

Прийнявши $\gamma = 4$, з формули (2.11) отримаємо розрахункове $Q = 2$. Відповідно до таблиці 2.2 це значення $Q = 2$. Оскільки значення Q залежить від кількості N стільників в кластері за формулою (2.7), то при підстановці в цю формулу значення $Q = 3$, отримаємо $N = 2$.

Коефіцієнт зменшення співканальних перешкод Q залежно від числа елементів в кластері N , представлений в табл. 2.2.

Таблиця 2.2.

Коефіцієнт зменшення співканальних перешкод

Кількість стільників в кластері	3	4	7	12	19
Коефіцієнт зменшення спів канальних перешкод	2.00	2.46	4.58	6.00	7,55

Як видно з табл. 2.2, у розглянутій 3-х стільникової структурі, відношення сигнал/перешкода, яке дорівнює 2.00, як правило, недостатньо для діючих стандартів.

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

$$\begin{aligned} \frac{P_S}{P_I} &= \frac{r^{-\gamma}}{2(R-r)^{-\gamma} + \left(R - \frac{r}{2}\right)^{-\gamma} + R^{-\gamma} + (R+r)^{-\gamma}} = \\ &= \frac{1}{\frac{2(Q+1)^\gamma + (Q-1)^\gamma}{(Q^2-1)^\gamma} + \frac{(Q+\frac{1}{2})^\gamma + (Q-\frac{1}{2})^\gamma}{(Q^2-\frac{1}{4})^\gamma} + \frac{1}{Q^\gamma}} \end{aligned} \quad (2.12)$$

При $Q = 3$ і $\gamma = 4$ 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 стільників, то отримаємо кілька краще значення P_S/P_I , проте воно все ж буде менше потрібних 18 дБ. На практиці, внаслідок неідеального розташування базових станцій, багатопроменевого поширення і спотворень, обумовлених нерівностями місцевості, це відношення буде ще гірше. Тому розрахованого раніше значення $Q = 3$ буде недостатньо.

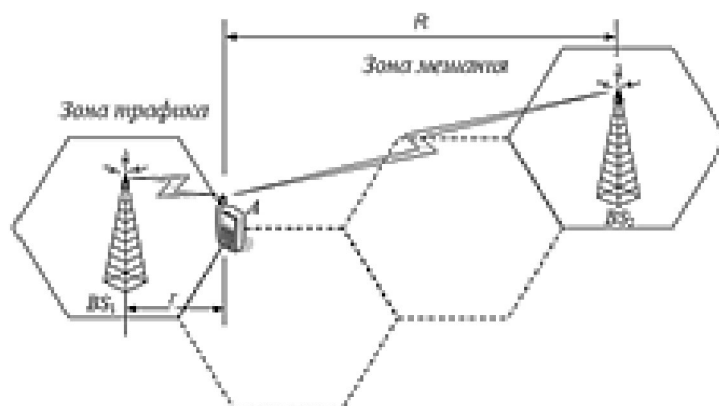


Рисунок 2.6. Найгірший випадок співканальних перешкод

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

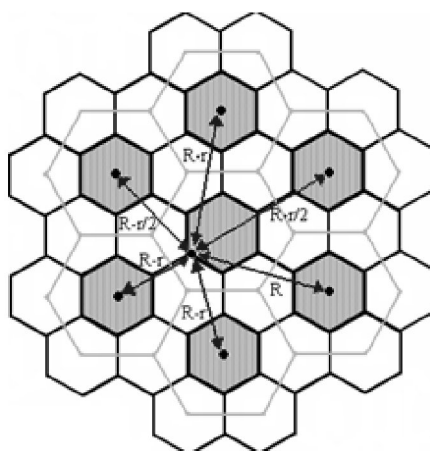


Рисунок 2.7. Найгірший випадок співканальних перешкод при $N = 3$

Існують кілька основних рішень проблеми недостатньої величини парамет-

ра Q для кластера, де антена базових станцій має горизонтальну діаграму напрямленості.

2.2. Методи послаблення співканальних перешкод

2.2.1. Збільшення кількості стільників в кластері

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

Існують декілька основних рішень проблеми недостатньої величини параметра Q для кластера зі всенапрямленими антенами.

Перший шлях - це збільшення кількості стільників в кластері. Стільникова структура дозволяє збільшити пропускну здатність, всієї системи шляхом збільшення стільника, зменшення розмірів стільників і зменшення потужності передавачів. Однак поряд з очевидними перевагами, зменшення радіуса стільників має і недоліки:

- На одній площі доводиться розміщувати більшу кількість БС і антен, що збільшує фінансові витрати
- Оскільки стандарт WIMAX відноситься до частотно тимчасовим поділом каналів, то збільшення стільників в кластері призведе до зниження числа каналів в окремих стільниках, і зниження трафіку.

2.2.2. Використання секторних антен

Друге рішення полягає в послабленні співканальних перешкод при використанні секторних антен, з шириною діаграми спрямованості в 60° . Кожен стільник розділяється на шість секторів.

На рис. 2.8 зображено група стільників з використанням антен, діаграма напрямленості 60° .

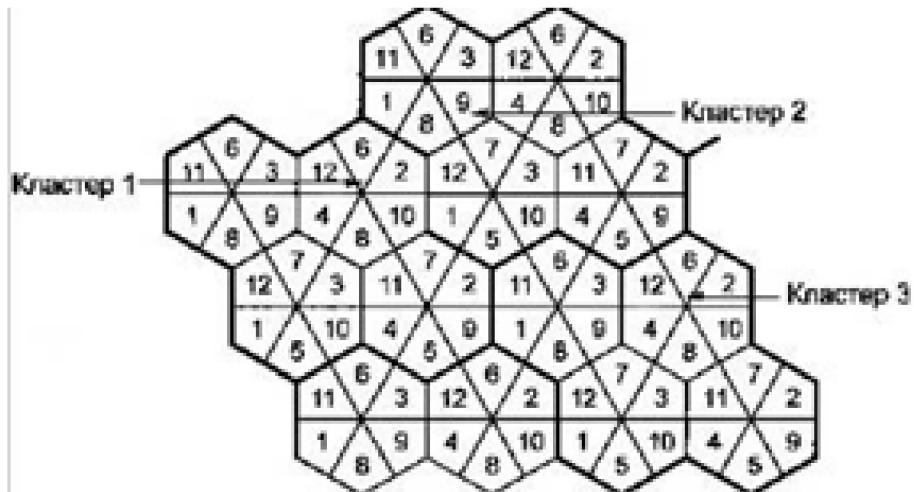


Рисунок 2.8. Група стільників з використанням антен, діаграма напрямленості 60°

При використанні секторних структур стільника, значно знижується вплив співканальних перешкод сусідніх БС, які працюють на одних і тих же частотах. Але, так само є і недолік:

- На кожен сектор припадає окремий антенно-фідерних тракт, що так само має на увазі додаткові фінансові витрати.

Розглянемо третій варіант, який найбільше підходить для реалізації мережі WIMAX.

2.2.3. Комбіноване планування стільників

Рішення проблеми пов'язаної з співканальними перешкодами на краю стільника, в стандарті WIMAX запропонований метод, комбінованого повторного використання частоти (FFR), тобто комбіноване планування стільника. У FFR користувачі, що знаходяться на краю стільника використовують частину всіх доступних підканалів, в той час як користувачі всередині, тобто в центрі стільника користуються всіма доступними підканалами. Користувачі ж, що знаходяться на краю стільника, працюють з частотами Reuse-3 (надалі буде позначатися як R3), в той час як користувачі в центрі стільника працюють з частотами Reuse-1 (R1). В

процесі передачі кадру користувачі R3 згруповані в зону R3, яка відокремлена в часі від зони R1. Перевага методу FFR полягає в наданні користувачам на краю стільників кращої якості сигналу, за рахунок фізичного поділу від джерела перешкод. Покращена якість сигналу також надасть більш високу пропускну здатність для користувачів на краю стільника. Однак, це досягається за рахунок менш ефективного спектрального розподілу ресурсів. Таким чином, важливо проаналізувати, чи переважають переваги над недоліками.

У стандарті WIMAX, використовують дуплексне тимчасове розділення каналів (TDD). У TDD, передачу інформації по лінії «вгору» (UL) і лінії «Вниз» (DL) каналах виконують послідовно через відрізки часу, і відокремлені один від одного захисним інтервалом. Таким чином, переданий кадр розділений на два субкадри. Крім того, в межах субкадру існують зони для частоти R1 і R3 (так звані зони R1 і R3). Вони мають загальні кордони для всіх стільників, що працюють в мережі, таким чином, міжзональні перешкоди між R1 і R3 виключені.

Проте можливі динамічні зміни меж зон, залежно від переміщення користувачів і навантажень в стільнику. Один з ключових аспектів методу FFR: своєчасне перемикання із зони в зону і призначення абоненту зони R1 або R3, яке повинно відповідати якості сигналу і змінам розташування МС. Базова станція (БС) повинна отримувати регулярну сигнальну посилку від мобільної станції (МС), на основі якої БС вирішує, яку з зон надати R1 або R2. При швидкому русі МС швидкість оновлення обробки сигнальних посилок повинна бути більш частішою.

Надання зон в БС для конкретного користувача може бути заснована на декількох параметрах. Ці параметри повинні бути визначені з сигналів посилок від МС до БС. Як впливає зі сказаного, принцип FFR істотніше, для вирішення проблем пов'язаних, з співканальними перешкодами користувачів, що знаходяться на краю стільника. Отже, параметри для призначення зон, розглядаються від БС до МС. БС працює одночасно з обома зонами, як з R1, так R3, налаштовуючи поріг переходу з зони в зону. Однак, головний недолік принципу призначення зон полягає в тому, що якість сигналу не обов'язково корелює з відстанню від БС через ефектів, відомих як швидкі завмирання і затінення.

У процесі оцінки стандарту WIMAX одним з найважливіших параметрів є покриття і досить хороша якість сигналу, яка описує відсоток користувачів, які можуть бути обслуговані.

2.3. Аналіз підходу до оцінки поширення радіосигналу в мережі

У стільникових системах рухомого радіозв'язку виділяють кілька етапів будівництва. Ключовими етапами планування є етап розробки частотного плану, розрахунку пропускної здатності та етап налаштування системи. Дані етапи є єдиними, де проводяться розрахунок прогнозованих зон обслуговування базовими станціями, інтерференційний аналіз і оцінка розподілу напруженості поля.

У зв'язку з роздільністю цих етапів, існує кілька різних методів аналізу радіочастотного покриття. На етапі планування для попередньої оцінки зон обслуговування використовуються різні моделі поширення радіохвиль, на основі яких розробляються потужні засоби розрахунку і прогнозування радіочастотної обстановки. Але як показує практика, розроблені моделі повинні бути адаптовані під досліджувані райони (внесені коригувальні дані що впливають на загасання сигналу). Незважаючи на потужність засобів розрахунку, всі фактори, що визначають точність визначення зон обслуговування, врахувати неможливо. Отже, точність визначення розподілу напруженості поля від цього страждає.

Застосування сучасних систем автоматизованого проектування мереж рухомого радіозв'язку не дає задовільних результатів. Це пов'язано з тим, що багато моделей, закладені в системи проектування, є емпіричними або напівемпіричними, отже, наближеними моделями. Причому, неможливо в дані моделі закласти всю інформацію про досліджуваний район (щільність забудови, тип матеріалів забудови, висотну модель забудови). Якщо ж останні фактори в якійсь мірі є детермінованими, то такі фактори, як погодні умови, рухомі об'єкти, що впливають на поширення радіосигналів, випадкові і не можуть бути закладені в дані моделі. Звідси випливає, що вдосконалення моделей, закладених в системи проектування зон обслуговування базовими станціями в системах рухомого радіозв'язку, є пер-

спективним.

Існують такі підходи до оцінки зон обслуговування базовими станціями в системах рухомого радіозв'язку і діляться на кілька різних груп, які в тій чи іншій мірі застосовуються на різних етапах побудови та обслуговування мереж рухомого радіозв'язку:

1. Натурні вимірювання напруженості поля. Даний підхід заснований на постійному моніторингу розподілу напруженості поля за допомогою проведення натурних вимірів напруженості поля. Вимірам напруженості поля присвячені роботи.

2. Трасувальний підхід. Даний підхід ґрунтується на алгоритмах трасування променів в наближенні геометричної оптики, де початковою точкою трасування променів є планована або досліджувана базова станція (БС).

2. Емпірико-статистичні та аналітичні підходи. Тут за основу названа «модель Окумура - Хата». На основі даної моделі побудований алгоритм розрахунку розподілу напруженості поля '9999', розроблений компанією ERICSSON. У мережах рухомого зв'язку широко застосовуються вимірювання зон покриття. Такі вимірювання, як правило, проводяться на етапі планування, а також у ході експлуатації для аналізу перешкод, при технічному обслуговуванні мережі, при аналізі її розширення і для уточнення зон покриття, в ході перевірки змодельованих за допомогою комп'ютера зон радіохоплення. Термін «вимір напруженості поля» відноситься до трьох основних категорій вимірювань:

1) Виміри, які проводяться з використанням переносних або рухомих установок для отримання відносно миттєвих або короткочасних даних з одного або декількох положень.

2) Вимірювання, що проводяться за допомогою рухомих установок для отримання статичних параметрів зони покриття в зоні дії рухомої станції.

3) Тривалі вимірювання, що передбачають запис напруженості поля і аналіз записаних діаграм. Інтенсивність сигналу між базовою станцією та приймаючими пристроями (не обов'язково мобільними, тому що це можуть бути стаціонарні точки доступу до Інтернет) повинна бути достатньо високою, щоб підтримувати

якість сигналу на приймачі, але при цьому не занадто високою, щоб не створювати сильної інтерференції з каналами інших осередків, які використовують ту ж смугу частот. Інтенсивність сигналу є змінною величиною і поводить ся як функція відстані від базової станції до точки в межах осередку. При проектуванні стільникової мережі повинні враховуватися ефекти поширення сигналу: максимальний рівень потужності передачі на базовій станції та чутливості на приймаючому пристрої; висота антени приймаючого пристрою; висота антени базової станції.

2.4. Розрахунок зони покриття базових станцій

Зробимо розрахунок зони покриття базових станцій по моделі Окумура-Хата.

Проаналізуємо залежність радіусу зони покриття від висоти підвісу антени БС, та від висоти приймальної антени, тому прийомні пристрої мережі WIMAX можуть розташовуватися на висоті. Відмінною від 1,5 м, заявленої в моделі Окумура-Хата.

На території не великого міста, яким є Умань маєт ся не густонаселений центр з 5-ти, 9-ти поверховими будівлями та не великі райони з малоповерховою забудовою і, відповідно до рекомендацій, а ж на підставі практичного досвіду проектування мереж зв'язку стільники мають різні розміри (радіуси зони охоплення).

Розрахунок починається з рішення рівняння передачі для визначення сумарних втрат на трасі поширення радіохвиль.

Розрахунок рівняння передачі.

Основу територіального планування становить енергетичний розрахунок, у процесі якого визначається архітектура мережі та її просторові координати з урахуванням якості обслуговування і інформаційного навантаження. Задану якість прийнятого сигналу визначається чутливістю приймача.

$$P_{\text{прд}} = \frac{P_{\text{прд}} \eta_{\text{фпрд}} G_{\text{апрд}} \xi_{\text{п}} G_{\text{апрм}} \eta_{\text{фпрм}} \xi_{\text{с}}}{L_{\Sigma}}, \quad (2.13)$$

де $P_{\text{прм}}$ – потужність радіосигналу на вході приймача;

$P_{\text{прд}}$ – потужність передавача;

$\eta_{\text{фпрд}}, \eta_{\text{фпрм}}$ ККД передаючого та приймаючого фідеру;

$G_{\text{апрд}}, G_{\text{апрм}}$ – коефіцієнти підсилення антен;

$\xi_{\text{п}}, \xi_{\text{с}}$ - коефіцієнти узгодження антен з радіосигналом по поляризації;

L_{Σ} – сумарне згасання радіохвиль на трасі.

Значення потужності радіосигналу на вході приймача зручно виражати в децибелах відносно мВт. При цьому рівняння приймає вигляд:

$$P_{\text{прм}} \left(\frac{\partial\text{Б}}{\text{Вт}} \right) = P_{\text{прд}} \left(\frac{\partial\text{Б}}{\text{Вт}} \right) + \eta_{\text{фпрм}}(\partial\text{Б}) + G_{\text{апрд}}(\partial\text{Б}) + \xi_{\text{п}}(\partial\text{Б}) + \\ + G_{\text{апрм}}(\partial\text{Б}) + \eta_{\text{фпрм}}(\partial\text{Б}) + \xi_{\text{с}}(\partial\text{Б}) - L_{\Sigma}(\partial\text{Б}), \quad (2.14)$$

За цією формулою визначаються сумарні енергетичні втрати, які виникають на трасі поширення радіохвиль:

$$L_{\Sigma}(\partial\text{Б}) = P_{\text{прд}} + \eta_{\text{фпрд}} + G_{\text{апрд}} + \xi_{\text{п}} + G_{\text{апрм}} + \eta_{\text{фпрм}} + \xi_{\text{с}} - P_{\text{прм}}, \quad (2.15)$$

Необхідні стандартні значення параметрів БС і приймаючого пристрою (ПС) наведені в табл. 2.2.

Рельєф місцевості в зоні обслуговування $\Delta h_{\text{БС}}$ системи рухомого радіозв'язку визначається по карті місцевості з урахуванням розташування антени в місці розташування БС.

Коефіцієнт узгодження антени з радіосигналом по поляризації (для передавача і приймача). $\xi_{\text{п}} = \xi_{\text{с}} = 0,9$.

ККД передавального і приймального фідерів $\eta_{\text{прд}} = \eta_{\text{прм}} = 0,9$. Передбачуваний метод розрахунку емпіричний. Слід мати на увазі, що розрахунки дають задовільний результат для досить протяжної ділянки місцевості, що охоплює всілякі нерівності.

$$L_{\Sigma}(\partial\text{Б}) = 27 + 0,9 + 15,1 + 0,9 + 2 + 0,9 + 0,9 + 101 = 148,7 \text{ дБ.}$$

Визначимо сумарне згасання (сумарні втрати) радіохвиль, як втрати поши-

рення для відповідного типу місцевості L_P і поправки, враховучи рельєф місцевості $L_{РЕЛ}$:

$$L_{\Sigma} = L_P + L_{РЕЛ} \quad (2.16)$$

Таблиця 2.3.

Стандартні значення параметрів БС

Позначення	Найменування та одиниця вимірювання	Значення
$P_{\text{прд}}$	Потужність передатчика (Р 500) БС, дБм	27
$G_{\text{прд}}$	Коефіцієнт підсилення антени БС дБм	15,1
$f_{\text{прд}}$	Смуга робочих частот передачі БС, МГц	5460-5735
$P_{\text{прм}}$	Чутливість приймача АС, дБм	-101
$G_{\text{прм}}$	Коефіцієнт підсилення пр. антени АС, дБм	2

Визначимо поправку, що враховує рельєф місцевості. Для оцінки ступеня ймовірності місцевості використовують параметр h , який визначається як різниця висот (відміток) місцевості, що перевищує на 10 і 90% на певній відстані. У документах ІТУ-Т (Рекомендації 370-4) цю відстань рекомендується відраховувати в межах 10 ... 50 км в напрямку від передавача до точок прийому. У документах його рекомендують брати в межах 30 ... 40 км від наближено передбачуваної межі зони прийому в сторону передавальної станції. Другий підхід кращий, оскільки на рівень сигналу набагато сильніше впливають нерівності місцевості, розташовані перед приймальними антенами. Якщо радіус зони прийому передавальної станції менше 30 км, то параметр визначається по всьому радіусу. На похилих трасах слід відраховувати від лінії, що проходить через середину нерівностей.

Значення Δh зручно знайти із статистичного розподілу висот предметів на місцевості. Вибір висот повинен бути таким, щоб вони охоплювали всі великі предмети (деталі рельєфу). Зазвичай буває достатньо взяти 30 значень висот через 1 км.

За грубою оцінкою параметр Δh дорівнює половині середнього значення висот пагорбів або гір від підшови до вершини на даній ділянці. Параметр Δh , м, дозволяє ввести умовну класифікацію типів місцевості:

- Рівнинна або водна поверхня - 0 ... 25;
- Рівнинно-горбиста (середньо пересічна) - 25 ... 75;
- Горбиста (сильно пересічна) - 75 ... 150;
- Гориста - 150 ... 400;
- Дуже високі гори, не менше - 400;

Рельєф міста в цілому рівнина і параметр Δh візьмем 50. Стандартне відхилення розподілу напруженості поля по місцю розташування згідно Рекомендації 370-4 залежить від ступеня нерівності місцевості і діапазону частот. Для рівнинно-горбистої місцевості в дециметровому діапазоні $L_{\text{рел}}$. 9,3 дБ.

Експериментальні дослідження, проведені для багатьох районів, показують, що для відстаней понад 10 км значення стандартного відхилення можна визначити за формулою для дециметрового діапазону хвиль, дБ:

$$L_{\text{рел}} = 9,5 \lg \left(\frac{\Delta h}{50} \right) + 9 \quad (2.17)$$

По формулі 2.17 знайдем:

$$L_{\text{рел}} = 9,5 \lg \left(\frac{50}{50} \right) + 9 = 9 \text{ дБ}$$

Так як БС встановлені в місцях з різною щільністю забудови, тому в (2.16) слід ввести коефіцієнт $L_{\text{заст}}$, що враховує додаткове ослаблення, що залежить від щільності забудови міста та характеру розташування будівель. Висота будівель і будівельний матеріал надають порівняно невеликий вплив.

Щільність забудови міста (або кварталу) визначають за планом як відно-

шення забудованої частини до загальної площі (рис. 2.9).

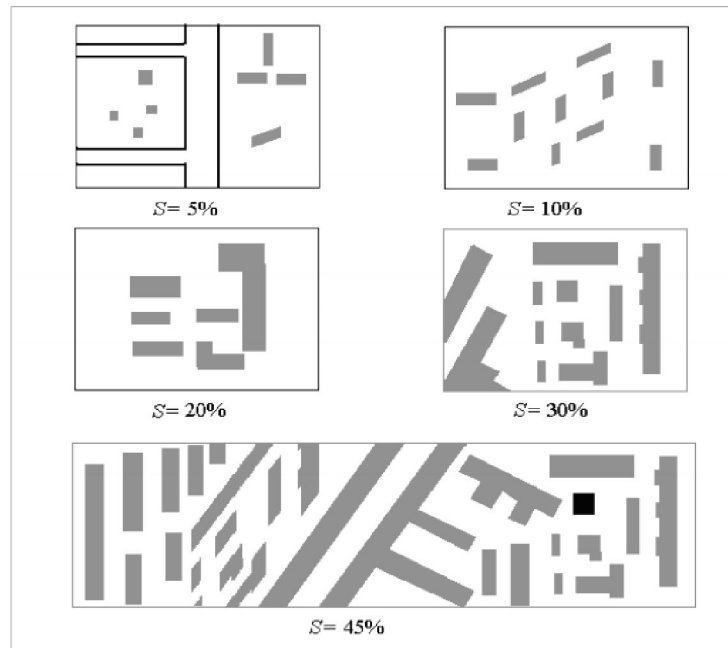


Рисунок 2.9. Приклад щільності забудови міста

З рис. 2.10 видно, що додаткове ослаблення $L_{\text{заст}}$ для дециметрового діапазону хвиль змінюється у великих межах. Для БС 1, розташованої в центрі міста щільність забудови приймаємо рівною 30%, тому $L_{\text{заст}} = 19$ дБ.

Формула (2.16) приймає вид:

$$L_{\Sigma} = L_{\text{р}} + L_{\text{рел}} - L_{\text{заст}}, \quad (2.18)$$

Звідси:

$$L_{\text{р}} = L_{\Sigma} - L_{\text{рел}} + L_{\text{заст}}, \quad (2.19)$$

$$L_{\text{р}} = 148,7 - 9 - 19 = 120,7 \text{ дБ}$$

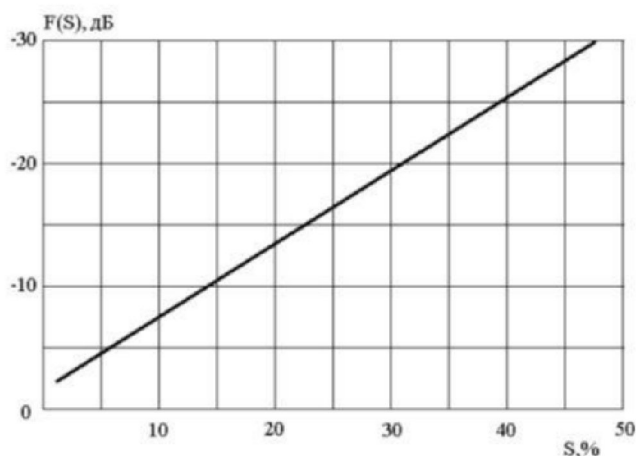


Рисунок 2.10. Залежність додаткового ослаблення напруженості поля в місті від щільності забудови; дециметровий діапазон хвиль $r = 1..10$ км

Для знаходження дальності зв'язку БС дивимся наступний графік для частоти 5.8 ГГц (рис. 2.11).

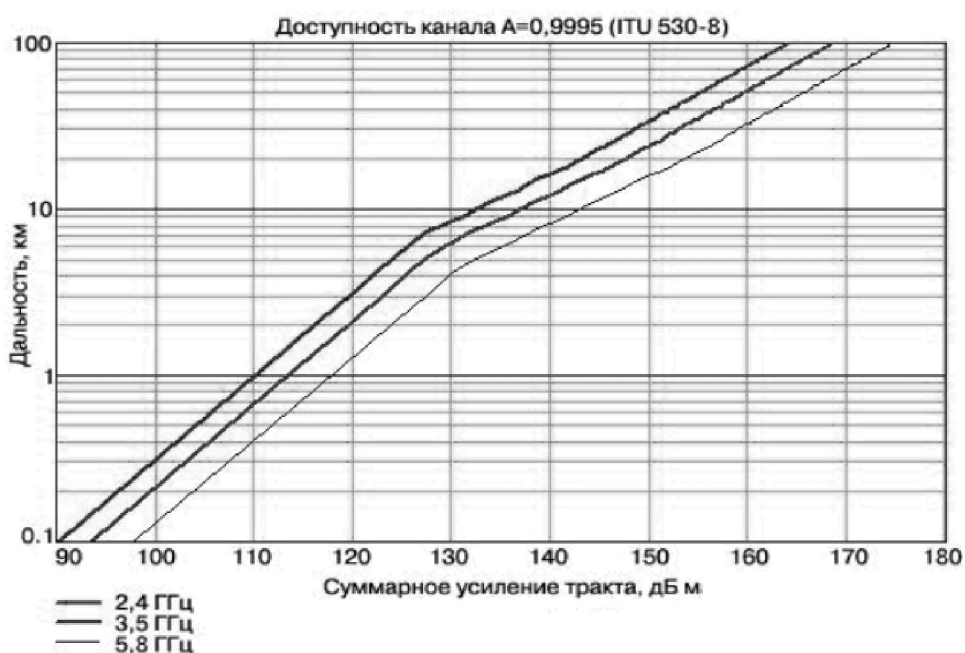


Рисунок 2.11. Графік залежності поширення радіохвиль від сумарного посилення тракту

За графіком (Рисунок 2.11) можна визначити максимальну дальність поширення радіохвиль, при $L_P = 120,7$ дБ $R=1,5$ км.

Формально моделі Окомура і Хата і COST231-Хата можна використовувати тільки для висоти антени базової станції, що перевищує 30 м, проте їх застосування можливе і для більш низьких висот за умови, що сусідні будови значно нижче антени.

2.5. Розрахунок пропускної здатності

Проведемо розрахунок пропускної здатності стандарту IEEE 802.16e. Розрахуємо смугу пропускання при 20 МГц. При 20 МГц, реальна смуга пропускання становить $20 \cdot 28/25 = 22,4$ МГц;

Рознос піднесучих розраховується за формулою: $\Delta f = \frac{22,4}{1024} = 21,875$ кГц;

Тривалість активної частини символу:

$$T_b = 1/\Delta f, \quad (2.20)$$

$$T_b = \frac{1}{\Delta f} = \frac{1}{21,875} \cdot 10 = 45,7 \text{ мкс}$$

Тривалість захисного інтервалу:

$$T_g = \delta \cdot T_b, \quad (2.21)$$

$$T_g = \delta \cdot T_b = 0,125 \cdot 45,7 = 5,7 \text{ мкс.}$$

Тривалість символу:

$$T_s = T_b + T_g = 45,7 + 5,7 = 51,4 \text{ мкс.}$$

Загалом в 5 мс кадрі символів становить: $5 \cdot \frac{10^{-3}}{51,4} \cdot 10^{-6} = 96$ символів.

У табл. 2.4 наведені параметри пакетів, що використовуються в WiMAX.

Параметри пакетів

Параметри	Значення
Смуга, МГц	20
Кількість піднесучих:	1024
-для передачі трафіку	720
-пілотні несучі	120
-захисний інтервал	184
Рознесення піднесучих	21,875
Тривалість перетворення імпульсу, мкс	45,7
Тривалість захисного інтервалу, мкс	4,7
Тривалість ОЧР символу, мкс	51,4
Всього символів в 5 мс кадру	96
Запас по частоті	28,25

Для розрахунку сумарної швидкості передачі вниз необхідно врахувати, що при направленні вниз з 96 символів використовується 72, а при направленні вгору 24 символів. Також враховуємо, що на преамбулу і на MAP в загальній складності відводиться 2 ОЧР символу з 72, тобто залишиться 70 символу на передачу трафіку.

У стандарті WIMAX використовується вісім модуляційно – кодуючих схем. У табл. 2.5 наведені значення швидкостей для смуги 20 МГц і ймовірності використання модуляційно - кодуючих схем.

Необхідно дізнатися, скільки біт буде передано в одному кадрі вниз, що дозволить розрахувати середню швидкість передачі. Наприклад, для модуляційно - кодуючої схеми 4-ФМ із швидкістю кодування 1/2 кожен символ передає дані про один біт. Якщо використовують модуляцію 4-ФМ зі швидкістю кодування 3/4, то один символ передає 1,5 біта. Уточнимо, що мова йде про закодовані біти. Знайдемо середньостатистичне число біт на символ. Воно становить 2,2 біта. Як впливає з табл. 2.4, для передачі трафіку використовується 720 піднесучих і 30

підканалів. Простіше кажучи, один ОЧР символ складається 720 символів. У напівкадрі вниз мається 70 символів. Це означає, що в напівкадрі буде $I_D = 720 \cdot 70 = 50400$ символів. При цьому один елементарний символ передає в середньому 2,2 інформаційного біта. Далі розрахуємо, скільки в середньому біт припадає на півкадр, в напрямку вниз:

$$I_{DL} = k_i \cdot I_D \quad (2.22)$$

$$I_{DL} = 2,2 \cdot 50400 = 110880 \text{ біт.}$$

Таблиця 2.3.

Число біт на символ при відповідній модуляції

Смуга 20 МГц	Модуляційно – кодуєча схема							
	4-FM, 1/2	4-FM, 3/4	16- QAM, 1/2	64- QAM, 3/4	64- QAM, 1/2	64- QAM, 2/3	64- QAM, 3/4	64- QAM, 5/6
Сер. число інф.біт на символ, k_i	1	1,5	2	3	3	4	4,5	5
Ймовірність	0,15	0,30	0,26	0,12	0,7	0,5	0,3	0,2

Середня передача вниз становить:

$$R_{DL} = \frac{I_{DL}}{\tau}, \quad (2.23)$$

де I_{DL} – середня кількість інформації на півкадр (вниз);

τ – 5мс кадр.

$$R_{DL} = \frac{110880}{5} \cdot 10^{-6} = 22,18 \text{ Мбіт/с}$$

Так як 10-12% каналного ресурсу виділяють для передачі сигналізації, за-

гальна швидкість передачі трафіку складе:

$$R_{DL} = 22,18 \cdot 0,9 = 19,96 \text{ Мбіт/с.}$$

У нашому випадку, тобто при комбінованому плануванні рис. 2.12 потрібно розрахувати пропускну здатність в центрі і на краю стільника, оскільки пропускну здатність буде різною у зв'язку з тим, що в центрі стільника використовуються всі доступні піднесучі, а на краю тільки 1/2. Ще один фактор різної пропускну здатності в центрі і на краю стільника, це використання модуляційно - кодуєчих схем. Як видно на рис. 2.12, в темній частина стільника - використовуються 16-QAM і 64-QAM модуляційно - кодіруючі схеми, на краю використовується 4-ФМ схема.

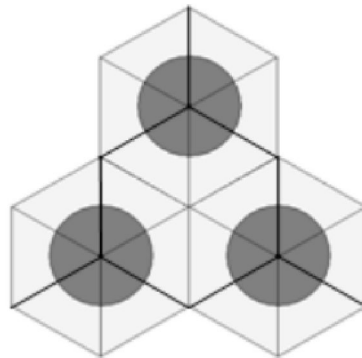


Рисунок 2.12. Стільники при комбінованому плануванні

Зробимо розрахунок на підставі сказаного.

Середня швидкість передачі в напрямку вниз (DL) в центрі стільника.

Смуга пропускання так само, становить 20 МГц. Середньостатистичне число біт на символ в центрі стільника рівне 3,5 біт.

Середнє значення біт на півкадр в напрямку вниз:

$$I_{DL} = k_i \cdot I_D \quad (2.24)$$

$$I_{DLc} = 3,5 \cdot 50400 = 176400 \text{ біт}$$

Середня швидкість передачі вниз в центрі стільника:

$$R_{DLc} = \frac{I_{DLc}}{\tau}, \quad (2.25)$$

$$R_{DLc} = \frac{176400}{5} \cdot 10^{-6} = 35,3 \text{ Мбіт/с.}$$

Середня швидкість передачі в напрямку вниз на краю стільника. Так як на краю стільників використовуються 1/3 з усіх доступних піднесучих, то в цьому випадку число піднесучих рівне 240.

Середнє значення біт на півкадр в напрямку, аналогічно вниз за формулою (2.22):

$$I_{DLk} = 1,5 \cdot 240 \cdot 70 = 25200 \text{ біт.}$$

Середня швидкість передачі на краю стільника в напрямку вниз складе:

$$R_{DLk} = \frac{25200}{5} = 5,05 \text{ Мбіт/с.}$$

Середня швидкість передачі в напрямку вгору (UL) в центрі стільника. Смуга пропускання так само, становить 20 МГц. Середньостатистичне число біт на символ в центрі стільника рівне 2.5 біт.

Середнє значення біт на полукадр в напрямку вгору за формулою (2.22):

$$I_{ULc} = 3,5 \cdot 24 \cdot 720 = 60480 \text{ біт.}$$

Середня швидкість передачі в напрямку вгору в центрі стільника (2.23):

$$R_{ULk} = \frac{60480}{5} \cdot 10^{-6} = 12,096 \text{ Мбіт/с.}$$

Також на краю стільників використовуються 1/3 з усіх доступних піднесучих, і в цьому випадку число піднесучих рівне 240.

Середнє значення біт на полукадр в напрямку вниз (2.22):

$$I_{ULk} = 1,5 \cdot 240 \cdot 24 = 8640 \text{ біт.}$$

Середня швидкість передачі на краю стільників в напрямку вниз складе (2.23):

$$R_{ULk} = \frac{8640}{5} \cdot 10^{-6} = 1,728 \text{ Мбіт/с.}$$

У табл. 2.4 наведені швидкості передачі для модуляційно -кодуючих схем з шириною смуги 20 МГц.

Таблиця 2.4.

Пропускна здатність каналів

Смуга 20 МГц	Модуляційно – кодуюча схема							
Вид модуляції	4-FM, 1/2	4-FM, 3/4	16-QA, 1/2	64-QAM, 3/4	64-QAM, 1/2	64-QAM, 2/3	64-QAM, 3/4	64-QAM, 5/6
DL, Мбіт/с	10,08	15,12	20,16	30,24	30,24	40,32	45,36	50,4
UL, Мбіт/с	3,456	5,184	6,912	10,368	10,368	13,824	15,552	17,28

З табл. 2.4 видно, що максимальна швидкість передачі даних при при смузі частот 20 МГц, дорівнює $R_{max} = 50,4 + 17,28 = 67,68$ Мбіт/с, значення, близьке до значення наведене в характеристиках обладнання SkyMan. Ми використовуємо 6-секторні базові станції з антенами, ширина діаграми спрямованості яких становить 60° . Тоді в цьому випадку, пропускна здатність однієї базової станції буде: $R_{BC} = 67,68 \cdot 6 = 406,08$ Мбіт/с.

2.6. Розрахунок необхідної кількості БС, для повного радіопокриття

Як вже з'ясувалося з розділу 2.4, максимальна дальність поширення радіохвиль антени базової станції $r = 1,5$ км. Площа одного стільника буде обчислюватися за формулою:

$$S_0 = \pi \cdot r^2 \quad (2.24)$$

$$S_0 = 3,14 \cdot 1,5^2 = 7,065 \text{ км}^2$$

Площа території де здійснюється проектування мережі WIMAX дорівнює $S = 41 \text{ км}^2$

Тоді кількість БС буде відповідати кількості стільників:

$$N = \frac{S}{S_0}, \quad (2.25)$$

$$N = \frac{41}{7,065} \approx 6 \text{ стільників.}$$

Але так як територія міста має неправильну форму для повного покриття довелося додати ще 3 базові станції, що додатково дозволить підключити більше потенційних абонентів.

Технічні можливості обладнання SkyMAN дозволяють підключити до одного сектору базової станції 150 абонентських станцій. Тоді на одну БС припадає максимальна кількість абонентів $N_{аб} = 900$. Тобто вся мережа може вклучити в себе $N_{п.аб} = 900 \cdot 9 = 8100$ потенційних абонентів. Що становить 9% всього населення міста.

Тепер зробимо розрахунок навантаження на проектувану мережу (рис. 2.13).

Середню плановану пропускну спроможність R_N проектуваної мережі визначимо шляхом множення кількості БС на середню пропускну здатність БС. Формула прийме вигляд:

$$R_N = R_{БС} \cdot N, \quad (2.26)$$

$$R_N = 406,08 \cdot 9 = 3654,72 \text{ Мбіт/с.}$$

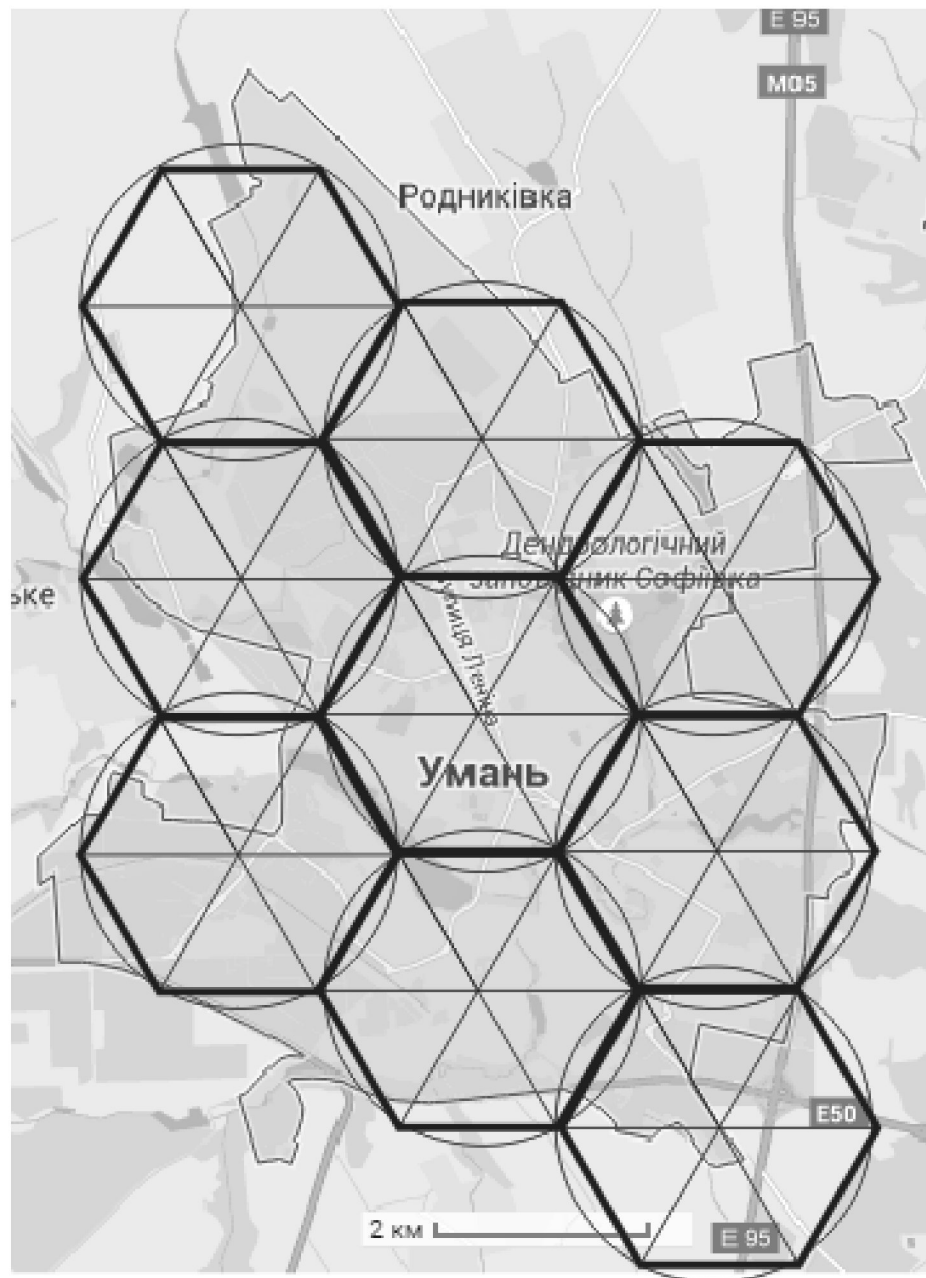


Рисунок 2.12. План проектування і розміщення БС на території міста

2.7. Розрахунок капітальних вкладень

Капітальні вкладення - це кошти, які спрямовані на придбання нових підприємств; організацію нових проектів; розширення, реконструкцію і технічне обладнання діючих підприємств.

У нашому випадку це кошти, витрачені на побудову багатоканальної безпроводової мережі на технології WIMAX, на придбання обладнання фірми

InfINET Wireless - SkyMAN, а так само телекомунікаційних шаф, стійок та ін.

Основне виробниче обладнання проекрованої мережі представлено в табл. 2.5.

Таблиця 2.5.

Виробниче обладнання проекрованої мережі

Назва	Одиниці ви- міру	Кількість	Ціна за оди- ницю	Сума, грн
Комплект обладнан- ня (ASN шлюз, AAA, NETSPAN, керування мережею)	шт.	1	1400000	1400000
Обладнання для БС SkyMAN R5000	шт.	54	12000	648000
Телекокомунікаційна стійка СТК-49.2-9005	шт.	9	37000	333000
Секторно антена для БС SkyMAN/CA	шт.	54	28000	1512000
ПК с ОС Windows 8.1	шт.	3	12000	36000
Шкаф для монтажу обладнання	шт.	9	15000	135000
Коаксіальний кабель LMR 400	м.	1000	90	90000
Всього:				4154000

Капітальні вкладення включають в себе вартість обладнання, його монтаж і транспортування. Для цієї мети спочатку складаються кошториси обсягів робіт та придбання обладнання. Інвестиції, як нам відомо - це капітальні вкладення, включають в себе:

$$K_{\text{вкл}} = C_{\text{об}} + C_{\text{уст}}, \quad (2.28)$$

де $C_{\text{об}}$ – вартість придбаного обладнання;

$C_{\text{уст}}$ - витрати на транспортування, експлуатацію та монтажу даного обладнання, визначається укрупненим методом і береться рівним 10% від початкової вартості обладнання. Вартість на основне обладнання вказана з урахуванням транспортних витрат та митного оформлення.

$$C_{\text{уст}} = C_{\text{об}} \cdot 0,1, \quad (2.29)$$

За формулою 2.29 знаходимо: $C_{\text{уст}} = 415400$.

Таким чином капітальні вкладення згідно формули 2.1 складають:

$$K_{\text{вкл}} = C_{\text{об}} + C_{\text{уст}} = 4154000 + 415400 = 4569400 \text{ грн.}$$

2.8. Розрахунок експлуатаційних витрат

2.8.1. Експлуатаційні витрати

Експлуатаційні витрати - це витрати, пов'язані з експлуатацією техніки підприємства зв'язку.

До даних витрат відносяться такі витрати:

- Матеріальні витрати (витрати на оплату електроенергії);
- Заробітна плата персоналу (фонд оплати праці);
- Соціальний внесок;
- Амортизаційні відрахування;
- Інші витрати

В процесі обслуговування, експлуатації та надання послуг зв'язку здійснюється діяльність, що вимагає витрат ресурсів підприємства.

Експлуатаційні витрати визначимо за формулою:

$$E_p = ЗП + C_v + A + M + C_{\text{ен}} + C_{\text{адм}} + C_p, \quad (2.30)$$

- де ЗП – основна і додаткова заробітня плата персоналу;
 C_v – соціальний внесок;
 A – Амортизаційні відрахування;
 $C_{ен}$ – витрати на електроенергію;
 $C_{адм}$ – інші адміністративні та управлінські витрати;
 C_p – витрати на рекламу.

2.8.2. Фонд оплати праці

Витрати на оплату праці в себе включають:

- Оплата праці основного виробничого персоналу, включаючи премії робітників і службовців, науковців за виробничі та наукові результати;
- Оплата праці не складаються в штаті співробітників, зайнятих в основній діяльності;
- Стимулюючі і компенсуючі виплати, у тому числі:
 - 1) компенсації з оплати праці у зв'язку з підвищенням цін і індексації доходів у межах норм, передбачених законом;
 - 2) компенсації виплачуються жінкам, які перебувають у частково оплачуваній відпустці по догляду за дитиною;
 - 3) лікарняні, відпускні та відрядні компенсації.

До витрат з оплати праці відносяться різні платежі за договорами обов'язкового страхування, добровільного, довгострокового страхування, пенсійного страхування, пенсійного недержавного страхування, і ін. Для обслуговування обладнання мережі безпроводового доступу необхідний штат з 9 осіб. Для обчислення заробітної плати наведемо середньомісячні оклади в м. Умань, обслуговуючого персоналу, які зведемо в табл. 2.6.

Заробітна плата обслуговуючого персоналу

Посада	Кількість чоловік	Місячна заробітня плата	Річна заробітня плата
Провідний інженер	1	16000	72000
Інженер	2	14000	96000
Оператори	4	12500	120000
Електро-монтер	2	12500	60000
Всього:	9	29000	348000

Основна заробітня плата за рік складе: $ЗП_{осн} = 348000$ грн.

В річний фонд заробітної плати включається додаткова заробітна плата (робота у святкові дні, понаднормові і т.д.) в розмірі 30% від основної заробітної плати.

Отже, маємо:

$$ЗП_{дод} = ЗП_{осн} \cdot 0,3 = 104400 \text{ грн.} \quad (2.31)$$

Так само при розрахунку фонду заробітної плати слід врахувати премії для виплати працівникам (25%):

$$П = ЗП_{осн} \cdot 0,25 = 87000 \text{ грн.} \quad (2.32)$$

Загальна заробітня плата складається з основної та додаткової заробітної плати та премії:

$$ЗП = ЗП_{осн} + ЗП_{дод} + П, \quad (2.33)$$

$$ЗП = 348000 + 104400 + 87000 = 539400$$

2.2.2. Амортизація, матеріальні витрати і витрати на електроенергію.

Витрати на річну амортизацію розраховуються за формулою:

$$A_M = \frac{C_{\text{осн.ср}}}{C_c}, \quad (2.34)$$

де $C_{\text{осн.ср}}$ – вартість основних засобів (первична вартість);

C_c - термін служби, який формується по групах основних засобів: засоби радіозв'язку 7-10 років.

З формули 2.7 обчислимо амортизацію засобів радіозв'язку:

$$A_M = \frac{4569400}{10} = 456940 \text{ грн.}$$

Витрати на матеріали і запасні частини знаходяться в розмірі 2% від вартості комутаційного обладнання:

$$M = 4569400 \cdot 0,02 = 91388 \text{ грн.} \quad (2.35)$$

Витрати на оплату електроенергії з боку виробничих потреб визначаються виходячи з потужності, споживаної обладнанням мережі зв'язку, часу роботи підприємства і тарифів на електроенергію в м. Умань.

$$C_{\text{ел}} = n \cdot W \cdot T \cdot S, \quad (2.36)$$

де W - споживана потужність базових станцій, $W=420$ Вт.

T - кількість годин роботи обладнання на рік, $T = 8760$ годин;

S – вартість кіловатт-години електроенергії, $S=0,36$ коп за кВт год.

n – кількість станцій.

Так як в структуру мережі входять пасивні елементи, отже витрати на електроенергію не такі великі:

$$C_{\text{ел}} = 0,36 \cdot 0,42 \cdot 8760 \cdot 9 = 11920,608 \text{ грн.}$$

Вартість інших експлуатаційних витрат становить 30% від річного фонду

заробітної плати:

$$C_{\text{адм}} = ЗП \cdot 0,3 = 539400 \cdot 0,3 = 161820 \text{ грн/рік} \quad (2.37)$$

Таким чином, річні експлуатаційні витрати складуть:

$$З_p = ЗП + C_n + A + M + C_{\text{ел}} + C_{\text{адм}} + P, \quad (2.38)$$

Результати виконаних розрахунків занесемо в табл. 2.7.

Таблиця 2.7.

Перелік витрат

Показник	Сума, грн	Питома вартість, %
ЗП	539400	41
Амортизаційні витрати	456940	34
Матеріальні витрати	91388	7
Затрати на електроенергію	11920,60	1
Вартість інших експлуатаційних витрат	161820	13
Витрати на рекламу	50000	4
Всього:	1311468,60	100

3. ОЦІНКА МІНІМАЛЬНО НЕОБХІДНОГО ЧАСТОТНОГО РЕСУРСУ ДЛЯ СТВОРЕННЯ МЕРЕЖ БЕЗПРОВОДОВОГО ДОСТУПУ ТЕХНОЛОГІЇ WIMAX

3.1 . Визначення необхідного радіочастотного ресурсу

Задача визначення необхідного радіочастотного ресурсу для створення мереж безпроводового доступу є актуальною для операторів зв'язку на етапі проектування мереж.

Мережа безпроводового доступу одного оператора зв'язку в загальному випадку являє собою сукупність довільної кількості базових станцій, зони обслуговування яких покривають яку-небудь територію [1].

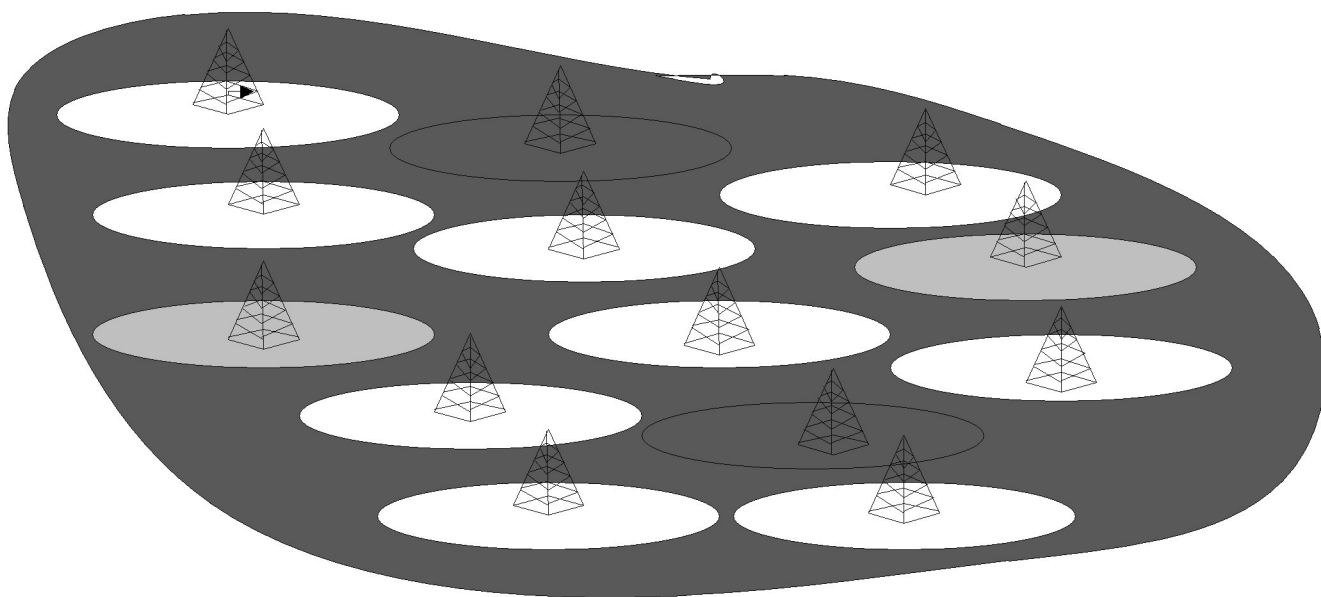


Рисунок 3.1. Приклад мережі безпроводового доступу

Для більше ефективного використання радіочастотного спектру в мережах практикується повторне використання радіочастот різними базовими станціями. Для систем безпроводового доступу технології WiMAX рекомендується використання трьох або шести секторних зон (стілень). Це дозволяє знизити рівень внутрішньосистемних перешкод і більш ефективно використовувати частотний ресурс мережі, частіше повторюючи частоти в стільниках. Крім того, у більшості випадків розподіл потенційних користувачів послуг безпроводового доступу ви-

являється нерівномірним. Для цього у районах з більш інтенсивним трафіком зменшують зони обслуговування базових станцій. Ці, а також ряд інших кліматичних, географічних, інфраструктурних, економічних факторів приймаються до уваги при територіальному плануванні мережі безпроводового доступу. Виключити невизначеність, пов'язану з територіальним плануванням можна, якщо припустити, що обслуговування всієї території (населеного пункту, району, області, краю тощо) здійснюється однією базовою станцією. При цьому приймається умова, що енергетика радіоліній у будь-якій точці, що обслуговується, достатня для реалізації можливостей обладнання в частині заявленої системної ємності і забезпечення необхідної якості надання послуг зв'язку. Розрахунок величини необхідного частотного ресурсу при таких вихідних даних дозволить для заданої кількості користувачів мережі і асортиментів надаваних їм послуг з певними параметрами трафіку, одержати її верхню межу.

Потім, використовуючи інформацію про максимальну кількість частотних каналів, необхідно розробити початкове наближення територіального плану мережі безпроводового доступу. При побудові такого початкового наближення будемо вважати постійними щільність абонентського трафіку по території обслуговування і відповідно, розміри всіх стільників мережі, а територію місцевості однаковою (відкрита місцевість, приміський район, міська забудова). Для підвищення точності початкового наближення територіального плану мережі безпроводового доступу потрібно всю територію обслуговування умовно розбити на фрагменти, де прийняті вище допущення можна вважати прийнятними.

Основним завданням етапу початкового наближення є вибір такого типу і розмірності кластерів, які визначають архітектуру мережі в цілому та модель частотного призначення, а також розрахунок просторових параметрів чарунок та комірок (секторів), при яких величина коефіцієнта перевикористання частотного спектра приймало б максимальне значення.

Формальна постановка такого завдання може бути представлена в наступному вигляді:

$$K_{пер}(z\{N_{клатер}, N_f, M\}) \rightarrow \max \Rightarrow z_{опт}, z \in Z \quad (3.1)$$

$$R_{чарунки} = R_{чарунки_мін}, S = S_{зони} \quad (3.2)$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{осн_канал} \geq \left(\frac{C}{N}\right)_{осн_канал_треб}, \quad (3.3)$$

де z – вектор параметрів кластера;

Z – припустима множина значень вектора z ;

$N_{клатера}$ – розмірність кластера;

N_f – число частотних каналів у кластері;

M – число секторів у чарунці;

$R_{чарунки}$ – радіус зони обслуговування однієї базової станції;

$\left(\frac{C}{N}\right)_{осн_канал}$ – відношення потужності корисного сигналу до потужності завад, які створюються станціями мереж безпроводового доступу, що заважають по основному каналі прийому;

$\left(\frac{C}{N}\right)_{осн_канал_треб}$ – необхідне відношення потужності корисного сигналу до потужності завад по основному каналі прийому;

$S_{зони}$ – площа зони обслуговування мережі безпроводового доступу.

Рішення сформованої вище оптимізованої задачі дозволить визначити нижню границю необхідного частотно ресурсу для мережі безпроводового доступу технології WiMAX за допомогою наступної формули

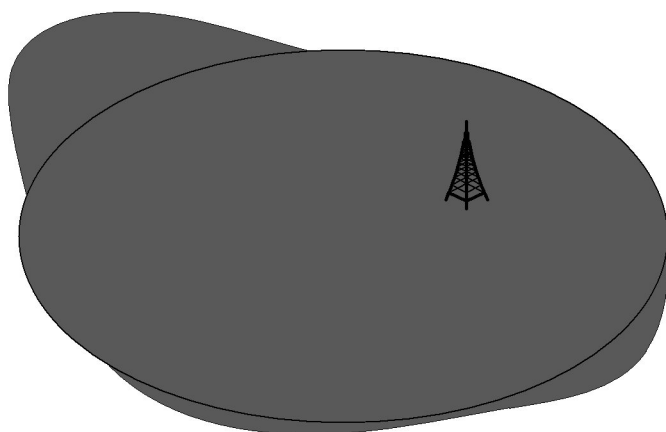
$$\Delta F_{\min} = \frac{\Delta F_{\max}}{K_{пер_max}} \quad (3.4)$$

Таким чином, методика оцінки необхідного частотного ресурсу для мереж безпроводового доступу технології WiMAX буде складатися із двох етапів:

– 1 етап: розрахунок верхньої межі величини необхідного частотного ресурсу.

– 2 етап: розрахунок нижньої межі величини необхідного частотного ресур-

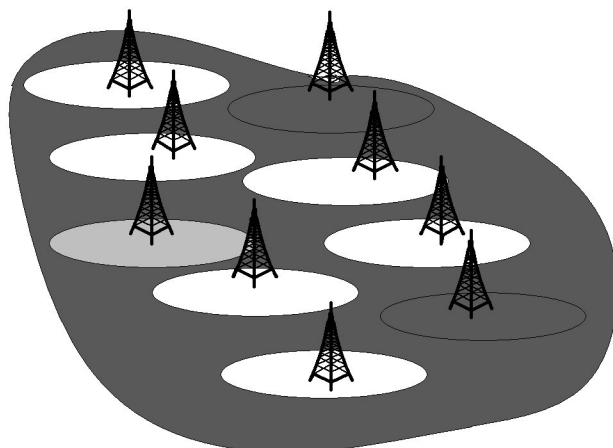
су.



1 етап:

Розрахунок верхньої межі
величини необхідного ча-
стотного ресурсу

$$\Delta F_{\max} \Rightarrow \{f_1, f_2, f_3 \dots f_n\}$$



2 етап:

Розрахунок нижньої межі
величини необхідного ча-
стотного ресурсу

$$\Delta F_{\min} = \frac{\Delta F_{\max}}{K_{\text{пер_max}}}$$

Рисунок 3.2. Зміст методики розрахунку необхідного частотного ресурсу

3.2 . Методика розрахунку верхньої та нижньої межі величини необхідного частотного ресурсу

Рішення завдання визначення верхньої межі величини необхідного частотного ресурсу складається у визначенні окремих потреб у частотному ресурсі для кожного типу послуг (F_s), що планується надавати в рамках даної мережі в даній географічній області та об'єднання безлічі окремих потреб F_s разом у загальну потребу в спектральному ресурсі F_{Σ} шляхом їхнього додавання.

Таким чином, необхідний частотний ресурс може бути оцінений по наступній формулі

$$F_{\Sigma} = \Sigma F_s = \Sigma V_s / S_0, [\text{МГц}], \quad (3.5)$$

де індекс "s" відбиває залежність параметрів від підтримуваних типів пос-

луг;

V_s – швидкість передачі (трафік) у зоні обслуговування (чарунці) однієї базової станції, необхідна для надання s-ої послуги, Мбіт/с/чарунка;

S_0 – спектральна ефективність використовуваного типу устаткування, Мбіт/с/МГц/чарунка.

Вираз справедливий для режиму комутації каналів і пакетів та містить можливість обліку асиметричності трафіку у висхідному і низхідному напрямках. Висхідний напрямок - напрямок передачі від абонентської станції (АС) до базової станції (БС). Низхідний напрямок – передача від БС до АС.

Вихідні дані, необхідні для визначення параметрів V_s і S_0 , що входять у вираз, представлені в табл. 3.1 та 3.2.

Таблиця 3.1.

Перелік параметрів обладнання безпроводового доступу, що використовується

Назва параметра	Одиниці вимі- ру	Умовна позна- чка
Спектральна ефективність обладнання безпроводового доступу	Мбіт/с/МГц	S_0
Ширина смуги радіоканалу за рівнем -3 дБ	МГц	Δf
Максимальна канална швидкість передачі	Мбіт/с	$V_{\text{макс}}$
Системна надмірність	%	R

Параметри для розрахунку необхідної швидкості передачі в зоні обслуговування однієї базової станції для надання s-ої послуги, V_s

Найменування параметра	Одиниці виміру	Умовна позначка
Кількість користувачів s-ої послуги;		Q_s
Параметри трафіку в низхідному напрямку на одного користувача, що підписався на s-у послугу (від БС до АС)		
Необхідна швидкість передачі для надання s-ої послуги користувачеві мережі	Мбіт/с	$V_{0-низх-s}$
Навантаження, що поступає в годину найбільшого навантаження (ГНН)	Викликів/год	$\lambda_{0-низх-s}$
Тривалість сеансів зв'язку	С	$\mu_{0-низх-s}$
Коефіцієнт активності	%	$k_{0-низх-s}$
Параметр якості обслуговування – припустима тривалість затримки пакетів – імовірність відмови обслуговування заявки	С	$T_{0-низх-s}$ $P_{0-низх-s}$
Параметри трафіку у висхідному напрямку на одного користувача, що підписався на s-у послугу (від АС до БС)		
Необхідна швидкість передачі для надання s-ої послуги користувачеві мережі	Мбіт/с	$V_{0-висх-s}$

Параметри для розрахунку необхідної швидкості передачі в зоні обслуговування однієї базової станції для надання s-ої послуги, V_s

Навантаження, що поступає в годину найбільшого навантаження (ГНН)	Викликів/год	$\lambda_{0-визх-s}$
Тривалість сеансів зв'язку	С	$\mu_{0-визх-s}$
Коефіцієнт активності	%	$k_{0-визх-s}$
Параметр якості обслуговування – припустима тривалість затримки пакетів – імовірність відмови обслуговування заявки	С	$T_{0-визх-s}$ $P_{0-визх-s}$

Послідовність обчислень необхідної швидкості передачі V_s у зоні обслуговування однієї базової станції може бути представлена наступним чином.

Обчислення навантаження на одного абонента

Даний параметр інтерпретується як імовірність того, що абонент здійснює виклик і активний протягом ГНН. Параметр виражається в Ерлангах для режиму комутації каналів, а для служб із пакетною комутацією має еквівалентну інтерпретацію як середня тривалість активного стану в період, що відповідає ГНН [2].

Величина навантаження на одного абонента обчислюється для кожного типу послуг у низхідному і висхідному напрямках за наступними виразами

$$P_{0-низх-s} = \lambda_{0-низх-s} \cdot \mu_{0-низх-s} \cdot k_{0-низх-s}, [c] \quad (3.6)$$

$$P_{0-визх-s} = \lambda_{0-визх-s} \cdot \mu_{0-визх-s} \cdot k_{0-визх-s}, [c] \quad (3.7)$$

Обчислення навантаження на чарунку

Даний параметр являє собою сумарний трафік в одній чарунці, що доводиться на s-у послугу в ГНН:

$$\rho_{\Sigma\text{-низх-}s} = Q_s \cdot \rho_{\theta\text{-низх-}s}, \text{ [Ерл]} \quad (3.8)$$

$$\rho_{\Sigma\text{-визх-}s} = Q_s \cdot \rho_{\theta\text{-визх-}s}, \text{ [Ерл]} \quad (3.9)$$

Обчислення необхідної каналної ємності осередку.

Канальна ємність осередку являє собою необхідне число еквівалентних каналів для обслуговування навантаження в рамках конкретного типу послуг “s” р відповідними даній послугі швидкостями передачі $V_{\theta\text{-низх-}s}$ або $V_{\theta\text{-визх-}s}$ у низхідному і висхідному напрямках.

Для систем з комутацією каналів, розрахунок каналної ємності чарунки рекомендується здійснювати на основі формули Ерланга:

$$p = \frac{\rho^n}{n!} \cdot \frac{1}{\sum_{i=0}^n \frac{\rho^i}{i!}}, \quad (3.10)$$

де ρ – навантаження в чарунці;

n – кількість каналів, що характеризують каналну ємність чарунки;

p – ймовірність відмови обслуговування.

Такий же спосіб розрахунку каналної ємності може бути використаний і для деяких видів послуг, що реалізують принцип комутації пакетів. Наприклад, всі послуги, пов’язані з передачею мови.

Для систем з комутацією пакетів визначення кількості еквівалентних каналів рекомендується здійснювати за наступним виразом

$$n_{\text{кан-низх-}s} = \text{округлен_вгору}(\rho_{\Sigma\text{-низх-}s}, 1) \quad (3.11)$$

$$n_{\text{кан-визх-}s} = \text{округлен_вгору}(\rho_{\Sigma\text{-визх-}s}, 1) \quad (3.12)$$

Визначення необхідної ємності еквівалентних каналів передачі

Для забезпечення вимог якості обслуговування ємність еквівалентних кана-

лів передачі повинна бути більше або дорівнювати швидкостям передачі $V_{0-низх-s}$ або $V_{0-висх-s}$ – у низхідному і висхідному напрямках відповідно.

Якщо відсутні точні дані про величину надмірності в каналі зв'язку, рекомендується приймати її рівною 10%. У цьому випадку ємність еквівалентних каналів передачі буде визначатися за наступним виразом:

$$V_{0-екв-низх-s} = 1.1 V_{0-низх-s} \quad (3.13)$$

$$V_{0-екв-висх-s} = 1.1 V_{0-висх-s} \quad (3.14)$$

Визначення необхідної ємності чарунки

На цьому кроці поєднується весь трафік з урахуванням всіх факторів: планованих типів послуг, вимог якості обслуговування, надмірності каналів передачі, особливостей висхідних і низхідних напрямків. Обчислення необхідної ємності чарунки проводиться таким чином:

$$V_{\Sigma} = \sum_s V_s \quad (3.15)$$

$$V_s = n_{кан-низх-s} V_{0-екв-низх-s} + n_{кан-висх-s} V_{0-екв-висх-s} \quad (3.16)$$

Системна ємність обладнання являє собою максимальну, сумарну швидкість передачі інформації, яка забезпечується даним типом обладнання в режимі множинного доступу, що доводиться на один типовий радіоканал. Даний параметр пов'язаний зі спектральною ефективністю мережі зв'язку, але також може залежати і від безлічі інших факторів, у тому числі, включених у характеристику типу послуг "s". Для точного визначення системної ємності обладнання проводиться імітаційне (натурне) моделювання мережі зв'язку.

Спрощений спосіб розрахунку системної ємності обладнання безпроводового доступу, що дає прийнятну точність, яка розраховується за виразом

$$S = V_{кан}(1 - R/100), \quad (3.17)$$

де $V_{кан}$ – максимальна канална швидкість передачі, Мбіт/с;

R – системна надмірність, %.

Максимальна канална швидкість передачі визначається виробниками устаткування або технічними стандартами обладнання безпроводового доступу.

У деяких типах обладнання безпроводового доступу реалізована процедура автоматичного вибору швидкості передачі залежно від якості радіолінії. У таких системах вилучені абонентські станції працюють на менших швидкостях, щоб забезпечити необхідну якість радіоканалу. У цьому випадку доцільно говорити про середню системну ємність обладнання безпроводового доступу.

Вираз для розрахунку середньої системної ємності БС має такий вигляд

$$S_{cp} = \sum_i q_i S_i, \quad (3.18)$$

де q_i – кількість абонентських станцій, що працюють на однакових швидкостях передачі S_i .

Якщо прийняти, що абонентські станції рівномірно розподілені в зоні обслуговування, то вираз для розрахунку середньої системної ємності прийме наступний вид

$$S_{cp} = \frac{1}{C} \sum_i C_i S_i, \quad (3.19)$$

де C – площа зони обслуговування базової станції, км²;

C_i – площа зони обслуговування, на якій забезпечується однакова швидкість передачі для абонентських станцій безпроводового доступу, км².

Остаточний вираз для розрахунку верхньої межі необхідної кількості радіочастот для створення мережі безпроводового доступу:

$$N_{\Sigma} = \text{округлення_вгору}(F_{\Sigma}/\Delta f), \quad (3.20)$$

$$\text{або } N_{\Sigma} = \text{округлення_вгору}(\Sigma V_s / (S \Delta f)), \quad (3.21)$$

де Δf – ширина смуги радіоканалу обладнання, МГц/осередок;
 S – системна ємність обладнання; Мбіт/с/канал/чарунку;
округлення_вгору – функція округлення до найбільшого цілого.

В основі оцінки нижньої межі частотного ресурсу, необхідного для створення мережі безпроводового доступу, як було відзначено раніше, лежить рішення оптимізованої задачі для визначення максимального коефіцієнта перевикористання $K_{пер_max}$.

Розробка спеціальних методів рішень задачі для визначення максимального коефіцієнту перевикористання K виходить за рамки даної роботи. У даному розділі, на основі типових характеристик РЕС безпроводового доступу технології WiMAX, досліджуються можливі межі зміни характеристик кластерів і просторових параметрів мережі. Рішення згаданого завдання оптимізації буде здійснюватися шляхом перебору можливих значень змінних параметрів.

Розрахуємо радіус зон обслуговування базових станцій технології WiMAX. Для цього приводиться порядок оцінки зони обслуговування базової станції на основі енергетичного розрахунку радіоліній. Для проведення розрахунків будуть потрібні вихідні дані про параметри мережі і технічні характеристики станцій (табл. 3.3).

Таблиця 3.3.

Перелік вихідних даних мережі безпроводового доступу

Назва параметру	Одиниці вимі- ру	Умовні позначки
Загальні параметри мережі		
Центральна частота	МГц	f
Коефіцієнт готовності мережі	%	K_G

Перелік вихідних даних мережі безпроводового доступу

Район розміщення мереж	умови	Місто, передмістя, село
Заявлений радіус зони обслуговування	км	R_0
Базова станція		
Максимальна потужність передавача БС	дБм	P_{BC}
Потужність підсилювача БС (якщо є)	дБм	P_{UC_BC}
Коефіцієнт підсилення антени БС	дБ	$G_{max\ BC}$
Втрати у фідері БС	дБ	J_{BC}
Висота підвісу антени БС над рівнем землі	м	h_{BC}
Реальна чутливість	дБм	$Sens_{BC}$
Коефіцієнт підсилення МШПІ (якщо є)	дБ	P_{MSPV_BC}
Абонентські станції		
Максимальна потужність передавача АС	дБм	P_{AC}
Потужність підсилювача АС (якщо є)	дБм	P_{UC_AC}
Коефіцієнт підсилення антени АС	дБ	G_{AC}
Втрати у фідері	дБ	J_{AC}
Максимальна висота підвісу антен АС над рівнем землі	м	h_{AC}
Реальна чутливість	дБм	$Sens_{AC}$
Коефіцієнт підсилення МШПІ (якщо є)	дБ	P_{MSPV_AC}

Крок 1 – розрахунок радіолінії БС-АС

Максимальне віддалення АС від БС може бути знайдено, якщо припустити, що рівень сигналу на вході приймача АС буде дорівнює чутливості приймача АС плюс енергетичний запас, що рекомендується для забезпечення необхідного коефіцієнта готовності радіолінії. Загальне рівняння радіолінії буде мати вигляд:

$$L_{втрати}(f, h_{BC}, h_{AC}, R_{BC-AC}, \text{умови}) = Y_{BC-AC} - \text{sens}_{AC} - z(R_{BC-AC}, K_{\Gamma}), \quad (3.22)$$

де Y_{BC-AC} – сумарне підсилення радіолінії;

$z(R_{BC-AC}, K_{\Gamma})$ – запас у радіолінії (визначається рекомендаціями виробника);

R_{BC-AC} – довжина радіолінії BC-AC.

Складові у лівій частині виразу являють собою сумарні втрати радіосигналу при поширенні від BC до AC. Методологія їх розрахунку залежить від діапазону, який використовується. Залежно від реалізації конкретної радіолінії можна виділити три різних варіанти розрахунку сумарного підсилення радіолінії Y_{BC-AC} (табл. 3.4).

Таблиця 3.4.

Варіанти розрахунку сумарного підсилення радіоліній

Варіант радіолінії	Формула для розрахунку Y_{BC-AC}
1. Зі штатними антенами без підсилювачів	$P_{BC} + G_{BC} + G_{AC}$
2. Із зовнішніми антенами без підсилювачів	$P_{BC} - J_{BC} + G_{BC} + G_{AC} - J_{AC}$
3. Із зовнішніми антенами та приймально-передавальними підсилювачами	$P_{BC_УС} + G_{BC} + G_{AC}$ (при $K_{AC_ПРМ} > J_{AC}$)

У загальному виді залежність величини радіуса зони обслуговування від параметрів радіолінії в ряді випадків одержати не представляється можливим через складне аналітичне вираження втрат різних моделей поширення радіосигналів. Тому рішення доцільно визначати з трансцендентного рівняння:

$$g(R_{BC-AC}) = Y - \text{sens}_{AC} - z(R_{BC-AC}, K_{\Gamma}) - L_{втрати}(f, h_{BC}, h_{AC}, R_{BC-AC}, \text{умови}) \quad (3.23)$$

Воно може бути вирішено, наприклад, методом лінійних ітерацій:

$$\tilde{R}_{BC-AC} = R_{BC-AC_0} - \frac{R_{BC-AC_0} - R_{BC-AC_1}}{g(R_{BC-AC_0}) - g(R_{BC-AC_1})} g(R_{BC-AC_0}) \quad (3.24)$$

Крок 2 - розрахунок радіолінії АС-БС

Порядок розрахунку радіолінії АС-БС аналогічний розрахунку радіолінії БС-АС. Рівняння радіолінії для цього випадку буде мати вигляд

$$L_{\text{втрапи}}(f, h_{\text{БС}}, h_{\text{АС}}, R_{\text{АС-БС}}, \text{умови}) = Y_{\text{АС-БС}} - \text{sens}_{\text{БС}} - z(R_{\text{АС-БС}}, K_{\Gamma}) \quad (3.25)$$

Вираз для системного підсилення радіолінії $Y_{\text{АС-БС}}$ залежно від конфігурації обладнання має такий вигляд (табл. 3.5):

Таблиця 3.5.

Варіанти розрахунку системного підсилення радіоліній

№	Варіант радіолінії	Формула для розрахунку $Y_{\text{АС-БС}}$
1	Зі штатними антенами без підсилювачів	$P_{\text{АС}} + G_{\text{АС}} + G_{\text{БС}}$
2	Із зовнішніми антенами без підсилювачів	$P_{\text{АС}} - J_{\text{АС}} + G_{\text{АС}} + G_{\text{БС}} - J_{\text{БС}}$
3	Із зовнішніми антенами та приймально-передавальними підсилювачами	$P_{\text{АС_УС}} + G_{\text{АС}} + G_{\text{БС}}$ (при $K_{\text{БС_ПРМ}} > J_{\text{БС}}$)

Крок 3 - Визначення радіуса зон обслуговування

В якості радіуса зони обслуговування варто прийняти найменшу з радіоліній, які розраховані на кроках 1 і 2:

$$R_{1\text{max}} = \min(R_{\text{АС-БС}}, R_{\text{БС-АС}}) \quad (3.26)$$

На основі наведеної вище методики виконана оцінка радіусів зон обслуговування базових станцій у припущенні, що між базовою і абонентською станціями забезпечується умова прямої радіовидимості, тобто траса класифікується як відкрита. Для прийнятих умов послаблення радіосигналу на трасі $L(f, h_{\text{БС}}, h_{\text{АС}}, R)$ може бути описано моделлю загасань у вільному просторі. У цьому випадку радіус зони обслуговування розраховується з наступного трансцендентного рівняння:

$$R_{KM} = 10^{\frac{Y_{BC-AC} - \text{sens}_{AC} - Z(R_{KM}, K_T) - 20 \log(f_{FM}) - 92,4}{20}} \quad (3.27)$$

Величина енергетичного запасу $Z(R, K_T)$ визначається наступними додатковими ослабленнями при поширенні радіохвиль:

- ослаблення в атмосферних газах;
- завмирання, обумовлені багатопроменевим поширенням, розбіжністю променів і мерехтінням;
- ослаблення, обумовлені коливаннями кута приходу/виходу;

Основна частка додаткових втрат радіосигналів буде доводитися на завмирання, обумовлені багатопроменевим поширенням. У даній роботі для розрахунку глибини завмирання й, відповідно, енергетичного запасу $Z(R, K_T)$, використовується наступне емпіричне рівняння:

$$p_w = K d^{3,0} (1 + |\varepsilon_p|) - 1,210^{0,033f - 0,001h_t - A/10}, [\%] \quad (3.28)$$

де p_w – відсоток часу найгіршого місяця, протягом якого глибина завмирання перевищує значення A дБ, %; ε_p – синус кута місця між БС і АС; h – мінімальна висота підйому фазового центру АС або БС, м; f – Робоча частота, ГГц; A – глибина завмирання, дБ; K – геокліматичний коефіцієнт.

$$|\varepsilon_p| = \frac{|h_r - h_e|}{d} \quad (3.29)$$

$$K = 10^{-4,2 - 0,0029 d N_1} \quad (3.30)$$

Значення dN_1 залежать від географічних координат розглянутої точки на поверхні землі. У даній роботі використалося значення – 263.

Прийmemo, що глибина завмирань A відповідає енергетичному запасу $Z(R, K_T)$, тоді відсоток часу p_w , протягом якого воно перевищується, пов'язаний з коефіцієнтом готовності радіолінії наступною формулою

$$K_r = 1 - K_{не} = 1 - p_w \quad (3.31)$$

На рис. 3.3 наведено розрахункові залежності необхідного запасу на завмирання від радіуса зони обслуговування БС для різних типових значень коефіцієнтів неготовності системи.

На рис. 3.4 наведені залежності максимального радіуса зони обслуговування БС від сумарного підсилення радіолінії (тобто $Y_{BC-AC-sens_{AC}}$).

Аналіз залежностей показує, що величина енергетичного запасу сильно залежить від вимог до якості мережі. Зміна радіуса зони обслуговування з 5 км до 35 км вимагає збільшення запасу приблизно на 15 дБ.

Результати розрахунків радіусу зони обслуговування мережі безпроводового доступу зведені в табл. 3.6.

Таблиця 3.6.

Радіуси зони, що рекомендуються для обслуговування мереж безпроводової передачі даних без обмежень на їхні технічні параметри

Тип обладнання	Канальна швидкість передачі, Мбіт/с	Сумарне підсилення радіолінії, дБ	Максимальний радіус зони обслуговування, км		
			$K_r=0.9999$	$K_r=0.99999$	$K_r=0.999999$
Тип РЕЗ	6	159	20,2	12,7	8,1
IEEE	24	151	13,9	8,8	5,6
802.16-	54	142	9,2	5,8	3,7
2004	11	157	18,4	11,7	7,4

Аналіз даних таблиць показує, що розміри зон обслуговування, які рекомендуються для мереж безпроводової передачі даних, істотно залежать від реалізованих швидкостей передачі інформації.

Орієнтуючись на середні значення можливих швидкостей передачі, а також приймаючи, що коефіцієнт готовності каналу повинен бути не нижче 99,999 %,

величина радіуса зони обслуговування, що рекомендується, складе 8 км для мереж безпроводової передачі даних з типовими ТХ РЕЗ, що відповідають стандарту IEEE 802.16-2003.

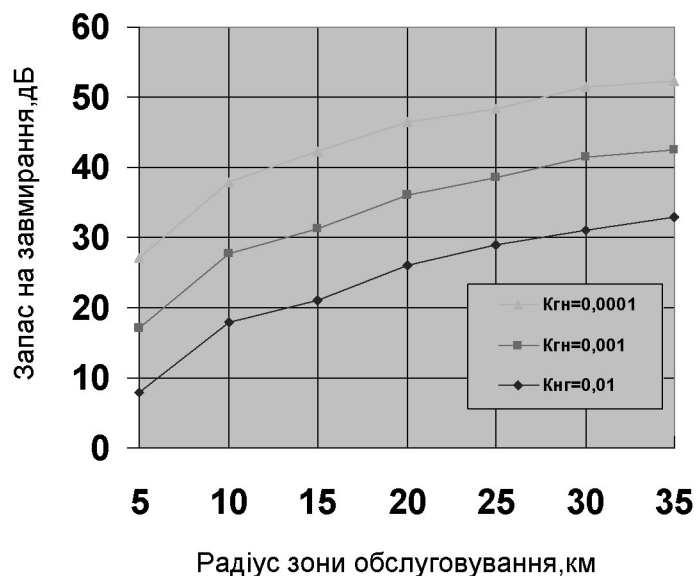


Рисунок 3.3. Залежності необхідного запасу на завмирання від радіуса зони обслуговування БС для різних значень коефіцієнтів неготовності системи.

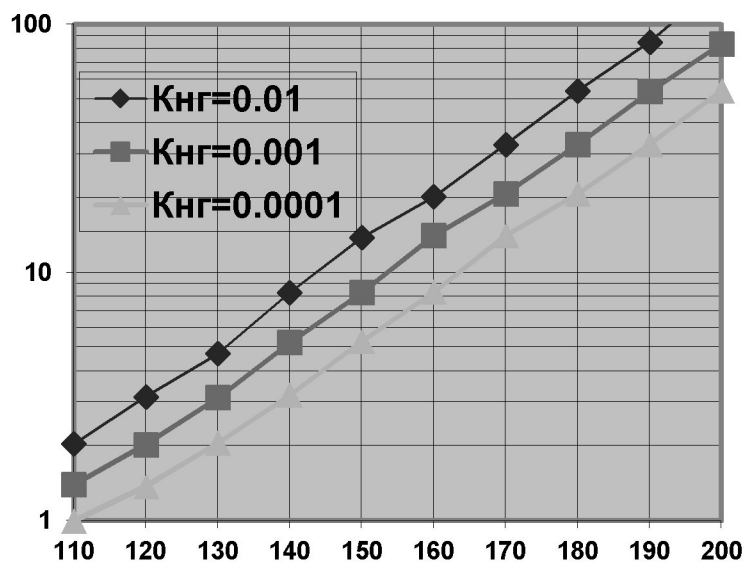


Рисунок 3.3. Залежності максимального радіуса зони обслуговування БС від сумарного підсилення радіолінії

3.3 . Розрахунок необхідного частотного ресурсу для створення мереж безпроводового доступу технології WiMAX

Визначивши асортименти послуг зв'язку, що може надаватися операторами мереж безпроводового доступу технології WiMAX та прийнявши параметри зазначених послуг у якості вихідних даних, можна виконати розрахунок залежності швидкості передачі V_s , необхідної для надання s -ої послуги, від кількості користувачів даною послугою. Використовуючи технічні параметри планованої мережі безпроводового доступу, величину системної ємності типового обладнання технології WiMAX, відомості про кількість користувачів різних типових послуг зв'язку, а також зазначені вище залежності, в даному підрозділі розроблений спрощений алгоритм оцінки величини необхідної кількості частотного ресурсу (кількості каналів) для створення мережі безпроводового доступу технології WiMAX [11].

Застосування алгоритму продемонстровано на прикладі оцінки частотного ресурсу для створення мережі фіксованого безпроводового доступу WiMAX.

Проведемо розрахунок необхідного частотного ресурсу для вихідних даних, приведених в табл. 3.6 та табл. 3.7.

Таблиця 3.6.

Вихідні дані для розрахунку частотного ресурсу для різних категорій користувачів

Назва параметра	Величина
Кількість користувачів з різними видами послуг	
Домашній користувач	10000
SME/SOHO	1500
Корпоративні клієнти	200
Транспортні	100
Відео по запиту, V_0 MPEG2	1000
Відео по запиту, V_0 MPEG4	200

Вихідні дані для розрахунку частотного ресурсу для різних категорій користувачів

Назва параметра	Величина
Кількість користувачів з різними видами послуг	
Відео по запиту, VHS	2000
Радіомовлення	2000
Спектральна ефективність ємність устаткування, Мбіт/с/МГц	1,5
Ширина каналу, МГц	20
Коефіцієнт перевикористання одного каналу	≥ 3
Поділ каналів	TDD
Радіус зони обслуговування мережі, км	50

На рис. 3.5 показано залежності швидкості передачі V_s , яка необхідна для надання прогнозованих типів послуг, від кількості користувачів даною послугою.

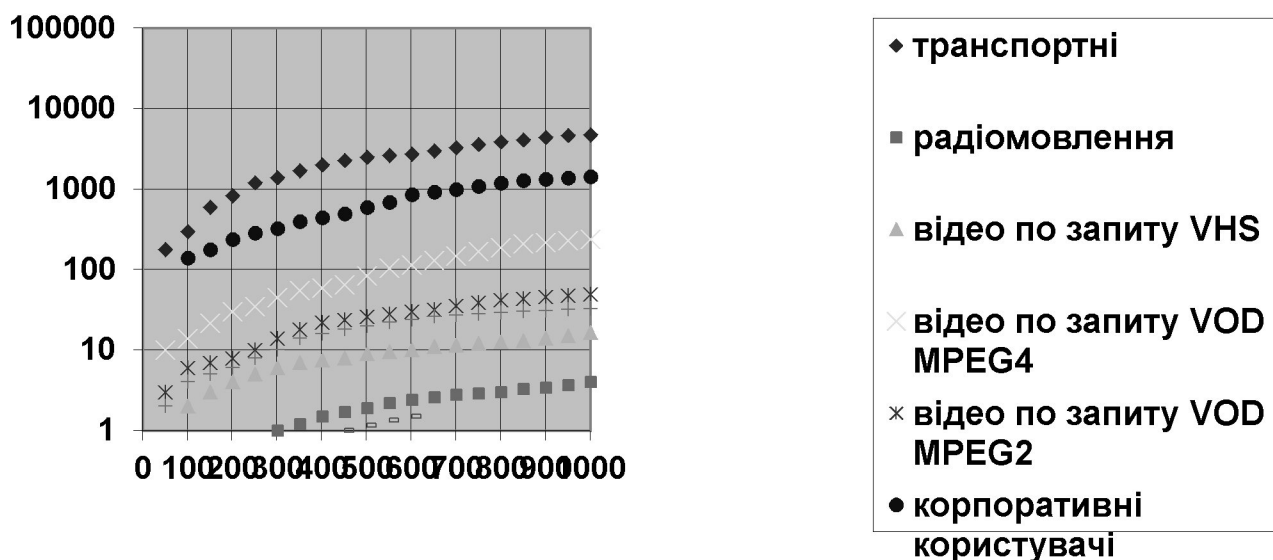


Рисунок 3.5. Залежності швидкості передачі V_s , яка необхідна для надання прогнозованих типів послуг, від кількості користувачів даною послугою

Вихідні дані для розрахунку частотного ресурсу для різних послуг

Назва параметру Умовне позначення		Типи послуг, які надаються кінцевим користувачам							
		Домашній користувач	Транспортні	Відео по запиту, V0 MPEG2	Відео по запиту, V0 MPEG4	Відео по запиту, VHS	Радіомовлення	SME/SOHO	Корпоративні клієнти
Параметри трафіку у низхідному напрямку на одного користувача (від БС до АС)									
Необхідна швидкість передачі, кбіт/с	$V_{0-низх-s}$	64	2048	1024	4096	385	128	128	2048
Навантаження в годину найбільшого навантаження (ГНН), викл/год	$\lambda_{0-низх-s}$	2	$\rho_{0-низх-s=1}$	0,02	0,02	0,02	0,04	4	8
Тривалість сеансів зв'язку, с	$\mu_{0-низх-s}$	120	–	9000	9000	9000	5000	200	300
Коефіцієнт активності, %	$k_{0-низх-s}$	0,45	–	0,8	0,8	0,8	0,5	0,5	0,5
Характеристика якості обслуговування		без гар-ї якості	гар-а якість	DVD-якість	DVD-якість	VHS якість	високої якості	без гар-ї якості	без гар-ї якості
Параметри трафіку у низхідному напрямку на одного користувача (від АС до БС)									
Необхідна швидкість передачі, кбіт/с	$V_{0-висх-s}$	30	2048	30	30	30	0	128	2048
Навантаження в годину найбільшого навантаження (ГНН), викл/год	$\lambda_{0-висх-s}$	2	$\rho_{0-висх-s=1}$	0,02	0,02	0,02	0	4	8
Тривалість сеансів зв'язку, с	$\mu_{0-висх-s}$	10	–	50	50	50	0	200	300
Коефіцієнт активності, %	$k_{0-висх-s}$	0,45	–	0,2	0,2	0,2	0	0,5	0,5
Характеристика якості обслуговування		без гар-ї якості	гар-на якість	гар-а якість	гар-на якість	гар-а якість	–	без гар-ої якості	без гар-ї якості

Результати розрахунків наведені в табл. 3.8.

Таблиця 3.8.

Результати розрахунків

Категорія користувачів	Кількість	Необхідна швидкість передачі, Мбіт/с/зона
Домашній користувач	10000	21,95
SME/SOHO	1500	46,94
Корпоративні клієнти	200	300,52
Користувачі транспортних послуг	100	901,12
Користувачі відео по запити, Vo MPEG2	1000	46,12
Користувачі відео по запити, Vo MPEG4	200	36,05
Користувачі відео по запити, Vo H.264	2000	33,89
Користувачі радіомовлення	2000	7,83
Разом:	17000	1394,42

Крок 1

За допомогою залежностей на рис. 5.1 для кожної групи користувачів визначається необхідна швидкість передачі V_s . Потім всі швидкості підсумуються:

$$V_{\Sigma} = \sum_s V_s \quad (3.32)$$

Крок 2

Визначення верхньої межі необхідного частотного ресурсу та кількості каналів проводиться за наступною формулою:

$$F_{\Sigma} = \Sigma F_s = \frac{\Sigma V_s}{S_0}, \text{ [МГц]} \quad (3.33)$$

Важливо відзначити, що спектральна ефективна ємність обладнання сильно залежить від радіуса зони обслуговування базової станції (чарунки).

Для розглянутого випадку величина верхньої межі частотного ресурсу в абсолютній величині і у кількості каналів складає:

$$F_{\Sigma} = \Sigma F_s = \frac{\Sigma V_s}{S_0} = \frac{454,26}{1,5} = 929,6 \text{ (МГц)}; \quad N_{\Sigma} = \text{округлення_вгору}(F_{\Sigma}/\Delta f) = 47$$

Якщо припустити, що зона обслуговування мережі, радіус якої в даному прикладі дорівнює 50 км (розмір обласного міста та області), покривається однією базовою станцією, то 47 каналів шириною 20 МГц буде потрібно для надання 8 груп послуг, із зазначеними раніше параметрами трафіку.

Крок 3

Уточнення величини необхідного частотного ресурсу з урахуванням коефіцієнта перевикористання частотних каналів.

Зменшити кількість необхідного частотного ресурсу можна шляхом збільшення кількості базових станцій (тобто перехід до менших зон обслуговування базових станцій) у межах території, що обслуговується, і повторного перевикористання частотних каналів. Коефіцієнт перевикористання частотних каналів можна визначити як відношення площі території мережі, яка обслуговується до площі кластера. Беручи до уваги, що площа кластера дорівнює сумі площ шестикутних чарунок, що входять до кластера, то кінцевий вираз для розрахунку коефіцієнта перевикористання частотних каналів матиме вигляд:

$$K_{пер} = \frac{2k_{повтор} S_{зона}}{3\sqrt{3}N_{кластер}} \left(\frac{1}{R_{чарунка}} \right)^2 \quad (3.34)$$

де $S_{зони}$ – площа території, що обслуговується;

$R_{чарунка}$ – радіус зони обслуговування однієї базової станції;

$N_{кластер}$ – розмір кластера;

$k_{повтор}$ – коефіцієнт, що враховує повторне використання частотної групи в кластері.

Коефіцієнт $k_{\text{ноетор}}$ чисельно дорівнює кількості повторень однієї частотної групи в кластері. Якщо частотна група в кластері зустрічається тільки один раз, то коефіцієнт дорівнює 1, якщо два рази, то коефіцієнт дорівнює 2 і т.д.

Для розрахунку коефіцієнта перевикористання частотних каналів необхідно задатися розміром кластера і радіусом зони обслуговування.

Грунтуючись на методиці, наведеної в підрозділі, радіус зони обслуговування базової станції для типових параметрів станцій технології WiMAX і спектральної ефективної ємності 1,5 Мбіт/с/МГц складає 8 км.

У табл. представлені відомості про мінімальну кількість частотних каналів, необхідних для реалізації стільникової структури із заданими параметрами кластера і секторів у чарунці.

Усі необхідні дані для подальшого аналізу стільникової структури приведені в табл. 3.9.

Таблиця 3.9.

Мінімальна кількість частотних каналів у різних стільникових структурах

Розмірність кластера $N_{\text{кластер}}$	Кількість секторів у стільнику		
	$M=1$	$M=3$	$M=6$
3	3	9	18
4	4	12	24
7	7	21	42

Для реалізації заданої стільникової структури потрібна деяка мінімальна кількість частотних каналів. Вираз для розрахунку необхідної кількості частотного ресурсу для мереж безпроводового доступу буде мати такий вигляд:

$$N = \text{MAX}(\text{округлення_вгору}\left(\frac{N_{\Sigma}}{K_{\text{пер}}}, 0\right), N_f(N_{\text{кластер}}, M)), \quad (3.35)$$

де $\text{MAX}(A, B)$ – функція вибору максимального із двох чисел A або B ;

N_{Σ} – верхня межа кількості частотних каналів для створення безпроводової мережі;

N_f – мінімальна кількість частотних каналів у заданій стільниковій структурі з параметрами $N_{\text{кластер}}$ і M .

У табл. 3.10 наведено результати розрахунків необхідного частотного ресурсу [12].

Величина необхідного частотного ресурсу сильно залежить від використовуваної стільникової структури. У структурах з ненаправленими антенами фактично необхідна кількість каналів для обслуговування трафіку, який надходить від користувачів, збігається з кількістю частотних каналів, необхідних для реалізації стільникової структури. Разом з тим, вибрати конкретну стільникову структуру та відповідно визначитися з необхідним частотним ресурсом можна тільки після розрахунку внутрішньосистемних перешкод. У стільникових структурах з малим розміром кластера рівень внутрішньосистемних перешкод вище, ніж у структурах з більшими розмірами кластера.

Таким чином, для розглянутого сценарію створення мережі фіксованого безпроводового доступу необхідна кількість каналів становить 4 і необхідний частотний ресурс 80 МГц. Для режимів з меншою завадостійкістю доцільно використати частотні канали з меншою шириною. Наприклад, для каналів із шириною смуги 10 МГц можливо буде використати кластер розмірністю $N_{\text{кластер}}=3$ і спрямованими антенами $M=3$. У цьому випадку необхідний частотний ресурс складе 90 МГц або 9 каналів по 10 МГц [14].

Результати розрахунку необхідного частотного ресурсу

№ пп.	Параметри стільникової структури			$K_{пер}$	$\frac{K_{\Sigma}}{K_{пер}}$	Кількість каналів	Необхідний частотний ресурс, МГц
	$N_{клас\text{тер}}$	M	N_f				
1	1	1	1	47,23	1	1	20
2	3	1	3	15,74	3	3	60
3	4	1	4	11,81	4	4	80
4	7	1	7	6,75	7	7	140
5	3	3	9	15,74	3	9	180
6	4	3	12	11,81	4	12	240
7	3	6	18	15,74	3	18	360
8	7	3	21	6,75	7	21	420
9	4	6	24	11,81	4	24	480
10	7	6	42	6,75	7	42	840

Приклад створення мережі безпроводового доступу на базі технології WiMAX показано на рис. 3.6.

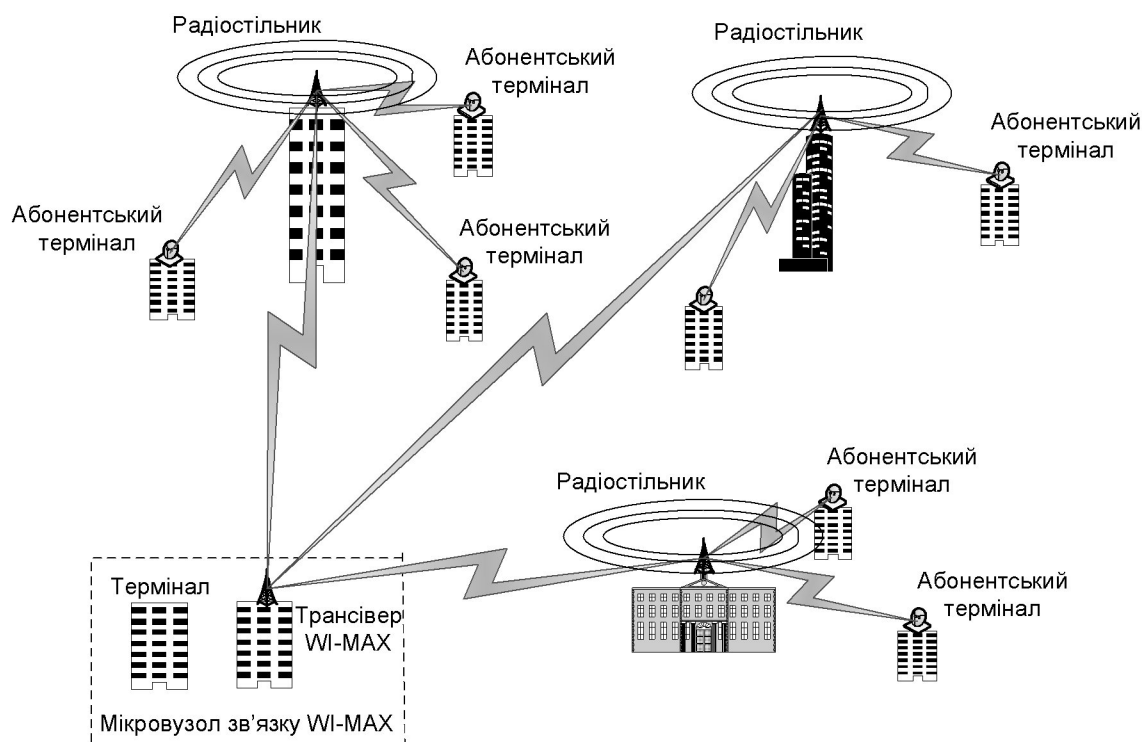


Рисунок 3.6. Функціональна схема побудови телекомунікаційної системи з використанням технології WiMAX

ВИСНОВКИ

У даній магістерській роботі виконано проектування багатоканальної телекомунікаційної мережі. Для оптимального вирішення організації подібної мережі, обрана технологія на базі стандарту WIMAX.

У процесі проектування мережі WIMAX в м.Умань були вирішені наступні завдання:

- в роботі проведено систематизація теоретичних основ функціонування систем безпроводового зв'язку та особливостей їх побудови, проведено аналізу ринку безпроводових технологій.
- описано обладнання, застосоване при побудові мереж WIMAX у м.Умань;
- проведена оцінка мінімально необхідного частотного ресурсу для створення мереж на основі технології WIMAX.
- виконані розрахунки необхідного частотного ресурсу для створення мереж безпроводового доступу технології WIMAX.

При аналізі підходу до оцінки поширення радіосигналу в мережі WIMAX були враховані фактори поширення радіосигналу в умовах сильно пересіченій місцевості (рельєфу) і різної щільності міської забудови. Був проведений розрахунок максимального радіусу дії приймально-передати антен БС.

При оцінці ємності мережі зв'язку визначено, скільки потенційно необхідно мати базових станцій для того, щоб задовольнити потреби абонентів у таких послугах, як мультимедіа та передача даних з високою швидкістю, а так само покрити всю площу території міста.

Також проведено розрахунок максимальної пропускної спроможності каналів. При цьому розрахунку показники швидкості перевищують значення 60 Мбіт/с. Це говорить про ефективності від впровадження мереж WIMAX, а також показує, що для більш повного задоволення потреб абонентів необхідно продовжити розвиток мереж.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. В.Вишне夫斯基, С.Портной, И.Шахнович. Энциклопедия LTE. Путь 4G – М.: Техносфера, 2009. – 472 с.
2. И.Шахнович. Сети городского масштаба: решения рабочей группы IEEE 802.16 //Электроника НТБ. – 2003. - №8. – С. 3-10.
3. Бабков В.Ю. Общие подходы к задачам планирования и оптимизации 2G - 4G сетей подвижной связи. Санкт-Петербург 2011 г.
4. Ericsson Radio Systems AB, Cell Planning principles, Course Documentation EN/LZT 123 3314 R3A, 1998
5. Ефанов В.И., Береснев А.В. Анализ зон обслуживания сотовой системой подвижной радиосвязи в г. Томске // Тезисы докл. Регионально научно-технической конф. студент. и молодых ученых. Часть 2. - Томск: ТУСУР. - 1999.;- С. 15-17.
6. Береснев А.В. Проведение натуральных измерений напряжённости поля в сотовых системах подвижной радиосвязи // Цифровые радиоэлектронные системы, 2001, №4. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.drts.susu.ac.ru/~rvm/vol4/a12_04.zip
7. К.А. Спорышев, А.М. Ткачев, А.С. Постольный. Анализ подходов к оценке прогнозируемых зон обслуживания базовыми станциями в системах подвижной радиосвязи. Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков, 2008 г.
8. Ликонцев Д.Н. Специальные вопросы курса распространение радиоволн. Ташкент – 2008
9. Бабков В.Ю. Общие подходы к задачам планирования и оптимизации 2G - 4G сетей подвижной связи. Санкт-Петербург 2 011 г.
10. Б. Б. Агатаева, Л. И. Сарженко. Мобильные телекоммуникации и цифровые системы передачи. Методические указания и задания к выполнению курсовой работы.– Алматы: АИЭС, 2010. – 18 с.
11. Y. Fan, Z. Huaibei, Z. Lan, F. Jin. Улучшенная схема безопасности в се-

тях WMAN на основе стандарта IEEE 802.16.

12. D. Johnston, J. Walker. Обзор безопасности в стандарте IEEE 802.16, безопасность и приватность IEEE, том 2, стр. 40-48

13. Основные понятия и термины технологии, сайт <http://ru.wikipedia.org/wiki/LTE>

14. Общие сведения о технологии LTE 802.16e/m, сайт <http://www.device.ru/service/LTE>

15. Сайко В.Г., Казіміренко В.Я., Літвінов Ю.М. Мережі безпроводового широкопasmового доступу. Навчальний посібник. – К.: ДУТ, 2015. – 196 с.

ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ