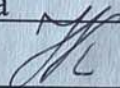


Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра інфокомунікаційних систем і технологій

Бакалаврська дипломна робота на тему:

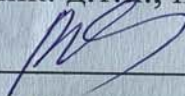
**РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ТА ПРОГРАМИ ОЦІНЮВАННЯ ШВИДКОСТІ
ПЕРЕДАВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ В МЕРЕЖІ WIMAX**

Виконав: студент 4-го курсу, групи ПЗТ-206
спеціальності 172 – Телекомунікації та
радіотехніка



Карпенко І.В.

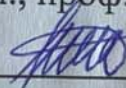
Керівник: д.т.н., проф., професор каф. ІКСТ



Кичак В.М.

« 11 » 06 2024 р.

Рецензент: д.т.н., проф., професор каф. ІРТС



Семенов А.О.

« 11 » 06 2024 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ІКСТ

д.т.н., проф. Кичак В.М.



« 11 » 06 2024 р.

Вінниця ВНТУ - 2024 рік

Вінницький національний технічний університет
 Факультет інформаційних електронних систем
 Кафедра інфокомунікаційних систем та технологій
 Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 17 – Електроніка та телекомунікації
 (шифр і назва)

Спеціальність 172 – Телекомунікації та радіотехніка
 (шифр і назва)

Освітня програма – Програмне забезпечення телекомунікаційних систем

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІКСТ

д.т.н., професор В.М. Кичак

«06» 05 2024 року

ЗАВДАННЯ

НА БАКАЛАВРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Карпенко Івану Володимировичу

1. Тема роботи: Розробка алгоритму та програми оцінювання швидкості передавання інформації в мережі WIMAX

керівник роботи Кичак Василь Мартинович, доктор техн. наук, професор,
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ВНТУ від “11” березня 2024 року № 80

2. Строк подання студентом роботи: 07 червня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи: Висота над рівнем моря для більшої частини досліджуваного району плавно змінюється в межах від 135 м до 145 м. Висота встановлення базової станція WIMAX $h_{BC} = 80$ м. Висота встановлення приймальної антени $h_{AC} = 1,5$ м.

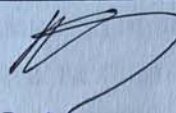
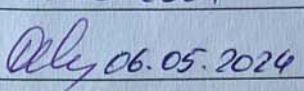
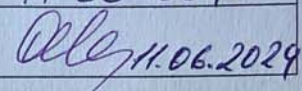
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки роботи (перелік питань, які потрібно розробити: Дослідити згасання у хвильових каналах, утворених архітектурними спорудами. Провести експериментальні дослідження згасань при використанні технології WIMAX. Розробити алгоритм визначення сумарної швидкості передавання та програму оцінювання швидкості в мережі WIMAX.

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

Блок-схема алгоритму визначення швидкості передачі, залежність швидкості передавання від кількості користувачів за різних імовірностей втрат, Залежність швидкості передавання від: a - виду розподілу тривалостей

викликів (за однакового мат. очікування), б - виду розподілу інтервалів між викликами

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Кичак В.М., професор кафедри ІКСТ	 06.05.2024	 11.06.2024
Охорона праці	Фісєбурна С.Б. проф. каф. БЖД ПБ	 06.05.2024	 11.06.2024

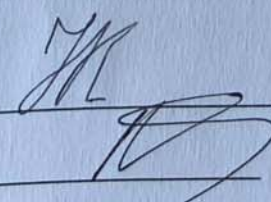
7. Дата видачі завдання «06» травня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Формування та затвердження теми та індивідуального завдання бакалаврської дипломної роботи (БДР)	06.05.2024р.	
2	Виконання спеціальної частини БДР. Перший рубіжний контроль виконання БДР	20.05.2024р.	
3	Виконання спеціальної частини БДР. Другий рубіжний контроль виконання БДР	31.05.2024р.	
4	Виконання розділу «Охорона праці»	04.06.2024р.	
5	Нормоконтроль БДР	05.06.2024р.	
6	Попередній захист БДР	06.06.2024р.	
7	Рецензування БДР	07.06.2024р.	
8	Захист БДР	12.06.2024р.	

Студент

Керівник роботи



Карпенко І.В.

Кичак В.М.

АНОТАЦІЯ

Вінниця: ВНТУ 2024 р. 81 стор., 28 рис., 13 табл., 30 бібл.

Метою роботи є розробка алгоритму програми оцінювання швидкості передавання інформації в мережі WiMAX.

Виконано аналіз загальних характеристик послуг зв'язку та параметрів мережі бездротового доступу WiMAX. Досліджено згасання у хвильових каналах, утворених архітектурними спорудами. Досліджено залежності швидкості передавання від кількості користувачів та різної імовірності втрат викликів та визначено максимальну зону покриття при використанні технології WiMAX.

Розроблено алгоритм та створено програму для визначення сумарної швидкості передавання в мережі WiMAX.

Проведені економічні розрахунки та виконано розділ з охорони праці та безпеки життєдіяльності.

ABSTRACT

Vinnytsia: VNTU 2024. 81 pages, 28 figures, 13 tables, 30 references.

The purpose of the work is to develop an algorithm for evaluating the speed of information transmission in the WiMAX network.

An analysis of the general characteristics of communication services and WiMAX wireless access network parameters was performed. Attenuation in wave channels formed by architectural structures is studied. The dependence of the transmission speed on the number of users and different probability of call loss was studied, and the maximum coverage area when using WiMAX technology was determined.

An algorithm was developed and a program was created to determine the total transmission speed in the WiMAX network.

Economic calculations were carried out and the section on labor protection and life safety was completed.

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень	7
ВСТУП	8
1 Загальна характеристика параметрів мережі бездротового доступу WiMAX.....	12
1.1 Загальна характеристика мережі стандарту WiMAX.....	12
1.2 Частотний діапазон мережі стандарту WiMAX.....	16
1.3 Зв'язок систем широкосмугового радіодоступу з мережами мобільного зв'язку.....	18
1.4 Висновки до розділу	23
2 Дослідження згасань у хвильовій каналах, утворених архітектурними спорудами.....	24
2.1 Математичні моделі розгалужень хвильових каналів утворених архітектурними спорудами.	24
2.2 Математичні дослідження згасань у вуличних хвильових каналах архітектурних споруд	26
2.3 Експериментальні дослідження згасань при використанні технології WiMAX.....	35
Висновки до розділу	44
3 Розробка алгоритму та програми оцінювання швидкості передавання в мережі WiMAX.....	46
3.1 Розробка алгоритму визначення сумарної швидкості передавання в мережі WiMAX.....	46
3.2 Розробка програми моделювання.....	48
3.3 Дослідження залежності швидкості передавання від кількості користувачів та різної імовірності втрат викликів	51
3.4 Визначення максимальної зони покриття при використанні технології WiMAX.....	53
Висновки до розділу	59
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	61
4.1. Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи	61
4.2. Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	64
4.2.1 Мікроклімат.....	64
4.2.2. Склад повітря робочої зони	65

4.2.3. Виробниче освітлення	66
4.2.4. Виробничий шум	67
4.2.5. Виробничі випромінювання	68
4.3. Пожежна безпека.....	69
4.3.1. Технічні рішення системи запобігання пожежі.....	70
4.3.2. Технічні рішення системи протипожежного захисту	71
ВИСНОВКИ.....	72
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	73
Додаток А (обов'язковий) Ілюстративний матеріал.....	76
Додаток Б Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень	80

Перелік умовних скорочень

БС – базова станція

BRAS – широкосмуговий віддалений сервер доступу

DSL – цифрова абонентська лінія

ДП – джерело повідомлень

ДС – діаграма спрямованості

КНД – коефіцієнт направленості дії

OFDM – ортогональне частотне розділення з мультиплексуванням

SNMP – простий протокол керування мережею

СШР – система широкосмугового доступу

ЦП – цільовий прийом

ЦСПІ – цифрова система передачі інформації

VAA – віртуальна антенна решітка

ХКАС – хвильові канали архітектурних споруд

ВСТУП

Актуальність теми. Зростаючі вимоги до швидкості передавання інформації, пропускної здатності, вартості та енергії споживання в сучасних засобах телекомунікацій, а також висока завантаженість радіочастотного спектру, який традиційно використовується, вимагає створення нових технологій, які забезпечують більш економне використання радіочастотного ресурсу, високу завадозахищеність і стійкість в реальній заводовій обстановці.

Спроба розв'язання вказаних завдань привела до розробки нових надширокосмугових технологій передавання інформації та систем широкосмугового радіодоступу. Бездротові мережі на базі WiMAX технологій характеризуються рядом переваг по оперативності розгортання, надійності роботи в регіонах з малорозвиненою інфраструктурою, якості надання інтернет-послуг у тому числі і мобільним абонентам [1,2].

В основі технології WiMAX лежить стандарт IEEE-802.16, який розвивається та удосконалюється, через що особливої актуальності набуває вирішення завдань підвищення ефективності його функціонування. У самому стандарті вже закладено деякі можливості при його застосуванні. Зокрема, стандартом передбачено 256 типів керуючих повідомлень, з них використовується лише 48. Однак для суттєвого підвищення ефективності застосування нових керуючих команд буде недостатньо. Необхідні принципові зміни на самому MAC – рівні стандарту.

В наш час неможливо уявити щоденну діяльність без засобів зв'язку, що передбачає, очевидно, і доступ до Інтернет за допомогою смартфона, планшета, ноутбука та інших пристроїв. Популярною послугою є мобільний доступ до Інтернет. Потреба людей в даній послугі зростає з кожним роком, тому безпроводні мережі широко розвинені та представлені такими технологіями як Wi-Fi, комплексом рішень 3G, 4G. LTE, 5G. До цих технологій слід віднести і технологію WiMAX. Вони здатні забезпечити

мобільний зв'язок у будь – який час, в будь-якому місці із будь якого – пристрою[3].

Аналіз останніх досліджень. WiMAX технологія є однією із більш передових і перспективних технологій безпроводного передавання даних [3].

Технологія WiMAX будується на досягненнях технологій бездротового доступу (Wi-Fi) та стільникових мереж. Від Wi-Fi у WiMAX перейшла, зокрема, технологія ортогонального частотного розділення з мультиплексуванням (OFDM). Вона забезпечує високі швидкості передачі інформації в умовах багатопроменевого поширення хвиль. Як і в стандартах стільникового зв'язку, у WiMAX використовують найсучасніші методи надлишкового кодування та повторну передачу неприйнятих пакетів [2,4].

Питанням дослідження згасань радіохвиль при використанні мережі WiMAX присвячені праці вітчизняних та закордонних авторів [4,5,6]. В праці [7] відзначено, що важкою задачею при побудові новітніх широкосмугових систем радіодоступу є створення ефективної багатофункціональної системи моніторингу та керування для мережі WiMAX, яка б давала можливість оперативно отримувати, контролювати та обробляти інформацію про стан кожного фрагменту мережі, а також керувати окремими параметрами станцій в ручному режимі з пульта оператора.

В праці [1] показано, що при моніторингу і керуванні не окремими пристроями мережі, а всією мережею в цілому програмні засоби, що використовуються на базі обладнання Libra MX фірми Wi-LAM характеризуються рядом недоліків, а саме:

відсутність можливості запуску програми telnetу заданий час для збору статистичних даних і тестування мережі;

відсутність у програмі telnetможливості збереження значень параметрів станції для аналізу і прийняття рішень (більшість програм telnet дають можливість зберегти лише log–файл, що містить копії команд, які посилають на сервер, і відповіді сервера);

менеджер SNMP і агенти SNMP на комп'ютерах не входять до складу програмного забезпечення, яке поставляється разом з станцією, і їх необхідно встановлювати окремо;

повноекранний режим і режим командного рядка є менш зручним, ніж графічний режим, який забезпечує більш наочне представлення даних для цілей моніторингу і аналізу.

Хоча можливе одночасне звертання до декількох станцій (за допомогою запуску декількох програм telnet), але порівнювати параметри станції незручно (оскільки вони виводяться в різні вікна)

Мета та постановка задачі. Метою цієї бакалаврської дипломної роботи є аналіз та дослідження особливості розповсюдження інформації у хвильових каналах архітектурних споруд при використанні технології WiMAX, розробка алгоритму та програми оцінювання швидкості передавання в цій мережі.

Для досягнення цієї мети необхідно розв'язати такі задачі:

- провести аналіз послуг та параметрів мережі WiMAX;
- провести дослідження особливостей розповсюдження інформації в хвильових каналах архітектурних споруд при використанні технології WiMAX;
- розробити математичну модель розгалужень хвильових каналів, утворених архітектурними спорудами одного із районів м. Вінниці.
- провести дослідження згасань у вуличних хвильових каналах архітектурних споруд;
- визначити максимальну зону покриття при застосуванні мережі WiMAX;
- розробити алгоритм і програму оцінювання швидкості передавання в мережі WiMAX.

Об'єктом дослідження є процеси розповсюдження сигналів в хвильових каналах архітектурних споруд та оцінювання швидкості їх передавання при використанні технології WiMAX.

Предмет досліджень є моделі розповсюдження інформації в хвильових каналах архітектурних споруд та алгоритми і програми оцінювання швидкості передавання інформації при використанні мережі WiMAX.

Методи досліджень базуються на використанні теорії електродинаміки та розповсюдження радіохвиль, теорій передачі інформації, методів математичного моделювання телекомунікаційних мереж.

Новизна отриманих результатів :

- запропоновано математичну модель розповсюдження інформації у хвильових каналах архітектурних споруд одного із районів міста Вінниці при використанні технології WiMAX;
- розроблено алгоритм і програму оцінювання швидкості передавання інформації при використанні технології WiMAX;

Практичним значенням бакалаврської кваліфікаційної роботи є можливість використання її результатів при розгортанні та експлуатації мережі бездротового доступу WiMAX в районах міста Вінниці.

Апробація результатів бакалаврської кваліфікаційної роботи. Основні результати доповідались і обговорювались на науковому семінарі кафедри інфокомунікаційних систем і технологій Вінницького національного технічного університету.

1 Загальна характеристика параметрів мережі бездротового доступу WiMAX

1.1 Загальна характеристика мережі стандарту WiMAX

Телекомунікаційна технологія WiMAX розроблена з метою надання універсального бездротового зв'язку на значні відстані до широкого спектру пристроїв, від робочих станцій і портативних комп'ютерів до мобільних телефонів. Ця технологія ґрунтується на стандарті IEEE 802.16, який також називають WirelessMAN. Стандарти сімейства IEEE 802.16 приймалися послідовно та призначалися для розв'язання різних задач, що призвело до існування двох WiMAX– фіксованого (IEEE 802.16-2004) і мобільного IEEE 802.16 – 2005. Архітектурні рішення при побудові мереж на базі стандартів фіксованого і мобільного WiMAXмають принципово істотні відмінності, тому на даний час питання конвергентності таких мереж є відкритим (перспективним).

Розробники стандарту шукали оптимальні рішення, як для фіксованого, так і для мобільного використання, але об'єднати всі вимоги в межах одного стандарту не вдалось. Хоча ряд вимог співпадають, але направленість технологій на різні ринкові ніші привело до створення двох окремих стандартів. Кожен стандарт WiMAX визначає свої робочі діапазони частот, ширину смуги пропускання, потужність випромінювання, метод передавання доступу, способи кодування та модуляції і т. н. Тому WiMAX системи, що базується на версіях стандарту IEEE 802.16непрактично не сумісні. Стандарт 802.16d (фіксований, затверджений у 2004р) використовує ортогональне частотне мультиплексування (OFDM)і підтримує фіксований доступ в зонах наявності або відсутності прямого бачення, робочі частоти 3,5 і 5 ГГц. Стандарт 802.16e (мобільний, затверджений у 2005р.) використовує масштабований OFDMдоступ (SOFDMA). Частотні діапазони 2,3 – 2,5; 2,5 – 2,7 ; 3,4 – 3,8 ГГц.

Основна відмінність двох технологій полягає в тому, що фіксований WiMAX забезпечує обслуговуванням тільки «статичних» абонентів, а мобільний орієнтований на роботу з користувачами, що рухаються зі швидкістю до 150 км/год.

Відмінність у функціональності та призначенні мереж для мобільного та фіксованого WiMAX зумовлюють необхідність застосування різних архітектурних рішень при їх побудові. Основні відмінності, які є визначальними для архітектурних рішень, наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1. Характеристики мереж фіксованого і мобільного WiMAX

	Фіксований WiMAX	Мобільний WiMAX
1	Базові станції IEEE 802.16-2004	Базові станції IEEE 802.16-2005
2	Стик між БС і транспортною мережею -L2	Стик між БС і транспортною мережею –L3
3	Транспортний протокол для абонентських сесій: 802.1q/ad (QnQ) або EoMPLS	Транспортний протокол для абонентських сесій: R6 GRE (Generic Routing Encapsulation)
4	Вузли агрегування (L2/L3 Switch) забезпечують призначення IP-адрес, політику безпеки без участі базової станції	ASN-Gateway забезпечує автентифікацію за EAP – AKA, політику QoS, призначення адрес DHSP, безпеку і мобільність (разом з базовою станцією)
5	Автентифікація за X. 509, або BRAS	Можливість динамічного призначення сервісів
6	Відсутність мобільності	Підтримка мобільності

Незважаючи на існуючі відмінності мобільного фіксованого WiMAX, існує можливість створення конвергентної мережі. На рисунку 1.1 наведено архітектуру мережі широкосмугового радіодоступу на базі фіксованого WiMAX, а на рисунку 1.2 – архітектуру з конвергенцією мобільного та фіксованого WiMAX.

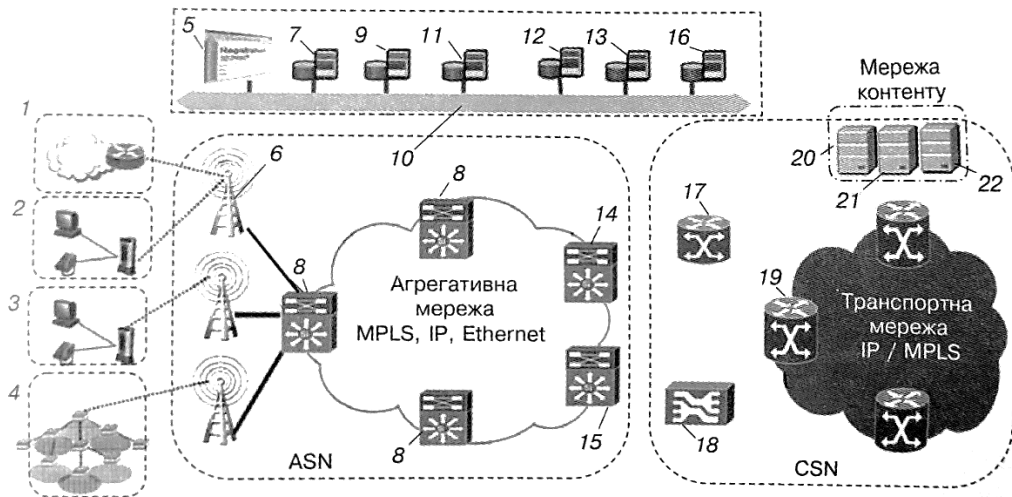


Рис. 1.1 – Структура системи широкосмугового радіодоступу на базі фіксованого WiMAX: 1 – корпоративна мережа; 2,3 – абонентська мережа; 4 – Wi-Fimesh-мережа; 5 –портал; 6 – вузол доступу WiMAX; 7 - моніторинг; 8- вузол доступу; 9 – білінг; 10 – площина політики керування (на кожного абонента); 11 – база даних користувача; 12 – ідентифікація; 13 – адресування; 14,15 – вузол агрегування, 16 – політика визначення; 17- BRAS/ISG; 18- SCE; 19 – MPLSPE; 20 – VoD; 21 – SIP; 22 – IPTV7

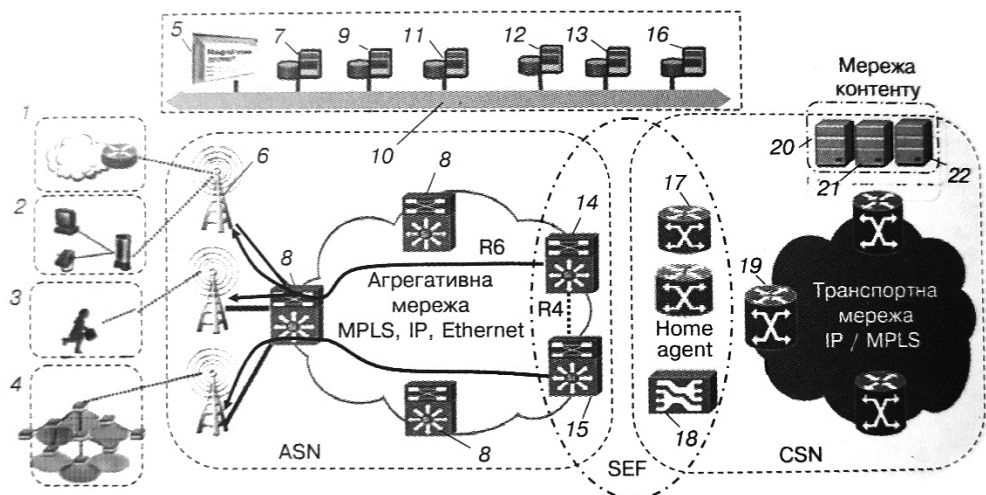


Рис. 1.2 - Структура системи широкосмугового радіодоступу на базі конвергенції фіксованого та мобільного WiMAX

Відмінність архітектури CMP на базі конвергенції фіксованого мобільного WiMAX полягає у веденні мобільного користувача – 3, вузла агрегування – 5, та SN Gateway– 14, і SFF-in Sintegration.

Узагальнена архітектура площини передавання даних та конвергентного підрівня стандарту IEEE 802.16 наведена в [1].

Основними задачами, які розв'язуються при розробці архітектурних рішень у рамках WiMAX є створення мережевих специфікацій і специфікацій з функціональною сумісністю мереж для фіксованого, переносного та мобільного зв'язку з різними ступенями мобільності WiMAX[1].

Взаємодію фіксованого WiMAX з мережами абонентського доступу DSL ілюструє рисунок 1.2.

Те, що стандарти сімейства IEEE 802.16 приймалися послідовно і призначалися для розв'язування різних задач, призвело до існування двох WiMAX - фіксованого (IEEE 802.16-2004) і мобільного (IEEE 802.16-2005).

Архітектурні рішення при побудові мереж на базі стандартів фіксованого і мобільного WiMAX мають принципово істотні відмінності, тому на даний момент питання конвергентності таких мереж залишається відкритим.

Для застосувань WiMAX фіксованої служби існує інтерфейс T. Він регулює підключення AT до кінцевого термінального обладнання TE (Terminal Equipment), яке відповідає архітектурі провідних з'єднань DSL-користувач. Але спроба задіяти інтерфейс T для взаємодії між WiMAX і мережею DSL викликає ускладнення внаслідок неможливості Ethernet-з'єднань через R3 до CSN. Коли Ethernet-з'єднання встановлюється за допомогою радіоінтерфейсу (ETHCS) у межах ASN, пакети Ethernet можуть передаватись до точки агрегації V на широкосмуговому віддаленому сервері доступу BRAS (Broad band Remote Access Server) по прямій лінії передачі між ASN і точкою агрегації Ethernet в мережі доступу DSL.

1.2 Частотний діапазон мережі стандарту WiMAX

Діапазони частот стандарту 802.16 - 2...11 ГГц і 10-66 ГГц. Частоти 10-66 ГГц використовуються фактично між базовими станціями, тобто у разі прямої видимості. У табл. 1.1 зазначені характеристики стандарту.

Таблиця 1.2 – Характеристики стандарту

Стандарт	Прийнятий міс. рік	Смути частот, ГГц	Мобільність	Схема передач і	Швидкість передачі	Ширина каналу, МГц
802.16	12.2001	11-66	нема	Одна несуща	32-134,4 Мбіт/с	20, 25, 28
802.16- 2004	06.2004	2-11	нема	Одна несуща або 256 чи 2048 OFDM	1-75 Мбіт/с	1,75; 3,5; 7 14; 1,25; 5 10; 15; 8,75
802.16e	12.2005	2-11 (фікс) 2-6 (моб)	є	Одна несуща або 256 чи 128, 512, 1024, 2048 OFDM	1-75 Мбіт/с	1,25; 5; 10; 20

У технології WiMAX радіосигнали передаються у повітряному середовищі, наближеному максимально до земної поверхні. При цьому змінюються ті чи інші параметри сигналу. Отже, мають місце спотворення сигналів. Земна атмосфера не є ідеальним середовищем для поширення

сигналів. На робочих частотах довжина хвилі до 15 см, тому явище дифракції майже не спостерігається. Умови функціонування мережі WiMAX такі, що має місце або пряма видимість (LOS – Line of Sight), або її відсутність (NLOS – Non Line of Sight). У межах міської забудови практично відсутня пряма видимість. Технології передачі, які використовує стандарт 802.16, наведено у табл. 1.3 [2].

Таблиця 1.3 – Технології передачі в умовах відсутності прямої видимості

Технології передачі	Діапазони, ГГц	Додаткові технології	Варіанти дуплекса
Wireless MAN-SC	10-66		Часовий, частотний
Wireless MAN-SCa	Нижче 11, ліцензов.	AAS, ARQ, STC. Мобільний	Часовий, частотний
Wireless MAN-OFDM	Нижче 11, ліцензов.	AAS, ARQ, Mesh. STC. Мобільний	Часовий, частотний
Wireless MAN-OFDMA	Нижче 11, ліцензов.	AAS, ARQ, HARQ, STC. Мобільний	Часовий, частотний
Wireless MAN	Нижче 11, ліцензов.	AAS, ARQ, Mesh. STC.	Часовий

У таблиці 1.3 введені такі позначення:

AAS – adaptive antenna system; використання для збільшення ємності мережі та покращення покриття більш ніж однієї антени на станціях;

ARQ – automatic repeat request; технологія та інформаційний пакет, що використовується в ній, які забезпечують повторну передачу неприйнятих пакетів;

HARQ – hybrid automatic repeat request; технологія повторної передачі даних, характерна для систем зі зворотним зв'язком;

STC – space time coding; просторово-часове кодування.

1.3 Зв'язок систем широкосмугового радіодоступу з мережами мобільного зв'язку

Поряд зі становленням СШР продовжується інтенсивний розвиток систем стільникового рухомого зв'язку. Вони пройшли шлях від простих аналогових мереж першого покоління до інтегрованих систем третього покоління і продовжують свій розвиток у напрямку четвертого покоління під егідою 3GPP (3rd Generation Partnership Project) (рис. 1.3).

Системи четвертого покоління, або удосконалені системи міжнародного рухомого зв'язку IMT-Advanced (International Mobile Telecommunications-Advanced) являють собою системи рухомого зв'язку з можливостями IMT, більшими за можливості IMT-2000. Такі системи мають надавати телекомунікаційні послуги широкого діапазону, в тому числі для вдосконалених систем рухомого і фіксованого зв'язку, в яких усе частіше використовується пакетна передача.

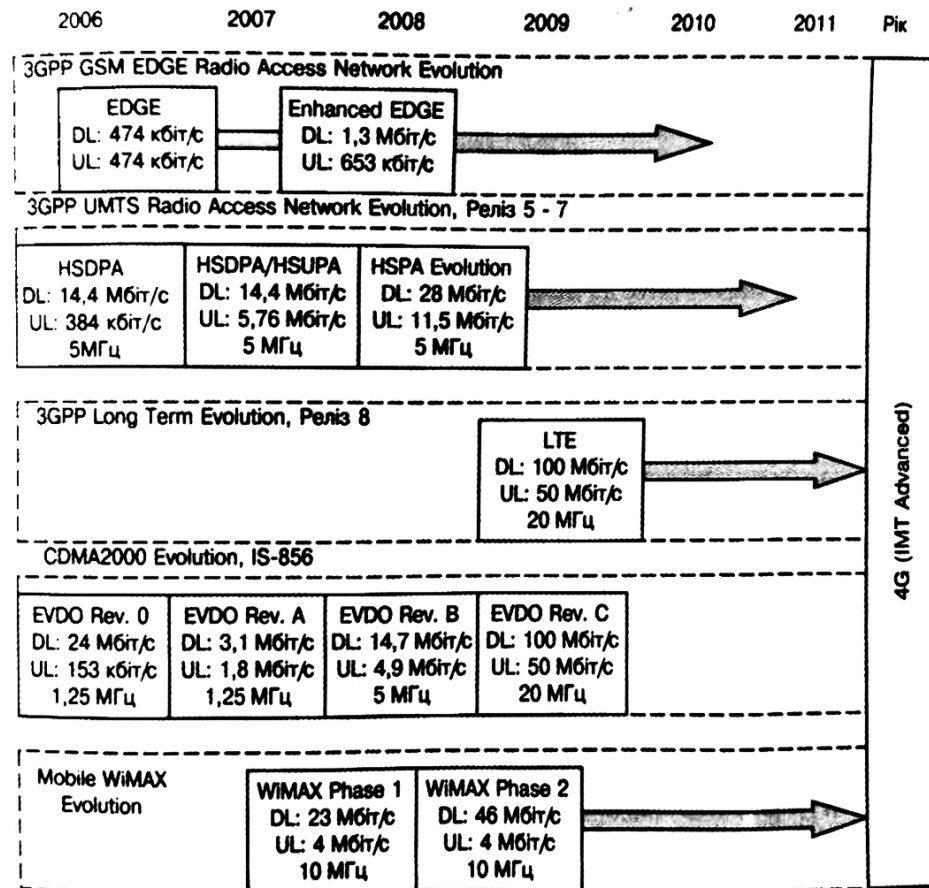


Рис. 1.3 Мобільний WiMAX і розвиток стандартів стільникового зв'язку: HSDPA-HighSpeedDownlinkPacket Access; HSUPA - High-SpeedUplinkPacket Access; HSPA - HighSpeedPacket Access; LTE - LongTermEvolution; EVDO - EVolutionDataOnly: DL - DownLink; UL - UpLink

Системи IMT-Advanced як з низькою, так і з високою мобільністю мають забезпечити великий діапазон підтримуваних швидкостей передачі даних залежно від потреб користувачів, а також мультимедійне застосування високої якості для широкого класу служб і платформ.

Основні характеристики IMT-Advanced згідно з Рекомендацією МСЕ-Р М.1645 «Frame work and over all objective sof the future development of IMT-2000 and systems beyond IMT-2000» наступні: високий ступінь уніфікації виконуваних функцій у широкому діапазоні застосувань; сумісність послуг у рамках IMT з фіксованими мережами; можливість взаємодії з іншими системами радіодоступу; висока якість послуг рухомого зв'язку; придатність

обладнання користувача для використання в усьому світі; зручність у використанні послуг і обладнання; можливість світового роумінгу. Як приклад, швидкості передачі даних з підвищеними піковими рівнями для забезпечення більш досконалих послуг і застосувань становлять 100 Мбіт/с для високої мобільності і 1 Гбіт/с для низької мобільності.

Згідно з Рекомендацією МСЕ-Р М.1645 специфікація мобільного WiMAX також віднесена до систем IMT-Advanced. При цьому мобільний WiMAX розглядається як засіб пакетної передачі даних у мережах рухомого зв'язку і визнається ближчим до технологій HSD(U)PA і LTE (Long Term Evolution), ніж до специфікації IEEE 802.16d.

Останні документи групи 3GPP, які представляють LTE, описують параметри мобільної радіосистеми з вищою ПЗ, ніж у мобільного WiMAX (див. рис. 1.3). Це свідчить про те, що створення мереж 4G на основі конвергенції мобільного зв'язку і СШР вимагає суттєвого підвищення їх ПЗ.

Технології IEEE 802.16 та IEEE 802.11 затверджені однією стандартизувальною організацією IEEE і мають деякі спільні риси. Оскільки технологія WiMAX з самого початку була орієнтована на створення мереж доступу MAN та більш широке застосування, архітектура керувальних елементів у ній більш детально опрацьована, ніж у WLAN, і містить елементи керування й комутації систем рівня NGN.

Технології WLAN та WiMAX різняться не лише складністю структури мережі, а й частотним діапазоном, розмірами стільників, процедурами автентифікації, а також технологічними рішеннями, які забезпечують мобільність абонентів. Інші відмінності технологій WiMAX і WLAN наведено в табл. 1.4. Як бачимо, технологія WiMAX виглядає більш перспективною для створення великих мереж радіодоступу. У той самий час технологія WLAN дає змогу створювати невеликі осередки систем радіодоступу в найбільш пересічних точках сучасних міст. З урахуванням тенденції до зменшення розмірів стільників технології WLAN і WiMAX можна розглядати як дві конкурентні технології лише для локальних площ за

умови урбанізованого міста. Еквівалентом технології WLAN щодо використання бізнес-моделі є мережі домашнього Ethernet, а еквівалентом технології WiMAX - інвестиційні проекти DSL і пасивного оптоволокна. Найпоширенішою архітектурою взаємодії двох розглянутих технологій є дворівнева структура, де WiMAX використовується як транспортна мережа для окремих мереж WLAN. При цьому можлива реалізація багатоплатформної гетерогенної безпроводової мережі радіодоступу з конвергенцією фіксованої та рухомої служб.

Таблиця 1.4 Технології WLAN і СШР

Показник	Стандарт 802.16	Стандарт 802.11(WiFi)
Ефективність		
Пропускна здатність	Забезпечується ефективне використання радіочастотного ресурсу	Зменшується з підключенням кожного нового абонента
Керування швидкістю передачі даних	Дає змогу кожному абоненту працювати з оптимальною швидкістю передачі даних	Не визначено. Абоненти працюють з однаковою швидкістю передачі даних
QoS		
Смуга пропускання	Надається незалежно кожному абоненту для напрямків «угору» або «вниз»	Потрібен зовнішній пристрій контролю
Пріоритетизація пакетів	Забезпечує гарантовану доставку, засновану на регулюванні сервісу (CIR, MIR)	Непередбачене мережне поведіння за відсутності мережного керування
Затримка і джитер	Контролюється для кожного напрямку відповідно до узгодження про обслуговування	Не підтримується гарантована затримка пакета
Мультисервісність	Комбінація сервісів, VoIP, Video, Data	Не підтримується
Безпека		
Контроль доступу	Рівень 2 (за MAC) і рівень 3 (за IP)	Доступ за листом MAC адрес.

Розпізнавання пакетів	Кожен АТ одержує лише для нього призначені дані	Можлива підміна MAC адреси Дані доступні всім АТ
-----------------------	---	--

Таблиця 1.5 Характеристики СШР з WLAN I UMTS

Параметр	Радіосистема			
	Wi-Fi	СШР		UMTS HSDPA
Стандарт	IEEE 802.11	IEEE 802.16		IMT2000
Тип каналу	Фіксований	Змінний	Змінний	Фіксований
Δf , МГц	20	≤ 20	≤ 20	5
Діапазон, ГГц	2,4/5,2	2-11	10-66	1,9-2,1
Швидкість передачі, Мбіт/с	2/54	70	240	1/14
Радіус зони дії, км	0,1	1-7	12-15	50
Вид передачі	OFDM	OFDM/ OFDMA	SC	WCDMA
Мобільність	Обмежена	Обмежена (802.16e)	Відсутня	Повна
Переваги	Низька вартість	Висока ПЗ		Мобільність і дальність дії

Для порівняння основні характеристики розглянутих радіосистем наведень в табл.1.4 і на рис.1.5 у вигляді діаграми.

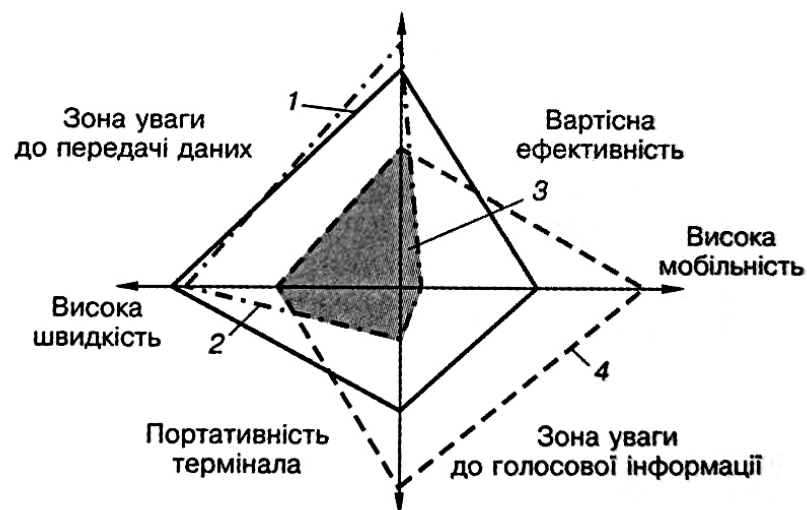


Рис.1.3.2. Діаграма характеристик СШР (1), WLAN (2) і UMTS (4): 3 –
площа накладення (спільні характеристики) .

1.4 Висновки до розділу

Проведено порівняльний аналіз параметрів і характеристик мереж фіксованого та мобільного WiMAX.

Вивчено особливості архітектури систем широкосмугового радіодоступу на базі конвергенції фіксованого та мобільного WiMAX.

Вивчено особливості забезпечення зв'язку систем широкосмугового радіодоступу на базі технології WiMAX з мережами мобільного зв'язку.

2 Дослідження згасань у хвильових каналах, утворених архітектурними спорудами

2.1 Математичні моделі розгалужень хвильових каналів утворених архітектурними спорудами.

Складемо схему заміщення ХКАС, та зобразимо таку схему для фрагменту міського району (рис 2.13) . Будемо вважати, що кожен відрізок вулиці довжиною r_i , може бути заміщений відрізком ідеальної двухпроводної лінії, каскадно включеним з атенюатором, величина затухання якого α_i при РРВ рівна затуханню на відрізку вулиці довжиною r_i .

Матриця розсіяння чотирьохполюсника, еквівалентного каскадному з'єднанню лінії і атенюатора, має вигляд:

$$[S(r_i)] = \begin{bmatrix} 0 & \sqrt{\alpha(\frac{r_i}{r_0})} \\ \sqrt{\alpha(\frac{r_i}{r_0})} & 0 \end{bmatrix} e^{-i\beta t}. \quad (2.1)$$

Матриця записана в припущенні, що чотирьохполюсник являється узгодженим з характеристичним опором вільного простору і взаємним.

Далі, припустимо, що нам потрібно виявити рівень сигналу вздовж вулиці 2, будуть впливати тільки сусідні вулиці 1,3,5 та 6. Тоді електрична схема еквівалентного багатополісника буде мати вигляд, наведений на рисунку 2.1.

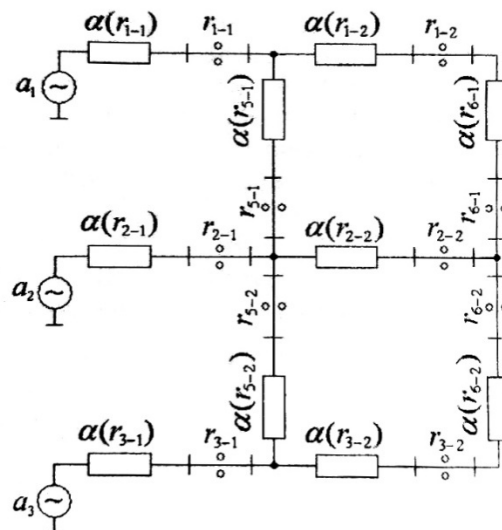


Рис.2.1 - Електрична схема багатополісника

Схема на рисунку 2.1 складається з трьох базових елементів: чотирьохполіусника – каскадного з'єднання атенюатора і відрізка ідеальної лінії, ідеального шестиполіусника і ідеального восьмиполіусника.

Переліченим базовим елементам присвоїмо номери 1, 2, 3 і створимо схему заміщення еквівалентного багатополіусника (рис 2.2).

З наведеної схеми заміщення отримуємо те, що матриця розсіювання еквівалентного багатополіусника може бути отримана шляхом використання циклічних алгоритмів для каскадного з'єднання чотирьохполіусника і шестиполіусника, а також, чотирьохполіусника і восьмиполіусника.

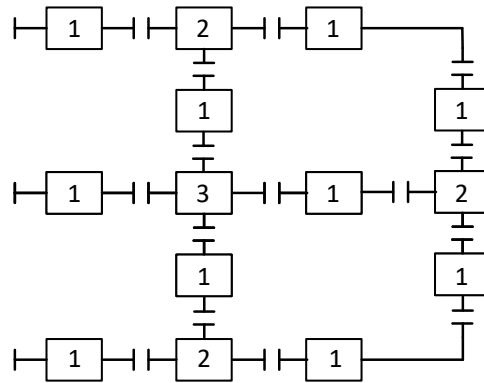


Рис 2.2 – Схема заміщення еквівалентного багатополіусника

Наведемо формули розрахунку параметрів розсіювання з'єднання чотирьохполіусника і шестиполіусника[163].

$$\begin{aligned} S_{11} &= S_{11}^{(1)} + \frac{(S_{12}^{(1)})^2 S_{11}^{(1)}}{A}, S_{12} = \frac{S_{12}^{(1)} S_{12}^{(2)}}{A}, S_{13} = \frac{S_{12}^{(1)} S_{13}^{(2)}}{A}, \\ S_{22} &= S_{22}^{(2)} + \frac{S_{22}^{(1)} (S_{12}^{(2)})^2}{A}, S_{33} = S_{33}^{(2)} + \frac{S_{22}^{(1)} (S_{13}^{(2)})^2}{A}, \\ S_{23} &= S_{23}^{(2)} + \frac{S_{22}^{(1)} S_{12}^{(2)} S_{13}^{(2)}}{A}, A = 1 - S_{22}^{(1)} S_{11}^{(2)}, \end{aligned} \quad (2.2)$$

де, $[S_{ij}^{(1)}]$, $[S_{ij}^{(2)}]$ матриці розсіювання чотирьохполіусника і шестиполіусника відповідно.

Для з'єднання чотирьохполіусника з вісьмиполіусником формули мають такий вигляд[163]

$$\begin{aligned} \hat{S}_{11} &= S_{11}^M + \frac{4S_{12}^M S_{21}^M S_{11}}{1 - S_{11}(S_{22}^M + \sum_{N=2}^N S_{2,N+1})}, \\ \hat{S}_{21} &= \frac{S_{21}^M S_{21}^M}{1 - S_{11}(S_{22}^M + \sum_{N=2}^N S_{2,N+1})}. \end{aligned} \quad (2.3)$$

Позначимо

$$S_{11}^M = S_{11}^{\partial}, S_{21}^M = S_{21}^{\partial}, 4S_{12}^M = S_{12}^{\partial}, S_{22}^M + \sum_{N=2}^N S_{2,N+1} = S_{22}^{\partial}. \quad (2.4)$$

Із врахуванням позначень (2.4) вирази (2.3) запишуться

$$\hat{S}_{11} = S_{11}^{\partial} + \frac{S_{12}^{\partial} S_{21}^{\partial} S_{11}}{1 - S_{11} S_{22}^{\partial}}, \hat{S}_{21} = S_{21}^{\partial} + \frac{S_{21}^{\partial} S_{21}}{1 - S_{11} S_{22}^{\partial}}.$$

Матриця розсіювання еквівалентного чотирьохполюсника i -го ряду схеми буде мати вигляд:

$$[S^{\partial(i)}] = \begin{bmatrix} S_{11}^{(i)} & N_i S_{12}^{(i)} \\ S_{21}^{(i)} & S_{22}^{(i)} + \sum_{N_i=2}^{N_i} S_{2,N_i+1} \end{bmatrix},$$

де $S_{i,j}^{(i)}$ коефіцієнт розсіювання подільника, або чотирьохполюсника i -го ряду, N – кількість входів елемента i -го ряду схеми.

Наведені формули (2.1) – (2.4) складають математичну модель ХКАС.

2.2 Математичні дослідження згасань у вуличних хвильових каналах архітектурних споруд

При використанні моделі ХКАС, розробленої в п. 2.1, у випадку функціонування WiMAX систем необхідно знати архітектурні особливості району, в якому відбувались виміри.

Для досліджуваного району були отримані такі дані. Висота над рівнем моря для більшої частини досліджуваного району плавно змінюється в межах від 135 м до 145 м, що дозволяє характеризувати підстилаючу поверхню як слабо горбисту.

Район характеризується великою щільністю забудови, що дає можливість апроксимувати бокові поверхні хвильових каналів суцільною стіною. Дослідження показали, що матеріалом більшості стін будівель в даному випадку є цегла.

Всі вулиці в якості підстилаючої поверхні мають асфальтове покриття. Електричні параметри цегли можуть достатньо сильно варіюватись і відповідно до роботи [157], для даного частотного діапазону складають: гранична діелектрична проникність $\varepsilon_1 = 2..15$, гранична провідність $\sigma = 0,002..0,01$.

Гранична електропровідність асфальтного покриття в тих самих межах, що і цегли ($\sigma_2 = 0,002..0,01$), а діелектрична проникність $\varepsilon_2 = 2..5$. Дані по довжині і ширині ХКАС наведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2. Довжина і ширина ХКАС

Назва вулиці	Довжина вимірюваного відрізка, м	Ширина, м
600 річчя	2000	25-30
Проспект Юності	2000	50-55
Проспект Космонавтів	2000	50-55
Політехнічна	1500	40
Хмельницьке шосе	1500	40
Порика	1500	30-35
Келецька	2000	50-55
Андрія Первозванного	1500	40-50

У випадку використання вуличних розгалужених радіоканалів загальна модель ХКАС, створена в п. 2.1, повинна бути доповнена розрахунковим співвідношенням затухань при РРВ з врахуванням характеристик направленості антен системи WiMAX. Таким чином, затухання на прямолінійному відрізку вулиці повинно вираховуватись по формулі

$$\alpha\left(\frac{r_i}{r_0}\right) = (D_1 - \Delta D_1) + (D_2 - \Delta D_2) + \frac{\Pi\left(\frac{r_i}{r_0}\right)}{\Pi_{max}}, [\text{дБ}], \quad (2.5)$$

де D_1 – максимальний КСД антени базової станції (14 дБ), D_2 – максимальний КНД антени клієнтського адаптера (16,5 дБ); $\frac{\Pi\left(\frac{r_i}{r_0}\right)}{\Pi_{max}}$ – відносна щільність потоку потужності, яка розраховувалась за допомогою описаної в розділі 3 моделі РРВ LAN-MAN; $\Delta D_1, \Delta D_2$ – поправки, що враховують зміни КСД в заданому напрямі, розраховані з вказаних міркувань.

Параметри антен значно впливають на характер і рівень сигналів і перешкод. Складність задач визначення рівня сигналу і сигнал/шуму полягає в тому, що необхідно знати не тільки максимальний КСД антени D_{max} , але і КНД в конкретному напрямку по азимуту θ і куту місця φ – $D(\theta, \varphi)$. Способи які використовуються для зменшення побічного випромінювання бокового випромінювання призводять до ускладненню аналітичного опису антени в цілому. Крім того, часто такий опис являється комерційною таємницею фірм виробників і в паспортних даних на антену дається тільки її спрощена діаграма направленості і основні характеристики.

Також слід враховувати ті обставини, що в реальних умовах установки антени (дах будинку, антенна щогла), через вплив земної поверхні і навколишніх предметів, форма реальної ДН відрізняється від розрахункової. Тому, враховуючи значне число даних, що аналізуються на основі інформації наданої фірмою виробником антен, в полярній системі координат було

побудовано діаграми направленості антени базової станції (рис 2.2) і ДС антени абонентської станції WiMAX(рис.2.3).

Взаємне знаходження і орієнтація антен при розрахунку систем зв'язку можуть бути різними. Тому, реальне підсилення антени базової станції в напрямленні на взаємодіючий з нею клієнтський адаптер визначається кутами, що задають напрямок від антени передатчика на антену приймача і навпаки, в горизонтальній і вертикальній площинах $\theta_{TR}\theta_{RT}\varphi_{TR}\varphi_{RT}$

На рис. 2.4 наведено взаємне знаходження діаграм направленості антен в горизонтальній площині, а в площині, що проходить перпендикулярно площині $\lambda, 0, \xi$ через досліджувальні антени, - на рис. 2.5.

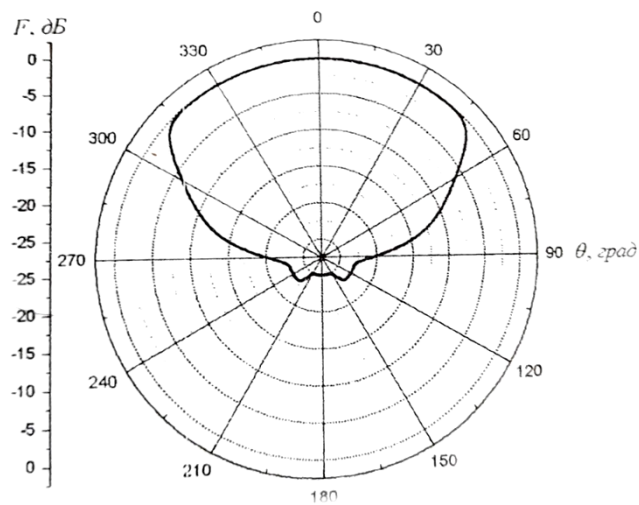


Рис. 2.2 – ДС антени базової станції WiMAX

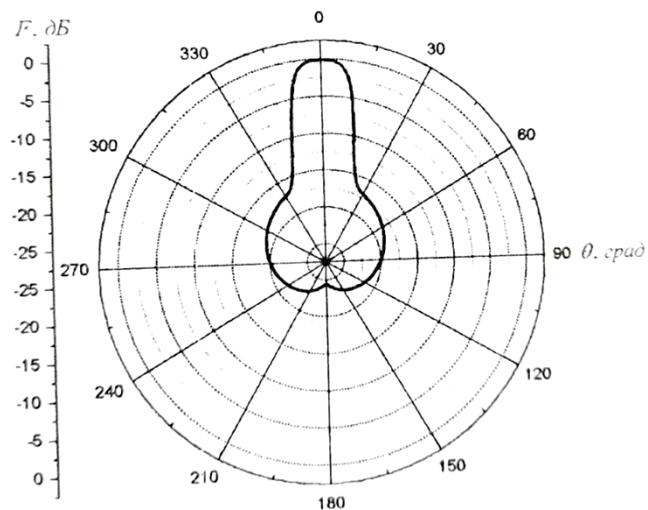


Рис. 2.3 ДС антени абонентської станції WiMAX

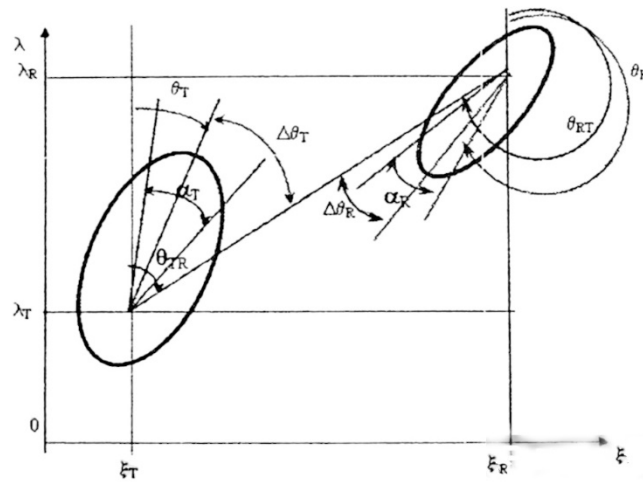


Рис.2.4 – Параметри взаємного розміщення антен в горизонтальній площині

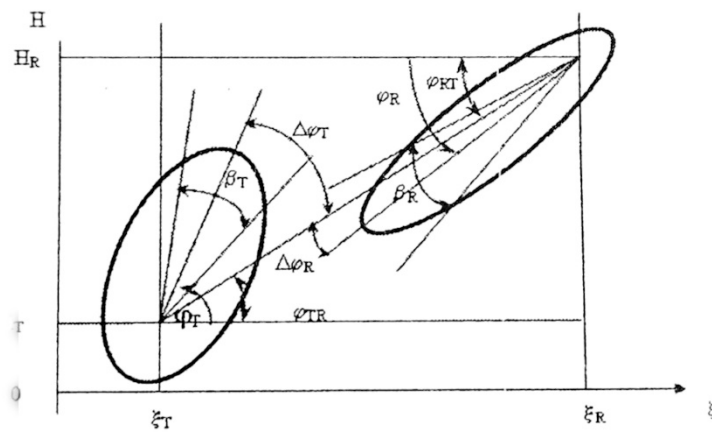


Рис. 2.5 – Параметри взаємного розташування антен в вертикальній площині

На рисунках позначені наступні географічні координати: λ_T, ξ_T – широта і довгота місцезнаходження антени датчика, λ_R, ξ_R – широта і довгота місцезнаходження антени приймача; α_T, β_T – ширина ДН передатчика в горизонтальній і вертикальній площинах відповідно; α_R, β_R – те ж саме для ДН приймача; θ_T, θ_R – азимут максимального випромінювання і прийому передаючої і приймаючої антен. φ_T, φ_R – кути місця максимального випромінювання і прийому передаючої і приймальної антени; r_i – відстань між передатчиком і приймачем; H_T, H_R – висоти передаючої та приймальної антени.

Кути θ_{TR} і φ_{TR} отримаємо з геометричної задачі на рис. 2.4, 2.7:

$$\theta_{TR} = \arccos \frac{\sin \lambda_R - \sin \lambda_1 (\sin \lambda_1 \cdot \sin \lambda_R + \cos \lambda_1 \cdot \cos \lambda_R \cdot \cos(\xi_R - \xi_T))}{-\sin(\arccos(\sin \lambda_1 \cdot \sin \lambda_R + \cos \lambda_1 \cdot \cos \lambda_R \cdot \cos(\xi_R - \xi_T)))}$$

$$\varphi_{TR} = \arctg \frac{H_R - H_T}{r_i}. \quad (2.5)$$

Для визначення φ_{TR} та θ_{TR} необхідно в (2.5) змінити індекси T на R і R на T .

Поправку, що враховує значення КНД в заданому напрямку можна знайти за формулою

$$\Delta D = \sqrt{D_{\Delta\theta}^2 + D_{\Delta\varphi}^2}, \quad (2.6)$$

де $D_{\Delta\theta}$ і $D_{\Delta\varphi}$ – коефіцієнти направленої дії антени в горизонтальній і вертикальній площинах.

КНД відносно напруженості поля може бути розраховано по формулі:

$$D_{\Delta\theta}, D_{\Delta\varphi} = 20 \cdot \lg(\tau) [\text{дБ}], \quad (2.7)$$

де τ – величина, що враховує зменшення коефіцієнта підсилення антени в напрямку $\Delta\theta, \Delta\varphi$ по зрівнянню з максимальним.

Кути $\Delta\theta, \Delta\varphi$ можна знайти за формулами:

$$\begin{aligned} \Delta\theta_{T,R} &= |\theta_{T(R)} - \theta_{TR(RT)}|, \\ \Delta\varphi_{T,R} &= |\varphi_{T(R)} - \varphi_{TR(RT)}|. \end{aligned} \quad (2.8)$$

Ширина ДН антени базової станції: в горизонтальній площині - 90° , в вертикальній площині - 8° . Ширина ДН антени абонентської станції: в горизонтальній площині - 20° , в вертикальній площині 20° .

Формули розрахунку τ для різних типів антен мають наступний вигляд -антена абонентської станції WiMAX:

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{4b^2 \cdot \cos^2 \gamma}{(4b^2 - 1) \cos^2 \gamma + 1}, \\ b^2 &= \frac{1}{2} \cdot \frac{1 - \cos^2 \alpha}{1 - (\sqrt{2} \cos^2 \alpha - 1)^2}, \quad 0^\circ \leq \alpha \leq 65^\circ, -90^\circ \leq \gamma \leq 90^\circ, \end{aligned}$$

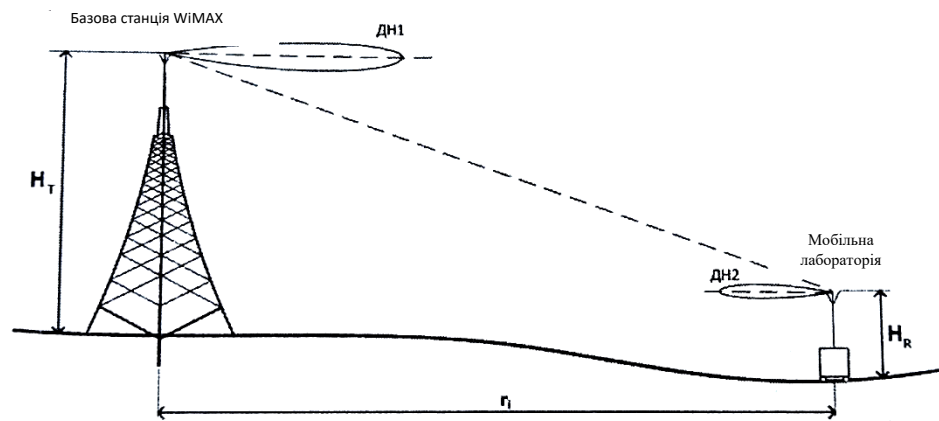
де γ – кут $\Delta\theta_T, \Delta\theta_R, \Delta\varphi_T, \Delta\varphi_R$ залежності від антени (передаючої – Т, приймальної – R) площин (горизонтальної θ чи вертикальної φ); α – ширина ДН в горизонтальній (α_T, α_R) чи вертикальній (β_t, β_R) площинах;

-антена базової станції WiMAX:

$$\tau = \frac{(1-a) \cos \gamma + \sqrt{(1-a)^2 \cdot \cos^2 \gamma + 4a}}{2}, \quad (2.9)$$

де $0 \leq a \leq 1$; при $a=0$ $-90^\circ \leq \gamma \leq 90^\circ$; при $a=1$ $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$.

Кут γ розраховується за формулою: $\gamma = \arctg\left(\frac{H_T - H_R}{r_i}\right)$

Рис 2.6. До розрахунку кута γ

Наведемо приклади розрахунків по запропонованій моделі за допомогою пакету програмного забезпечення *Microwave Office*.

Приклад схеми з'єднання вулиць, що використовуються для розрахунку затухань вздовж масиву Вишенька в пакеті прикладних програм *Microwave Office* наведена на рисунку 2.7 ($l=r_i$ відрізок лінії довжиною r_i ; $AT(m, n)$ – атенюатори (m – номер вулиці, n – порядковий номер атенюатора для вулиці з номером m); BM – вимірювач потужності)

Для визначення рівня сигналу S_b точках r_i вул. 600 річчя атенюатору $AT(1,1)$ присвоєнні затухання $\alpha(r_i, r_0)$, вираховані по формулі (2.7).

Доданок $\Pi(r_i/r_0)\Pi_{max}$ в формулі (2.7) розраховується з використанням відношення (4.12) для щільності потоку потужності та вираз (4.13) для напруженості поля в точці прийому.

$$\Pi_{max} = \frac{1}{2} \cdot \frac{|E|^2}{120\pi}. \quad (2.10)$$

$$E(r) = \frac{\sqrt{P \cdot Z_0 \cdot D_2}}{2\pi} \cdot \left[\frac{1}{r} \cdot (1 + R_B \cdot e^{-k \cdot r \cdot i} + R_\Gamma \cdot e^{-k \cdot r \cdot i} + R_\Gamma \cdot e^{-k \cdot r \cdot i}) \cdot e^{-k \cdot r \cdot i} \right] \quad (2.11)$$

де P – потужність випромінювання в точці передачі; Z_0 – хвильовий спротив простору; D_2 – коефіцієнт направленої дії антени; R_B – коефіцієнт відбиття при вертикальній поляризації; R_Γ – коефіцієнт відбиття при горизонтальній поляризації.

Коефіцієнт відбиття для випадку вертикальної поляризації:

$$R_B = \frac{\varepsilon_\Pi \cos \theta - \sqrt{\varepsilon} \sqrt{\varepsilon_\Pi - \varepsilon \sin^2 \theta}}{\varepsilon_\Pi \cos \theta + \sqrt{\varepsilon} \sqrt{\varepsilon_\Pi - \varepsilon \sin^2 \theta}}, \quad (2.12)$$

де ε – діелектрична проникність повітря; ε_Π – комплексна діелектрична проникність підстилаючої відбивної поверхні.

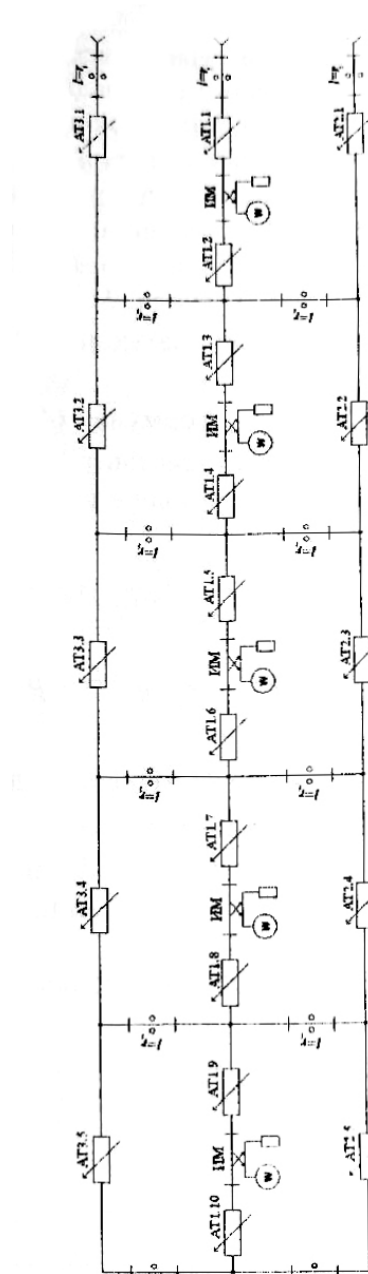


Рис . 2.7 – Схема для розрахунку затухань вздовж масиву Вишенька ($m=1$ – вул. 600 –річчя, $m=3$ –Андрія Первозванного)

Коефіцієнт відбиття для випадку горизонтальної поляризації:

$$R_r = \frac{\sqrt{\varepsilon} \cos \theta - \sqrt{\varepsilon_B \varepsilon \sin^2 \theta}}{\sqrt{\varepsilon} \cos \theta + \sqrt{\varepsilon_B \varepsilon \sin^2 \theta}}$$

де ε – діелектрична проникність повітря, ε_B – комплексна діелектрична проникність бокових відбиваючих поверхонь.

Аналогічно розраховуються затухання всіх інших атенюаторів АТ(2,n) та АТ(3,n). При цьому вимірювачі потужності в лініях, що імітують вулиці 2 і 3, не враховувались і атенюаторам надавались втрати розповсюдження на всій

довжині відповідних відрізків. Порівняльні дані результатів розрахунку по представленій методиці і експерименту наведені на рис. 2.8, 2.10, 2.12. На рис. 2.9, 2.11 наведені схеми вулиць, використаних для розрахунку затухань вздовж вулиць в пакеті прикладних програм Microwave Office

Теоретичні криві добре узгоджуються з експериментальними.

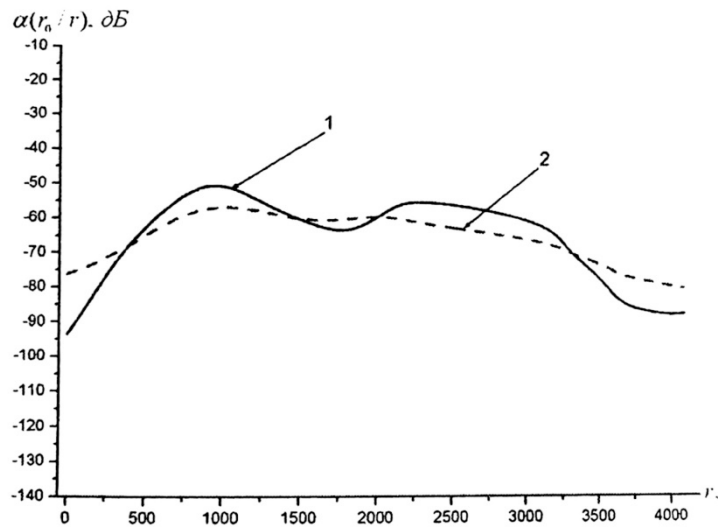


Рис. 2.8 – Затухання сигналу вздовж масиву Політехнічна
(1 – експеримент, 2 - розрахунок)

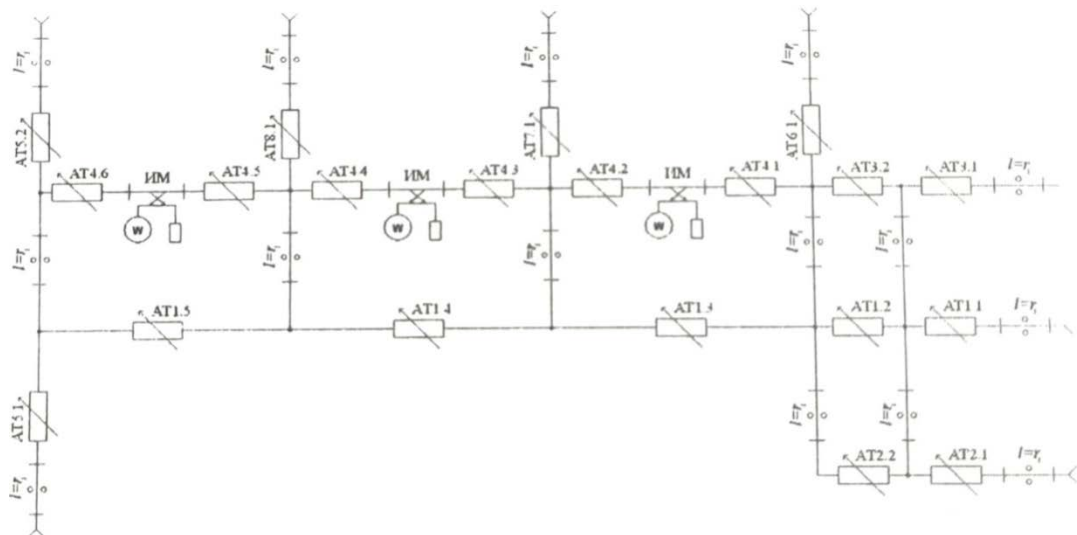


Рис 2.9 – Схема для розрахунку затухань вздовж вулиці Політехнічна

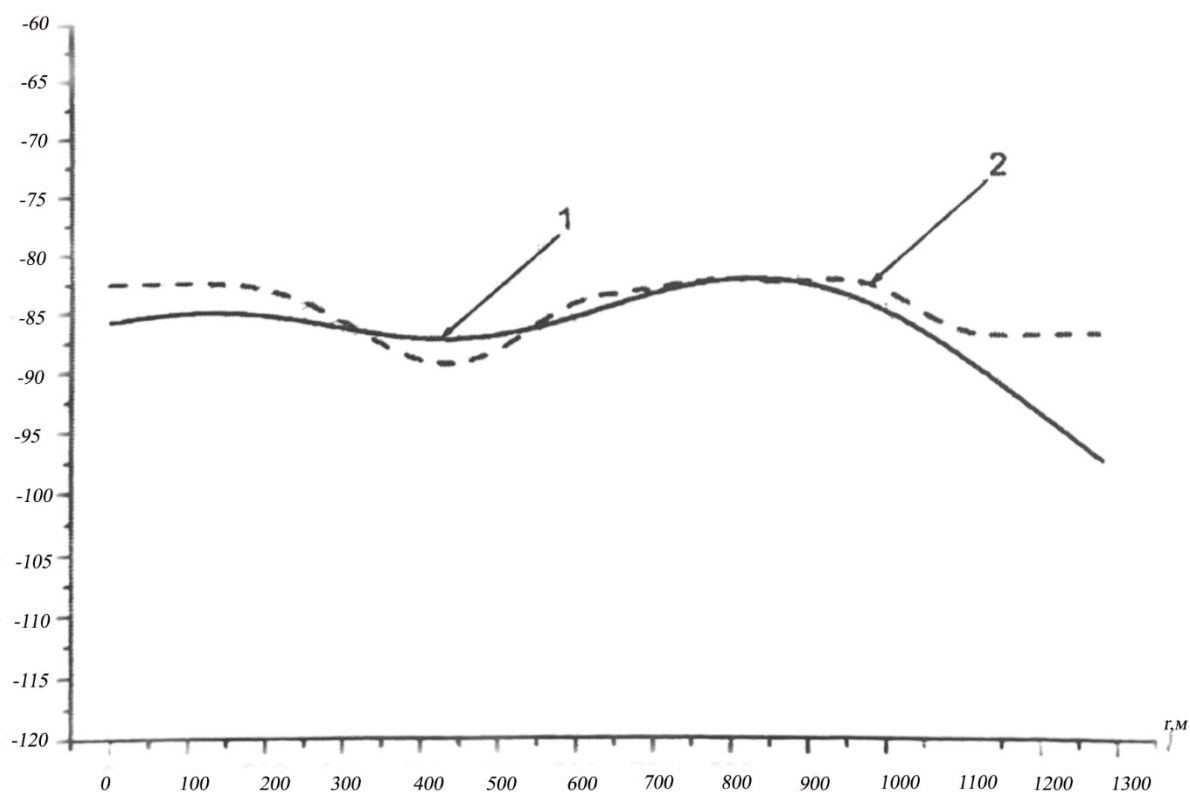


Рис 2.10 – Затухання вздовж вулиці Політехнічна
(1 – експеримент, 2 - розрахунок)

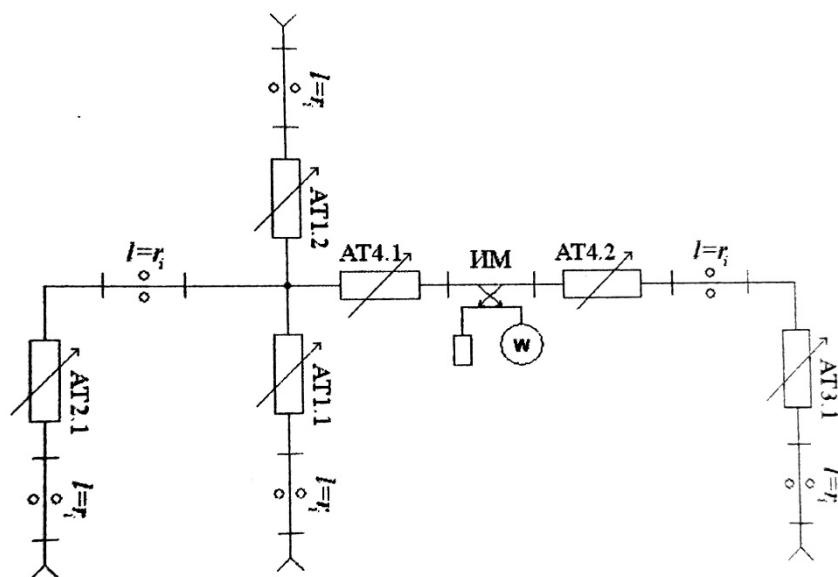


Рисунок 2.11 – Схема розрахунку затухань по проспекту Космонавтів

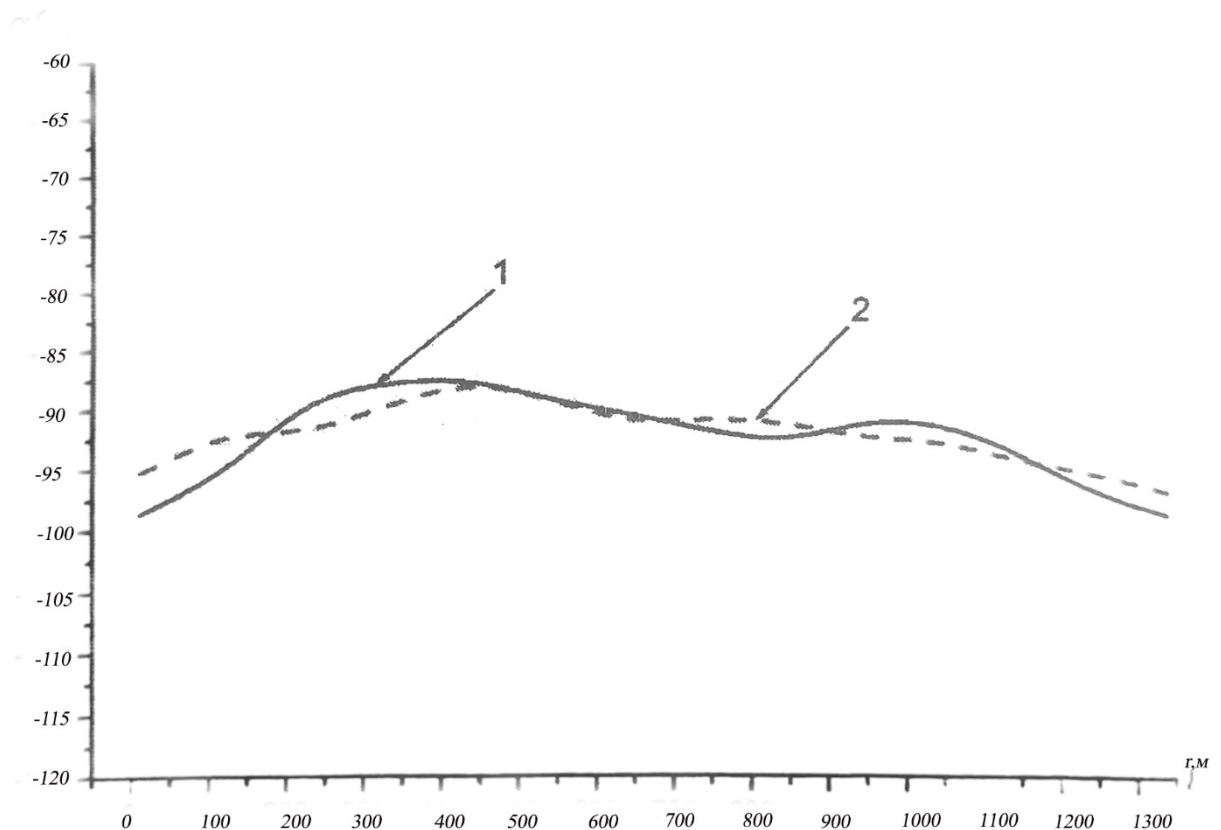


Рисунок 2.12 – Затування сигналу вздовж проспекту Космонавтів

(1 – експеримент, 2 - розрахунок)

2.3 Експериментальні дослідження згасань при використанні технології WiMAX.

Проектування бездротових цифрових інформаційних систем передачі багато в чому ґрунтується на проектуванні радіоканалу. Достовірною моделлю радіоканалу, як відомо з [178-181], завжди спирається на експеримент. Для випадку бездротової ЦСП з WiMAX-технологією вже з'явилася низка статей [182, 183], у яких висвітлено деякі питання поширення радіохвиль за умов міста. У результаті з'ясовано, наприклад, види модуляції, які властиві тим чи іншим рівням співвідношення сигнал/шум (S/N) у пункті прийому. Проте описані у згаданих роботах експериментальні результати мають приватний характер. Вони не можуть бути використані для побудови загальної моделі РРВ у бездротових каналах WiMAX мереж як через обмежену кількість проведених експериментальних досліджень, так і через відсутність їх систематизації за якоюсь ознакою. Зокрема, практично не вивчено механізм поширення радіохвиль по міських хвильових каналах, створених архітектурними спорудами.

Розширення знань про закони розповсюдження радіохвиль по ХКАС бездротових мереж з технологією WiMAX, особливо по міських вулицях,

актуальне у зв'язку з введенням в експлуатацію в найближчій перспективі мобільних систем WiMAX і пов'язане з необхідністю проведення великих експериментів. Частина їх виконано у межах представленого дослідження. Мета роботи в рамках даного розділу полягала у проведенні дослідів та аналізі їх результатів при розповсюдженні по вуличних ХКАС сигналах ЦСП з технологією WiMAX в умовах великого промислового центру (м. Вінниця). Карта частини міста Вінниця, дослідження наведена на рис. 2.13. В якій виконувалися Для проведення вимірювань було створено мобільну лабораторію.



Рисунок 2.13 – Карта району Вишенька

В складі мобільної лабораторії входить наступне обладнання: абонентська станція WiMAX Breeze-Max 3500, ноутбук, GPSприймач Nov Atel SS-11, перетворювач напруги ПН – 12В/220В і акумуляторна батарея АКБ- 12В.

Для вимірювання сигнал/шум(S/N) і рівня сигналу(S)використано спеціальний програмний інтерфейс. Базова станціяWiMAX встановлена на висоті $h_{\text{БС}} = 80\text{м}$

В БС використовується чотирьохсекторна антена.

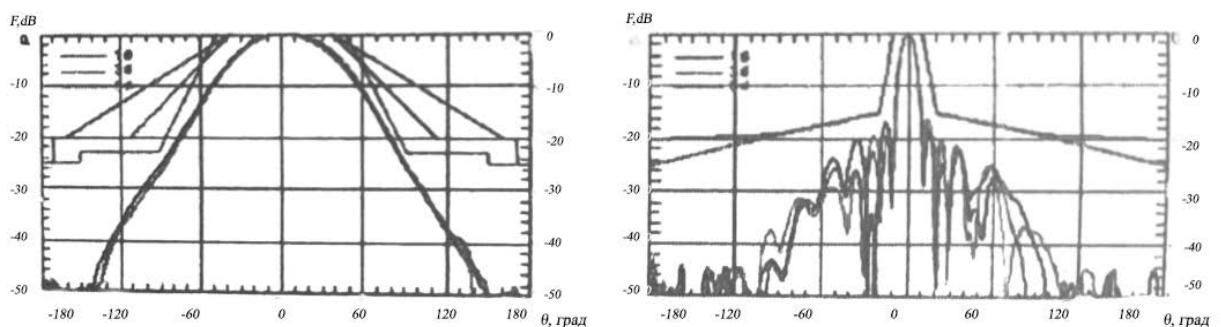
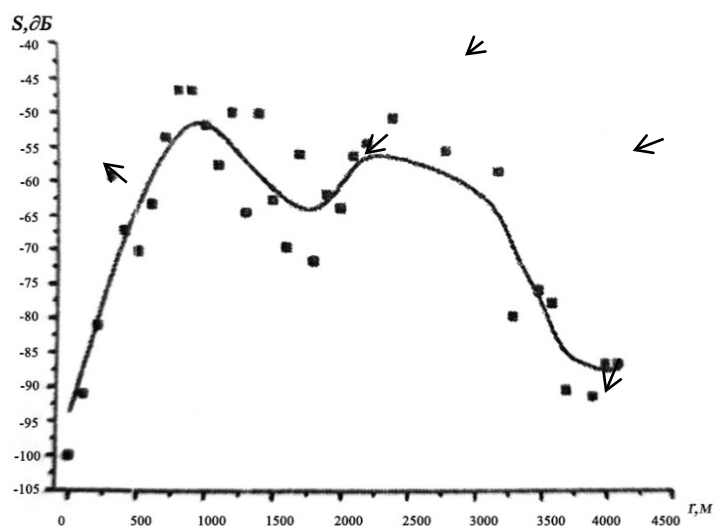


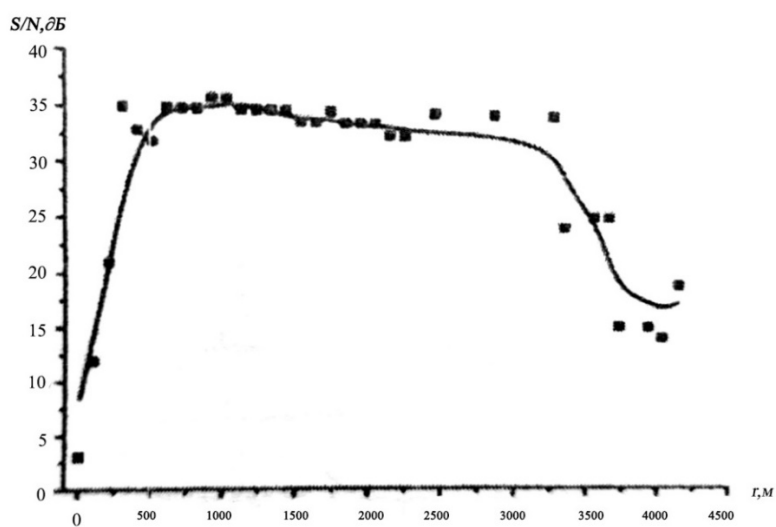
Рисунок 2.14 – Діаграма направленості: а) антени БС, б) антени АС

Досвід першого виміру вздовж максимуму ДН базової станції (вздовж вулиці 600 річчя). Результати експериментів у вигляді залежностей $S(r)$ та $S/N(r)$ наведено на рис. 2.15а, б. При дослідіх максимальна відстань r дорівнювала 4 км, що відповідало максимальній дальності впевненого зв'язку. На малюнку точками показані дані разових вимірювань при еталонній відстані $r_0 = 100$ м і з кроком 100 м. У кожній точці вимірювань апертура антени абонентської станції, закріплена на штативі, встановлювалася перпендикулярно до напрямку максимального прийому на висоті 1,5 м над рівнем вуличного покриття. Первинні дані вимірювань усереднювалися та згладжувалися за допомогою програмного пакету Origin 6.1. Оброблені результати у вигляді суцільних кривих показано на рис. 2.15 а, б. Ці криві спільно зображені на рис. 2.17, ст. Тут також показано характер змін видів модуляції сигналу вздовж траси. На осі відстаней показані відрізки з тим чи іншим видом модуляції (QPSK 1/2, BPSK 3/4, BPSK1/2). Відомо, що апаратура WiMAX є адаптивною та дозволяє підтримувати постійну швидкість передачі (або рівень S/N) цифрового потоку при зменшенні рівня сигналу. З представлених даних випливає, що при $S < -65$ дБ адаптація не працює і співвідношення S/N зменшується з такою ж швидкістю, як і рівень сигналу. Отриманий результат суттєво уточнює системи WiMAX з адаптації, оскільки у [185] показано, що нижньою межею адаптації є рівень сигналу - 75дБ. В той же час отримані дані за характером змін видів модуляції на трасі добре корелюють результатами С, можливості наведеними в [186] (див. рис. 2.15, і рис. 2.16).

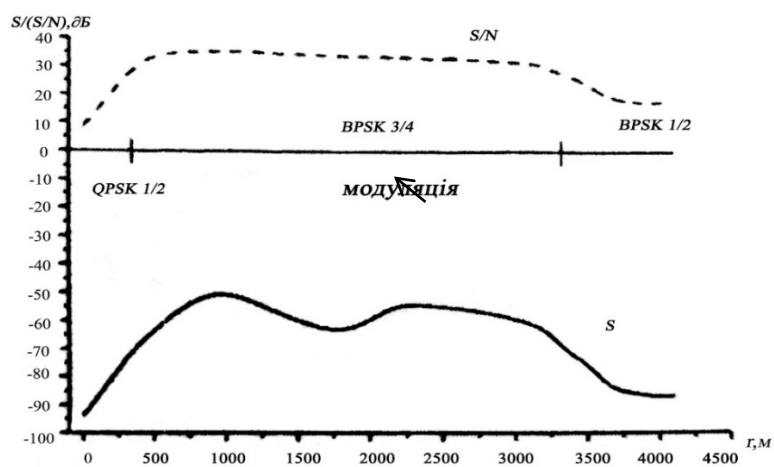
Аналізуючи їх разом із даними проведеного експерименту, можна зробити висновок, що в досліджуваній частині м. Вінниця передача інформації по системі бездротового зв'язку WiMAX здійснюється зі швидкістю 1-2 Мбіт/с. Відстань, показаний на рис. 2.11а-г, вимірювалися від точок Н у напрямку стрілок (див. рис. 2.13). При цьому головний максимум ДС абонентської станції (див. рис. 2.14 б) встановлювався вздовж осі вулиці (приблизно під кутом 90° до напрямку максимального випромінювання БС).



a)



б)



в)

Рис. 2.15 - Дані вимірювання по вулиці 600-річчя

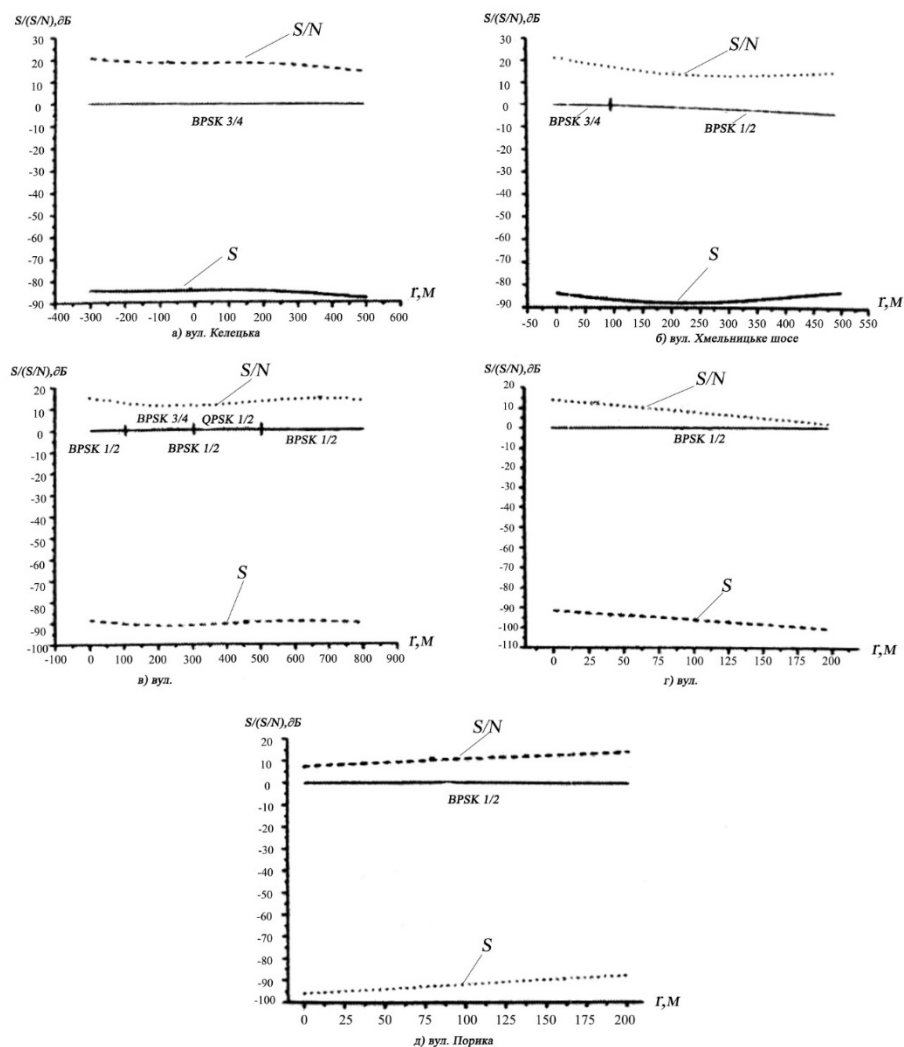


Рис. 2.16 – Вимірювання рівнів величин S , S/N та видів модуляції поза головною пелюсткою ДН антени базової станції

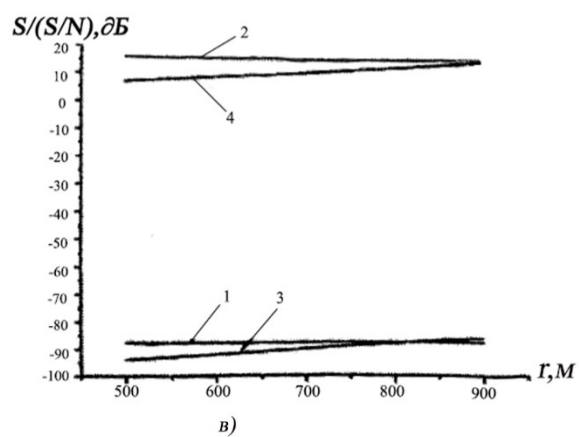
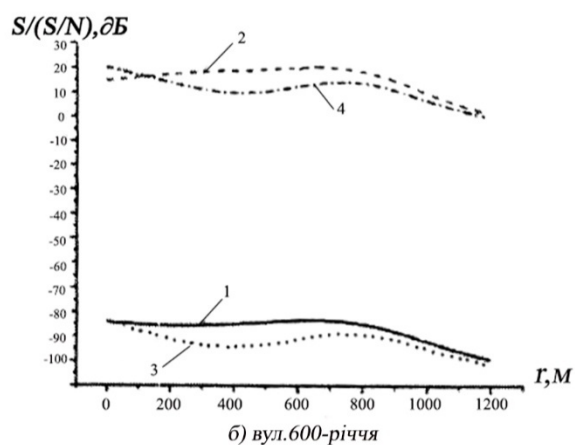
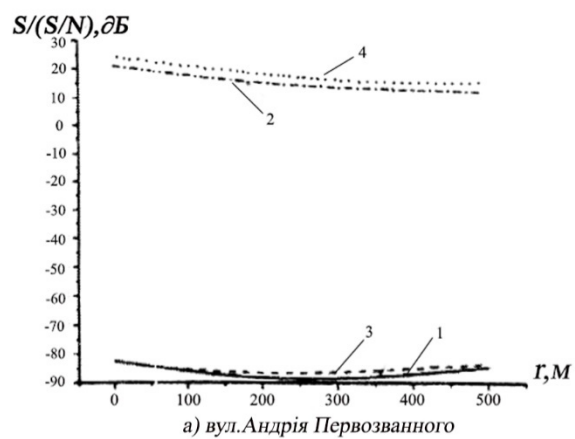


Рис. 2.17 -Результати вимірювання розподілу полів, інтерферуючих у вуличних хвильових каналах потоків

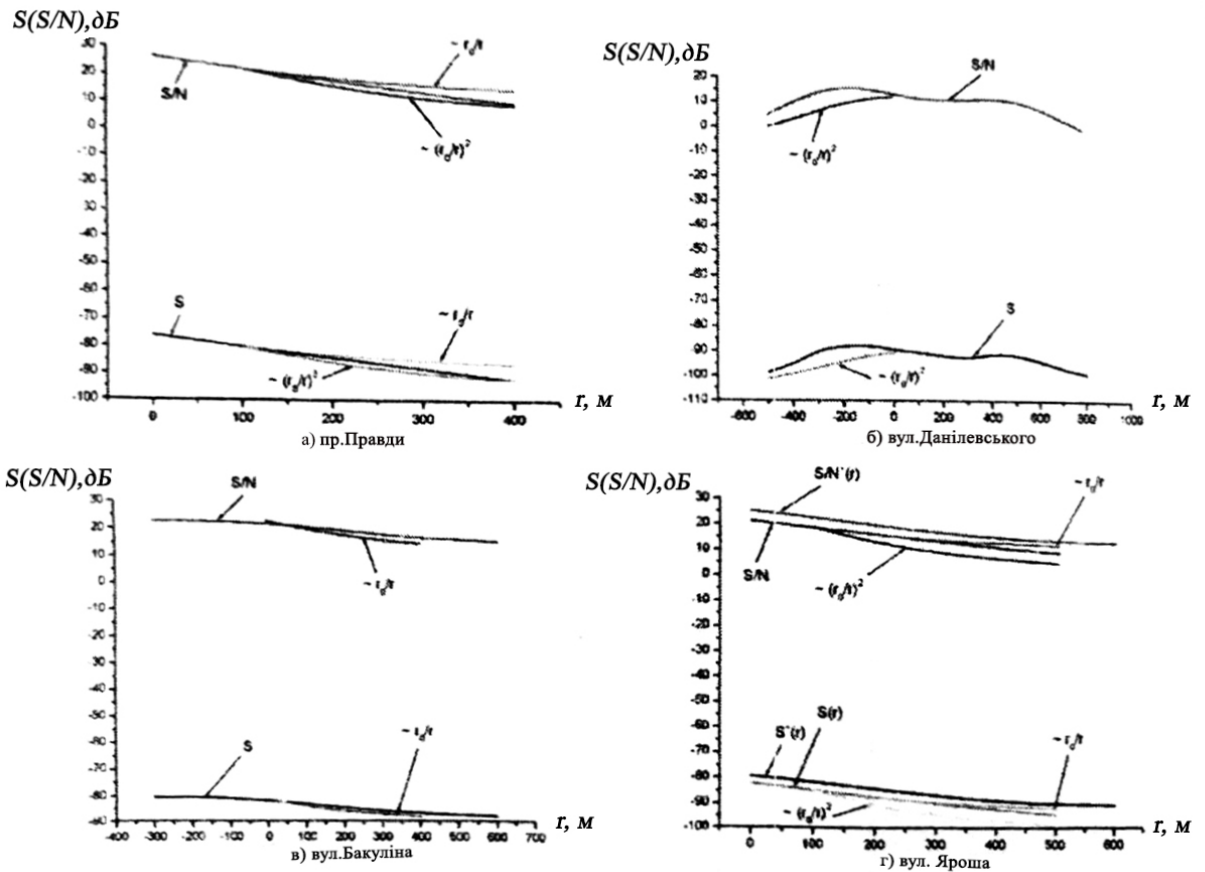


Рис. 2.18 - Апроксимація вимірних розподілів полів відомими функціями

Тому рівень сигналу падав на 30 дБ щодо його рівня по вулиці 600-річчя, що відповідає значенню ДС при $\theta = 90^\circ$. В технології радіодоступу WiMAX на базовій станції використовуються секторні антени з широкою діаграмою спрямованості (рис. 2.14, а), а абонентські станції мають вбудовану антену з вузькою діаграмою спрямованості та малим рівнем прийому задньої пелюстки (рис. 2.19, б) [187]. Ця особливість апаратури WiMAX дозволяє запропонувати нову методику експериментального доказу існування хвильових каналів та порівняння рівнів сигналів S та відносин сигнал/шум S/N , створених у точці прийому за рахунок різних механізмів поширення.

Розглянемо рис. 2.19. Тут БС знаходиться на поздовжній за малюнком вулиці. Тоді, у припущенні наявності хвильових каналів, у поперечній вулиці, утвореній ансамблями будинків Д1 і Д2, має виникнути два потоки енергії (зазначені стрілками на рис. 2.19). Ці потоки є хвилями, що біжать, що рухаються назустріч один одному. Вони інтерферують, утворюючи змішану хвилю.

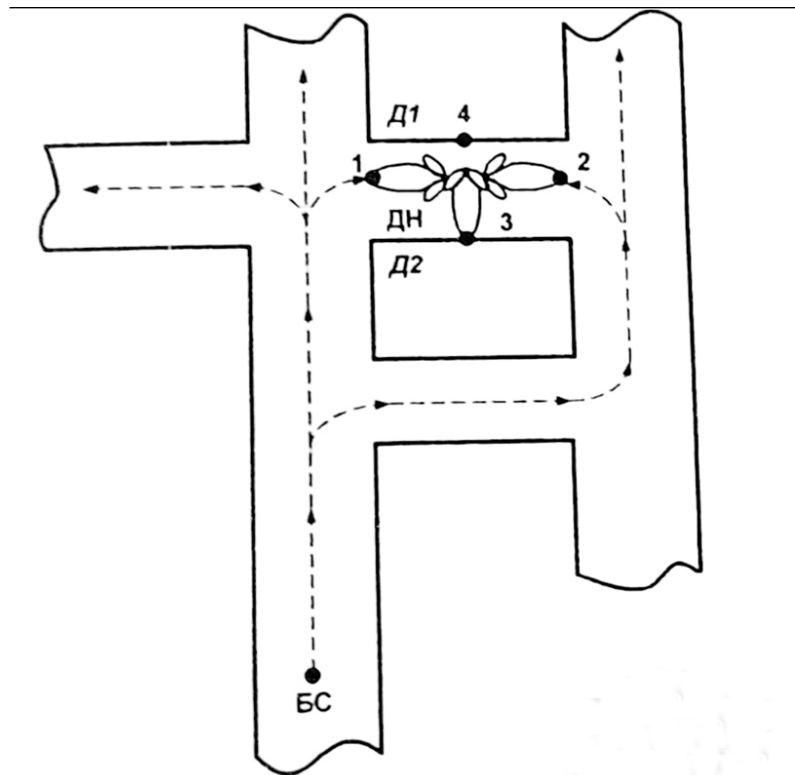


Рис. 2.19 – Схема ХКАС

З наведеного опису випливає така методика експериментального доказу існування хвильових каналів. Діаграма спрямованості приймальної антен направляється максимумом в точку 1 (рис. 2.19), реєструючи, таким чином, потік енергії, що рухається з точки 1 в точку 2. Потім максимум ДН направляється в точку 2 і реєструється зворотний потік енергії. Наявність обох потоків свідчить існування хвильового каналу. Орієнтуючи максимум ДН у точку 3 (точки на стінах ансамблів будинків), можна зареєструвати інтенсивність сигналу, утвореного за рахунок дифракційного поширення радіохвиль (від БС через дахи ансамблю будинків Д2). Новизна запропонованої методики порівняно з відомими роботами (наприклад, [188]) полягає в тому, що за рахунок застосування антени з вузькою ДН вдається виявити напрямок руху потоків енергії вздовж вулиць та розділити вклади різних механізмів РРХ у рівень сигналу, що приймається.

Експериментальні дослідження за запропонованою методикою проведено в одному із чотирьох секторів роботи БС. Результати вимірювань рівнів сигналу S та сигнал/шум S/N наведено на рис. 2.15. Тут криві 1 і 3 це залежності відношення S/N і рівнів сигналу S відповідно вздовж вулиці при русі від точки 1 в точку 2, а криві 2, 4 ті ж криві, тільки виміряні при русі автомобіля у зворотному напрямку (тобто апертура приймальної антени було повернуто на 180°). Виходячи з попередніх міркувань, неважко зробити висновок, що в досліджуваному випадку діє механізм РРХ по ХКАС. Як і

раніше, вимірювання проводилися при висоті приймальної антени $h_{AC} = 1,5$ м над вуличним покриттям. Подальші дослідження показали, що інтенсивність сигналів у точках 1 та 3 відрізняються на $-(10 \div 15)$ дБ, тобто. внесок у інтенсивність сигналу механізму дифракції більш ніж значно менше, ніж механізму РРВ по ХКАС.

Встановлений факт інтерференції зустрічних потоків хвиль у вуличних каналах за наявності дифракційної складової поля дозволяє пояснити закономірність зміни загасання сигналу вздовж вулиць. На рис. 2.18 показані результати вимірювань рівнів сигналу і сигнал/шуму на ряді вулиць спільно з кривими зменшення величин S і S/N $(r_0/r)^2$ або r_0/r . Неважко бачити, що експериментальні криві меншають повільніше, ніж $(r_0/r)^2$ (рис. 2.18, а, б, г) або навіть чим r_0/r (рис. 2.18, в). Ці залежності, як відомо з [173], характерні для зон Френеля та Релея при РРВ над відбивною поверхнею.

Зниження ступеня зменшення рівня щільності потоку потужності сигналу π в експерименті порівняно з вищевказаним випадком пояснимо наступним чином. Для простоти припустимо, що фазування двох інтерферуючих у вуличному коридорі потоків і дифракційної складової поля така, що векторну суму можна замінити на алгебраїчну. Тоді вирази для загасання потужності у вуличному каналі від нормованої відстані k можна легко записати так:

$$\alpha\left(\frac{r_0}{r}\right) = \frac{\Pi(r)}{\Pi_{max}} = \left[\frac{1}{k^n} + \frac{M(l)}{[l-(k-1)^n]} + L(r) \right]. \quad (2.13)$$

В (2.13) позначено:

Π_{max} - максимальна щільність потоку потужності у точці l , при $r = r_0$ та русі енергії у бік точки 2 (рис. 2.19);

$k = 1, 2 \dots l$, де l - кількість ділянок розбиття вулиці довжиною $l \cdot r_0$;

$M(l) = \Pi_{max}(l)/\Pi_{max}(r_0)$, де $\Pi_{max}(l)$ - максимальне значення щільності потоку потужності в точці 2 під час руху енергії у бік точки 1 (рис. 2.19);

$L(r) = \Pi_{\partial}(r)/\Pi_{max}$, де $\Pi_{\partial}(r)$ - щільність потоку потужності у вуличному радіоканалі за рахунок дифракції.

На рис. 4.25 наведено розрахунки величини $\alpha(r)$ при $l=10$, $M = 0,1$, $r_0 = 100$ м і в припущенні, що $L(r) = const = 0,1$, а $n = 2$.

Крива $\alpha(r)$ на спадаючому ділянці добре описується функцією $(r_0/r)^{1.5}$. В залежності від значень $M \in [0,1]$ і l закономірність вимірювання розподілу поля вздовж конкретної вулиці може описуватися або зворотною степеневою функцією (див. результати експерименту на рис. 2.18, а), або поліномом ступеня n (див., наприклад, рис 2.17, а).

Проведемо порівняння отриманих результатів з попередніми даними інших дослідників. Отримані нами експериментально розподіл у полів уздовж вуличних ХКАС за характером функціональних залежностей добре збігаються з даними роботи [188], в якій наведено дані результатів

вимірювання згасань радіохвиль у вуличних каналах (м. Оттава), лише на частоті 900 МГц та за допомогою ненаправлених антен.

Уздовж вулиць, які не перетинаються з іншими вулицями, величина загасань є спадною функцією відстані (порівняно з рис. 2.18, г).

Якщо ж вулиця перетинається декількома вулицями, то розподіл огиноючої $\alpha(r)$ по ній має кілька максимумів (порівняно з рис. 2.17,б і рис. 2.18,б), появу яких можна легко пояснити вищеописаною взаємодією двох або декількох хвиль у вуличних каналах, що рухаються назустріч один одному.

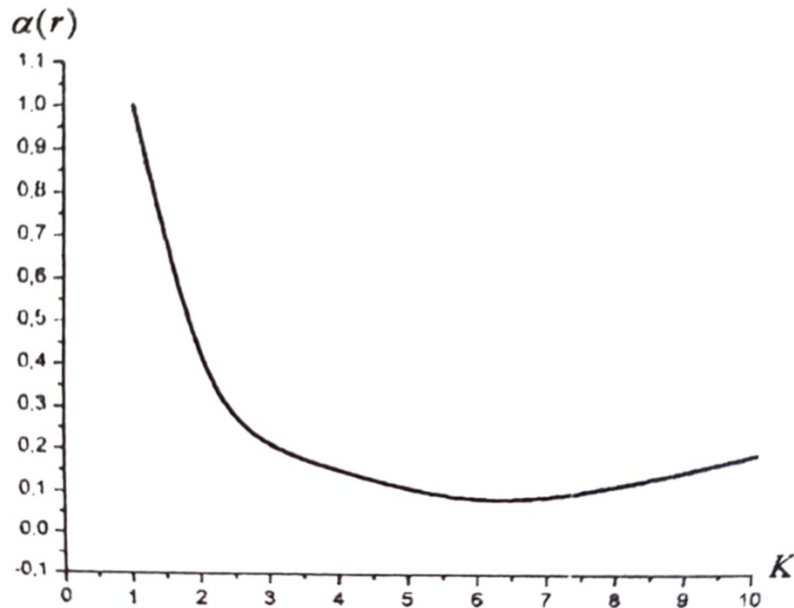


Рис. 2.20 -Результати роботи з виразу (3.8)

Іншим доказом достовірності одержаних результатів експерименту є дані повторних вимірів, наведених на рис. 2.18, г. Ці досліди проводилися за тиждень після перших експериментів. Якісний характер одержаних кривих повністю збігається в обох випадках.

Таким чином, для ХКАС різних частот мікрохвильового діапазону властиві процеси інтерференції, що призводять до утворення змішаних хвиль. Математичний опис цих хвиль добре розроблено в теорії мікрохвильових ланцюгів, яку рекомендується застосовувати для розрахунку вуличних ХКАС без урахування дифракційної складової поля.

Висновки до розділу

1.Розвинений підхід до створення спрощеної моделі ХКАС, який базується на ідеї представлення розгалужених хвильових каналів у вигляді з'єднання в один багатополісник відрізків двопровідних ліній, еквівалентних за рівнем потужності, що передається коридорним і вуличним хвильовим каналам. Запропоновано модель розрахунку S-параметрів такого багатополісника,

засновану на використанні відомих циклічних алгоритмів та на обліку втрат, рівних загасанню при РРХ вздовж ХКАС.

2. Проведено вимірювання закономірностей РР по вуличних ХКАС. З порівняння отриманих даних по співвідношенню сигнал/шум з даними стандарту WiMAX з'ясовано, що швидкість передачі інформації, що діє в місті, системою WiMAX не перевищує 2 Мбіт/с при дальності не більше 4 км.

3. З використанням якості високої спрямованості антени клієнтського адаптера WiMAX запропоновано нову методику виявлення вуличних хвильових каналів та виділення дифракційної складової поля. За допомогою цієї методики доведено домінуюче існування ХКАС у центральному районі міста Вінниця показано, що рівень дифракційної складової не перевищує 10 дБ за вибраних умов вимірювань ($H_C = 80$ м, $p_{ac} = 1,5$ м та мало поверхової забудови району вимірювань).

4. Зроблено висновок, що виявлені під час аналізу експериментальних результатів залежності РР уздовж вуличних каналів характерні для мікрохвильових ланцюгів, що передбачає можливість використання їх добре розвиненої теорії для побудови моделі ХКАС.

5. Представлена модель ХКАС може бути використана при оцінці перешкодозахищеності та скритності бездротових ЦСПД, при їх застосуванні у складних архітектурних спорудах та розгалужених вуличних радіоканалах. Використання карт міських районів та розробленої методики прогнозування загасання сигналу у хвильових каналах ХКАС дозволяє оперативно оцінити захищеність бездротової ЦСПД при розгортанні ВСС на даній території, що особливо важливо при надзвичайних ситуаціях.

3 Розробка алгоритму та програми оцінювання швидкості передавання в мережі WiMAX

3.1 Розробка алгоритму визначення сумарної швидкості передавання в мережі WiMAX

Цей алгоритм ґрунтується на часовому моделюванні по особливих станах у системах з втратами. Система з втратами це реальна мережа, в якій є обмежена кількість обслуговувальних пристроїв, що може призводити до виникнення втрат на будь-якому етапі обслуговування виклику. Вихідними параметрами для роботи алгоритму є необхідна швидкість передавання певної послуги та згенерований трафік мережі, а саме масиви моментів надходження та закінчення викликів у системі.

Задавши допустиму ймовірність втрат та мінімальну кількість обслуговувальних пристроїв, здійснюємо часове моделювання по особливих станах для систем із втратами. Об'єднуємо масиви моментів надходження і закінчення викликів у масив особливих станів ME та сортуємо його в хронологічному порядку. Далі, проводячи $2 \cdot N$ ітерацій, (N - загальна кількість викликів за годину), визначаємо кількість втрачених викликів, і поділивши на загальну кількість викликів, визначаємо ймовірність втрат. Одержану ймовірність порівнюємо із допустимою. Якщо обчислена ймовірність втрат більша, знову проводимо повторно наступну ітерацію, але збільшуючи кількість обслуговувальних пристроїв. Повторення імітаційного експерименту здійснюємо, поки одержана в результаті моделювання ймовірність втрат не стане меншою за допустиму, в результаті чого одержуємо значення кількості обслуговувальних пристроїв. Здійснивши перемноження відповідно необхідної ширини смуги заданої послуги на кількість обслуговувальних пристроїв, одержимо залежність швидкості передавання V_q , необхідну для надання певних типів послуг заданій групі користувачів.

Ресурси базової станції мережі безпроводного доступу є спільними, і користувачі всіх типів послуг можуть одночасно мати доступ до них. Ця особливість дає можливість здійснювати розрахунок частотного ресурсу та необхідної швидкості передавання для певної групи користувачів, враховуючи інтенсивність навантаження викликів від домашнього користувача, введенням нормувального коефіцієнта, який пов'язує інтенсивність надходження викликів від користувачів для певної групи з інтенсивністю надходження викликів від домашнього користувача.



Рис. 3.1 Блок-схема алгоритму визначення швидкості передачі

Цей алгоритм ґрунтується на алгоритмі генерації трафіку та алгоритмі визначення швидкості передавання для певного типу послуги. Блок-схему алгоритму моделювання зображено на рис.3.1. Першим кроком цього алгоритму доцільно буде визначити вагові коефіцієнти, ділячи швидкість передавання послуги i -ї групи користувачів на швидкість передавання домашньої групи. Далі, для всіх груп користувачів здійснюється перевизначення інтенсивності надходження викликів простим перемноженням на ваговий коефіцієнт. Перевизначивши інтенсивності кожної групи користувачів, здійснюємо обчислення загальної кількості викликів кожної групи, перемноживши кількість користувачів на модифіковану інтенсивність надходження викликів та підсумувавши всі одержані значення, визначаємо загальну кількість викликів у системі за годину від усіх груп користувачів.

Наступним кроком є визначення сумарного трафіку. Використовуючи алгоритм генерації трафіку, для конкретної кількості користувачів певної групи, перерахованої інтенсивності надходження викликів та тривалості викликів, генеруємо масиви моментів надходження та звільнення викликами системи. Одержані масиви об'єднуємо в загальні масиви та сортуємо їх у хронологічному порядку, формуючи так календар подій. Останнім кроком є підстановка обчислених сумарних параметрів та необхідних вхідних параметрів групи домашніх користувачів в алгоритм визначення швидкості передавання. У результаті виконання алгоритму одержимо загальну швидкість передавання всіх видів послуг від усіх груп користувачів у системі. Фрагмент коду алгоритму визначення сумарної смуги пропускання наведено в додатку, лістинг *wi_max_model.m*.

3.2 Розробка програми моделювання

Лістинг *wi_max_model.m*

%Моделювання мережі **WiMAX**

clear;

tic;

%% Вихідні дані

Tmod=5; % Тривалість моделювання

% Домашній користувач

N=1000; % Кількість абонентів

lambda=3; % Інтенсивність поступлення викликів/год. від одного абонента

T=200; % Середня тривалість виклику

V=64; % Швидкість передавання для абонента

[Mvk11, Evk11]=tg_gen (N, lambda, T, Tmod) ; % Генерація трафіка в ГНН

% Офісний користувач

N=20; % Кількість абонентів

lambda=2; % Інтенсивність поступлення викликів/год. від одного абонента

T=100; % Середня тривалість виклику

V2=128; % Швидкість передавання для абонента

[Mvk12, Evk12]=tg_gen (N, lambda, T, Tmod) ; % Генерація трафіка в ГНН

% Корпоративний клієнт

N=10; % Кількість абонентів

lambda=5; % Інтенсивність поступлення викликів/год. від одного абонента

T=200; % Середня тривалість виклику

V3=2048; % Швидкість передавання для абонента

[Mvk13, Evk13]=tg_gen (N, lambda, T, Tmod) ; % Генерація трафіка в ГНН

%% Об'єднання трафіка

Mvk1=[Mvk11]; % Виклики домашніх користувачів

Evk1=[Evk11];

forb=1:V2/V% Виклики офісних користувачів

Mvk1=[Mvk1; Mvk12];

Evk1=[Evk1; Evk12];

end

```

forb=1:V3/V% Виклики корпоративних користувачів
Mvk1=[Mvk1; Mvk13];
Evk1=[Evk1; Evk13];
end

% Трафік не сортований по моментах поступлення і закінчення викликів
%%Реалізація алгоритмів

[OdnA, OS] = obs_ne (Mvk1, Evk1); % Обчислення кількості одночасних
заявок в системі (особливі стани)

step=0.5;

[OdnB, AX] = dt_cnt (Mvk1, Evk1, step); % Одночасна кількість викликів в
системі (з постійним кроком)

p_b=[];
for v = 300 : 10 : 300
    aa=v_blok (Mvk1, Evk1, v);
    p_b= [p_b; aa]; % Визначення імовірності блокування при заданій
кількості ліній
end

%% Графічна інтерпретація результатів
plot(p_b);
f1=figure;
plot (OS, OdnA, 'b');
hold on;
plot (AX, OdnA, 'r');
title ('Моделювання трафіку мережі WiMAX');
xlabel ('Час, с');
ylabel ('Кількість викликів');
legend ({'Особливі стани', 'З постійним кроком'}, 'Position', [0.433 0.1631
0.1607 0.1]);

toc;

```

3.3 Дослідження залежності швидкості передавання від кількості користувачів та різної імовірності втрат викликів

Було проведено дослідження залежності швидкості передавання від кількості користувачів за різної імовірності втрат викликів. Як видно з результатів (рис. 3.3.1), у разі зростання імовірності втрат сумарний потік викликів від домашніх користувачів має меншу швидкість передавання. Це пояснюється тим, що збільшується частка втрачених під час обслуговування викликів і сумарна інтенсивність потоку зменшується.

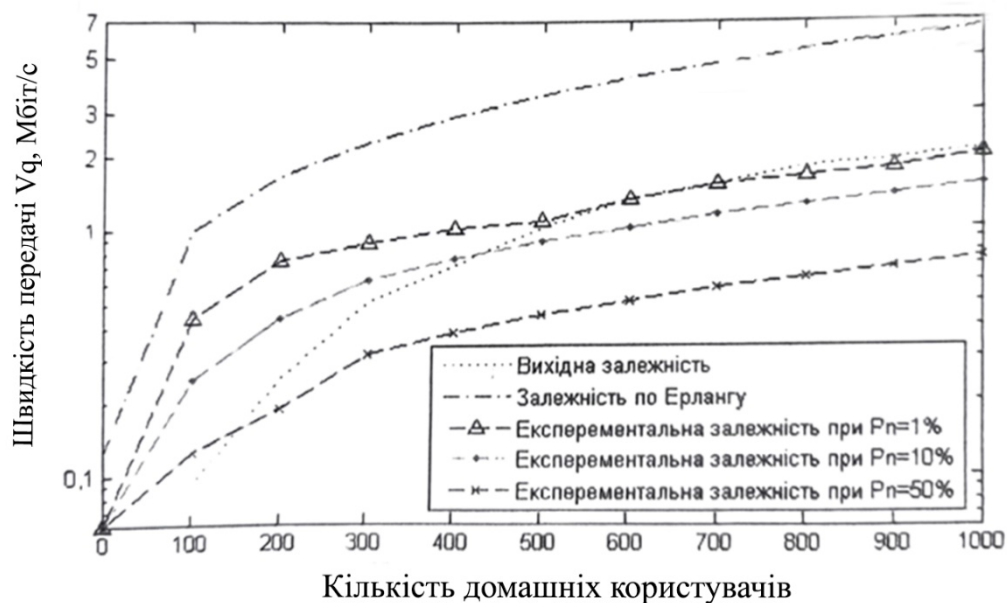
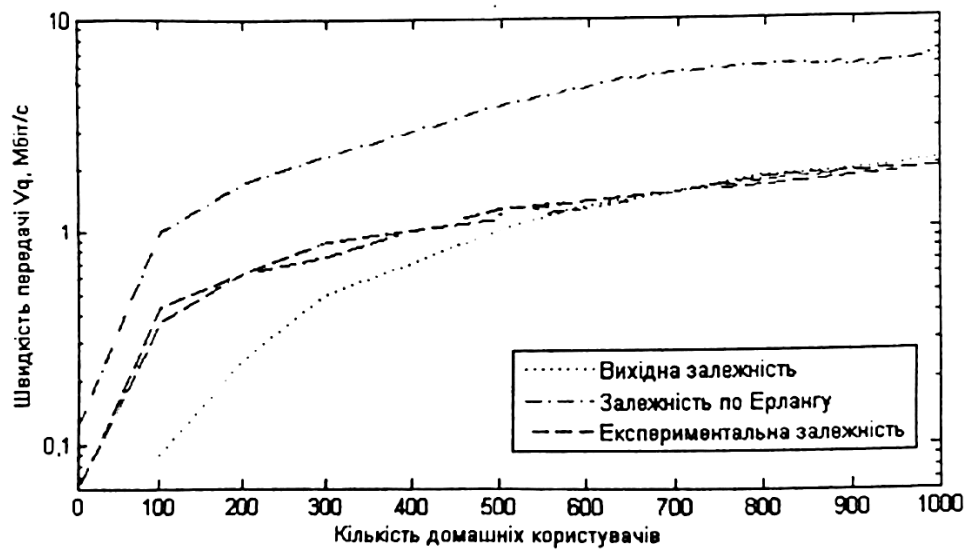


Рис.3.3.1 Залежність швидкості передавання від кількості користувачів за різних імовірностей втрат

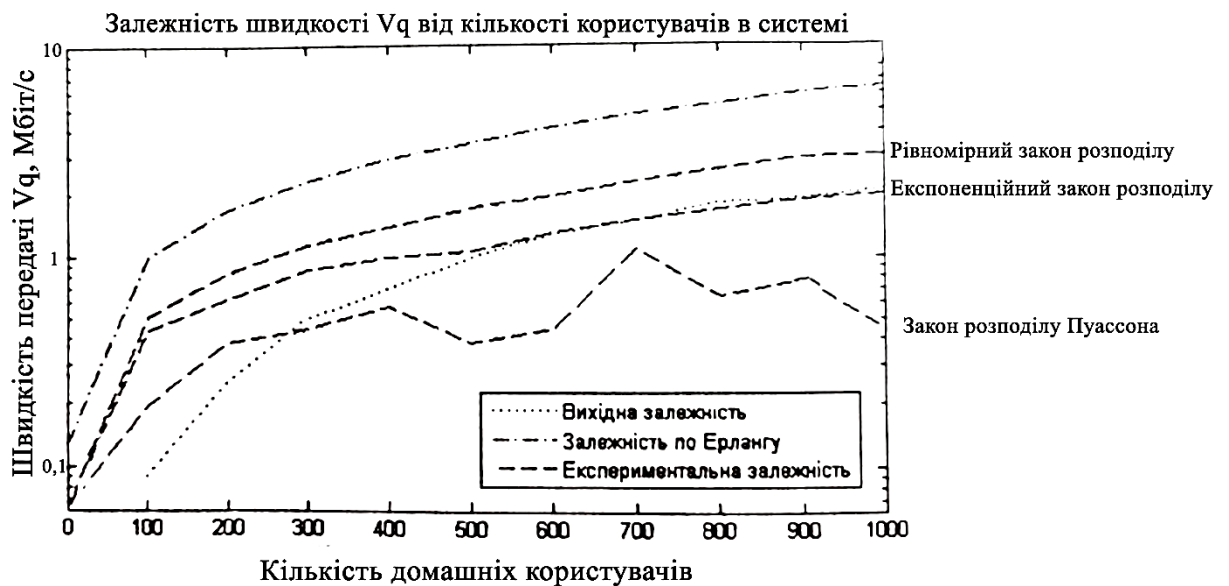
Дослідження залежності швидкості передавання від кількості користувачів за різних розподілів тривалості викликів та інтервалів між викликами. У цьому розділі також було виконано дослідження залежності швидкості передавання від кількості користувачів у системі за різних функцій розподілу значень тривалості викликів та інтервалів між викликами.

Як очевидно з отриманих результатів, у разі великої кількості ітерацій розподіл тривалості викликів (рис. 3.3.2, а) не впливає на статистичне оцінювання імовірності втрат, що підтверджується також висновками теорії масового обслуговування і є одним із підтверджень адекватності розробленої моделі. На відміну від тривалості викликів, зміна розподілу інтервалів між викликами істотно позначається на одержаних результатах (рис. 3.3.2, б). Із останніх результатів, проаналізувавши одержану залежність, можна зробити висновок, що для достовірнішого моделювання вхідного трафіку доцільно

використовувати експоненціальний розподіл для моделювання інтервалів між викликами.



a



б

Рис. 3.3.2. Залежність швидкості передавання від: *a* - виду розподілу тривалостей викликів (за однакового мат. очікування), *б* - виду розподілу інтервалів між викликами

Результати визначення сумарної швидкості передавання.

Використовуючи алгоритм визначення швидкості передавання від різних груп користувачів, були одержані значення швидкостей передавання для кожної групи (табл. 3.1). Порівнюючи одержані результати з наведеними в літературі, можемо зробити висновок, що статистичний метод дає

можливість покращати процедуру визначення ресурсів мережі, необхідних для забезпечення заданих типів послуг.

Таблиця 3.1

Швидкості передавання

№ з/п	Категорія користувачів	Кількість	Необхідна швидкість передавання, Мбіт/с/зона	
			З літературних джерел	Імітаційне моделювання
1	Домашній користувач	10 000	21,95	12,25
2	SME/SOHO	1500	46,94	45,86
3	Корпоративні клієнти	200	300,52	289,69
4	Користувачі транспортних послуг	100	901,12	900,58
5	Користувачі відео на замовлення, VoDMPEG2	1000	46,12	45,96
6	Користувачі відео на замовлення, VoDMPEG4	200	36,05	36
7	Користувачі відео на замовлення, VHS	2000	33,89	32,15
8	Користувачі радіомовлення	2000	7,83	7,24
Сумарна швидкість		17 000	1394,42	1284,81

Отже, у розділі запропоновано спосіб, що ґрунтується на виборі базової послуги, а швидкості передавання інших послуг визначають, враховуючи вагові коефіцієнти інтенсивності надходження викликів. На основі цього способу побудований алгоритм визначення сумарної швидкості передавання від загальної кількості користувачів у системі. Одержано значення сумарної швидкості передавання 1284,81 Мбіт/с/зона, яке є меншим від наведеного значення 1394,42 Мбіт/с/зона, що надалі дає можливість зменшити вимоги до необхідного частотного ресурсу системи приблизно на 10%.

3.4 Визначення максимальної зони покриття при використанні технології WiMAX

Втрати при поширенні радіохвиль в загальному вигляді визначаються як відношення переданої та прийнятої потужностей. Якщо вимірювання

проводити в місцях з прямою і непрямою видимістю до антени базової станції, то точки з прямою видимістю знаходились переважно вздовж вулиць, і згасання між цими точками і базовою станцією практично повністю відповідало моделі поширення радіохвиль у вільному просторі. Для точок з непрямою видимістю доцільно виконати обробку результатів оцінювання за допомогою середньоквадратичного регресійного аналізу у вигляді рівняння [1]

$$\gamma(d) = \gamma(d_0) + 10n \lg(d/d_0), \text{ дБ} \quad (3.1)$$

де d_0 – референсна відстань; n – показник ступеня втрат при поширенні з непрямою видимістю; $\gamma(d_0)$ – коефіцієнт згасання радіохвиль у вільному просторі на референсній відстані.

Використовуючи співвідношення (3.1) можна отримати в простому арифметичному вигляді практичний вираз для інженерного розрахунку максимальної зони покриття радіосистеми. Перейшовши в (3.1) від розмірності дБ до розмірності у разях та підставивши вираз для втрат у вільному просторі отримаємо

$$\gamma = \pi^2 f^2 d^{n+2} / (5625 d_0^n),$$

де f – частота сигналу, МГц.

Звідси знаходимо радіус зони покриття за наявності згасання:

$$d = [5625 \gamma d_0^n / (\pi^2 f^2)]^{1/(n+2)}.$$

Враховуючи різні види втрат при поширенні радіохвиль, отримуємо загальні втрати на радіотрасі $\gamma_{\Sigma} = \gamma + \gamma_{build} + \gamma_{margin}$, де γ_{build} – втрати всередині будинків, дБ ; γ_{margin} – запас на радіотрасі, дБ. Тоді $\gamma = \gamma_{\Sigma} / (\gamma_{build} \gamma_{margin})$, раз.

З рівняння енергетичного потенціалу радіоліній маємо:

$$\gamma_{\Sigma} = P_{\text{ПРД}} G_{\text{ПРД}}(\varphi) G_{\text{ПРМ}}(\varphi) / (L_{\text{ПРМ}} L_{\text{ПРД}} P_{\text{ПРМ}}),$$

де $P_{\text{ПРД}}$ – потужність передавача, Вт; $P_{\text{ПРМ}}$ – потужність сигналу на вході приймача, Вт; $L_{\text{ПРМ}}$ і $L_{\text{ПРД}}$ – втрати у фідерах приймача і передавача відповідно; $G_{\text{ПРД}}(\varphi)$ і $G_{\text{ПРМ}}(\varphi)$ – коефіцієнти підсилення антен відповідно передавача і приймача в напрямку під кутом φ за азимут.

Звідси отримуємо, що максимальний радіус зони покриття дорівнює

$$D_{\text{max}}(\varphi) = [(5625 d_0^n P_{\text{ПРД}} G_{\text{ПРД}}(\varphi) G_{\text{ПРМ}}(\varphi)) / (\pi^2 f^2 P_{\text{гр}} L_{\text{ПРМ}} L_{\text{ПРД}} \gamma_{build} \gamma_{margin})]^{1/(n+2)}, \quad (3.2)$$

де $P_{гр}$ рівень сигналу на вході приймача $P_{ПРМ}$ такий, що відповідає граничній чутливості приймача $P_{гр} = N_0 SNR_{\min}$; $SNR_{\min}$ – мінімальне значення відношення сигнал/шум на вході приймача; N_0 – шумова потужність приймача; $N_0 = k_B T_0 \Delta f K_{ш}$; k_B – стала Больцмана ($1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К); T_0 – абсолютна температура (293 К); Δf – шумова смуга прийому, Гц; $K_{ш}$ – коефіцієнт шуму приймача. Добуток $k_B T_0$, зазвичай, називається тепловим шумом і дорівнює $4 \cdot 10^{-21}$ Вт/Гц або -174 дБм/Гц. Тоді $N_0 = K_{ш} + 10 \lg(\Delta f) - 174$, дБм, або $N_0 = 4 \cdot 10^{-21} \Delta f K_{ш}$, Вт.

Для некодованого сигналу зв'язок між співвідношенням сигнал/шум SNR_i енергією біт/шум E_b/N_0 такий: $SNR = k E_b/N_0$, де k – коефіцієнт пропорційності, який для звичайних радіосистем становить $k = R/\Delta f$ (R – швидкість передачі даних, біт/с), у першому наближенні може бути виражений за допомогою $\log_2(M)$ (M – індекс модуляції сигналу).

Для розглянутої схеми Libra MX згідно з формулою (3.2) при $n = 3.9$ маємо $D_{\max}(0) = 16 - 17$ км, що відповідає максимальному радіусу дії системи встановленому самим виробником обладнання системи. При використанні виразу (3.2) потрібно враховувати, що крім максимальної дальності дії СШР з точки зору енергетики кожна радіотехнологія має свої внутрішні обмеження, наприклад, розмір захисного інтервалу в системі з багатостанційним доступом з часовим розподілом.

Отже, за допомогою рівняння (3.1) одержано вираз (3.2), який визначає максимальну зону покриття радіосистеми.

Підвищення рівномірності покриття зони обслуговування системою WiMax

Оскільки будь-яка безпроводова система складається з підсистем, які можуть використовувати різні телекомунікаційні технології, то ПЗ можна визначити як сумарну. Сумарна ПЗ системи безпроводового доступу залежить від кількості використовуваних частотних присвоєнь, способу розподілу частотно-територіального ресурсу, можливостей повторного використання частотних каналів, умов поширення радіохвиль, завадової обстановки та інших факторів:

$$C_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{N_6} \sum_{j=1}^{N_c} C_{ij} (N_K, U_{\text{дост}}, U_{\text{дупл}}, K_{\text{повт}}),$$

де N_6 – кількість базових станцій у мережі; N_c – кількість секторів на одну базову станцію; N_K – кількість каналів на одну базову станцію (сектор); C_{ij} – ПЗ на один сектор; $U_{\text{дост}}$ – вектор параметрів протоколу доступу до

каналів; $U_{\text{дупл}}$ - вектор параметрів дуплексного розподілу каналів; $K_{\text{повт}}$ - коефіцієнт повторного використання частот.

Для кожної мережі радіодоступу розрахунок сумарної ПЗ вимагає врахування топології мережі, особливостей рельєфу місцевості, типу забудови, особливостей поширення радіохвиль, енергетичних співвідношень сигналів і завад, розташування абонентів і т. д.

Для отримання максимального значення такої сумарної ПЗ СШР необхідно поліпшити рівномірність покриття зони обслуговування системи, що може бути досягнуто за допомогою наступних підходів:

- секторизація зони обслуговування;
- зменшення розмірів стільника до мікростільника;
- застосування ретрансляції;
- застосування розподіленої антенної системи;
- застосування принципів групування і кооперації.

Зупинимось на зазначених вище підходах докладніше.

Стільникова архітектура СШР будується за аналогією з системами стільникового зв'язку у вигляді сукупності стільників, які покривають територію обслуговування. Поділ зони обслуговування СШР на стільники, виділення кожному стільникові підгрупи каналів і можливість зміни потужності БС забезпечуються структурою системи, яка враховує прогнозовану інтенсивність трафіка на заданій території.

Явище взаємного впливу сигналів стільників, які працюють з одним і тим самим каналом, називається соканальною інтерференцією (co-channel interference), яка створює між каналну заваду. Проблема між каналних завад вирішується рознесенням на достатню відстань БС, які використовують однакові частоти, а також зменшенням завмирань сигналу завдяки використанню схем рознесення або технологій МІМО

При збільшенні кількості користувачів трафік може розподілитися так, що якому-небудь стільнику для обслуговування запитів не вистачить виділених йому частот. Для виходу з такої ситуації використовуються: 1) підхід секторизації, який зумовлює розщеплення стільників в районах з підвищеним попитом на широкосмугові послуги на стільники меншого розміру та розбиття стільників на сектори (стільник ділиться на декілька клиноподібних секторів у кожному з яких до свого набору каналів додається окремий набір каналів стільника, а для фокусування сигналу застосовуються спрямовані антени базової станції), 2) підхід на базі зменшення розмірів стільника до мікростільника зі зменшеними рівнями потужності сигналів, за якого

стілники розташовуються на міських вулицях у густонаселених районах, а також усередині великих будинків.

Підходи секторизації зони обслуговування і зменшення розмірів стільника до мікростільника є загальновідомими для використання в системах мобільного зв'язку, оскільки вони дали змогу істотно підвищити смуговий ресурс мережі і відповідно ПЗ системи.

Забезпечення високих швидкостей передачі інформації в СШР на великих площах покриття може бути здійснено додаванням нової широкої смуги частот, або за допомогою значного збільшення щільності розташування точок доступу. Оскільки відведення під СШР великої смуги частот, а також збільшення кількості точок доступу економічно не вигідно, зростає увага до розподілених безпроводових мереж з ретрансляцією (РБМР) або, як їх ще називають, узагальнених багатопрогнних мереж (generic multihop network).

Для побудови таких мереж, крім кінцевих терміналів, використовуються проміжні термінали, які виконують функції ретрансляторів-маршрутизаторів. Таким чином, створюється розподілена масштабована безпроводова мережа з набору незалежних автономних терміналів, які здаються їх користувачам єдиною об'єднаною системою; останнє здійснюється за допомогою програмного забезпечення.

Використання принципу ретрансляції в СШР зумовлює створення РБМР як розширення самої архітектури СШР. При цьому можливі наступні ретрансляційні структури: повнодоступна вузлова безпроводова mesh-мережа WMN (Wireless Mesh Networks); багатопрольотна ретрансляція; ретрансляція за допомогою станції на висотній аероплатформі.

WMN являє собою динамічну структуру з самоорганізацією (типу «багатоточка-багатоточка»), що складається з нерівноправних безпроводових вузлів, з'єднання між якими (і керування цими з'єднаннями) здійснюється як розподіленим, так і централізованим способами. У стандарті IEEE 802.16-2004 mesh-мережа розглядається як один з різновидів топології безпроводової мережі. На відміну від архітектури «точка-багатоточка», де АТ може спілкуватися лише з БС, у mesh-мережі можлива взаємодія безпосередньо між АТ.

WMN можна розглядати як результат розвитку мереж ad hoc із врахуванням нових вимог до підвищення ПЗ і надійності з'єднань у розподіленій безпроводовій мережі. Основна відмінність WMN від ad hoc виражається в існуванні в mesh-мережі конкретної інфраструктури. Завдяки стаціонарним (або з мінімальною рухливістю) вузлам-маршрутизаторам у мережу вводяться ймовірно розташовані вузли, навколо яких

зосереджуються випадкові термінали. Однак WMN-мережа не виключає можливості з'єднання між собою випадкових терміналів без участі вузла-маршрутизатора.

Багатопрольотна ретрансляція, процедури якої на даний час розробляються в специфікації IEEE 802.16j, має вирішувати наступні задачі: поліпшення і розширення площі покриття, підвищення каналної і системної ПЗ, забезпечення сумісності і взаємодії між БС і ретранслятором.

Застосування ретрансляції з використанням станції на висотній аероплатформі сприятиме вирішенню питання як багатопрольотної ретрансляції, так і створення умов прямої видимості між терміналами і станціями СШР.

Значну увагу привертає нове архітектурне рішення СШР, у якому використовуються розподілені антенні системи (РАС) (distributed antenna system). В радіосистемах з РАС антенні вузли замість централізації в точці розташування БС рознесені територіально по всій площі зони покриття стільника для зменшення відстані радіодоступу мобільного терміналу (МТ) до ресурсів БС. Кожен розподілений антенний вузол (РАВ), який містить один або декілька антенних елементів РАС, підключено до центральної БС за допомогою спеціального кабелю, радіоканалу або гібридного з'єднання оптоволоконно-радіоканал (ГЗОР). Те, що РАВ мають безпосереднє з'єднання з БС, зумовлює їх схожість з ретрансляторами. Відмінність РАС від системи з ретрансляцією полягає в тому, що кожний РАВ передає різні дані в прямому (спадному від БС) каналі, тоді як ретранслятори лише повторюють сигнали від БС. Таким чином, РАС узагальнює звичайну архітектуру з ретрансляторами.

Архітектура РАС має явні переваги над традиційною стільниковою структурою. Застосування РАС зменшує вартість розгортання радіосистеми і спрощує її обслуговування, бо при цьому зменшується необхідна кількість БС у зоні обслуговування. Більш того, ймовірність блокування може бути зменшена шляхом встановлення ефективного з'єднання МТ у будь-якій точці зони обслуговування, оскільки ресурси для обробки сигналів (обладнання каналу утворення і маршрутизації) централізовані і спільно використовуються на БС. Крім цього, застосування РАС підвищує енергетику радіолінії, відношення сигнал/завада і ПЗ завдяки макро рознесенню каналів зв'язку і зменшенню відстані доступу.

Із ускладненням архітектури систем безпроводового доступу («багатоточка-багатоточка») і застосованих у них нових технологій (МІМО, РАС) важливе значення набули способи спрощення складності реалізації нових СШР без погіршення їх характеристик, особливо ПЗ. До таких

способів можна віднести застосування принципів групування і кооперації. Обидва ці принципи пов'язані з об'єднанням (групуванням) кількох або множини об'єктів системи для спільного їх функціонування (кооперування).

Прикладом принципу групування може слугувати положення групування ретрансляційних станцій (РС) у специфікації IEEE 802.16j. Коли РС розташовуються одна поблизу іншої, вони можуть бути об'єднані в групу РС з єдиним ідентифікатором групи. Кожен член такої групи діє як самостійна РС. Але лише одна з РС у групі працює в режимі передачі сигналізації та повідомлень керування для членів групи, а всі інші РС групи витрачають свій радіо ресурс лише для передачі інформаційного трафіка. Таким чином, утворення такої групи сприяє підвищенню смугового ресурсу СШР і, відповідно, її ПЗ.

Найпростішою реалізацією принципу кооперації є передача інформації на цільовий приймач (ЦП) за допомогою поєднання прямої радіолінії між джерелом повідомлення (ДП) і ЦП та одночасної ретрансляції від ДП через РС на ЦП як у випадку звичайного каналу, сформованого одноантенною системою SISO, так і у випадку багатоантенної техніки MIMO. При цьому було отримано, що швидкість передачі даних такої кооперативної ретрансляційної конфігурації вища за досягну швидкість передачі даних окремої прямої радіолінії між ДП і ЦП. Також кооперативна ретрансляція дає змогу підвищити SNR на вході ЦП, що зумовлює поліпшення якості каналу зв'язку.

У [138] було запропоновано концепцію систем з розподіленою кооперативною ретрансляцією під назвою віртуальна антенна решітка VAA (Virtual Antenna Arrays), яка дала змогу кооперувати одноантенні термінали в одну віртуальну антенну решітку. Звідси виникла можливість створення спрощеної структури каналу MIMO, де багатоантенний канал може бути сформований формами між БС з багатоантенною системою і кооперованими одноантенними терміналами. Причому останні можуть виконувати функції ретрансляторів для створення з іншими терміналами каналів SISO, MISO або MIMO. Отже, застосування принципу кооперації сприяє поліпшенню смугового і енергетичного ресурсів, що в свою чергу дає змогу підвищити ПЗ радіомережі, яка підтримує кооперацію на своєму MAC-рівні.

На підставі наведеного вище можна дійти висновку, що принципи групування і кооперації мають широку перспективу застосування в СШР для поліпшення смугового і енергетичного ресурсів каналів зв'язку.

Висновки до розділу

Розроблено алгоритм та програму оцінювання швидкості передавання в мережі WiMAX та проведено моделювання швидкості передавання даних. Проведено дослідження залежності швидкості передавання даних від кількості користувачів і різної ймовірності втрат викликів. Показано, що в разі зростання ймовірності втрат сумарний потік викликів від користувачів характеризується меншою швидкістю передавання.

Проведено дослідження залежності швидкості передавання від виду розподілу тривалостей викликів і виду розподілу інтервалів між викликами показало, що статистичний метод дає можливість покращити процедуру визначення ресурсів, необхідних для забезпечення заданих видів послуг.

Показано, на базі аналізу отриманих результатів, що для достовірного моделювання вхідного трафіку доцільно використовувати експериментальний розподіл для моделювання інтервалів між викликами.

Визначена максимальна зона покриття при використанні технології WiMAX та розглянуті можливості підвищення рівномірності покриття зони обслуговування.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які мали вплив на розробника алгоритму та програми оцінювання швидкості передавання в мережі WiMAX. наступні:

- підвищена чи понижена температура повітря робочої зони;
- недостатнє освітлення робочої зони;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- відсутність чи нестача природнього світла;
- фізичні перевантаження (статичні);
- пряма та відображена блискість.
- нервово - психічні перевантаження (перенапруга аналізаторів, емоційні навантаження).

Відповідно до визначених факторів формуємо рекомендації щодо безпечних умов праці під час розробки алгоритму та програми оцінювання швидкості передавання в мережі WiMAX.

4.1. Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

Головним робочим місцем розробника є письмовий стіл з персональним комп'ютером. Органи управління (клавіатура, монітор, маніпулятор типу «миша») та інструменти (ручка, олівець, папір) необхідно розміщувати як предмети постійного користування в оптимальній зоні досягнення рук без нахилу тулуба, а предмети, які використовуються не так часто (носії інформації, довідкова література) у більш віддаленій зоні чи на стелажах.

Режим праці та відпочинку при роботі з персональною електронно-обчислювальною машиною (ПК) залежить від категорії трудової діяльності. Всі роботи з ПК ділять на три категорії. Перша – епізодичне зчитування і робота з інформацією не більше 2-х годин за 8-годинну робочу зміну. Друга – зчитування інформації або творча робота не більше 4-х годин за восьми

годинну зміну. Третя – зчитування інформації або творча робота тривалістю більше 4-х годин за зміну.

Екран дисплея повинен бути розташованим перпендикулярно до напрямку погляду. Якщо він розташований під кутом, то стає причиною сутулості. Відстань від дисплея до очей повинна трохи перевищувати звичну відстань між книгою та очима. Ще одним моментом, який стосується зору, є необхідність створення неоднорідного поля зору.

Неприпустимо попадання прямого сонячного світла на екран монітора – він викликає відблиски і зменшує контрастність зображення. Також неприпустима повна темрява. Найкращий вихід, це розсіяна напівтемрява створений за допомогою штор або жалюзів і додаткове місцеве освітлення робочого місця. Оптимально сидіти обличчям до дверей, щоб за спиною було затемнене вікно. Також світло може падати з боку. Неприпустимо коли за монітором знаходиться незатемнене вікно.

Важливою є форма спинки крісла, яка повинна повторювати форму спини. Висота крісла повинна бути такою, щоб користувач не відчував тиску на куприк або стегна. Крісло бажано обладнати бильцями. Його потрібно встановити так, щоб не треба було тягтися до клавіатури. Періодично користувачу необхідно рухатися, вчасно змінювати положення тіла і робити перерви у роботі.

При напруженій роботі за комп'ютером щогодини необхідно робити перерву на 15 хвилин через кожну годину. Декілька разів на годину бажано виконувати серію легких вправ для розслаблення.

Правильна постава повинна бути наступною: руки лежать на клавіатурі зігнуті в ліктях під кутом приблизно 90 °, при цьому плечі розслаблені. При цьому підлокітники крісла не підпирають лікті і не змушують піднімати плечі. Розташування рук щодо столу має бути таким, що більше половини довжини передпліч опиралися на стіл. Відстань до монітора повинна

зберігатися не менше 50 см. Висота столу має бути приблизно 75 см (з коливаннями по зростанню, конкретного користувача), тоді нога повністю стоїть на підлозі, а стегно розташоване паралельно. Спина повинна бути прямою і відхилена німого тому.

Характерною рисою оператора ПК є статичний режим роботи: великий обсяг праці треба виконувати в сидячому положенні. При цьому більшість груп м'язів постійно напружені, що призводить до швидкої стомлюваності, сприяє розвитку фахових патологічних вигинів хребта: грудному гіперкифозу, сплюсненню шийного лордозу і формуванню сколіозів. Неправильне розташування дисплеїв по висоті – занадто низьке або високе, під неправильним кутом – є головною причиною появи сутулості. Занадто високе розташування дисплея призводить до тривалої напруги шийного відділу хребта, що, зрештою, може призвести до розвитку остеохондрозу. Ненормальний стан хребта може стати причиною захворювання всього організму.

Наслідками регулярної роботи з комп'ютером без застосування захисних засобів можуть бути: захворювання органів зору (60% користувачів); хвороби серцево-судинної системи (20%); захворювання шлунково-кишкового тракту (10%); шкірні захворювання (5%); різноманітні пухлини.

Якщо у приміщенні експлуатується більше одного комп'ютера, то треба врахувати, що на користувача одного комп'ютера можуть впливати випромінювання від інших, в першу чергу бокових, а також і задньої стінки сусіднього дисплея. Тому необхідно, щоб користувач розміщався від бічних і задніх стінок інших дисплеїв на відстані не ближче одного метра.

По небезпеці враження електричним струмом приміщення, де відбувалася розробка високочастотного пристрою передачі даних по мережі електроживлення відноситься до категорії без підвищеної небезпеки,

оскільки є сухим, в ньому нема підвищених температур, підвищеної вологості, підлога вкрита струмонепровідним матеріалом.

Для захисту від враження струмом у приміщенні передбачено заземлення всіх електроустановок, які можуть опинитися під впливом небезпечної напруги. Заземлення виконано у відповідності до ПУЕ [11]. Струмоведачі частини обладнання ізолювані. Побутова і комп'ютерна мережі живлення розділені. При ремонті обладнання персонал попереджається. Також проводиться інструктаж співробітників з техніки безпеки при роботі з електрообладнанням.

4.2. Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

4.2.1 Мікроклімат

Мікроклімат виробничих приміщень – це сукупність параметрів повітря у виробничому приміщенні, які діють на людину у процесі праці, на його робочому місці. Значні коливання параметрів мікроклімату можуть привести до порушення терморегуляції організму (здатність організму утримувати постійну температуру), що приводить до порушення системи кровообігу, загальної слабкості тощо.

Розробка алгоритму та програми оцінювання швидкості передавання в мережі WiMAX. за енерговитратами відноситься до категорії І а (енерговитрати до 139Дж/с) [1]. Допустимі параметри мікроклімату для цієї категорії наведені в табл.4.1.

Таблиця 4.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Допустимі		
	t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	22-28	55	0,1-0,2
Холодний	21-25	75	0,1

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату в приміщенні передбачено централізована парова система опалення, система кондиціонування та систематичне (раз за зміну) вологе прибирання. Комплекс перерахованих заходів дозволяє підтримувати повітря робочої зони і обладнання у відповідності з ДСН 3.3.6.042-99 [9].

4.2.2. Склад повітря робочої зони

Шкідливі речовини – речовини, які при контакті з організмом людини внаслідок порушення технологічного процесу викликають професійні захворювання, виробничі травми або відхилення стану здоров'я. Шкідливі речовини у повітря робочої зони поступають у вигляді пару, газів та пилу. Вплив на організм людини залежить від хімічного складу, розміру (дисперсності), форми часток та їх кількості у одиниці об'єму.

ГДК шкідливих речовин, які знаходяться в досліджуваному приміщенні, наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі

Назва речовини	ГДК, мг/м ³	Середньо добова	Клас небезпечності
	Максимально разова		
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4
Озон	0,16	0,03	4
Вуглекислий газ	3	1	4

Для забезпечення комфортних умов використовуються вентиляція повітря, провітрювання (за необхідності) та систематичне вологе прибирання.

4.2.3. Виробниче освітлення

Одним із чинників, які визначають сприятливі умови праці, є раціональне освітлення робочої зони і робочих місць. Якщо освітлення виробничих приміщень правильно розраховане і виконане, очі працівника протягом тривалого часу зберігатимуть здатність добре розрізняти предмети і знаряддя праці, не втомлюючись. Це сприяє зниженню виробничого травматизму і професійного захворювання очей.

По характеру зорової роботи робота розробника відноситься до розряду робіт III (високої точності), найменший розмір об'єкту розрізнення -від 0,3 до 0,5 мм, що відповідає розмірам точки на екрані дисплея.

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО (для III пояса світлового клімату згідно ДБН В.2.5-28-2018 [4]) при природному та сумісному освітленні зазначені у таблиці 4.3:

Таблиця 4.3 - Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, Лк		КПО, e_n , %			
						Штучне освітлення		Природне освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє і бокове	Бокове	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове
Високої точності	0,3-0,5	III	г	великий	світлий	700	300	7	2	3	1,2

Для забезпечення достатнього освітлення передбачені такі заходи:

- 1) Максимальне використання бічного природного освітлення.
- 2) Систематичне очищення скла від бруду.
- 3) Використання жалюзі на вікнах для регулювання кількості природного світла у приміщенні.

4) Загальне штучне освітлення створюється за допомогою люмінесцентних ламп.

4.2.4. Виробничий шум

Виробничий шум – це хаотична сукупність різних за силою і частотою звуків, що виникають у повітряному середовищі і безпосередньо впливають на працездатність. Вимірювання шуму на робочих місцях здійснюється шумовимірювачами та аналізаторами спектра шуму. Рівень шуму на робочих місцях потрібно контролювати не менше одного разу на рік.

Основними джерелами шуму в досліджуваному приміщенні є принтери та сканери. Дані джерела шуму по часовим характеристикам є непостійними, а по характеру спектра широкополосними. Загальний рівень шуму в приміщенні згідно технічної паспорту не перевищує 30 дБ, що менше нормативного рівня 50 дБ (табл.4.4).

Таблиця 4.4 – Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного широкополосного шуму

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах зі середньгеометричними частинами (Гц)									Допустимий рівень звуку, дБА
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Виробничі приміщення	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Оскільки значним джерелом шуму у приміщенні є рух автотранспорту ззовні, то для забезпечення допустимих параметрів шуму доцільно встановити вікна, які мають достатню звукоізоляцію.

4.2.5. Виробничі випромінювання

Джерелом випромінювання ЕМП під час Розробка алгоритму та програми оцінювання швидкості передавання в мережі WiMAX. є працююча офісна техніка.

Розрізняють дві форми негативного впливу на організм людини електромагнітного випромінювання діапазону радіочастот – гостру і хронічну, яка, у свою чергу, поділяється на три ступені: легкий, середній і тяжкий. Хронічна форма характеризується функціональними порушеннями нервової, серцево-судинної та інших систем організму, що проявляються астеничним синдромом, і вегетативними порушеннями, переважно серцево-судинної системи.

Гранично допустимі значення характеристик ЕМП для умов праці, в яких знаходиться розробник, вказана в таблиці 4.5

Таблиця 4.5 - Гранично допустимі значення характеристик ЕМП

Найменування параметрів	Допустиме Значення
Напруженість електромагнітного поля по електричній складовій на відстані 50 см від поверхні відеомонітора	10 В / м
Напруженість електромагнітного поля по магнітній складовій на відстані 50 см від поверхні відеомонітора	0,3 А / м
Напруженість електростатичного поля не повинна перевищувати для дорослих користувачів	20 кВ / м
Напруженість електромагнітного поля на відстані 50 см навколо ВДТ по електричній складовій повинна бути не більше:	
в діапазоні частот 5 Гц - 2 кГц;	25 В / м
в діапазоні частот 2 - 400 кГц	2,5 В / м
Щільність магнітного потоку повинна бути не більше:	
в діапазоні частот 5 Гц - 2 кГц;	250нТл

в діапазоні частот 2 - 400 кГц	25 нТл
Поверхневий електростатичний потенціал не повинен перевищувати	500 В

Для забезпечення безпеки розробника доцільно використовувати монітори, які мають гарантію якості виробника та дотримуватися встановленого режиму часу під час роботи з ПК.

4.3. Пожежна безпека

Забезпечення пожежної безпеки є складовою частиною виробничої та іншої діяльності посадових осіб, працівників підприємств та підприємців. Це повинно бути відображено у трудових договорах (контрактах) та статутах підприємств. Забезпечення пожежної безпеки підприємств покладається на їх керівників і уповноважених ними посадових осіб, відповідальних за пожежну безпеку окремих будівель, споруд, приміщень, діляниць тощо, технологічного та інженерного устаткування, утримання і експлуатацію технічних засобів протипожежного захисту. Обов'язки щодо забезпечення пожежної безпеки, утримання та експлуатації засобів протипожежного захисту повинні бути відображені у відповідних посадових документах (функціональних обов'язках, інструкціях, положеннях тощо).

Пожежна безпека підприємства забезпечується:

- системою попередження пожежі (комплексом організаційних заходів та технічних засобів, направлених на попередження виникнення пожежі);
- системою пожежного захисту (комплексом організаційних заходів та технічних засобів, направлених на попередження дії на працюючих небезпечних факторів пожежі та обмеження матеріальної шкоди від неї).

З урахуванням вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. [10], визначаємо, що приміщення, в якому здійснюється

розробка ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек, можна віднести до категорії вибухопожежонебезпеки В (тверді горючі та важкогорючі речовини і матеріали, за умови, що приміщення, в яких вони знаходяться, не відносяться до категорій А, Б).

Клас приміщення і зон з вибухо- і пожежонебезпеки П-Па (приміщення, у якому знаходяться тверді горючі речовини та матеріали.).

4.3.1. Технічні рішення системи запобігання пожежі

Основними інженерно-технічними та організаційними заходами захисту системи запобігання пожежі в приміщенні є:

- підвищення вогнетривкості будівель, а також споруд, що реконструюються та розширюються;
- заміна легкозаймистих матеріалів будівель;
- просочування вогненебезпечних конструкцій вогнезахисними речовинами;
- зниження пожежонебезпечних властивостей оздоблювальних матеріалів і покриттів;
- встановлення автоматичних систем відключення електромереж в разі виникнення пожеж;
- встановлення в приміщеннях систем контролю температури та вологості повітря;
- проведення протипожежного інструктажу та ознайомлення працівників з правилами поведінки під час пожежі;
- розміщення горючих матеріалів подалі від потенційних джерел виникнення пожеж;
- розміщення в приміщеннях знаків пожежної безпеки;
- розміщення планів евакуації в усіх приміщеннях та на усіх поверхах будівлі;
- раціональне взаєморозміщення меблів та обладнання та утримання

проходів в приміщеннях у вільному стані;

– розміщення в приміщеннях засобів пожежогасіння та правил поведінки в разі виникнення пожеж;

– розробка і впровадження автоматичних систем виявлення і гасіння пожеж.

4.3.2. Технічні рішення системи протипожежного захисту

Засоби пожежогасіння, що використовуються в приміщенні – це вогнегасники, розміщення яких в приміщеннях здійснюється з урахуванням розміщення потенційних джерел виникнення пожеж і позначається встановленим поруч вказівним знаком

Згідно категорії пожежовибухонебезпеки будівлі, класу приміщення і за вибухо- і пожежонебезпекою П-ІІа[3] в приміщенні має бути встановлено 2 порошкових або вуглекислотних вогнегасники із зарядом речовини 2 кг, крім того на поверхах має бути розташовано по одному вуглекислотному вогнегаснику масою речовини не менше 10 кг.

У разі появи ознак загоряння (дим, запах, полум'я) кожен працівник зобов'язується негайно повідомити про це органи пожежної охорони (101), посадову особу підприємства, а також задіяти систему оповіщення.

Посадова особа підприємства до прибуття пожежно-рятувальної служби має видалити за межі небезпечної зони всіх працівників, що не беруть участь у ліквідації пожежі і задіяти всі наявні засоби та сили на ліквідацію загоряння.

ВИСНОВКИ

Розроблено алгоритм та програму оцінювання швидкості передавання в мережі WiMAX та проведено моделювання швидкості передавання даних.

Досліджено залежності швидкості передавання даних від кількості користувачів і різної ймовірності втрат викликів. Показано, на базі аналізу отриманих результатів, що для достовірного моделювання вхідного трафіку доцільно використовувати експериментальний розподіл для моделювання інтервалів між викликами.

Визначена максимальна зона покриття при використанні технології WiMAX та розглянуті можливості підвищення рівномірності покриття зони обслуговування. Проведено порівняльний аналіз параметрів і характеристик мереж фіксованого та мобільного WiMAX. Вивчено особливості архітектури систем широкосмугового радіодоступу на базі конвергенції фіксованого та мобільного WiMAX.

Вивчено особливості забезпечення зв'язку систем широкосмугового радіодоступу на базі технології WiMAX з мережами мобільного зв'язку.

Розвинений підхід до створення спрощеної моделі ХКАС, який базується на ідеї представлення розгалужених хвильових каналів у вигляді з'єднання в один багатополосник відрізків двопровідних ліній, еквівалентних за рівнем потужності, що передається коридорним і вуличним хвильовим каналам. Запропоновано модель розрахунку S-параметрів такого багатополосника, засновану на використанні відомих циклічних алгоритмів та на обліку втрат, рівних загасанню при РРХ вздовж ХКАС.

Проведено вимірювання закономірностей РР по вуличних ХКАС. З порівняння отриманих даних по співвідношенню сигнал/шум з даними стандарту WiMAX з'ясовано, що швидкість передачі інформації, що діє в місті, системою WiMAX не перевищує 2 Мбіт/с при дальності не більше 4 км. Здійснено дослідження залежності швидкості передавання від виду розподілу тривалостей викликів і виду розподілу інтервалів між викликами показало, що статистичний метод дає можливість покращити процедуру визначення ресурсів, необхідних для забезпечення заданих видів послуг.

У роботі виконано також економічні розрахунки та наведено основні заходи з охорони праці та безпеки життєдіяльності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ільченко М.Ю., Кравчук С.О. Телекомунікаційні мережі Київ Наукова Думка. 2017 – 736с.
2. Кравчук С.О. Дослідження втрат на поширення радіохвиль в умовах міської забудови для систем WiMAX / С.О. Кравчук // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2007. – №5. – С.30-35
3. Бережна О.В. Система збору даних із використанням технології WiMAX / О.В. Бережна, Т.О. Протасова, Є.С. Романенко, О.М. Гагіна //
4. Електротехнічні системи, прилади і засоби кодування інформації (ФЕЕ2021).
5. Матеріали та програма науково-технічної конференції. – Суми: СумДУ, 2021. -С.°95.
6. Горбатий І. В., Бондарєв А. П. Телекомунікаційні системи та мережі. Принципи функціонування, технології та протоколи. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2016. 336 с.
7. Телекомунікаційні системи передачі : підручник / В. М. Кичак, О. М.Шинкарук, Г. Г. Бортник, І.І. Чесановський, О.В. Стальченко. – Хмельницький: Видавництво НАДПСУ, 2016. – 424 с.
8. Беркман Л.Н., Жураковський Б.Ю., Макаренко А.О. Теорія передачі даних в інфокомунікаціях. Навчальний посібник. К.: ДУТ, 2015. С. 160.
9. Телекомунікаційні та інформаційні мережі :
- 10.Підручник [для вищих навчальних закладів] / П.П. Воробієнко, Л.А. Нікітюк, П.І. Резніченко. – К.:САММІТ-Книга, 2010. – 708 с.: іл
- 11.Ільченко М.Ю. Сучасні телекомунікаційні системи / М.Ю.Ільченко, С.О. Кравчук. –К.: Наукова Думка, 2008. – 328с
- 12.WiMAX forum network architecture. Stage 2: architecture tenets, reference model and reference points. Part 2. Rel. 1, Ver. 1.2, 11 January 2008. – 160p // NWG_R1_V1.2- Stage – 2- Part 2.pdf[Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http:// www.wimaxforum.org](http://www.wimaxforum.org).
- 13.WiMAX forum network architecture. Stage 2: architecture tenets, reference model and reference points.WiMAX interworking with DSL Rel. 1, Ver. 1.2, 11 January 2008. – 8p // NWG_R1_V1.2- Stage-2 –WiMAX-interworking-with-DSL.pdf[Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http:// www.wimaxforum.org](http://www.wimaxforum.org).
- 14.WiMAX forum network architecture. Stage 2: architecture tenets, reference model and reference points.3GPP – WiMAX interworking Rel. 1, Ver. 1.2,

- 11 January 2008. – 8p // NWG_R1_V1.2- Stage-2 –3GPP2-WiMAX-interworking.pdf[Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.wimaxforum.org>.
- 15.ДСТУ OHSAS 18002:2015. Системи управління гігієною та безпекою праці. Основні принципи виконання вимог OHSAS 18001:2007 (OHSAS 18002:2008, IDT). К. : ГП «УкрНИИУЦ», 2016. 21 с.
- 16.ДСТУ ISO 45001:2019 Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування (ISO 45001:2018, IDT). URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=88004.
- 17.НПАОП 0.00-4.12-05. Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0231-05>.
- 18.ДСТУ 8829:2019 Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація. URL: <https://www.alutal.com.ua/wp-content/uploads/2021/02/dstu-8829-2019-1.pdf>.
- 19.ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення. URL: <https://dwg.ru/dnl/15125>.
- 20.ДБН В.2.5-28-2018 Природне і штучне освітлення - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/prirodne-i-shtuchne-osvitlennja-nor 8425.html>
- 21.НАПБА.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. К. : МВС України, 2014. 47с.
- 22.ДБН В.2.5-27-2006. Захисні заходи електробезпеки в електро-установках будинків і споруд. К. :МінбудУкраїни, 2006. 154 с.
- 23.ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>.

- 24.ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.
- 25.Охорона праці та промислова безпека: навч.посіб. [К.Н.Ткачук, В.В.Зацарний, Р.Н.Сабарно та ін.]; за ред. К.Н.Ткачука, В.В.Зацарного. – К.: Основа. – 2009. – 454 с.
- 26.Правила улаштування електроустановок. URL: <http://www.energiy.34com.ua/PUE.html>.
- 27.НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. URL: http://sop.zp.ua/norm_праор_0_00-7_15-18_01_ua.php

Додаток А
(обов'язковий)

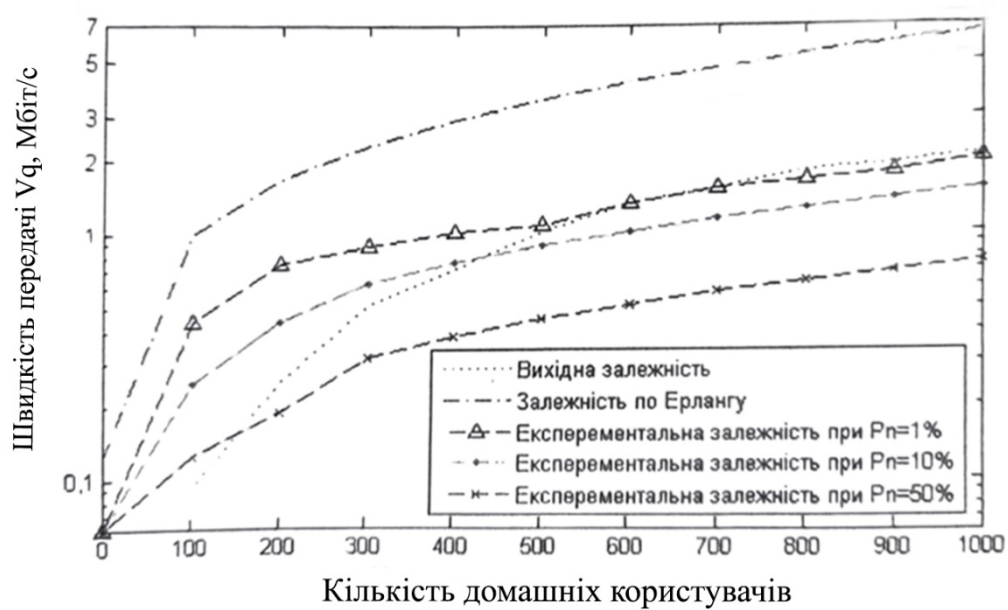
ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

**РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ПРОГРАМИ ОЦІНЮВАННЯ ШВИДКОСТІ
ПЕРЕДАВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ В МЕРЕЖІ WiMAX**

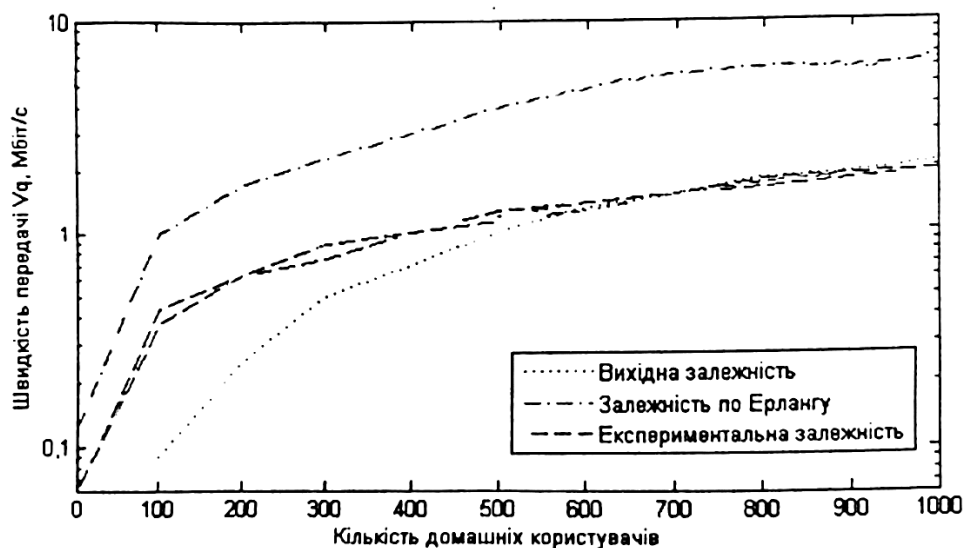
назва бакалаврської дипломної роботи



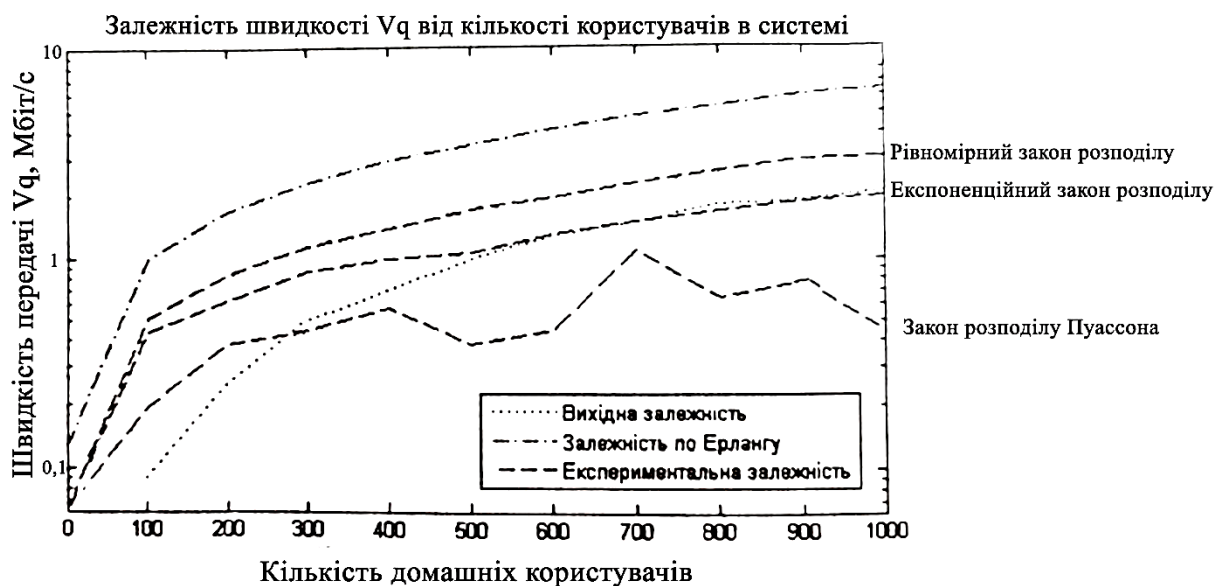
Блок-схема алгоритму визначення швидкості передачі



Залежність швидкості передавання від кількості користувачів за різних імовірностей втрат



а



б

Залежність швидкості передавання від: *а* - виду розподілу тривалостей викликів (за однакового мат. очікування), *б* - виду розподілу інтервалів між викликами

Додаток Б

Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Розробка алгоритму та програми оцінювання швидкості передавання інформації в мережі WIMAX

Тип роботи: Бакалаврська дипломна робота
(БДР, МКР)

Підрозділ кафедра Інфокомунікаційних систем і технологій, факультет Інформаційних електронних систем

(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unichesk

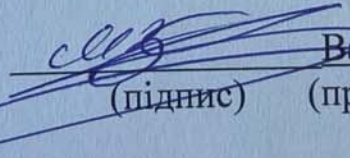
Оригінальність 94,93 % Схожість 5,07 %

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

☒ 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

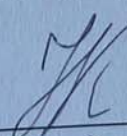
☐ 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.

☐ 3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату /або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа відповідальна за перевірку  Васильківський М.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

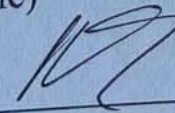
Ознайомлені з повним звітом, який був згенерований системою Unichesk щодо роботи.

Автор роботи


(підпис)

Карпенко І.В.
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Кичак В.М.
(прізвище, ініціали)