

Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи
за освітньо-кваліфікаційним рівнем «магістр»

на тему:

ПРОЕКТУВАННЯ МЕРЕЖІ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ
ЧЕТВЕРТОГО ПОКОЛІННЯ
08-34.МКР.003.00.000 ПЗ

Виконав: студент 2-го курсу,
групи ТКС-18м
спеціальності 172 – Телекомунікації та
радіотехніка

_____ Бучинський Я.В.

Керівник: к.т.н., доцент каф. ТКСТБ

_____ Семенова О.О.

« ____ » _____ 2019 р.

Рецензент: д.т.н., проф., каф. БМІ

_____. Злепко С.М.

« ____ » _____ 2019 р.

Вінницький національний технічний університет
Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем
Кафедра телекомунікаційних систем та телебачення
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
Галузь знань 17– Електроніка та телекомунікації
(шифр і назва)
Спеціальність 172 – Телекомунікації та радіотехніка
(шифр і назва)
Освітня програма Телекомунікаційні системи та мережі

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ТКСТБ
к.т.н., проф Г.Г. Бортник

“ ___ ” _____ 2019 року

З А В Д А Н Н Я НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Бучинському Ярославу Вікторовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проектування мережі мобільного зв'язку четвертого покоління

керівник роботи Семенова Олена Олександрівна, к. т. н, доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвержені наказом вищого навчального закладу від “02” 10 2019 року № 254

2. Строк подання студентом роботи 02 грудня 2019 року

3. Вихідні дані до роботи: дальність дії – до 50 км; робоча частота – 2...11 ГГц; максимальна швидкість передачі даних – до 70 Мбіт/с; спектральна ефективність – до 5 біт/сек/Гц; швидкість доступу у інтернет – до 10 Мбіт/с; зона дії одного сектора базової станції – 800–1500 метрів.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) вступ; техніко – економічне обґрунтування тематики роботи; розрахунок покриття мережею 4G; особливості розрахунку параметрів мережі; підвищення показників якості базових станцій; розроблення приймача; економічна частина; охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях; висновки; література; додатки.

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

1) Мережа WiMAX. Плакат

2) Проектування мережі WiMAX. Плакат

3) Розрахунок траси «вниз» при модуляції 64-QAM. Плакат

4) Схема радіорелейної лінії. Плакат

5) Дослідження міжканальної завади. Плакат

6) Приймач з дискретизацією проміжної частоти. Схема структурна

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технічна частина	Семенова О.О., доцент каф. ТКСТБ		
Економічна частина	Кавецький В.В., старший викладач		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Березюк О.В. к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання 02 вересня 2019 року**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розробка технічного завдання	06.09.2019р.	
2.	Техніко-економічне обґрунтування розробки	13.09.2019р.	
3.	Розрахунок покриття мережею 4G	04.10.2019р.	
4.	Підвищення показників якості базових станцій	25.10.2019р.	
5.	Розроблення приймача	08.11.2019р.	
6.	Аналіз економічної ефективності розробки	15.11.2019р.	
7.	Аналіз безпеки життєдіяльності, цивільний захист	22.11.2019р.	
8.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини	29.11.2019р.	
9.	Нормоконтроль МКР	02.12.2019р.	
10.	Попередній захист МКР, рецензування МКР	06.12. 2019р.	
11.	Захист МКР ДЕК	09.12. 2019р.	

Студент _____ Бучинський Я.В.

(підпис)

Керівник роботи _____

(підпис)

Семенова О.О.

РЕФЕРАТ

УДК 621.396

Бучинський Ярослав Вікторович. Проектування мережі мобільного зв'язку четвертого покоління. Магістерська кваліфікаційна робота. – Вінниця: ВНТУ, 2019. – 113с.

На українській мові. Бібліогр.: 31 назв; Рис.:32; Табл.: 23.

Дана магістерська робота присвячена проектуванню мережі мобільного зв'язку 4G. Проведено розрахунок мережі зв'язку. У роботі проаналізовано сучасні методи проектування системи безпроводового зв'язку. Досліджено показники якості. Розроблено структурну схему приймача системи мобільного зв'язку. Розраховано економічний ефект. Розглянуті питання безпеки життєдіяльності та охорони праці. Отримані результати задовольняють вимогам технічного завдання.

Ключові слова: мобільний, система, WiMAX.

ABSTRACT

UDK 621.396

Buchynskyi Yaroslav Victorovych. Designing the mobile fourth generation network. Master thesis. – Vinnytsya: VNTU, 2019. – 113pp.

In Ukrainian language. Refs.: 31 titles; figs.: 32; tables: 23.

The master thesis is dedicated to design of the 4G mobile communication network. The communication system has been estimated. In this work, modern methods of wireless system designing have been analyzed. Quality parameters have been examined. A block diagram of the mobile system's receiver has been developed. The economic gain has been calculated. Problems of industrial and occupational safety have been considered. The obtained results satisfy preliminary specifications.

Keywords: mobile, system, WiMAX.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 ТЕХНІКО – ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕМАТИКИ РОБОТИ...	6
1.1 Стан проблеми.....	6
1.2 Аналіз шляхів рішення проблеми.....	7
1.3 Вибір оптимального варіанта рішення проблеми	8
1.4 Оцінка наукового, технічного та економічного рівня НДДКР.....	9
1.5 Оцінювання комерційного потенціалу розробки	12
1.6 Розрахунок узагальненого коефіцієнта якості проектованої мережі.....	16
1.7 Прогнозування витрат на виконання НДДКР.....	18
1.8 Доцільність науково-дослідної роботи.....	21
1.9 Висновки по розділу.....	22
2 РОЗРАХУНОК ПОКРИТТЯ МЕРЕЖЕЮ 4G	24
2.1 Розгортання мережі	24
2.2 Характеристики мережі.....	25
2.3 Розрахунок мережі.....	27
3 ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ МЕРЕЖІ.....	35
3.1 Чутливість приймача	35
3.2 Бюджет лінії	37
3.3 Модель поширення радіохвиль	38
3.4 Розрахунок швидкості передачі даних на сектор	39
4 ПІДВИЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ БАЗОВИХ СТАНЦІЙ.....	42
4.1 Використання багатопролітної радіорелейної лінії зв'язку.....	42
4.2 Багатокритеріальна оптимізація системи управління.....	48
4.3 Оптимізація роботи Smart-антени.....	51
5 РОЗРОБЛЕННЯ ПРИЙМАЧА	55
6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	69
6.1 Розрахунок витрат на проведення НДР з дослідження та проектування мережі четвертого покоління	69

6.2	Визначення коефіцієнта наукової значимості отриманих результатів НДР.	75
6.3	Внесок магістранта-дослідника в досягнення отриманих результатів НДР	76
6.4	Висновки до розділу.....	77
7	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	78
7.1	Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії	78
7.2	Технічні рішення з промислової та пожежної безпеки при проведенні проектування мережі мобільного зв'язку четвертого покоління.....	82
7.3	Дослідження стійкості роботи мережі мобільного зв'язку в умовах дії загрозових чинників надзвичайних ситуацій.....	84
7.4	Розробка заходів по підвищенню стійкості роботи мережі мобільного зв'язку в умовах надзвичайних ситуацій.....	89
7.5	Висновки до розділу.....	90
	ВИСНОВКИ.....	92
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	94
	ДОДАТКИ.....	98
	Додаток А (обов'язковий) Технічне завдання.....	99
	Додаток Б (обов'язковий) Мережа WiMAX.....	106
	Додаток В (обов'язковий) Структура мережі WiMAX.....	107
	Додаток Д (обов'язковий) Результат розрахунку траси «вниз» при модуляції 64-QAM.....	108
	Додаток Е (обов'язковий) Структура радіорелейної лінії.....	109
	Додаток Ж (обов'язковий) Результат дослідження міжканальної завади.....	110
	Додаток И (обов'язковий) Приймач з дискретизацією проміжної частоти. Схема структурна електрична	111
	Додаток К (обов'язковий) Нормовані значення виробничих факторів.....	112

ВСТУП

Актуальність теми. Наразі у всьому світі технології безпроводового ширококутвого доступу продовжують розвиваються по шляху, що передбачає конвергенцію послуг передачі даних, телефонії та телебачення. При цьому відбувається інтеграція різних типів інформації у одній системі, з різними вимогами до таких параметрів, як швидкість передачі даних та часу затримки, що призводить до виникнення потреби у забезпеченні відповідного механізму керування якістю обслуговування абонентів.

На етапі переходу до проектування та розгортання системи ширококутвого доступу з інтеграцією послуг існує необхідність суттєво корегувати базові принципи, що були закладені до безпроводових систем на попередніх етапах. При цьому, на сигнальному рівні найважливішим є оптимальне використання спектрального ресурсу каналів при любых співвідношеннях «швидкість/завадостійкість». На рівні протоколів виникла потреба у забезпеченні заданого рівня якості обслуговування для всіх користувачів мережі. В 2004 р. для цього розробили стандарт IEEE 802.16-2004, котрий описує технологію безпроводового ширококутвого доступу, яка розрахована на впровадження в міських безпроводових мережах. Найчастіше вживають комерційну назву стандарту – WiMax (Worldwide Interoperability for Microwave Access), котра походить від назви міжнародної організації WiMax Forum, що об'єднує передові комунікаційні та напівпровідникові компанії.

Аналіз останніх досліджень. Поточний стан стосовно впровадження технології 4G на Україні описано у [1]. Можливості, що можна одержати завдяки розгортанню мережі мобільного зв'язку четвертого покоління, розглядаються у праці [2]. Працю [3] присвячено підвищенню ефективності функціонування та оптимізації архітектури мереж четвертого покоління.

Мета та задачі дослідження. Метою даної магістерської кваліфікаційної роботи є удосконалення методів проектування мережі мобільного зв'язку четвертого покоління.

Для досягнення мети необхідно розв'язати такі задачі:

- огляд принципів проектування мережі мобільного зв'язку четвертого покоління;
- розроблення методів підвищення показників якості;
- синтез приймального блоку.

Об'єктом дослідження є фізичні процеси у пристроях мобільного зв'язку.

Предметом дослідження є пристрої системи мобільного зв'язку.

Методи дослідження. Для рішення поставлених завдань були використані методи теорії інформації та передавання сигналів, методи теорії телетрафіку, методи комп'ютерного моделювання та оптимізації.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:

- досліджено вплив міжсимвольних завад;
- досліджено вплив інтерференції на розмір стільника.

Практичне значення роботи полягає у розробленні схеми приймача системи мобільного зв'язку четвертого покоління.

Особистий внесок здобувача: розроблено рекомендації до підвищення якості мереж мобільного зв'язку четвертого покоління.

Апробація результатів роботи. Основні ідеї роботи доповідались і обговорювались на I-й міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні проблеми інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем» СПРН-2019.

1 ТЕХНІКО – ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕМАТИКИ РОБОТИ

1.1 Стан проблеми

Наразі розвиток інфокомунікаційних систем тісно пов'язаний із розвитком технологій безпроводового зв'язку. Одним з перспективних напрямів є проектування мереж на базі технологій високошвидкісного широкосмугового доступу з інтеграцією послуг. При розгортанні будь-якої мережі потрібно розв'язати такі задачі: впровадження опорної мережі зв'язку та проектування мережі доступу для передачі послуг від точки доступу опорної мережі до користувача. Опорну мережу зв'язку може бути побудована на базі радіорелейних чи оптоволоконних ліній передачі, або на базі мікрохвильових систем широкосмугового доступу. Мережі доступу – це найбільш витратна ділянка будь-якої телекомунікаційної мережі, що особливо помітно у тому випадку, коли вона повинна мати широку смугу пропускання і гарантовано високу якість обслуговування. Існуючі рішення, котрі можна охарактеризувати подібними властивостями, мають один важливий недолік – відсутня гнучкість мережі радіодоступу. Але, вони навпаки повинні мати гнучкість, що потрібна для досягнення найкращого співвідношення ціна/продуктивність, та мають забезпечити у різних додатках високу швидкість передачі інформації, багатостанційний доступ, найкращу якість та мінімальну затримку.

Наразі впроваджуються різноманітні технології широкосмугового безпроводового доступу. Технологія WiMAX є однією з найперспективніших технологій четвертого покоління, так як вона орієнтована на побудову універсальних мультисервісних мереж і дозволяє забезпечити високу пропускну здатність як для рухомих, так і для фіксованих додатків. Для підвищення конкурентоспроможності системи WiMAX постає проблема удосконалення методів її проектування.

1.2 Аналіз шляхів рішення проблеми

Технологія стандарту WiMAX базується на групі стандартів IEEE 802.16, перший з яких, орієнтований на діапазон частот 10–66 ГГц, було прийнято у 2002 р. [1]. Майже відразу після цього було створено так званий WiMAX-Forum, його головною задачею було забезпечення сумісності устаткування від різних фірм-виробників, а також виготовлення загальних профілів устаткування та розроблення специфікацій з метою його стандартизації. Потім були прийняті доповнення до стандарту і у 2004 р. був прийнятий стандарт IEEE 802.16-2004, призначений для фіксованих мереж широкосмугового безпроводового доступу у частотних діапазонах 10–66 ГГц і нижче. В 2005 р. прийняли доповнення та поправки, котрі описували мережі безпроводового доступу, як фіксованого, так і мобільного.

Наразі інтенсивно освоюються частотні діапазони 2,5 ГГц, 3,5 ГГц, 5,8 ГГц. Для вказаних діапазонів особливістю мережі WiMAX є те, що застосовується метод ортогонального частотного ущільнення (OFDM) з 256 та 1024 підносійними. Застосування великої кількості підносійних дозволяє передати інформацію із нижчою швидкістю на кожній з них. Також за рахунок збільшеної тривалості одиничного символу можна приймати і прямий і відбиті від різних перешкод сигнали одночасно, або працювати лише на відбитих сигналах поза межами прямої видимості від базової станції.

Ще однією важливою рисою системи WiMAX є багаторівнева масштабованість. Зокрема, для фіксованих додатків застосовуються частотні плани у 3,5 МГц або 7 МГц у режимі частотного дуплексу, та 10 МГц у режимі часового дуплексу. Для мобільних додатків системи WiMAX застосовують різні частотні плани із частотними смугами 1,25–20 МГц із технологією OFDMA, яка при застосуванні 1024 підносійних частот дає змогу призначати групи підносійних для окремих споживачів, також при цьому забезпечують додаткові можливості багатостанційного доступу, що надає іще більшу гнучкість в управлінні смугою пропускання. Окрім того існує можливість управління смугою пропускання за

рахунок обирання видів модуляції та швидкості завадостійкого коду, при цьому в умовах частотно-селективних замирань застосовують оптимальні алгоритми оцінювання каналів.

Велика кількість різних профілів для окремих частотних діапазонів з одного боку призводять до серйозних проблем у сумісності обладнання від різних фірм-виробників, а з іншого боку, наразі суттєво змінюються підходи до частотно-територіального планування інфокомунікаційних мереж на базі WiMAX технології, а планування подібним мереж значно ускладнюється із врахуванням додаткових можливостей функціонування обладнання в умовах непрямой видимості. Такого роду ускладнення має і позитивні сторони, так для системи WiMAX можливо будувати мережу з застосуванням схеми частотно-територіального планування типу «одна частота/три сектора у стільнику/один сегмент в частотному каналі». Подібні підходи дозволяють розгорнути мережі WiMAX з оптимальною спектральною ефективністю в умовах обмеженого числа частотних смуг.

1.3 Вибір оптимального варіанта рішення проблеми

При проектуванні мереж мобільного зв'язку четвертого покоління на базі WiMAX технології потрібно брати до уваги орієнтованість таких мереж, основні функціональні вимоги до них, а також та можливі мережеві архітектури [2, 3]. Основні функціональні вимоги до мереж четвертого покоління:

- орієнтованість на фіксовані та мобільні моделі використання
- незалежні взаємодіючі рішення
- різноманітні моделі обслуговування
- стандартні інтерфейси зв'язку мережі та користувача
- сумісність мереж зв'язку від різних операторів
- масштабованість мережі зв'язку
- забезпечення наскрізної якості обслуговування для мультисервісних мереж.

Мережі WiMAX можна організувати двома шляхами: як незалежні або як інтегровані у вже існуючі мережі. Також, мережу стандарту WiMAX може впровадити постачальник Інтернет-послуг, постачальник послуг широкосмугового безпроводового доступу, або ж телекомунікаційні компанії чи оператор мережі стільникового зв'язку. У цих мережах є спільні задачі, котрі розв'язуються за рахунок застосування технології WiMAX, до них відносять зниження навантаження і надання абонентам послуг широкосмугового доступу. Використання IP-орієнтованої мережної архітектури дозволяє успішно розв'язати вищенаведені задачі.

WiMAX мережу може будувати або як мережа послуг доступу або як мережу послуг приєднання. Будь-які можливі взаємодії у єдиній мережі реалізуються через опорну IP-мережу.

Мережі широкосмугового доступу на базі технології WiMAX характеризуються такими особливостями:

- поєднання можливостей адаптації фізичного рівня устаткування із змінними умовами функціонування
- існує можливість вибору найбільш підходящого профілю обладнання із одночасним врахуванням обмеженості частотного ресурсу
- частотно-територіальне планування реалізується з метою забезпечити максимальну пропускну здатність мережі
- IP-орієнтовані архітектурні рішення стосовно організації мереж, а також взаємодії з іншими мережами
- орієнтація на надавання користувачам мультисервісних послуг.

1.4 Оцінка наукового, технічного та економічного рівня НДДКР

Основною задачею роботи є дослідження окремих властивостей мережі четвертого покоління при її проектуванні, з метою визначення оптимальних параметрів по потужності в цілому за результатами трактових вимірювань.

Обраний метод є трохи складним за рахунок того, що будуть проводитись трактові виміри та аналіз отриманих результатів із застосуванням математичного апарату на вже існуючих програмних пакетах та частині проекрованої мережі. Він полягає в наступному:

- 1) на даному пристрої 4G мережі приводиться ряд технічних параметрів та характеристик для певних компонентів;
- 2) проводяться вимірювання в пристрої 4G мережі;
- 3) проводяться порівняння отриманих характеристик з параметрами, приведеними вище; якщо вони не сходяться або не задовольняють своєю повнотою відтворення картини в цілому, проводиться повторне вимірювання;
- 4) аналізуючи, визначається найкращий метод аналізу та розрахунку згідно параметрів замовника;
- 5) підбирається програмний пакет та проводиться аналіз і розрахунки; будуються локальна мережа стандарту 4G.

Даний метод надає більш повну та ширше висвітлену інформацію про стан характеристик пристроїв 4G мережі. Застосування вимірювань, що проводяться безпосередньо в трактах вимагають використання великої кількості вимірювальної апаратури. Але хоча на такі дослідження потрібна велика кількість часу, в нашому випадку, застосовуючи ЕОМ, значно зменшуються витрати часу. Використання ЕОМ надають змогу в подальшому створити модель більш досконалої 4-G мережі.

Суть технічної проблеми полягає в тому, що пристрої для 4G мережі, на даний час знайшли широке застосування в електронних приладах і тому постає задача побудові оптимальної 4G мережі, яка буде задовольняти всі вимоги споживача і стане економічно і технологічно привабливою.

Споживачі потребують швидкого впровадження досягнень науково-технічного прогресу галузі, а це звісно вимагає зменшення часу на проведення НДДКР і скорочення строку окупності витрат. Виходячи з цього, доцільно орієнтуватися на час проведення НДДКР не більше 2 років, при чому технічні показники результатів плануються на рівні кращих світових зразків; передбача-

ються часткові можливості отримання авторських свідоцтв; строк окупності витрат 2 роки і менше.

В табл. 1.1 наведено критерії та бальна оцінка для визначення наукового та технічного рівня науково-дослідної роботи

Таблиця 1.1 – Критерії та бальна оцінка для визначення наукового, технічного та економічного рівня науково-дослідної роботи.

Критерії оцінки	Шкала критеріїв	Індекс оцінки
Час, необхідний для проведення НДР	2 роки і менше	+2
	3 роки	+1
	4 роки	0
	5-6 років	-1
	7 років і більше	-2
Технічні показники результатів розробки	Вище рівня кращих світових зразків	+2
	На рівні кращих світових зразків	0
	Нижче рівня кращих світових зразків	-2
Можливості отримання авторських свідоцтв на винахід	Впевненість в отриманні авторських свідоцтв	+2
	Часткові можливості	0
	Можливості немає	-1
Строк окупності витрат	2 роки і менше	+3
	3-4 роки	+2
	5 років	0
	6-7 років	-1
	8 років і більше	-2

В табл. 1.2 наведено можливі результати оцінки теми НДДКР.

Таблиця 1.2 – Можливі результати оцінки теми НДДКР

Сума індексів	Оцінка теми
Позитивна(+)	Розробка є досить перспективною
Задовільна(0)	Розробка перспективна
Негативна(-)	Розробка не перспективна

Проаналізувавши дані табл. 1.1 та 1.2, та підрахувавши загальну суму балів $+2 + 0 + 0 + 3 = +5$, робимо висновок, що проведення науково-дослідної роботи є досить перспективною.

1.5 Оцінювання комерційного потенціалу розробки

Метою проведення технологічного аудиту є оцінювання комерційного потенціалу результатів НДДКР. В результаті оцінювання можна зробити висновок щодо напрямів (особливостей) організації подальшого впровадження результатів з врахуванням встановленого рейтингу.

Рекомендується здійснювати оцінювання комерційного потенціалу розробки за 12-ма критеріями, наведеними в табл. 1.3 [19].

Таблиця 1.3 – Рекомендовані критерії оцінювання комерційного потенціалу розробки та їх можлива бальна оцінка

Бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Кри-терій	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції:					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено роботоздатність продукту в реальних умовах
Ринкові переваги (недоліки):					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної	Ринок малий, але має позитивну	Середній ринок з позитивною	Великий стабільний	Великий ринок з позитивною
1	2	3	4	5	6

1	2	3	4	5	6
7	Активна конкуренція великих компаній на рин-	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкурентів немає
Практична здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти ро-	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років
1	2	3	4	5	6

1	2	3	4	5	6
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомити відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки зведемо до табл. 1.4.

Таблиця 1.4 – Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії	експерт		
	1	2	3
	Бали, виставлені експертами:		
1	2	2	1
2	2	3	4
3	2	2	3
4	3	3	3
5	2	2	2
6	2	3	4
7	2	2	3
8	2	3	2
9	3	2	2
10	2	2	2
11	2	2	2
12	2	3	2
Сума балів	26	29	29
Середньоарифметична сума балів <u>СБ</u>	<u>28</u>		

За даними таблиці 1.4 зробимо висновок щодо рівня комерційного потенціалу дослідження. При цьому доцільно користуватися рекомендаціями, наведеними в табл. 1.5 [19].

Таблиця 1.5 – Рівні комерційного потенціалу розробки

Середньоарифметична сума балів СБ , розрахована на основі висновків експертів	Рівень комерційного потенціалу розробки
0 - 10	Низький
11 - 20	Нижче середнього
21 - 30	Середній
31 - 40	Вище середнього
41 - 48	Високий

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки становить 28 балів, що, згідно таблиці 1.5, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки середній).

1.6 Розрахунок узагальненого коефіцієнта якості проекрованої мережі

В процесі дослідження і проектування мережі необхідно розглянути основні технічні показники, які по-різному впливають на загальну якість проектної розробки, для аналізу якості мережі.

Узагальнений коефіцієнт якості (B_n) для нового технічного рішення розраховуємо за формулою [20]:

$$B_n = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot \beta_i, \quad (1.1)$$

де k – кількість найбільш важливих технічних показників, які впливають на якість нового технічного рішення;

α_i – коефіцієнт, який враховує питому вагу i -го технічного показника в загальній якості розробки. Коефіцієнт α_i визначається експертним шляхом і при цьому має виконуватись умова $\sum_{i=1}^k \alpha_i = 1$;

β_i – відносне значення i -го технічного показника якості нової розробки.

Відносні значення β_i для різних випадків розраховують за такими формулами:

- для показників, зростання яких вказує на підвищення в лінійній залежності якості нової розробки:

$$\beta_i = \frac{I_{ni}}{I_{ai}}, \quad (1.2)$$

де I_{ni} та I_{na} – чисельні значення конкретного i -го технічного показника якості відповідно для нової розробки та аналога;

- для показників, зростання яких вказує на погіршення в лінійній залежності якості нової розробки:

$$\beta_i = \frac{I_{ai}}{I_{ni}}; \quad (1.3)$$

Використовуючи наведені залежності можемо проаналізувати та порівняти техніко-економічні характеристики аналогу та майбутньої розробки на основі отриманих наявних та проектних показників, а результати порівняння зведемо до табл. 1.6.

Таблиця 1.6 – Порівняння основних параметрів мережі що проектується та аналога.

Показники (параметри)	Одиниця вимірювання	Аналог	Проектований пристрій	Відношення параметрів нової розробки до аналога	Питома вага показника
Придушення сусіднього каналу	дБ	-5	-11	2,05	0,4
Коефіцієнт підсилення	дБ	55	65	1,18	0,3
Потужність розсіювання	Вт	2,2	2,5	0,88	0,3

Узагальнений коефіцієнт якості (B_n) для нового технічного рішення удосконаленої мережі складе:

$$B_n = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot \beta_i = 2,05 \cdot 0,4 + 1,18 \cdot 0,3 + 0,88 \cdot 0,3 = 1,44.$$

Отже за технічними параметрами, згідно узагальненого коефіцієнту якості розробки, проєктована мережа четвертого покоління переважає існуючі аналоги приблизно в 1,44 рази.

1.7 Прогнозування витрат на виконання НДДКР

Для детального обґрунтування доцільності проведення досліджень необхідно провести попередній розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи. Для визначення суми витрат на проведення НДДКР передбачено складання приблизного кошторису цих витрат [19].

Таблиця 1.7 – Основна заробітна плата дослідників та розробників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн.
1. Керівник проекту	10100,00	459,09	22	10100,00
2. Ст. науковий співробітник	9100,00	413,64	15	6204,55
3. Інженер-конструктор телекомунікаційних систем	7520,00	341,82	15	5127,27
4. Консультант-аналітик побудови цифрових мереж	9050,00	411,36	10	4113,64
5. Технік	5100,00	231,82	22	5100,00
Всього приблизно				30645,45

Витрати на основну заробітну плату працівників (Зр), що здійснюють підготовку робочих місць необхідних для досліджень, підготовку та формування баз даних складе в межах 976,00 грн.

Додаткова заробітна плата розробників складе приблизно 3794,00 грн.

Нарахування на заробітну плату розробників складуть приблизно 7792,00 грн.

Таблиця 1.8 – Витрати на основні матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Одиниця виміру	Ціна за одиницю, грн.	Витрачено	Вартість витраченого матеріалу, грн.
Папір канцелярський офісний (A4)	уп.	122,00	2	244,00
Папір для заміток (A5)	уп.	35,00	4	140,00
Папір креслярський (A1)	шт.	15,00	8	120,00
Начиння канцелярське	шт.	65,00	4	260,00
Органайзер офісний	шт.	120,00	4	480,00
Картридж для плотера	шт.	658,00	2	1316,00
1	2	3	4	5

1	2	3	4	5
Картридж для принтера	шт.	532,00	3	1596,00
Диск оптичний (CD-R)	шт.	16,00	3	48,00
FLASH-пам'ять (16 ГБт)	шт.	354,00	2	708,00
Всього приблизно				4912,00

Таблиця 1.9 – Величина амортизаційних відрахувань

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, міс.	Величина амортизаційних відрахувань, грн
Обчислювальний комплекс	18000,00	3	1	500,00
Комп'ютер для роботи системи передачі даних (1)	12300,00	3	1	341,67
Комп'ютер для роботи системи передачі даних (2)	14200,00	3	1	394,44
Пристрій мережі (1)	7100,00	5	1	118,33
Пристрій мережі (2)	6800,00	5	1	113,33
Програмний продукт моделювання мереж MatLab8.0	6200,00	5	1	103,33
Дослідницька лабораторія	205000,00	20	1	854,17
Всього приблизно				2425,28

Таблиця 1.10 – Витрати на електроенергію при проведенні досліджень

Найменування обладнання	Кількість годин роботи обладнання, год.	Встановлена потужність, кВт	Коефіцієнт використання потужності	Величина оплати
Обчислювальний комплекс	176	0,86	1	334,51
Комп'ютер для роботи системи передачі даних (1)	50	0,720	1	79,56
Комп'ютер для роботи системи передачі даних (2)	50	0,720	1	79,56
Пристрій мережі (1)	50	0,05	1	5,53
Пристрій мережі (2)	50	0,03	1	3,32
Всього				502,47

Інші витрати складуть в межах 63243,00 грн.

Загальні витрати на проведення досліджень та проектування мережі четвертого покоління складуть

$$B = 30645,00 + 976,00 + 3794,00 + 7792,00 + 4912,00 + 2425,00 + 502,00 + 63243,00 = 114289,00 \text{ (грн.)}$$

1.8 Доцільність науково-дослідної роботи

Для обґрунтування доцільності виконання науково-дослідної роботи з дослідження та проектування мережі четвертого покоління використовується спеціальний комплексний показник, що враховує важливість, результативність роботи, можливість впровадження її результатів у практичну діяльність, величину витрат на роботу.

Комплексний показник K_p рівня НДДКР розраховується за виразом [20]:

$$K_p = \frac{I^n \cdot T_c \cdot R}{B \cdot t}, \quad (1.4)$$

де I – коефіцієнт важливості роботи, $I = 2 \dots 5$;

n – коефіцієнт використання результатів роботи; $n = 0$, коли результати роботи не будуть використовуватись; $n = 1$, коли результати роботи будуть використовуватись частково; $n = 2$, коли результати роботи будуть використовуватись в дослідно-конструкторських розробках; $n = 3$, коли результати можуть використовуватись навіть без проведення дослідно-конструкторських розробок;

T_c – коефіцієнт складності роботи, $T_c = 1 \dots 3$;

R – коефіцієнт результативності роботи; якщо результати роботи плануються вище відомих, то $R = 4$; якщо результати роботи відповідають відомому рівню, то $R = 3$; якщо нижче відомих результатів, то $R = 1$;

B – вартість НДР, (тис.грн.);

t – час дослідження роботи, років.

Підставляючи числові дані в (1.4) отримаємо

$$K_p = \frac{4^3 \cdot 3 \cdot 4}{114,5 \cdot \frac{1}{12}} = 80,5.$$

Оскільки $K_p > 1$, тому науково-дослідну роботу можна вважати економічно доцільною з достатньо високим науковим, технічним та економічним рівнем.

1.9 Висновки по розділу

Згідно проведеного аналізу рівень комерційного потенціалу розробки становить 28 балів, що свідчить про комерційну важливість проведення даних

досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки середній). До того ж комплексний показник рівня НДДКР ($K_p > 1$) свідчить про те, що науково-дослідну роботу з можна вважати економічно доцільною з достатньо високим науковим, технічним та економічним рівнем. Також рівень якості проєктованої мережі четвертого покоління в порівнянні з аналогами вищий в 1,44 рази, що додатково свідчить про позитивні перспективи, як науково-дослідної роботи так і відповідної проєктної мережі четвертого покоління.

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

2 РОЗРАХУНОК ПОКРИТТЯ МЕРЕЖЕЮ 4G

2.1 Розгортання мережі

Процес розрахунку покриття мережею мобільного зв'язку четвертого покоління WiMax залежить від великої кількості параметрів. Наразі застосовують дві основні стратегії побудови мережі WIMAX.

Перша стратегія передбачає одержання максимально можливої густини потоку даних на визначеній території та використовується у великих містах з високою щільністю населення і розвиненою проводовою мережевою інфраструктурою. Основною ідеєю є надання абонентам мультимедійних послуг та конкуренція із проводовим ширококутовим доступом.

При відсутності конкуренції з боку проводових систем можна застосовувати другу стратегію, котра припускає таке розміщення базових станцій, що дозволяє забезпечити максимальну зону покриття при заданій щільності потоку даних. Вказана стратегія може призначена для застосування у сільській місцевості та у містах зі слабким розвитком проводової інфраструктури. При застосуванні такої стратегії досягається щільності потоку даних рівна 1...6 Мбіт/с/км². Мета реалізації цієї стратегії – забезпечення необхідної швидкості передачі на максимально великій території.

На території України застосовуються методи обчислення розміру стільника на основі стратегій максимізації площі.

Максимальний розмір стільника визначають на основі таких даних, як задана ймовірність бітової помилки BER або ж співвідношення сигнал/шум SINR. Підвищення розміру стільника призведе до збільшення значення величини BER. Це означає, що можна визначити максимальний розмір стільника із допустимим значенням величини ймовірності помилки у межах стільника. У технології WIMAX максимально допустимий рівень бітової помилки – $10e^{-6}$, мінімальний рівень співвідношення сигнал/шум – 21 дБ [8].

У технології WIMAX застосовується квадратурна амплітудно-фазова модуляція QAM, а також фазова маніпуляція BPSK та QPSK. При застосуванні модуляції QAM кожену носійну OFDM-сигналу модулюють корисним сигналом за амплітудою та за фазою.

Вектор сигналу 16QAM матиме 16 позиції у системі координат амплітуди та фази, що дозволяє закодувати 16 значень символу, це значення від 0000 до 1111. Вектор сигналу 64 QAM матиме 64 позиції, що дозволяє закодувати 64 значення символу. Якщо абоненти мають зовнішні направлені антени, то найбільш швидкісній модуляції 64QAM_{3/4}, котра підтримує максимальну символну швидкість і відповідну швидкість передавання даних, обслуговування підтримується на відстані до 25 км, а на модуляції 16QAM_{1/2} ця відстань сягає 45 км.

Для 64 QAM модуляції при BER не більше 10^{-6} з врахуванням корегування помилок FEC=3/4 значення SINR для кожної носійної становить 24,4 дБ.

2.2 Характеристики мережі

Для розрахунків розміру стільника при розгортанні мережі потрібно оцінити додаткові енергетичні характеристики системи, до яких відносять чутливість приймача та коефіцієнт системного підсилення. Для того, щоб одержати необхідний рівень SNR, на вході приймача потужність сигналу повинна бути вище, ніж відповідний пороговий рівень чутливості, який для технології WIMAX із шириною каналу у 10 МГц складає 70,4 дБм.

Для того, щоб підтримати певного типу модуляції, рівень сигналу на вході приймача (RSSL) у смузі пропускання каналу має бути вищим за рівень теплового шуму на величину SNR із врахуванням внутрішнього шуму цього приймача.

Для того, щоб підтримати модуляцію 64 QAM 3/4 на вході приймача рівень сигналу повинен бути не нижче за рівень чутливості 70,4 дБ. Але на практиці системи володіють вищим рівнем чутливості. Отже, обчисливши чутли-

вість приймача, можливо визначити коефіцієнт покращення чи погіршення якості передачі даних у каналі та змінити розміри стільника [8].

У системі стандарту WIMAX передбачено автоматичне регулювання потужності. На базовій станції можна задати максимально можливий рівень вхідного сигналу. Цей рівень складає 65-70 дБм для систем, котрі функціонують у частотному діапазоні 5 ГГц та мають ширину каналу 5 або 10 МГц.

Якщо система працює в умовах сильної інтерференції, то максимальний рівень вхідного сигналу базової станції підвищується до 60 дБм. В цьому випадку, для підтримання модуляції 64QAM3/4 вимоги до значення CINR знижують до мінімально необхідного рівня, який складає 21 дБ.

Для підтримки модуляції 64 QAM 3/4 в умовах інтерференції недостатньо тільки забезпечити рівень сигналу RSSL, котрий би перевищував рівень чутливості приймача на величину FM. Отже, при присутності інтерференції не можна визначити лише за значенням рівня сигналу RSSL, який саме тип модуляції здатна підтримати система.

У випадку, коли виміряне значення CINR більше за 21 дБ, це свідчить про те, що сигнал RSSL перевищив пороговий рівень чутливості для модуляції виду 64QAM3/4. А коли виміряне значення CINR перевищує рівень 27 дБ, то хоча сигнал RSSL перевищує пороговий рівень чутливості для модуляції 64QAM3/4, рівень інтерференції не перевищує допустимого і не чинить суттєвого впливу на приймач.

Таким чином, для того, аби забезпечити найвищу символну швидкість при використанні модуляції 64QAM3/4 необхідно та достатньо, аби відношення CINR перевищувало на величину FM значення 21-27 дБ.

Тобто, виміряне мережею WIMAX значення CINR показує можливість підтримання модуляції певного типу. Мережа WIMAX визначає тип модуляції сигналу, що дозволить забезпечити стійку роботу каналу із рівнем бітової помилки більшим ніж $10e^{-6}$ саме за значеннями величини CINR.

Базова станція системи WIMAX налаштовується на роботу в умовах або відсутності або ж інтерференції низького рівня. Потім задають на вході макси-

мальний рівень потужності сигналу, що є близьким до значення чутливості плюс величина FM, рівна -70 дБм щ для систем з шириною каналу зв'язку 10 МГц. Для CINR запас по завмиранню вибирається рівним 1 дБ, для більш стабільної роботи можна обрати 3 дБ. Поріг перемикання на нижчу модуляцію становить 1 дБ.

Можливо налаштувати систему WIMAX таким чином, щоб при досягненні величиною CINR рівня 24 дБ вмикалася модуляція 64QAM3/4, котра змінюється на модуляцію 64QAM2/3 при зниженні значення CINR нижче за рівень 20 дБ. Якщо мережа Wimax функціонує зі стандартними налаштуваннями і виміряне значення величини CINR на менше 27 дБ, то це свідчить про те, що рівень інтерференції не впливає на роботу системи Wimax з 64QAM3/4 модуляцією. Якщо ж виміряний рівень CINR є меншим за 20 дБ, а значення RSSL рівне -70 дБм, то це свідчить про те, що має місце сильна інтерференція. Тоді, якщо неможливо понизити рівень інтерференції, максимальний рівень вхідного сигналу на базовій станції можна підвищити до 65 дБм. Тоді вимоги до рівня CINR для модуляції типу 64QAM3/4 знижують до 21 дБ.

Технічні характеристики системи WiMax:

- Максимальна дальність дії 50 км;
- Частотний діапазон – 2...11 ГГц;
- Максимальна швидкість передачі даних 70 Мбіт/с;
- Спектральна ефективність – 5 біт/сек/Гц;
- Швидкість доступу у мережу Інтернет –10 Мбіт/с;
- Зона дії сектора базової станції – 1500 метрів.

2.3 Розрахунок мережі

Загальне число частотних каналів, виділених для мережі четвертого покоління визначається за формулою

$$N_K = \text{int}(\Delta F / F_K),$$

де F_k – це смуга частот, яку займає канал.

Отже, маємо

$$N_k = \text{int} \left(\frac{2,4 \cdot 10^6}{1500} \right) = 128.$$

Для того, щоб розрахувати розмірність кластера використовуємо таке співвідношення

$$p(C) = \left[\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{X_1}^{\infty} \exp(-x^2/2) dx \right] \cdot 100,$$

де $p(C)$ – це доля часу, протягом якого співвідношення корисний сигнал/завада на вході приймача абонентської станції буде нижче, ніж захисне відношення ρ_0 .

Інтеграл у формулі є табульованою функцією:

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{X_1}^{\infty} \exp(-x^2/2) dx.$$

Нижня бічна межа інтервалу обчислюється за виразом:

$$X_1 = \frac{10 \lg(1/\beta_e) - \rho_0}{\alpha_p},$$

де

$$\beta_e = \left(\sum_{i=1}^M \beta_i \right) \exp \left[\frac{\gamma^2 (\alpha^2 - \alpha_e^2)}{2} \right].$$

Величини α_p й α_e визначаються за виразом

$$\alpha_p^2 = \alpha^2 + \alpha_e^2,$$

$$\alpha_e^2 = \frac{1}{\gamma^2} \ln \left\{ 1 + \left[\exp(\gamma^2 \alpha^2) - 1 \right] \frac{\sum_{i=1}^M \beta_i^2}{\left(\sum_{i=1}^M \beta_i \right)^2} \right\},$$

тут α – це параметр, котрий визначає у місці прийому діапазон випадкових флуктуацій рівня сигналу:

$$\gamma = 0,1 \ln 10.$$

Коефіцієнт β_i представляє собою медіанне значення згасання хвиль на i -му напрямку збільшення завади. Ці коефіцієнти є обернено пропорційними до чверті ступеня відстані до джерела завади. M – це число базових станцій у сусідніх кластерах, котрі створюють завади.

Розглянемо випадок, коли антена всеспрямована:

$$\varphi = 360^\circ, N_C = 1, M = 6,$$

$$\beta_1 = \beta_2 = (q-1)^{-4}, \beta_3 = \beta_4 = q^{-4}, \beta_5 = \beta_6 = (q+1)^4;$$

де N_C – це кількість секторів.

Значення C обираємо рівним 3. Тоді

$$\gamma = 0,1 \ln 10 = 0,23.$$

$$q = \sqrt{3 \cdot C},$$

$$q = \sqrt{3 \cdot 3} = 3.$$

Визначаємо параметр α_e^2

$$\alpha_e^2 = \frac{1}{0,23^2} \ln \left\{ 1 + \left[\exp \left(0,23^2 \cdot 5^2 \right) - 1 \right] \frac{\sum_{i=1}^6 \beta_i^2}{\left(\sum_{i=1}^6 \beta_i \right)^2} \right\} = 16,364 \text{ дБ.}$$

Обчислюємо

$$\alpha_e = \sqrt{16,364} = 4,045 \text{ дБ.}$$

Одержуємо такі значення

$$\alpha_p = \sqrt{5^2 + 4,045^2} = 6,431 \text{ дБ.}$$

$$\beta_e = \left(\sum_{i=1}^6 \beta_i \right) \exp \left[\frac{0,23^2 (5^2 - 4,045^2)}{2} \right] = 643,908 \text{ дБ.}$$

Розраховуємо для Q-функції нижню границю

$$X_1 = \frac{10 \lg(1/643,908) - 10}{6,431} = -5,922.$$

В таблиці такому значенню буде відповідати величина $1 - 0,161 \cdot 10^{-8}$, яку можна округлити до одиниці. Тоді маємо:

$$p(C) \approx 1 \cdot 100 = 1.$$

Так як отримане значення є більшим за $\frac{P_c}{P_{III}}(\rho_0)$, яке згідно завдання рівне десяти, то даний тип антени і обране значення розмірності кластера не підходять для використаного стандарту.

Тепер розглянемо випадок зі спрямованою антеною з такими параметрами $\varphi = 120^\circ$, $N_S = 3$, $M = 2$, $\beta_1 = (q + 0,7)^{-4}$, $\beta_2 = q^{-4}$.

Обираємо значення C рівне 4.

$$q = \sqrt{3 \cdot 4} = 3,464.$$

Обчислюємо:

$$\alpha_e^2 = \frac{1}{0,23^2} \ln \left\{ 1 + \left[\exp(0,23^2 \cdot 5^2) - 1 \right] \frac{\sum_{i=1}^2 \beta_i^2}{\left(\sum_{i=1}^2 \beta_i \right)^2} \right\} = 17,682 \text{ дБ.}$$

Тоді Маємо

$$\alpha_e = \sqrt{17,682} = 4,025 \text{ дБ.}$$

Звідки отримуємо:

$$\alpha_p = \sqrt{5^2 + 4,025^2} = 6,533 \text{ дБ.}$$

$$\beta_e = \left(\sum_{i=1}^2 \beta_i \right) \exp \left[\frac{0,23^2 (5^2 - 4,025^2)}{2} \right] = 0,012 \text{ дБ.}$$

Визначаємо для Q-функції нижню границю:

$$X_1 = \frac{10 \lg(1/0,012) - 10}{6,533} = 1,384.$$

Цьому значенню відповідає таблиці величина 0,0838. Тоді одержуємо

$$p(C) \approx 0,0838 \cdot 100 = 8,38.$$

Так як це значення є меншим за $\frac{P_c}{P_{III}}(\rho_0)$, то такий тип антен є найоптимальнішим.

Кількість частотних каналів, котрі застосовуються у одному секторі для обслуговування абонентів, обчислюється за такою формулою:

$$n_C = \text{int} \left(N_K / C \cdot N_C \right),$$

$$n_C = \text{int} \left(\frac{128}{4 \cdot 3} \right) = 10.$$

де N_C – це кількість секторів у стільнику.

Допустиме навантаження базової станції у одному секторі визначається так:

$$A = n_0 \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \left(P_B \sqrt{\pi \cdot n_0 / 2} \right)^{\frac{1}{n_0}}} \right]$$

якщо виконується умова

$$P_B \leq \sqrt{\frac{2}{\pi \cdot n_0}},$$

де $n_0 = n_C \cdot n_a$; n_a – це кількість абонентів, котрі можуть використовувати один канал одночасно. Тоді $n_a = 1$.

$$\sqrt{\frac{2}{\pi \cdot 10}} = 0,252.$$

Розрахований вираз під коренем більше, ніж P_B , так як $0,11 < 0,252$.

$$A = 10 \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \left(0,11 \cdot \sqrt{\pi \cdot 10 / 2} \right)^{\frac{1}{10}}} \right] = 7,117 \text{ Ерл.}$$

На основі значення активності одного абонента в годину найбільшого навантаження обчислюємо число абонентів, які обслуговуються однієї базовою станцією

$$N_{aBC} = \text{int}(A/\beta) \cdot N_C,$$

$$N_{aBC} = \text{int}(7,17/0,026) \cdot 3 = 828.$$

Необхідна кількість базових станцій визначається за формулою:

$$N_{BC} = \text{int}(N_a/N_{aBC}),$$

$$N_{BC} = \text{int}(3600/828) = 13.$$

де N_a – число абонентів, що обслуговує мережа зв'язку.

Радіус розраховується за виразом

$$R = \sqrt{1,21 \frac{S_0}{N_{BC} \cdot \pi}},$$

$$R = \sqrt{1,21 \frac{280}{43 \cdot \pi}} = 1,584 \text{ (км)}.$$

3 ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ МЕРЕЖІ

3.1 Чутливість приймача

Чутливість – одна з найважливіших характеристик, під якою розуміють здатність приймача приймати слабкі сигнали. На чутливість впливають потужність теплових шумів приймача, відношення сигнал/шум, коефіцієнт шуму, а також втрати реалізації, що враховують неідеальність приймача, помилки квантування, фазовий шум та ін. Тепловий шум залежить від ширини смуги каналу (BW) і може бути обчислений за формулою

$$P_{\text{тш}} = -174 + 10\lg(\Delta f),$$

де Δf – використовувана смуга частот.

Стандарт IEEE 802.16 орієнтований на використання смуг частот шириною в 1,25; 5,0; 10,0; 20,0 МГц і заснований на технології OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing – мультиплексування за допомогою ортогональних несучих). За рахунок наявності захисного інтервалу між подносійними ефективна ширина спектру сигналу трохи більше ширини каналу (BW), тому Δf можна розрахувати як добуток ширини каналу BW, числа використовуваних піднесучих ($N_{\text{вик}}$), повного числа піднесучих OFDM сигналу ($N_{\text{заг}}$) і коефіцієнта дискретизації (n) [2]. Табл. 3.1 містить для кожної ширини каналу значення $N_{\text{вик}}$ і $N_{\text{заг}}$. Слід зауважити, що $N_{\text{вик}}$ складається з суми числа піднесучих даних ($N_{\text{дан}}$) і числа пілотних піднесучих ($N_{\text{пілот}}$). Число піднесучих даних визначається для низхідного напрямку ($N_{\text{данDL}}$) і висхідного напрямку ($N_{\text{данUL}}$) [3]. Коефіцієнт дискретизації n визначає інтервал між подносійними (разом з шириною смуги і кількістю піднесучих даних) і корисний час символу. Він дорівнює 28/25 для каналу, ширина смуги якого кратна 1,25; 1,50; 2,00; 2,75 МГц [4]. Таким чином, тепловий шум може бути визначений за формулою

$$P_{\text{ми}} = -174 + 10\lg[BWn(N_{\text{вук}}/N_{\text{заг}})]. \quad (3.1)$$

Відношення сигнал/шум приймача залежить від схеми модуляції. Табл. 2 містить перелік схем модуляцій, затверджених стандартом WiMAX, і вимоги до відношення сигнал/шум ($K_{\text{ш/с}}$) [4]. Значення $K_{\text{ш/с}}$ наведені для згорткового кодування (ЗК) і згорткового турбокодування (ЗТК). Наведені дані справедливі для каналу з адитивним білим гаусовим шумом і коефіцієнтом помилок рівним 10^{-6} .

Таблиця 3.1 – Параметри схем модуляції

Схема модуляції	$K_{\text{ш/с}}$ при ЗК, дБ	$K_{\text{ш/с}}$ при ЗТК, дБ	Кількість біт на символ, $R_{\text{сим}}$
QPSK $\frac{1}{2}$	5,0	2,5	1,0
QPSK $\frac{3}{4}$	8,0	6,3	1,5
16QAM $\frac{1}{2}$	10,5	8,6	2,0
16QAM $\frac{3}{4}$	14,0	12,7	3,0
64QAM $\frac{1}{2}$	16,0	13,8	3,0
64QAM $\frac{2}{3}$	18,0	16,9	4,0
64QAM $\frac{3}{4}$	20,0	18,0	4,5

Втрати реалізації (L_I), викликані, наприклад, підвищеним фазовим шумом приймача, знижують його чутливість, і для нормальної роботи такої системи потрібен більш потужний сигнал. Значення L_I прийнято рівним 5 дБ [3]. Таким чином, формула для розрахунку необхідного рівня чутливості приймача має вид

$$P_{\text{ми}} = -174 + 10\lg[BWn(N_{\text{вук}}/N_{\text{заг}})] + K_{\text{с/ш}} + K_{\text{ш}} + L_I, \quad (3.2)$$

де коефіцієнт шуму $K_{\text{ш}} = 7$ дБ, відповідно до рекомендацій WiMAX Forum [3].

3.2 Бюджет лінії

Для розрахунку дальності зв'язку використовується рівняння бюджету лінії, яке зв'язує рівні потужності на вході приймача і вихідної потужності передавача, що знаходяться один від одного на заданій відстані. При розрахунку дальності зв'язку вибирається найменше зі значень бюджету для низхідного (DL) і висхідного (UL) напрямків. Бюджет лінії залежить від технічних характеристик базової і абонентської станцій. Завмирання сигналу не враховуються моделлю поширення радіохвиль, тому їх слід врахувати при розрахунку бюджету лінії (запас на завмирання становить 10 дБ) [3]. На кордонах секторів в канал зв'язку вносить спотворення міжканального інтерференція, рівень якої прийнято: для низхідного каналу – $I_{DL} = 2$ дБ, для висхідного – $I_{UL} = 3$ дБ [3]. Для врахування того факту, що будівлі перешкоджають поширенню електромагнітних хвиль, необхідно ввести додаткову поправку U_C , значення якої залежить від щільності забудови.

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

$$DL_{БЛ} = P_{TxBC} - P_{A0AC} + G_{TxBC} + G_{RxAC} - L_f - F - I_{DL} + U_C, \quad (3.3)$$

де P_{TxBC} – випромінювана потужність передавача БС, дБм;

P_{A0AC} – чутливість приймача АС, дБм;

G_{TxBC} – коефіцієнт посилення антени передавача БС, дБі;

G_{RxAC} – завмирання радіосигналу, дБ;

I_{DL} – рівень міжканальної інтерференції, дБ;

U_C – поправочний коефіцієнт типу забудови, дБ.

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

$$UL_{БЛ} = P_{TxAC} - P_{A0BC} + G_{TxAC} + G_{RxBC} - F - I_{UL} + U_C. \quad (3.4)$$

3.3 Модель поширення радіохвиль

Для розрахунку оптимальної відстані від базової станції до абонента необхідно оцінити рівень втрат при поширенні хвиль. Втрати на трасі при поширенні електромагнітних хвиль в реальному середовищі визначають зменшення рівня потужності сигналу. Ці втрати не повинні перевищувати енергетичний бюджет лінії (мінімальний з двох значень). Для розрахунку рівня втрат використана модель Ерцег–Грінштейна, застосовувана робочою групою IEEE 802.16 [5]. Ця модель базується на експериментальних вимірах, проведених в США. З урахуванням деякої мінімальної відстані d_0 рівень втрат розраховується за формулою

$$L = 20\lg(4\pi d_0 \lambda) + 10\gamma \lg(d/d_0) + s + \Delta L_f + \Delta L_h, \quad (3.5)$$

де d – відстань від БС до АС;

λ – довжина хвилі, м;

s – рівень затінення сигналу;

ΔL_f – поправочний коефіцієнт для частоти;

ΔL_h – поправочний коефіцієнт для висоти антени АС, що залежить від типу місцевості;

$\gamma = a - b h_b + c/h_b$ – коефіцієнт;

h_b – висота антени БС.

Постійні a , b , c залежать від ландшафту місцевості (табл. 3.2). Рівень затінення сигналу s , що змінюється по логнормальному закону розподілу з нульовим середнім, також залежить від типу ландшафту місцевості: А – горбиста місцевість, помірний ліс; В – рівнина з рідкісними горбами; С – рівнина, рідкісний ліс.

Без використання поправочних коефіцієнтів ΔL_f , ΔL_h формула (3.5) дійсна тільки для частот менше 2 ГГц і висоти антени приймача до 2 м. Поправочний коефіцієнт для іншої частоти ΔL_f записується в такий спосіб:

$$\Delta L_f = 61\lg(f/2000), \quad (3.6)$$

де f – частота радіосигналу, МГц.

Таблиця 3.2 – Параметри, які залежать від місцевості

Параметр	A	B	C
a	4,6	4,0	3,6
b	0,0075	0,0065	0,0050
c	12,6	17,1	20,0
s, дБ	10,6	9,6	8,2

Формула для обчислення поправочний коефіцієнт для висоти антени ΔL_h залежить від ландшафту місцевості:

$$\Delta L_f = 10,81\lg(h/2) \text{ для A і B типів,}$$

$$\Delta L_f = -201\lg(h/2) \text{ для C типу,}$$

де h – висота антени приймача, м.

Значення висоти антени БС лежить в межах від 10 до 80 м, АС – від 2 до 10м [3].

3.4 Розрахунок швидкості передачі даних на сектор

Швидкість передачі даних залежить від ширини смуги каналу і використуваної схеми модуляції [6]. На швидкість передачі даних впливають захисний інтервал символу T_g , відношення розподілу ресурсів вниз/вгору (DL/UL) і час передачі протокольної інформації (T_h). Момент часу, протягом якого ніякі дані не передаються, а надсилається різна системна інформація, необхідна для

ініціалізації і синхронізації, називається часом передачі протокольної інформації. Тоді за формулою (3.7), можна розрахувати швидкість передачі даних у напрямку вниз (БС → АС):

$$R_{DL} = BWn(N_{данDL} / N_{заг})R_{сим}[1 - (T_h/1 + T_g)]K_{TDD DL}, \quad (3.7)$$

де $N_{данDL}$ – число піднесучих для передачі даних у напрямку БС → АС;

$R_{сим}$ – кількість біт на символ;

T_h – час передачі протокольної інформації;

T_g – захисний інтервал;

$K_{TDD DL}$ – коефіцієнт розподілу ресурсів у напрямку БС → АС.

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

$$R_{UL} = BWn(N_{данUL} / N_{заг})R_{сим}[1 - (T_h/1 + T_g)]K_{TDD UL}, \quad (3.8)$$

де $N_{данUL}$ – число піднесучих для передачі даних у напрямку АС → БС;

$K_{TDD UL}$ – коефіцієнт розподілу ресурсів UL.

При розрахунках T_h приймається рівним 20% від основного часу передачі, а значення захисного інтервалу – 1/8 від тривалості корисного символу. Стандартом IEEE 802.16e також передбачаються значення захисного інтервалу 1/4, 1/8, 1/16, 1/32. Співвідношення між напрямками вниз/вгору дозволяє регулювати відношення швидкостей.

Як приклад наведено результати розрахунку параметрів мережі мобільного доступу. Мережа проектується для міського району площею 17,6 км², висота підвісу антен БС обрана 30 м. Оператору зв'язку виділений частотний ресурс в діапазоні 3 500 МГц, ширина каналу – 10 МГц. Параметри фізичного рівня: захисний інтервал OFDM-символу 1/8 від загальної довжини символу, як модуляції обрана 64-позиційна квадратурна амплітудна модуляція зі швидкістю кодування 3/4, відношення розподілу ресурсів при передачі даних за напрямком

ми вниз/вгору 3: 1, для передачі системної інформації відводиться 20% часу від всього часу передачі.

Устаткування БС вибрано з підтримкою технології MIMO з двома антенами – на прийом і передачу, потужність випромінювання становить 33 дБм, КП антен – 16,5 дБі, 4-секторальна конфігурація. Параметри АС: чутливість – 95 дБ, потужність – 27 дБм, КП антени – 3 дБі. За результатами розрахунку для забезпечення міського району площею 17,6 км² мобільним доступом зі швидкістю 1 Мбіт/с потрібно розмістити 7 БС, кожна з яких здатна обслуговувати зону радіусом 911 м. Максимальна кількість активних абонентів для проєктованої мережі становить 1 058. Інші характеристики представлені на рис. Це мінімальний набір параметрів, які повинна розраховувати будь-яка програма моделювання мереж.

4 ПІДВИЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ БАЗОВИХ СТАНЦІЙ

4.1 Використання багатопролітної радіорелейної лінії зв'язку

Для збільшення зони покриття базової станції пропонується застосовувати багатопролітну радіорелейну лінію зв'язку.

Схема такої системи подана на рис. 4.1, де видно, що мережа містить з одну базову станції (BS) і кілька радіорелейних станцій (RS).

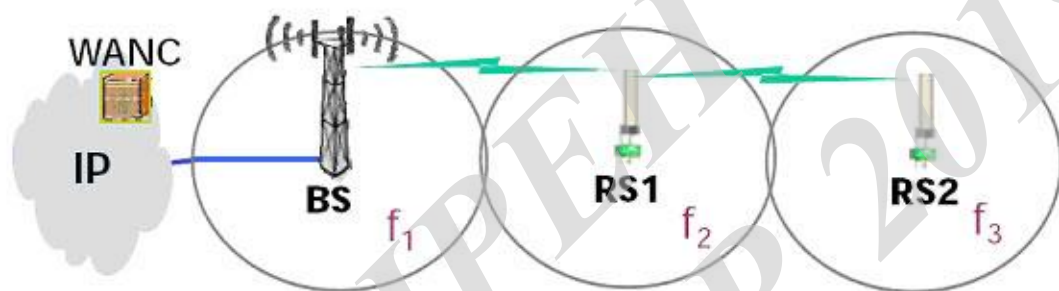


Рисунок 4.1 – Схема багатопролітної радіорелейної лінії

У порівнянні зі звичною схемою планом, де кожна БС під'єднується до мережі WANC (Wide Area Network – глобальна обчислювальна мережа) за допомогою проводових ліній зв'язку, запропонована багатопролітна радіорелейна лінія дає змогу суттєво збільшити розміри зони покриття однієї базової станції без використання проводових з'єднань, що може істотно знизити вартість розгортання мережі.

При обчисленні параметрів сигналів для багатопролітної радіорелейної лінії враховують такі параметри: швидкість передачі інформації, смуга пропускання каналу, кратність модуляції, число підканалів у структурі OFDM сигналу. У випадку, коли тривалість перехідних процесів більша за захисний інтервал, а сигнал встановлюється протягом його оброблення приймачем, фільтрування групового сигналу буде супроводжуватися перехідною завадою, котра має місце виникає через порушення ортогональності сигналів OFDM. Тому необхідно оцінити величину міжканальної перехідної завади.

На рис. 4.2 – 4.6 подано залежності $\xi_m(\Delta\tau_3)$ при $N = 64, 128, 256, 512$ для п'яти радіорелейних станцій і відповідно переприймань 1–5, що підтверджує можливість мінімізувати міжканальну перехідну заваду при фіксованому N вибором τ_3 та зменшити вплив частотних спотворень каналу шляхом збільшення N .

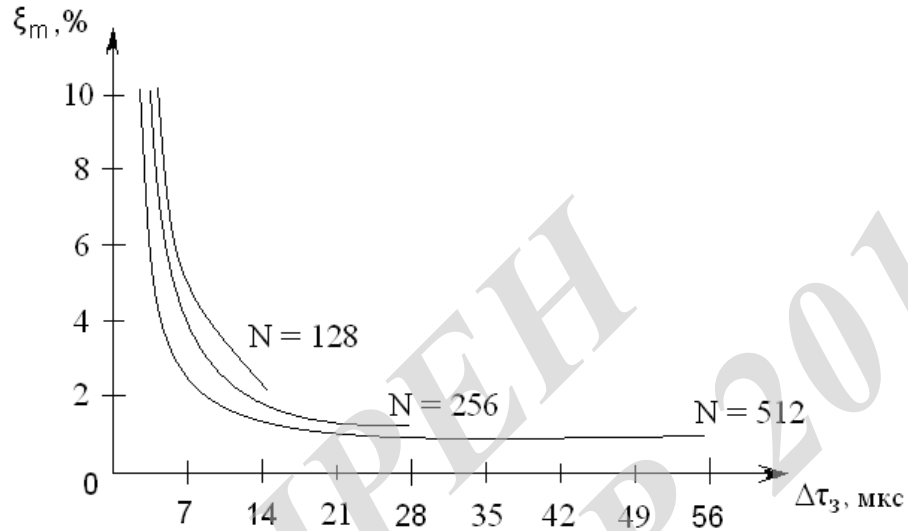


Рисунок 4.2 – Залежність ξ_m від $\Delta\tau_3$ при різних N для одного переприймання

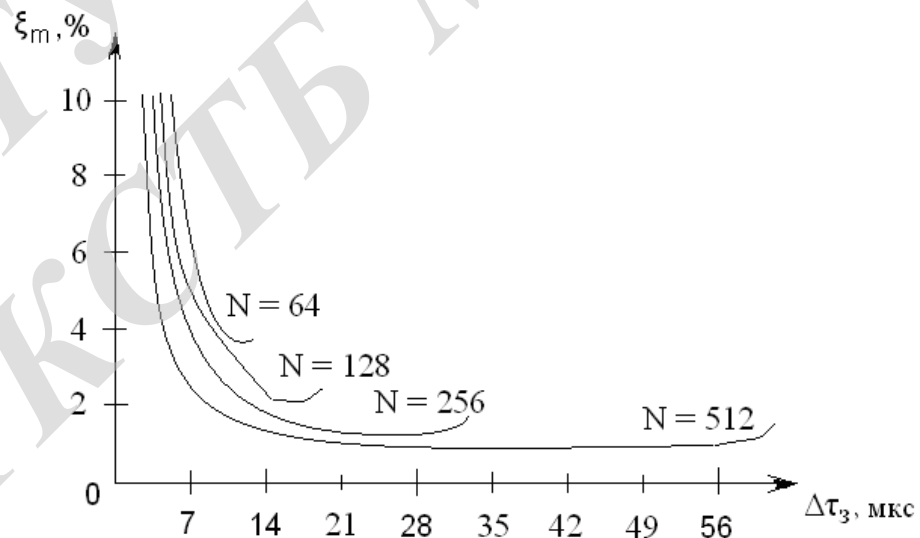


Рисунок 4.3 – Залежність ξ_m від $\Delta\tau_3$ при різних N для двох переприйомів

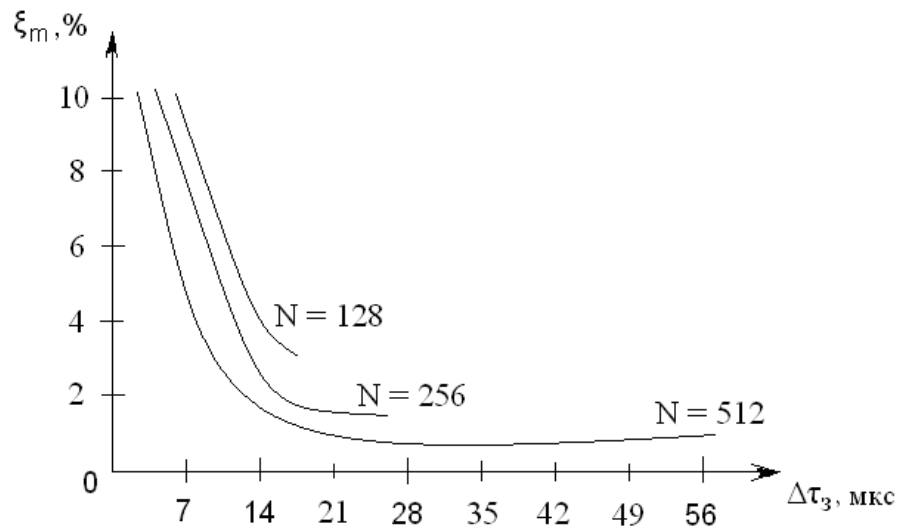


Рисунок 4.4 – Залежність ξ_m від $\Delta\tau_3$ при різних N для трьох переприйомів

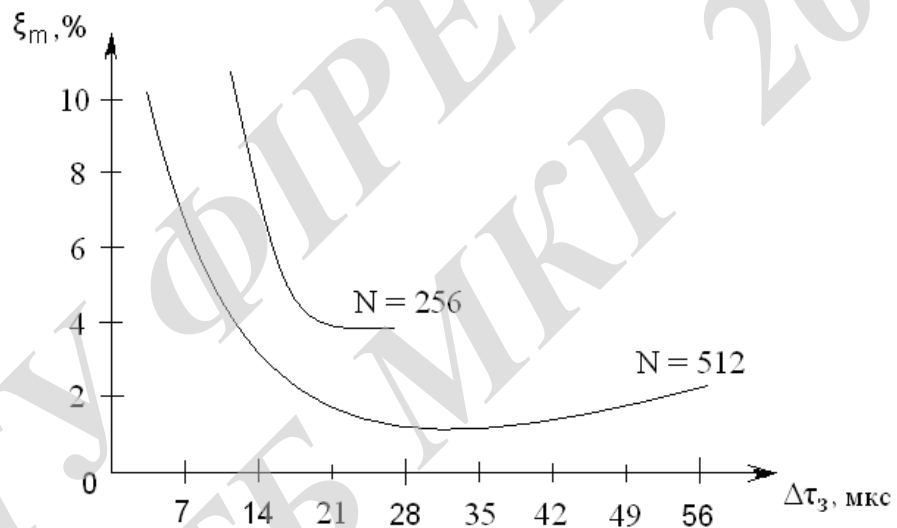


Рисунок 4.5 – Залежність ξ_m від $\Delta\tau_3$ при різних N для чотирьох переприйомів

У процесі обирання параметрів мережі передачі інформації потрібно забезпечити, аби міжканальна перехідна завада суттєво не впливала на завадостійкість на фоні інших завад. Зокрема стандартом IEEE 802.16-2004 для підтримки модуляції типу 64QAM визначено рівень помилок BER не вище 10^{-6} із урахуванням корекції помилок та значення відношення сигнал/шум SNR для OFDM сигналу 24,4 дБ. З метою підтримання нижчих типів модуляції необхідні більш низькі значення SNR. Для підтримання самої нижньої модуляції BPSK згідно стандарту IEEE 802.16e-2005 потрібен $\text{SNR} = 3$ дБ. Для одержання потрі-

бного рівня SNR потужність сигналу на вході приймача має бути вищою за пороговий рівень чутливості, який визначений для кожного типу модуляції.

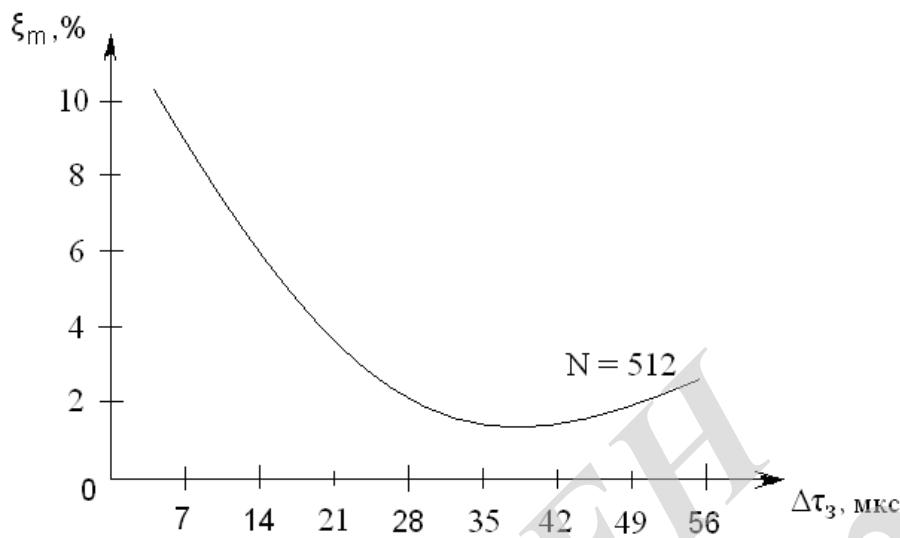


Рисунок 4.6 – Залежність ξ_m від $\Delta\tau_3$ при різних N для п'яти переприйомів

При збільшенні числа прольотів інформаційна ємність, досяжна для користувача, знижується, при цьому збільшується потужність міжканальної перехідної завади. Суттєво збільшити досягну ємність доступу можна за рахунок використання схем модуляцій високого порядку, а також підвищення числа підканалів в структурі передаваного сигналу. Також це веде до зменшення наслідків багатопроменевого поширення сигналів.

У технології четвертого покоління WiMax потрібно оцінювати вплив міжсимвольних завад для забезпечення високої швидкості передачі даних. Найбільш ефективна здійснювати це у крайніх точках спектру, де знаходяться найбільші спотворення каналу.

На виході приймальної системи розраховують синфазну та квадратурну складові сигналу x_u, y_u . Після цього визначають компоненти завади x_u^1 та y_u^1 у сусідній посилю. Потім визначають новий вектор сигналу, спотвореного завадою:

$$\tilde{x} = x_u + x_{u-1}^1,$$

$$\tilde{y} = y_u + y_{u-1}^1.$$

Розраховується відхилення амплітуди та фази вектора сигналу через вплив міжсимвольних завад:

$$A_n = \sqrt{x_u^2 + y_u^2};$$

$$\tilde{A}_n = \sqrt{\tilde{x}_u^2 + \tilde{y}_u^2};$$

$$\Delta A = \frac{\tilde{A} - A_u}{\tilde{A}};$$

$$\Delta \varphi = \arcsin \frac{x_u \tilde{y} - y_u \tilde{x}}{\sqrt{x_u^2 + y_u^2} \sqrt{\tilde{x}_u^2 + \tilde{y}_u^2}}.$$

Наведені на рис. 4.7 і 4.8 графіки ілюструють результати розрахунку.

На рис. 4.7 зображені залежності флуктуації фази вектора сигналу для одного і двох переприйомів від швидкості передачі інформації. На рис. 8 зображена залежність амплітуди вектора сигналу для одного і двох переприйомів від швидкості передачі інформації.

Залежності, подані на рис. 4.7 і 4.8, підтверджують припущення про вплив на якість зв'язку міжсимвольних завад. На низьких швидкостях передачі даних біля 10 Мбіт/с флуктуація фази становить 1 – 30, а амплітуди не перевищує 15%.

Відповідно до розглянутих раніше умов було розраховано. Результати розрахунків значення ξ як функції t_0/τ для різної кількості переприйомів подані на рис. 4.9.

Як видно із наведених на рис. 4.9 залежностей, підвищення числа підканалів не лише зменшує вплив міжканальної перехідної завади ξ , але і істотно розширює $\Delta t_{\text{дод}}$ – це діапазон t_0 , всередині якого значення ξ не перевищує поро-

гове, цей діапазон визначає допустиму похибку у пристрої тактової синхронізації.

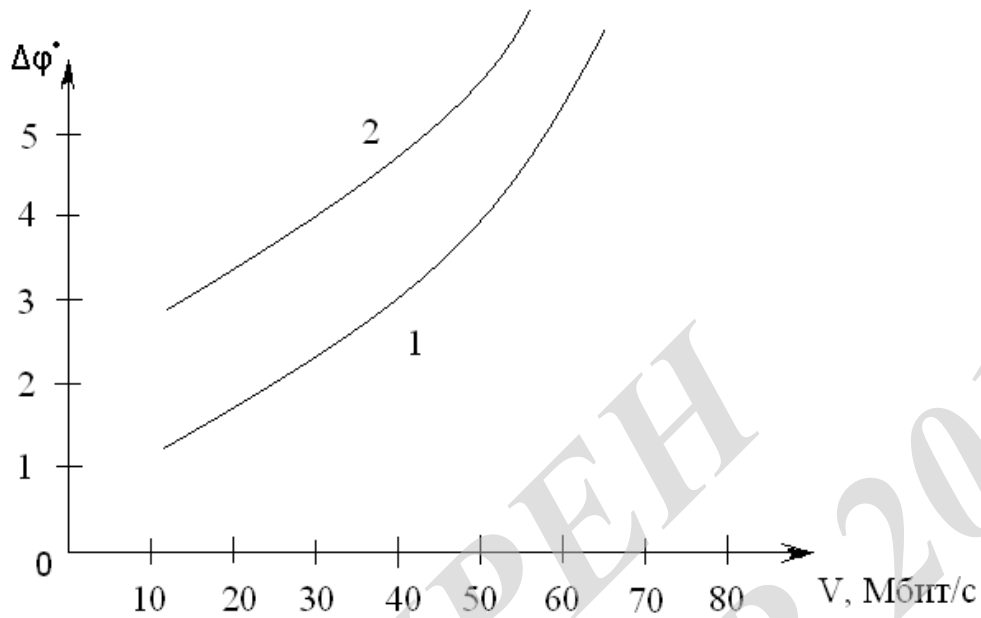


Рисунок 4.7 – Залежність флуктуації фази вектора сигналу від швидкості передачі для одного і двох переприйомів

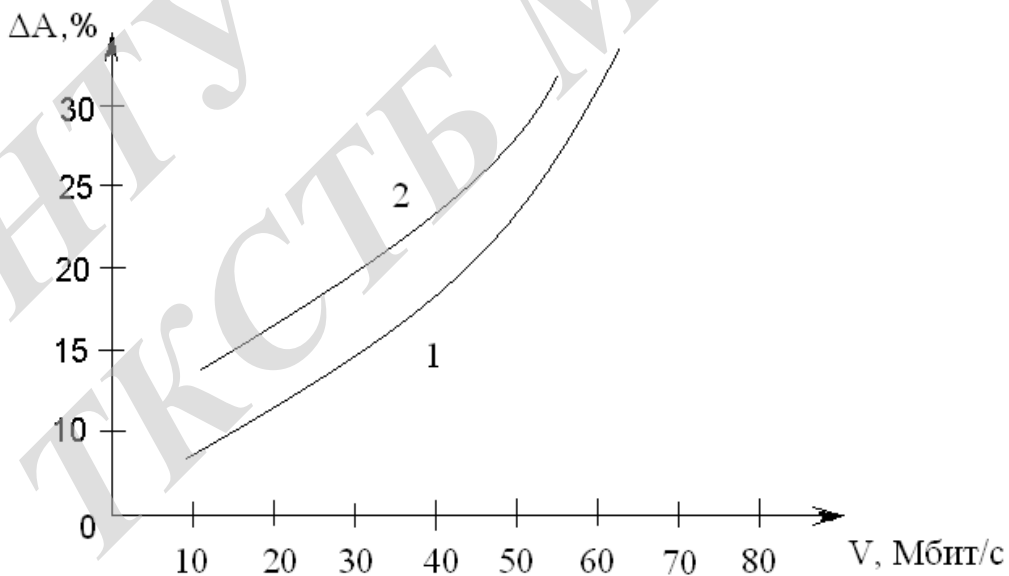


Рисунок 4.8 – Залежність амплітуди вектора сигналу від швидкості передачі для одного і двох переприймань

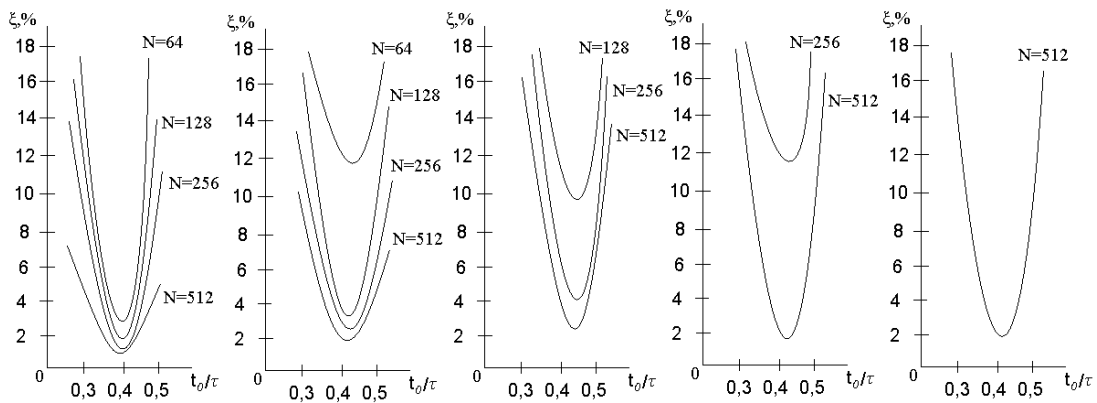


Рисунок 4.9 – Результати розрахунків для різної кількості переприйомів

4.2 Багатокритеріальна оптимізація системи управління

Як відомо, у новітніх системах безпроводового зв'язку при підвищенні якості та об'єму надаваних послуг, кількість керуючої інформації у системі управління різко зростає.

Процес синтезу системи зв'язку – це знаходження оптимальної системи управління. При цьому, задача синтезу – знайти систему управління, котра здатна оптимізувати показники якості обслуговування при обмеженні спектру умов та вхідних даних. Окрім того, синтез такої системи управління та має бути векторним, це означає, що він має проводитися із врахуванням значень сукупності показників якості, що включає також і економічні показники.

Розв'язком задачі оптимального синтезу є процес вибору керуючих змінних x , котрі належать до допустимої сфери D , і при яких забезпечується оптимальне значення величини характеристики системи керування. Критерієм оптимальності $Q(x)$ є характеристика, котра відображає показує відносну перевагу одного варіанту над іншими.

Одну з найважливіших властивостей системи управління характеризує екстремальне значення критерію оптимальності $Q(x)$, а точніше його кількісне значення. Залежно від конкретної поставленої задачі, постає необхідність отримання або максимуму, або мінімуму цієї функції.

Отже, потрібно знайти вектор $x=(x_1, x_2, \dots, x_n)$ для кожного із критеріїв $Q_1(x), Q_2(x), \dots, Q_s(x)$, котрий забезпечує мінімальне або максимальне значення критерію оптимальності згідно виразу

$$Q_i = Q_i(x_1, x_2, \dots, x_n),$$

$$i = 1, \dots, m;$$

при розв'язанні системи нерівностей

$$Q_i = Q_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq 0,$$

$$i = 1, \dots, m,$$

$$x_j^- \leq x_j \leq x_j^+,$$

$$j = 1, \dots, n.$$

Отже, розв'язання задачі оптимізації системи управління можна звести до вирішення умови оптимізації, тобто до визначення оптимального значення, яке задовольняє вищевказаним нерівностям та знаходження мінімального або максимального значень критерію оптимальності.

У системах управління багатопрольотною лінією, що розширюють зону обслуговування базової станції WiMax, використовуються такі часткові критерії:

$Q_1(x)$ – це функція, котра характеризує кількість інформації, що необхідна для забезпечення визначеного спектру послуг;

$Q_2(x)$ – це функція, котра характеризує затримку керуючої інформації при заданому числу контрольованих вузлів центрів комутації;

$Q_3(x)$ – це функція, котра при заданих обмеженнях характеризує надійність структури;

$Q_4(x)$ – функція, котра визначає достовірність переданої інформації;

$Q_5(x)$ – це функція, котра визначає вартість системи управління при врахуванням усіх вищеперерахованих властивостей.

У випадку однокритеріального розв'язку подібних задач оптимізації систем зв'язку, перевагу отримував один із вищеперерахованих критеріїв, а для всіх визначалася сфера допустимих рішень.

Але для системи управління мережі WiMax подібний підхід є недостатньо ефективним, так як наведені часткові критерії суперечать одне одному.

Зокрема, другий критерій «мінімум затримки керуючої інформації» суперечить четвертому критерію – «максимум достовірності». П'ятий критерій «мінімум вартості» суперечить усім попереднім критеріям.

У процесі проектування системи керування увага приділяється вибору кількості показників якості, котрі будуть враховані при синтезі. Число показників, що характеризують якість системи, може бути дуже великим. Але, чим більшою є кількість показників якості, що враховуються при синтезі системи, тим синтезована система буде більш досконалою. Однак, чим більше показників якості враховують, тим складніше реалізувати синтез без застосування грубих припущень. На практиці, потрібно враховувати певну оптимальну кількість показників якості. А от введення додаткових показників призведе до погіршення результатів синтезу, а не до покращення.

Також труднощі при проектуванні системи керування виникають через відсутність точних даних про кількість користувачів, обсяги трафіку, якість каналів зв'язку та ін. Відомі різні методи подолання ускладнень, що виникають через апріорну неточність початкових умов та вихідних даних. Ефективність існуючих методів суттєво залежить від характеру неточності, тобто від того факту, які є дані є, а які відсутні. Найчастіше застосовують є два методи – синтез мінімаксних систем та синтез самоналагоджуваних систем. У першому методі в процесі синтезу розв'язується мінімаксна задача. У процесі розв'язання такої

задачі спочатку векторний синтез зводять до скалярного введенням, наприклад, результуючого показника якості, який обумовлений вимогами до проектованої системи.

У другому випадку накладають додаткову вимогу на синтезовану систему: проводити у процесі функціонування системи оцінювання наперед невідомих характеристик збурень та відповідне коригування параметрів цієї системи.

При синтезі самоналагоджувальної системи, на відміну від мінімаксного синтезу, можливо забезпечити в даних конкретних умовах оптимальну роботу системи.

Однак, реалізувати на практиці систему управління, здатну досить точно, швидко та у повній мірі проаналізувати як прогнозовані так і непрогнозовані випадкові збурення, котрі можуть призвести до виключення деяких контрольованих показників, та у деяких випадках дуже складно скоригувати основні параметри відповідним чином. Також достатньо складними є адекватні математичні методи синтезу самоналагоджуваних систем.

Наразі мінімаксні методи в основному застосовуються при синтезі різноманітних складних систем. А от синтез самоналагоджуваних систем в основному використовується при проектуванні систем, що є компонентами більшої системи. Саме тому для даного випадку побудови системи керування застосування цього методу є більш доцільним.

4.3 Оптимізація роботи Smart-антени

Роботу Smart-антени можливо оптимізувати шляхом зміни критерію наведення променю.

Принцип роботи Smart-антен базується на припущенні того факту, що джерела корисного сигналу та завади досить рідко співпадають за напрямком. Це дає можливість, забезпечивши максимум підсилення антени у потрібному напрямку та сформувавши мінімум її діаграми направленості на джерело завади, підвищити на вході приймача у багато разів робоче відношення сигнал/шум.

Існуюча класифікації виділяє два основні типи Smart-антен – це антени зі комутованим променем та адаптивні антенні системи. Антени із комутованим променем знаходять корисний сигнал та обирають промінь діаграми спрямованості, направлений у бік випромінювання корисного сигналу (рис. 4.10).

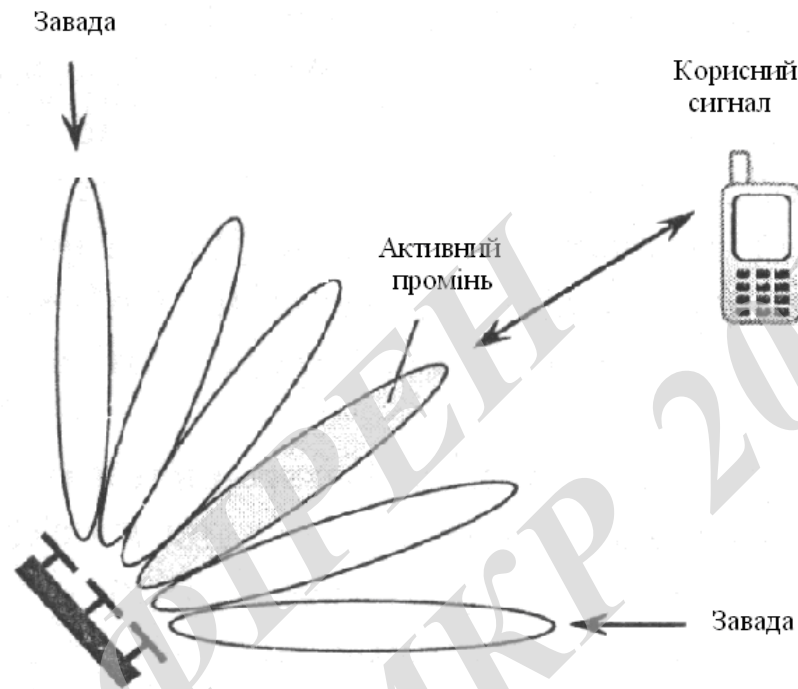


Рисунок 4.10 – Антенна система із комутованим променем

Застосування адаптивної антенної системи дозволяє вирішити дві задачі: відстежуючи постійно положення рухомого абонента, вона орієнтує робочий промінь діаграми направленості у відповідності до його маршруту та в той же час формує “нули” діаграми направленості антени у напрямкі приходу завад (рис. 4.11).

Оптимізувати критерій вибору променю пропонується таким чином.

У випадку застосування Smart-антени із комутованим променем критерій вибору променю ґрунтується на визначенні напрямку приходу сигналу, який характеризується максимальною потужністю.

У Smart-антенах з адаптивним управлінням орієнтацією проміння керує цифрова схема, що направляє їх на потрібних абонентів і здійснює подальший супровід при їх переміщенні.

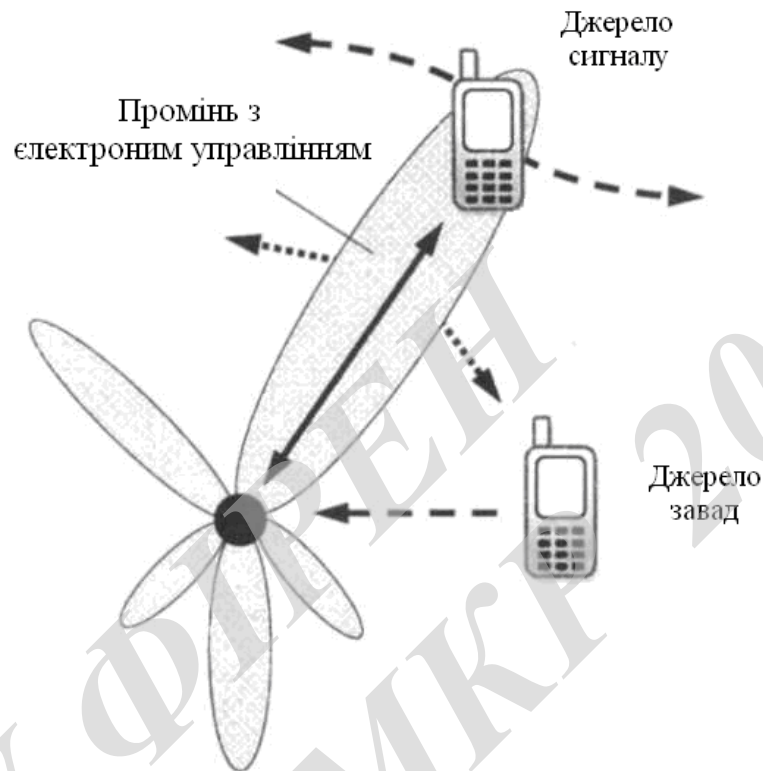


Рисунок 4.11 – Адаптивна антенна система

Обслуговування користувачів із зовнішньою направленою антенною при застосуванні найбільш швидкісної модуляції 64QAM, котра підтримує максимальну символну швидкість та відповідну швидкість передачі даних, можна забезпечити на відстані до 25 км, а при модуляції 16QAM – до 45 км. Важливою особливістю технології WiMax є здатність підтримувати ту або іншу модуляції, яка залежить від ряду параметрів зв'язку, а в першу чергу, від енергетичних параметрів системи. Тобто, система вибирає тип модуляції з огляду на енергетичні характеристики прийнятого сигналу.

Оптимізація критерію – це заміщення складної схеми керування адаптивним променем або вимірювача співвідношення сигнал/шум звичайним детектором BPSK чи QPSK-модуляції. При погіршенні відношення сигнал/шум систе-

ма стандарту WiMax переходить автоматично до простішого типу модуляції, отже, для Smart-антен цю операцію повторно можна не проводити. Це критерій підходить як для адаптивних систем, так і для антен із комутованим променем.

Методики розрахунків параметрів можна узагальнити так, що жоден із розподілів, які описують потоки подій для Smart-антени не був би експоненціальним, тобто потоки подій можуть бути досить довільних видів. Такий підхід потребує застосування спеціалізованих методів аналізу моделей обслуговування із очікуванням. У випадку визначення функцій розподілу часу очікування для Smart-антени з неординарними потоками подій, де $A(t)$ та $B(t)$ – це довільні функції розподілу, допоміжну Smart-антену обирають таким чином, щоби аналітичне рішення для неї було відомим, або його можна було одержати без ускладнень. Після етапу визначення характеристик допоміжної Smart-антени переходять до визначення параметрів початкової системи, використовуючи наявні співвідношень між основною та допоміжною антенами.

5 РОЗРОБЛЕННЯ ПРИЙМАЧА

У технології WiMax реалізована модуляція OFDM, котра має декілька підносійних частот із різними IQ модуляційними параметрами, що призначені для досягнення високої швидкості передавання даних. Ця технологія має стійкість до виникнення помилок завдяки багатопроменовому розповсюдженню сигналів. При багатопроменовому розповсюдженні сигналів має місце послаблююча інтерференція, котра призводить до згасання частки переданого спектру частот. Через те, що в модулюючих сигналах інформація розподілена по піднесучих частотах, при такій послаблюючій інтерференції втрачається лише незначна частка даних. Можливість варіації методів модуляції підносійних частот дає змогу адаптувати передавання сигналів – низька швидкість передавання даних застосовується на великих відстанях, і навпаки – на малих відстанях дані передаються з більшою швидкістю при високому відношенні сигнал/завада (SNR).

Оскільки існує велика різноманітність схем модуляції підносійних частот та методів кодування, вимоги до рівня параметру SNR в приймачі є різними. Так, значення рівня чутливості в приймачі WiMax як -91 дБм визначається у стандарті IEEE Std. 802.16-2004 для каналу із шириною робочої смуги частот 1,5 МГц при умові, що використовується кодування QPSK-1/2 і як -65 дБм для каналу з шириною смуги частот 20 МГц при умові використання кодування виду 64-QAM-3/4. Тобто, коефіцієнт шуму приймача має складати $NF = 7$ дБ при запасі 5 дБ.

У стандарті 802.16 визначено максимальний рівень вхідної потужності, рівний -30 дБм для виявлення і успішного детектування НВЧ-сигналу. При цьому максимально допустиме, тобто граничне значення рівня потужності визначено на рівні не вищому за 0 дБм. Незважаючи на факт, що базова станція і мобільна станція не можуть працювати з рівнем потужності сигналу у 0 дБм, обладнання має бути стійким до вищих значень потужності до 0 дБм без ушкодження вхідних НВЧ-каскадів. Також стандарт 802.16 визначає вимогу до при-

душення в приймальному пристрої сусіднього каналу. Для підтримування частоти появи помилкових бітів BER на рівні 10^{-6} потрібно забезпечити відповідні значення відношення потужності завади у сусідньому і несусідньому каналах до бажаного рівня потужності сигналу у робочій смузі частот (табл. 5.1). Для розроблюваної системи необхідний рівень потужності корисного сигналу повинен бути не більше ніж на 3 дБ вище зазначеного стандартного значення чутливості.

Таблиця 5.1 – Вимоги до придушення сусіднього і несусіднього каналів

Модуляція/кодування	Придушення сусіднього каналу, дБ	Придушення несусіднього каналу, дБ
16-QAM-3/4	-11	-30

На рис. 5.1 подано класичний варіант приймача із подвійним перетворенням, пониженням частоти та дискретизацією проміжної частоти. Структура із дискретизацією проміжної частоти зручна при великій робочій частотній смузі сигналу, що застосовується в системах WiMax чи інших системах з кількома піднесучими. За умови використання багатократного перетворення із пониженням частоти існує можливість застосування кількох смугових фільтрів, котрі дозволяють покращити селективну здатність приймача та підвищити стійкість до зовнішніх блокуючих сигналів, що можуть зменшити чутливість приймача. Досить велике значення першої проміжної частоти забезпечується подвійним перетворенням зі зниженням частоти, при цьому зі смуги пропускання вхідного НВЧ-тракту, поданого на схемі як смуговий НВЧ-фільтр, випадає смуга частот дзеркального каналу.

В основі схеми приймача лежить 14-бітовий АЦП. Хоча, згідно вимог до приймального пристрою вказаних у стандарті 802.16 можна застосувати і 12-бітовий АЦП. Але все ж таки рекомендовано використовувати 14-бітовий АЦП як для сигналу з модуляцією кількох підносійних, так і для однократного перетворення із пониженням частоти. Ця рекомендація була запропонована для

компенсації недосить ефективної селективної здатності приймача та для уникнення насичення АЦП за наявності високих рівнів потужності джерел завад. Для того, щоб спроектувати приймач, що здатен успішно забезпечити усі можливі варіанти швидкості передавання даних, потрібно уважно віднестися до вибору центральної величини проміжної частоти та переконатися у доступності потрібного ПАХ-фільтра задля ефективної селекції проміжної частоти.

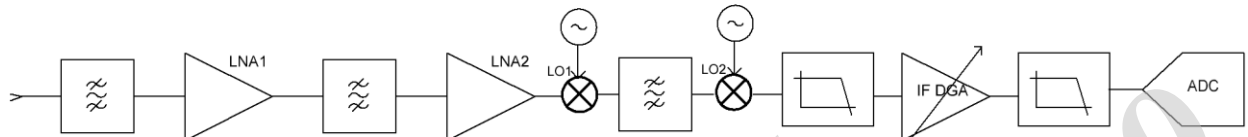


Рисунок 5.1 – Схема приймача з дискретизацією проміжної частоти

На рис. 5.2 подано криві взаємної модуляції різного порядку для змішувача, котрий застосовується разом із гетеродином після вхідної частини НВЧ-тракту приймача. Згідно рис. 5.2, для функціонування у діапазоні 2,3-2,4 ГГц із мінімальною кількістю компонентів взаємної модуляції у діапазоні на виході змішувача, котрі можуть чинити вплив на корисний сигнал, потрібно обрати першу проміжну частоту у інтервалі 210-400 МГц. На рис. 5.2 сіра заштрихована область показує відносну ширину робочої смуги частот, що обмежена значеннями f_{RF}/f_{LO} та f_{IF}/f_{LO} для проміжної частоти 374 МГц із застосуванням частоти гетеродина, що є меншою відношен частоти прийнятого НВЧ-сигналу ($LO1 = 1926-2026$ МГц). При цьому можливий вибір інших центральних величин проміжної частоти, але при цьому потрібно переконатися у тому, що на виході першого змішувача відсутні паразитні відгуків, котрі можуть бути причиною виникнення внутрішньоканальної інтерференції. Для вищерозглянутого випадку обрана величина першої проміжної частоти – 374 МГц. Є кілька фільтрів фірми Sawtek ПАХ із різними смугами пропускання. Такі фільтри працюють на вказаній центральній частоті розглянутого приймального пристрою.

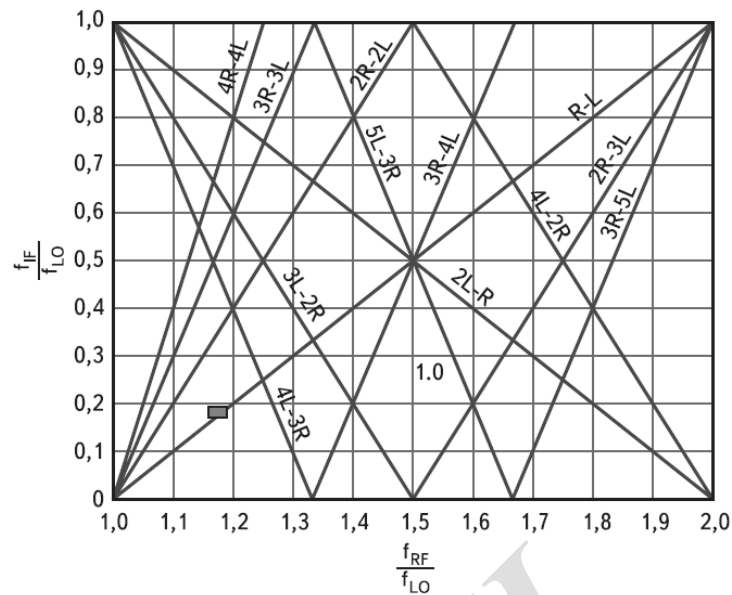


Рисунок 5.2 – Криві взаємної модуляції різного порядку для змішувача

Також потрібно розглянути операцію одержання другої проміжної частоти. У другого змішувача, що понижуює частоту є така перевага як більш вузький спектр вхідного сигналу, зазвичай не більше 20 МГц. Це дозволяє розглянути кілька варіантів другої проміжної частоти в інтервалі від 10 до 70 МГц, а також вищі значення діапазонів проміжної частоти, що зосереджені у межах частот від 107 МГц до 140 МГц. Обираємо проміжну частоту 70 МГц для виключення гармонік гетеродина вищого порядку, котрі могли б просочитися назад до антени приймача та потрапити у діапазон робочих частот. Окрім цього, для проміжної частоти у 70 МГц передбачено широкий вибір існуючих фільтрів ПАХ або LC пасивних фільтрів на елементах із зосередженими параметрами.

Після визначення конкретних величин проміжних частот могло розглянути функціонування приймача показано. У табл. 5.2 подано значення очікуваних динамічних характеристик розроблюваного приймача із подвійним перетворенням частоти, починаючи із виходу смугового фільтра до вхідного інтерфейсу АЦП.

Першим компонентом у колі приймача є вхідний смуговий фільтр. Деякі фірми-виробники, такі як Digital Communications Inc., Anatech Electronics, Inc., K & L Microwave Inc. виготовляють резонаторні та керамічні фільтри, котрі ви-

користовуються для стандарту WiMax 2,3-2,5 ГГц та здатні працювати у діапазоні WCS і неліцензованому діапазоні частот ISM. Резонаторні фільтри характеризуються низьким рівнем вносимих втрат – менше 2, також придушення в смузі режекції фільтра складає до 60 дБ при відстройці 25 МГц від центрального значення частоти у смузі пропускання. Більш дешеві фільтри на керамічній основі мають придушенням в смузі режекції фільтра близько 50 дБ при відстройці 150 МГц. Взагалі, вибір типу селективного фільтра із врахуванням його характеристик залежить від вимог до придушення дзеркального каналу приймача та вірогідної величини сигналів завад біля робочої смуги частот. Для демонстраційного варіанту було відібрано резонаторний смуговий фільтр фірми Digital Communications Inc., котрий має 10 секцій та центральну частоту 2350 МГц.

Таблиця 5.2 – Очікувані динамічні характеристики каскадів приймача

Коефіцієнт підсилення, дБ	Значення характеристики ки ПРЗ, дБм	Коефіцієнт шуму NF, дБ
65,5	-32,8	2,6
58,5	-26	2,7
48,7	-14,5	3,5
47	-7,7	4,6
23,5	-5,6	9,7

Перший каскад малошумливого підсилювача (МШП) розташовано за вхідним смуговим фільтром високочастотного тракту. Втрати, внесені фільтром, а також коефіцієнт шуму перших каскадів в результуючій чутливості приймача домінують серед усіх складових коефіцієнтів шуму. Саме тому можна зробити висновок, що дуже важливим є досягнення низького коефіцієнта шуму у першому каскаді МШП. Тому був обраний транзистор ATF541M4 GaAs, виготовлений компанією Agilent Technologies згідно технології рHEMT. Він характеризується малим значенням коефіцієнта шуму та високим значенням вихідної то-

чки перетину ОІРЗ. На рис. 5.3 представлена реалізація схеми для першого та другого каскадів МШП. На рис. 5.4 наведені експериментальні значення коефіцієнта шуму NF та коефіцієнта підсилення.

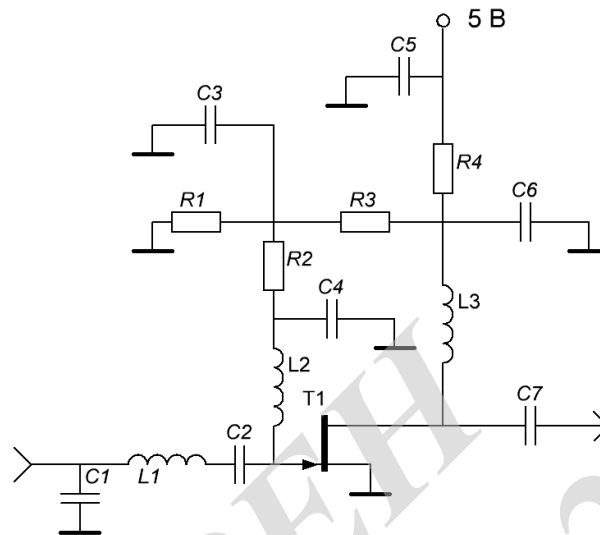


Рисунок 5.3 – Схема МШП

З метою покращення придушення дзеркального каналу та мінімізації широкосмугового шуму, який поступає на перший змішувач, при проектуванні тракту НВЧ між першим та другим МШП застосовувалася проста схема фільтрації верхніх частот. В даному випадку вимоги до придушення є не дуже високими, оскільки перший фільтр, який виділяє робочу смугу частот, забезпечує придушення більш ніж на 60 дБ небажаних сигналів завад, які з'являються на частоті дзеркального каналу. У вхідному діапазоні робочих частот 2,3–2,4 ГГц і проміжній частоті 374 МГц смуга дзеркального каналу лежить в діапазоні від 1552 до 1652 МГц.

Між першим і другим каскадами МШП розроблено та встановлено простий фільтр з трьома смугами на елементах з зосередженими параметрами. Це фільтр забезпечує режекцію частотної смуги дзеркального каналу вище ніж 20 і нижче ніж 2,5 дБ внесених втрат у діапазоні робочих частот. На рис. 5.5 зображено виміряну частотну характеристику і реалізацію схеми фільтра.

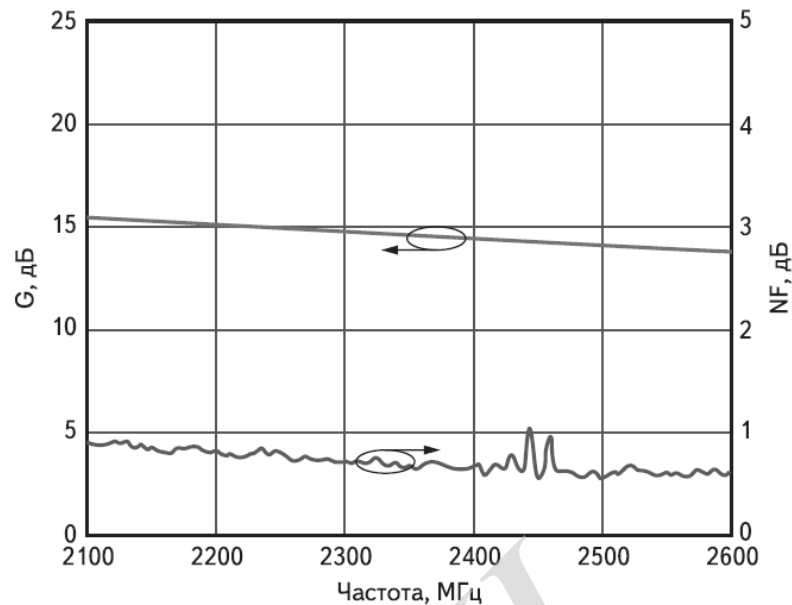


Рисунок 5.4 – Коефіцієнт підсилення і коефіцієнт шуму транзистора ATF541M4

Після другого каскаду МШП відбувається зниження сигналу до значення проміжної частоти 374 МГц із застосуванням змішувача ADL5350. IC ADL5350 представляє собою пасивний змішувач із вбудованим буферним підсилювачем для сигналу гетеродина. Цей змішувач розташовується із ланками фільтрації за кристалом з метою ізоляції каналів проміжної частоти та НВЧ-сигналу. На рис. 5.7 зображена схема, котра містить змішувач ADL5350, зовнішні ланки фільтрації та зовнішній буферний підсилювач сигналу гетеродина, який необхідний для того, щоб забезпечити достатньо динаміку сигналу на вході LOIN-мікросхеми.

На мікросхемі AD8353 необхідний додатковий каскад підсилення для підвищення вихідної потужності схеми формування частот PLL/ CO до рівня 4 дБм на вхідному контакті мікросхеми LOIN. Додаткова фільтрація організована на виході гетеродина для зменшення гармонік, котрі потрапляють із синтезатора частот гетеродина. Простий фільтр з трьома полюсами – це фільтр нижніх частот, побудований з застосуванням елементів з зосередженими параметрами. Без наявності фільтра друга гармоніка гетеродина призвела б до появи додаткової потужності високочастотного шуму, що перетворюється у смугу проміжної

частоти, тим самим погіршуючи визначене значення чутливості приймача. На рис. 5.6 представлені вимірні динамічні характеристики мікросхеми ADL5350, включаючись також зовнішні кола буферного підсилювача сигналу гетеродина й фільтра. Цей змішувач забезпечує вхідну характеристику ІІРЗ на рівні не нижче 24 дБм із втратами на перетворення $CG \sim 8$ дБ та шумами NF у одній бічній смузі.

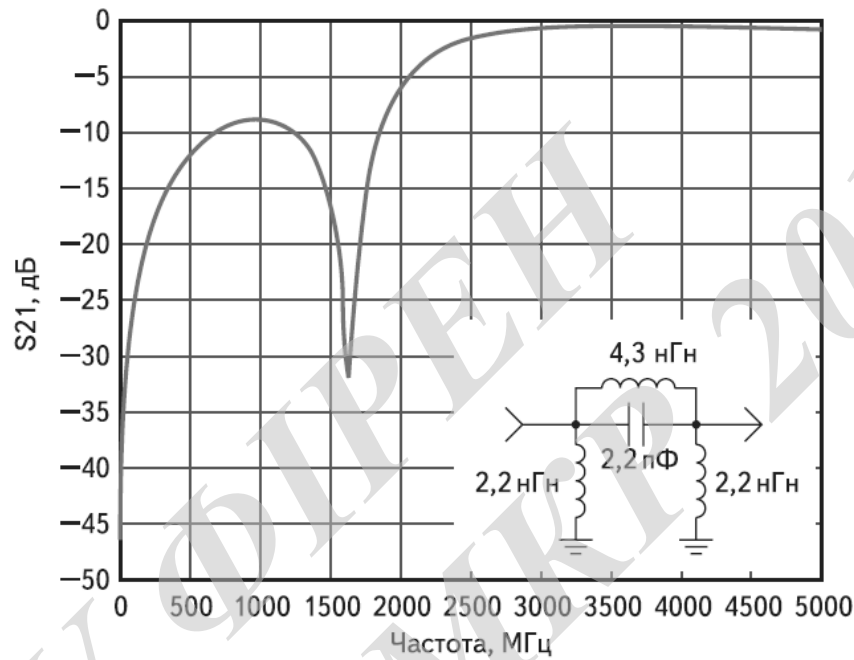


Рисунок 5.5 – Частотна характеристика та реалізація простого фільтра режекції дзеркального каналу на елементах із зосередженими параметрами

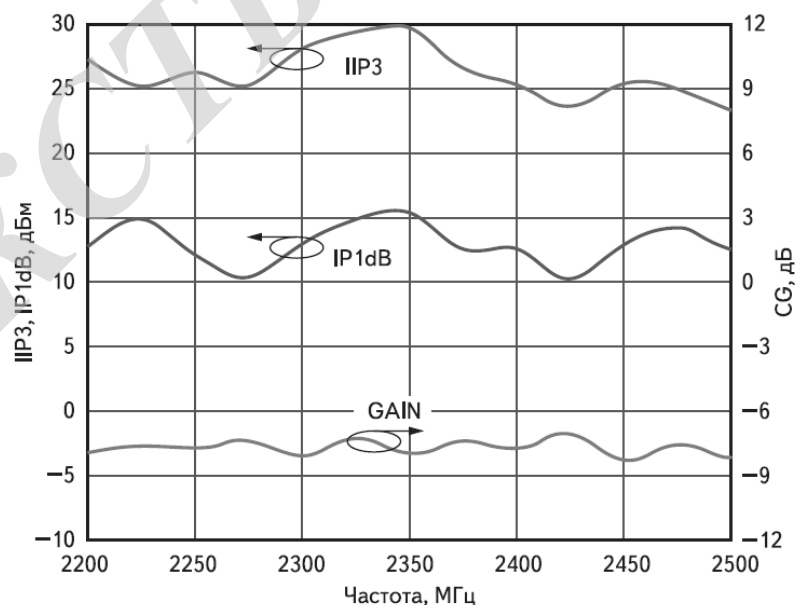


Рисунок 5.6 – Експериментальні характеристики змішувача

При перетворенні із пониженням частоти фазові шуми ФАПЧ бдуть накладатимуться на кожну піднесучу OFDM-сигналу, модульованого за допомогою згорткового кодування. Для мінімізації впливу на рівень чутливості приймача для першого гетеродина LO1 як динамічний ФАПЧ було обрано ФАПЧ із дробовим коефіцієнтом ділення N. Схема виконана на мікросхемі синтезатора частот ADF4153. Смуга пропускання замкнутої петлі складає біля 30 кГц, а передбачувана флуктуація фази становить 0,3 градуса.

Фільтр ПАХ на 374 МГц встановлюється для фільтрації каналу першої проміжної частоти. Завдяки хорошим характеристикам фільтра ПАХ Sawtek 855898 із придушення смуги режекції приймач має виняткову селективність та підвищену стійкість до завад сусідніх каналів. Цей фільтр узгоджено на навантаження 50 Ом фз використанням зовнішніх компонентів LC, поданих на рис. 5.7, його частотна характеристика представлена на рис. 5.8.

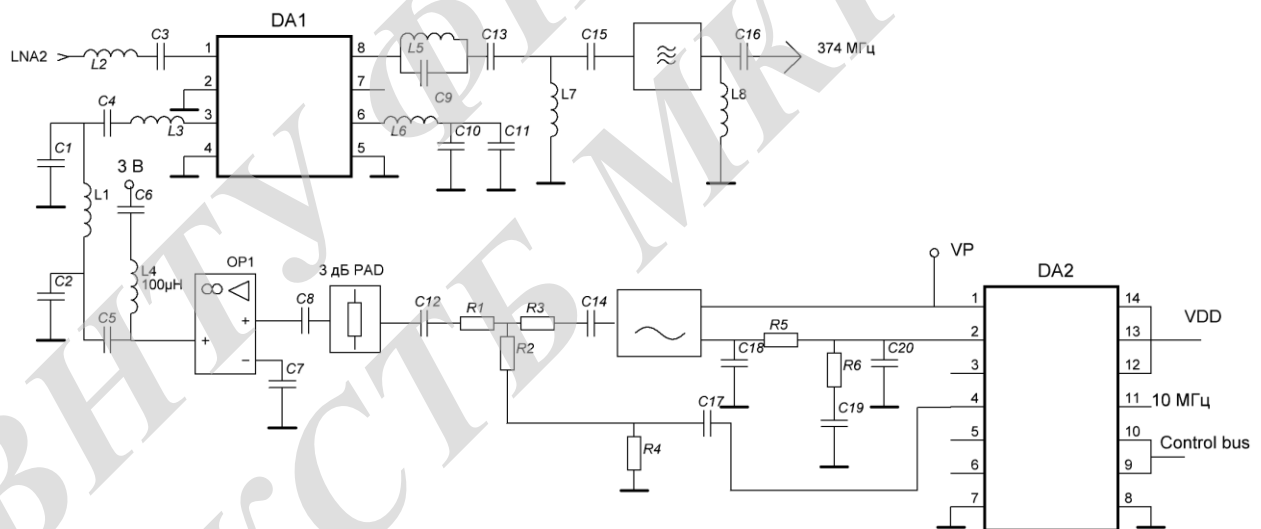


Рисунок 5.7 – Перший ступінь пониження частоти

Далі сигнал відфільтрованої першої проміжної частоти перетворюється в другу проміжну частоту 70 МГц за допомогою активного змішувача AD8344. Схема підмішування частоти другого гетеродина будувалася таким чином, щоб гарантувати оптимальне придушення відгуків і забезпечити високий коефіцієнт підсилення в змішувачі. У загальному випадку мікросхема AD8344 забезпечує

трохи більше значення коефіцієнта підсилення при використанні гетеродина. Гетеродин на 304 МГц представлений мікросхемою ADF4360-8. Це інтегрований чіп ФАПЧ + ГКН, що забезпечує економію вартості і площі монтажу по дискретним рішенням. Дві котушки індуктивності, які є зовнішніми індуктивностями резонансного контуру для встановленого всередині чіпа ГКН, визначають центральну частоту. Диференціальні виходи мікросхеми ADF4360-8 об'єднані в трансформатор. При використанні гетеродина на 304 МГц мікросхема AD8344 забезпечує коефіцієнт передачі перетворювача ~ 11 дБ, рівень ПРЗ 12 дБм і величину SSB NF на рівні 8 дБ. Для запобігання проникнення сигналу гетеродина і гармонік змішувача більш високої частоти вихідний сигнал частотою 70 МГц проходить через фільтр нижніх частот четвертого порядку.

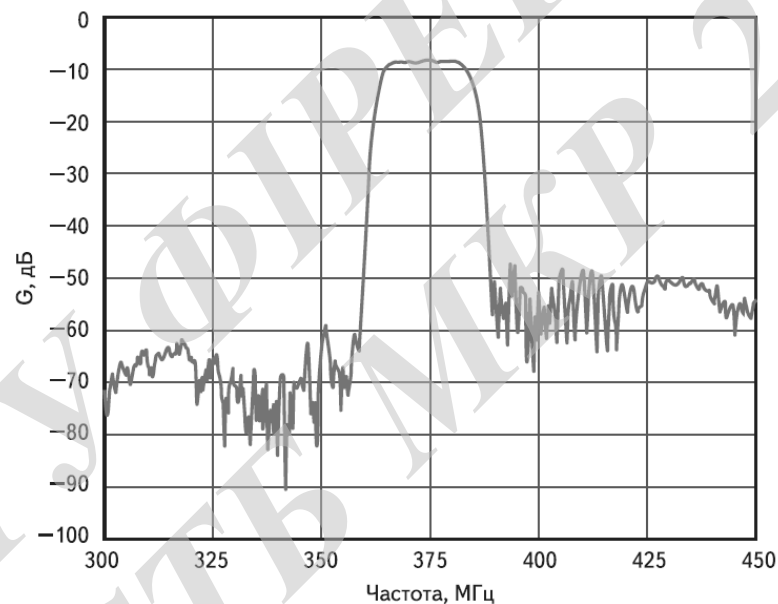


Рисунок 5.8 – Частотна характеристика фільтра Sawtek 855898

Кінцевий сигнал проміжної частоти 70 МГц передається через мікросхему підсилювача AD8370 з програмно керованим змінним коефіцієнтом підсилення на подальше оброблення, а саме – дискретизацію проміжної частоти за допомогою мікросхеми AD9246. IC AD8370 реалізує високий рівень характеристики ПРЗ та широкий діапазон регулювання коефіцієнта підсилення – більше 40 дБ. Це дає змогу регулювати та підлаштовувати у приймачі повний коефіці-

ент передачі змішувача для узгодження динамічних діапазонів вхідних каскадів із широкими межами зміни вхідної потужності сигналу.

Використання запропонованого АЦП дозволяє забезпечити широкий динамічний діапазон без спотворень до рівня вище 200 МГц проміжної частоти, споживається при цьому тільки 250 мВт. Завдяки широкій смузі пропускання (650 МГц) по аналоговому входу можна застосовувати мікросхему AD9246 на вищих проміжних частотах. В даному прикладі обрана проміжна частота 70 МГц з частотою дискретизації 80 MSPS, проміжна частота при цьому перебуває в другій зоні Найквіста АЦП.

Для того, щоб запобігти зменшенню рівня чутливості АЦП потрібно використовувати фільтр захисту від накладення спектрів. Такий фільтр забезпечує усунення завади більш високої частоти, до яких відносять просочування частоти гетеродина, що погіршує вхідний рівень власних шумів АЦП. Крім того, використання фільтру захисту від накладення спектрів сприяє придушенню широкосмугового шуму, який виробляється каскадами підсилювачів, у іншому випадку він став би додатковим шумом від накладення спектрів у необхідній смузі Найквіста. З метою забезпечення в більш високих зонах Найквіста найкращого придушення завад було обраний еліптичний НЧ-фільтр. Резонансний паралельний контур складається з двох індуктивностей 72 нГн та ємності. Він забезпечує підвищення повного опору навантаження на потрібній проміжній частоті, в той час як ланка фільтра забезпечує перетворення імпедансу в межах від 100 до 600 Ом. У такому випадку є ефект підсилення напруги приблизно на 8 дБ. При покаскадному аналізі приймача необхідно враховувати перетворення з підвищенням напруги.

На рис. 5.9 наведені результати моделювання частотної характеристики фільтра та експериментальні дані. З метою повної оцінки та перевірки покаскадної роботи приймача потрібно одержати оцифровані дані від АЦП AD9246 з застосуванням оціночного комплекту високошвидкісного АЦП із FIFO USB компанії Analog Devices. У такому випадку додаткова дочірня плата FIFO є буфером даних, котрий необхідний для захоплення довгих послідовностей вихід-

ного сигналу даних, які генерує АЦП із заздалегідь заданою частотою дискретизації. Вказана плата FIFO здатна передати одержані дані далі на персональний комп'ютер із нижчою швидкістю передачі даних, це можна реалізувати через стандартний інтерфейс USB. Оціночною платою з АЦП керує спеціальне програмне забезпечення ADC Analyzer, що виконує аналіз у частотній і часовій областях.

На рис. 5.10 і 5.11 представлені результати дослідження характеристик спотворень, отримані за допомогою цієї програми. На рис. 5.11 можна побачити наявність неоднорідності приблизно в точці 48 дБ по вісі коефіцієнта підсилення сигналу, що викликано переходом мікросхеми підсилювача AD8370 із регульованим коефіцієнтом підсилення від самого низького значення коефіцієнта підсилення до високого значення. Ця неоднорідність не призводить до погіршення роботи всього приймача через появу помилкових бітів.

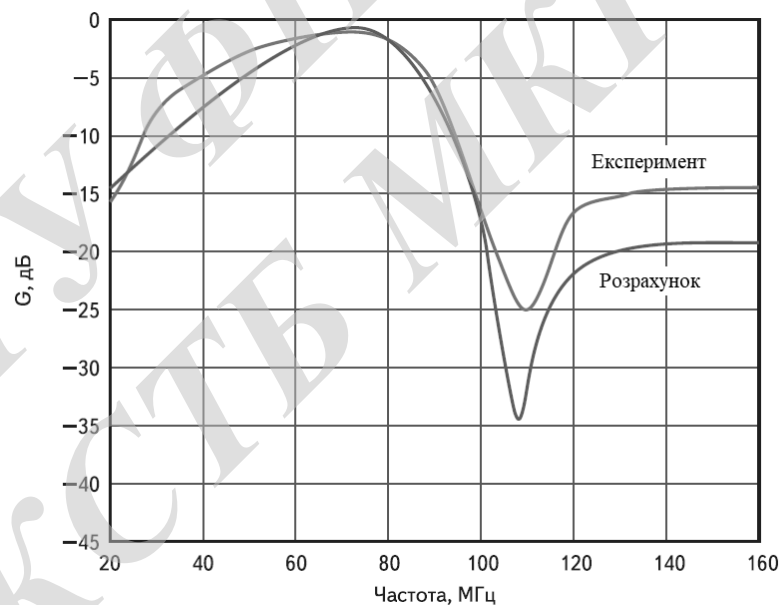


Рисунок 5.9 – Результати експерименту та моделювання з визначення характеристик фільтра захисту від накладання спектрів

Для достовірної оцінки функціонування приймача та його динамічного діапазону доцільно застосувати аналіз модуля вектора помилок (EVM). Для виконання аналізу вектора помилок EVM із застосуванням тестових сигналів

802.16 OFDM, потрібна карта FIFO із розширеною пам'яттю, що складає, як мінімум, 65 кБ. Це дає змогу прийняти повний пакет НВЧ-сигналу.

Одержані в результаті цілочисельні вектори складають діапазон від 0 до 65 536 з центральним значенням 32 768. При цьому IC AD9246 представляє собою 14-бітовим АЦП, а слова вихідних даних – це послідовності довжиною 16-біт. Записані вектори цілих чисел обробляються у програмі Advanced Design System (ADS) 2006A компанії Agilent. Вектор проміжної частоти в 16-бітовому представленні ділиться програмою ADS на чотири для приведення до виду 214 цілих чисел. Потім вектор зсувається та масштабується за амплітудою для приведення сигналу з піковими значеннями ± 1 В до нульового середнього значення. Потім сигнал демодулюють із щастосуванням ідеального IQ демодулятора. Вектори IQ десятикратно стискаються за часом з метою приведення до векторів групового спектра з $1/4$ визначеної частоти дискретизації.

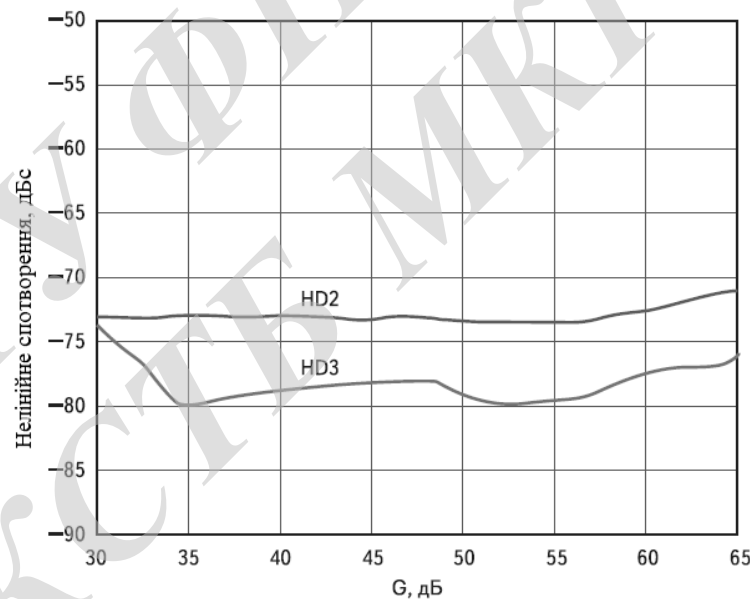


Рисунок 5.10 – Нелінійні спотворення в приймачі при рівні -1 дБ

В табл.5.3 подано дані по робочих характеристиках приймача. Характеристика EVM забезпечена на рівні -25 дБ для вхідних сигналів, рівень потужно-

сті яких перевищує -74 дБм, при цьому придушення дзеркального каналу становить більше 60 дБ, сусідній і несусідні канали також придушуються суттєво.

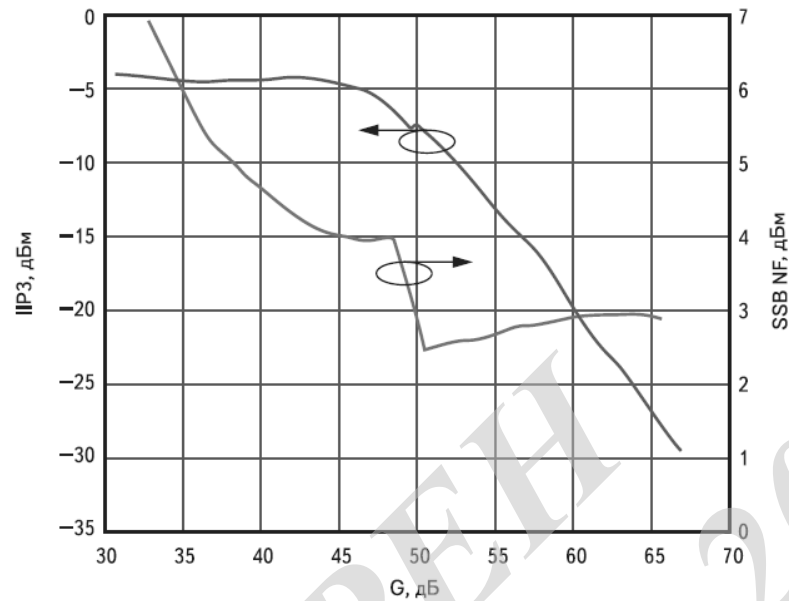


Рисунок 5.11 – Вхідна точка перетину IP3 і односмуговий коефіцієнт шуму SSB NF

Таблиця 5.3 – Результируючі характеристики

Параметр	Результат вимірювань
Діапазон регулювання коефіцієнта підсилення, дБ	30-67
EVM, дБ	<25
IP3 при середньому значенні коефіцієнта підсилення, дБ	>8
NF при середньому значенні коефіцієнта підсилення, дБ	<4
Рівень придушення дзеркального каналу, дБ	>60
Рівень придушення сусіднього каналу, дБ	>58
Потужність розсіювання, Вт	2,2

6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

6.1 Розрахунок витрат на проведення НДР з дослідження та проектування мережі четвертого покоління

В техніко-економічному обґрунтуванні представленому в першому розділі даної магістерської кваліфікаційної роботи було приблизно обґрунтовано доцільність проведення науково-дослідної роботи. Тому в даному розділі будуть проведені більш детальні розрахунки витрат на проведення НДР з дослідження та проектування мережі четвертого покоління.

Для економічного розрахунку проведення НДР потрібно скласти кошторис витрат, який передбачає розрахунок визначених основних статей витрат.

Основна заробітна плата дослідників та розробників, яка розраховується за формулою [19]:

$$Z_o = \frac{M}{T_p} \cdot t, \quad (6.1)$$

де M – місячний посадовий оклад конкретного розробника (дослідника), грн.;

T_p – число робочих днів в місяці, 22 дн;

t – число днів роботи розробника (дослідника).

Проведені розрахунки зводимо до табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Основна заробітна плата дослідників та розробників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн.
1. Керівник проекту	10100,00	459,09	22	10100,00
2. Ст. науковий співробітник	9100,00	413,64	15	6204,55
3. Інженер-конструктор телекомунікаційних систем	7520,00	341,82	15	5127,27
4. Консультант-аналітик побудови цифрових мереж	9050,00	411,36	10	4113,64
5. Технік	5100,00	231,82	22	5100,00
Разом				30645,45

Витрати на основну заробітну плату робітників (Z_p), що здійснюють підготовку робочих місць та пристроїв необхідних для досліджень, підготовку та формування баз даних для розрахунків тощо, розраховуються на основі норм часу, які необхідні для виконання даної роботи, за формулою [19]:

$$Z_p = \sum_1^n t_i \cdot C_i \cdot K_c, \quad (6.2)$$

де t_i - норма часу (трудомісткість) на виконання конкретної роботи, годин;

n - число робіт по видах та розрядах;

K_c - коефіцієнт співвідношень, який установлений в даний час Генеральною тарифною угодою між Урядом України і профспілками, $K_c = 1$;

C_i - погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, який виконує відповідну роботу, грн./год.

C_i визначається за формулою [19]:

$$C_i = \frac{M_n \cdot K_i}{T_p \cdot T_{зм}}, \quad (6.3)$$

де M_n – мінімальна місячна оплата праці, грн., $M_n = 4173,00$ грн.;

K_i – тарифний коефіцієнт робітника відповідного розряду;

T_p – число робочих днів в місяці, $T_p = 22$ дн.;

$T_{зм}$ – тривалість зміни, $T_{зм} = 8$ годин.

Проведені розрахунки внесемо до табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – Витрати на основну заробітну плату працівників

Найменування робіт	Трудомісткість, нормо-годин	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн.	Величина оплати, грн.
1. Встановлення допоміжного обладнання	8,0	2	1,1	26,08	208,65
2. Інсталяція програмного забезпечення	4,0	4	1,35	32,01	128,04
1	2	3	4	5	6

1	2	3	4	5	6
3. Налаштування цифрових мереж	2,0	5	1,7	40,31	80,61
4. Відлагодження інтерполяційних модулів	2,0	5	1,7	40,31	80,61
5. Формування цифрової експериментальної моделі мережі	6,0	5	1,7	40,31	241,84
6. Монтаж системи	4,0	4	1,35	32,01	128,04
7. Тренування системи	1,0	4	1,35	32,01	32,01
8. Регулювання компонентів системи	1,5	5	1,7	40,31	60,46
9. Випробування системи	0,5	4	1,35	32,01	16,00
Разом					976,27

Додаткова заробітна плата розробників, дослідників та працівників, які приймали участь в дослідженнях та розробці НДР розраховується як 12 % від основної заробітної плати розробників та працівників:

$$Z_d = Z_o \cdot 12 / 100\% \quad (6.4)$$

$$Z_d = (30645,45 + 976,27) \cdot 12 / 100 \% = 3794,61 \text{ (грн.)}$$

Згідно діючого законодавства нарахування на заробітну плату складають 22 % від суми основної та додаткової заробітної плати:

$$H_z = (Z_o + Z_d) \cdot 22 / 100\% \quad (6.5)$$

$$H_z = (30645,45 + 976,27 + 3794,61) \cdot 22 / 100\% = 7791,59 \text{ (грн.)}$$

Витрати на матеріали на даному етапі проведення НДР пов'язані з використанням моделей елементів та моделювання роботи і досліджень за допомогою комп'ютерної техніки та створення експериментальної моделі мережі, тому дані витрати формуються на основі офісних матеріалів. Розроблена модель мережі в середовищі програмування Matlab.

Витрати на матеріали, що були використані при проведенні досліджень, розраховуються по кожному виду матеріалів за формулою [16]:

$$M = \sum_1^n H_i \cdot C_i \cdot K_i, \quad (6.6)$$

де H_i – витрати матеріалу i -го найменування, кг;

C_i – вартість матеріалу i -го найменування, грн./кг.;

K_i – коефіцієнт транспортних витрат, $K_i = 1,1$;

n – кількість видів матеріалів,

Проведені розрахунки зводимо до табл. 6.3.

Таблиця 6.3 – Витрати на основні матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Одиниця виміру	Ціна за одиницю, грн.	Витрачено	Вартість витраченого матеріалу, грн.
Папір канцелярський офісний (A4)	уп.	122,00	2	244,00
Папір для заміток (A5)	уп.	35,00	4	140,00
Папір креслярський (A1)	шт.	15,00	8	120,00
Начиння канцелярське	шт.	65,00	4	260,00
Органайзер офісний	шт.	120,00	4	480,00
Картридж для плотера	шт.	658,00	2	1316,00
Картридж для принтера	шт.	532,00	3	1596,00
Диск оптичний (CD-R)	шт.	16,00	3	48,00
FLASH-пам'ять (16 ГБт)	шт.	354,00	2	708,00
Всього				4912,00

З врахуванням транспортних витрат вартість матеріалів складе

$$M = 4912,00 \cdot 1,1 = 5403,20 \text{ грн.}$$

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню можуть бути розраховані з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою:

$$A = \frac{C_0 \cdot t_{\text{вик}}}{T_e \cdot 12}, \quad (6.7)$$

де C_6 – балансова вартість обладнання, приміщень тощо, які використовувались для розробки нового технічного рішення, грн.;

$t_{вик}$ – термін використання обладнання, приміщень під час розробки, місяців;

T_e – строк корисного використання обладнання, приміщень тощо, років.

Проведені розрахунки необхідно звести до табл. 6.4.

Таблиця 6.4 – Величина амортизаційних відрахувань

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, міс.	Величина амортизаційних відрахувань, грн
Обчислювальний комплекс	18000,00	3	1	500,00
Комп'ютер для роботи системи передачі даних (1)	12300,00	3	1	341,67
Комп'ютер для роботи системи передачі даних (2)	14200,00	3	1	394,44
Пристрій мережі (1)	7100,00	5	1	118,33
Пристрій мережі (2)	6800,00	5	1	113,33
Програмний продукт моделювання мереж MatLab8.0	6200,00	5	1	103,33
Дослідницька лабораторія	205000,00	20	1	854,17
Всього				2425,28

Витрати на силову електроенергію на проведення досліджень розраховують за формулою [19]:

$$B_e = B \cdot P \cdot \Phi \cdot K_n, \quad (6.8)$$

де B – вартість 1 кВт-години електроенергії, $B = 2,21$ грн./кВт –година;

P – встановлена потужність обладнання, кВт.;

Φ – фактична кількість годин роботи обладнання, годин. ;

K_n – коефіцієнт використання потужності.

Всі проведені розрахунки зведемо до табл. 6.5.

Таблиця 6.5 – Витрати на електроенергію при проведенні досліджень

Найменування обладнання	Кількість годин роботи обладнання, год.	Встановлена потужність, кВт	Коефіцієнт використання потужності	Величина оплати
Обчислювальний комплекс	176	0,86	1	334,51
Комп'ютер для роботи системи передачі даних (1)	50	0,720	1	79,56
Комп'ютер для роботи системи передачі даних (2)	50	0,720	1	79,56
Пристрій мережі (1)	50	0,05	1	5,53
Пристрій мережі (2)	50	0,03	1	3,32
Всього				502,47

Інші витрати охоплюють: загальнопромислові витрати, адміністративні витрати, витрати на відрядження, матеріали, окремі непередбачені витрати, зв'язок, витрати на інтернет-послуги тощо.

Інші витрати доцільно приймати як 200...300% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників.

Величина інших витрат складе:

$$I = (30645,45 + 976,27) * 200 / 100 = 63243,45 \text{ (грн.)}$$

Сума всіх попередніх статей витрат дає загальні витрати на проведення науково-дослідної роботи:

$$B = 30645,45 + 976,27 + 3794,61 + 7791,59 + 5403,20 + 2425,28 + 502,47 + 63243,45 = 114782,31 \text{ (грн.)}$$

6.2 Визначення коефіцієнта наукової значимості отриманих результатів НДР

Коефіцієнт наукової значимості результатів проведеної НДР K_{3H} можна підрахувати за формулою [17]:

$$K_{3H} = \frac{\sum_1^3 b_i \cdot d_i}{\sum_1^3 b_{\max} \cdot d_i}, \quad (6.9)$$

де b_i – значимість отриманих результатів:

b_1 – ступінь наукової новизни,

b_2 – рівень теоретичної обґрунтованості,

b_3 – ступінь експериментальної перевірки результатів. Бальна оцінка отриманих результатів наведена в табл. 6.6. Максимальне значення отриманих результатів можна прийняти в межах 7...10 балів;

d_i – питома вага кожної характеристики, значення якої наведено в таблиці;

3 – кількість характеристик, за якими була зроблена оцінка результатів науково-дослідної роботи.

Таблиця 6.6 – Показники для оцінювання наукової значимості результатів виконання НДР

Характеристики	Питома вага характеристик	Бальна оцінка характеристик		
		Ступінь новизни b_1	Рівень теоретичної обґрунтованості b_2	Ступінь експериментальної перевірки результатів b_3
		1	3...5	7...10
b_1	0,5 00	Часткове удосконалення виробів, технологій, матеріалів, програмного продукту, тощо	Суттєве удосконалення виробів, технологій, матеріалів, програмного продукту, тощо	Нові напрямки в розробці виробів, технологій, матеріалів, програмного продукту, тощо. Створення принципово нової техніки
1	2	3	4	5

1	2	3	4	5
b_2	0,3 33	Позитивне рішення на основі зроблених узагальнень	Установлення залежностей, які використовувались в інших випадках	Відкриття нових шляхів рішення задачі
b_3	0,1 67	Експериментальна перевірка не робилась	Результати перевірялись на невеликій кількості даних	Результати перевірені на великій кількості даних

Підставляючи числові дані $d_1 = 0,5$, $d_2 = 0,333$, $d_3 = 0,167$, $b_{\max} = 10$ у вираз (6.9) оцінимо наукову значимість отриманих результатів:

$$K_{3H} = \frac{7 \cdot 0,5 + 6 \cdot 0,333 + 6 \cdot 0,167}{8 \cdot 0,5 + 10 \cdot 0,333 + 8 \cdot 0,167} = 0,78.$$

6.3 Внесок магістранта-дослідника в досягнення отриманих результатів НДР

Внесок дослідника в досягнення отриманих результатів НДР з дослідження та проектування мережі можна розрахувати за формулою [20]:

$$V = \frac{k_{ТВІ} \cdot Z_i}{\sum_1^n k_{ТВІ} \cdot Z_i}, \quad (6.10)$$

де $k_{ТВІ}$ – коефіцієнт творчої участі кожного виконавця НДР, який оцінюється наступним чином: проведення досліджень – 3 бали, робоче проектування – 1,5 бали, освоєння – 1,0 бал.

Якщо виконавець приймав участь в декількох видах робіт, то береться сума відповідних балів;

Z_i – заробітна плата кожного виконавця НДР;

n – кількість всіх виконавців НДР,

Розраховуємо внесок дослідника:

$$V = \frac{3 \cdot 9050,00}{3 \cdot 9050,00 + 3 \cdot 10100,00 + 1,5 \cdot 5100,00} = 0,62 .$$

що загалом складає 62%

6.4 Висновки до розділу

Загалом запланована науково-дослідна робота з проведення досліджень та проектування мережі четвертого покоління вимагає вкладення для проведення досліджень в межах 114782,00 грн.

Отримані результати досліджень мають високий рівень наукової значимості (в межах 0,78), що свідчить про доцільність проведення розробок та значимість науково-дослідної роботи з дослідження та проектування мережі четвертого покоління.

7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Головна задача охорони праці – мінімізація імовірності виникнення захворювань та виробничого травматизму при забезпеченні нормованих показників умов праці.

В цьому розділі проводиться розгляд шкідливих, небезпечних та уражаючих для людини і навколишнього середовища чинників, що утворюються під час проведення проектування мережі мобільного зв'язку четвертого покоління. Тут висвітлюються, в тому числі, технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії, визначення послаблення ЕМВ сітчастим екраном, технічні рішення з промислової та пожежної безпеки при проведенні проектування, безпека у надзвичайних ситуаціях.

Під час проектування даного пристрою на працівників діють ті або інші небезпечні та шкідливі виробничі фактори (НШВФ) фізичної та психофізіологічної груп відповідно до [21]. Фізичні НШВФ: підвищена або понижена температура повітря робочої зони, підвищений рівень шуму на робочому місці, підвищений рівень статичної електрики, недостатність або відсутність природного освітлення, недостатня освітленість робочої зони, пряма або відбита блискучість, підвищена яскравість світла. Психофізіологічні небезпечні і шкідливі виробничі фактори: нервово-психічні перевантаження: розумове перенапруження, перенапруження аналізаторів, монотонність праці.

7.1 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

7.1.1 Мікроклімат та склад повітря робочої зони

Визначаємо для приміщення, де проводяться роботи з проектування мережі мобільного зв'язку четвертого покоління, категорію важкості робіт за фізичним навантаженням – легка Іб. Відповідно до [22] допустимі параметри мікроклімату в робочій зоні для холодного та теплого періодів року наведені в

табл.1 додатку К. Перепад температури повітря вздовж висоти робочої зони для всіх категорій робіт дозволяється до 3°C. При опроміненні менше 25% поверхні тіла працівника, нормована інтенсивність теплового опромінення – 100 Вт/м².

Вміст шкідливих речовин в повітрі робочої зони не повинен перевищувати гранично допустимих концентрацій (ГДК), які використовуються при проектуванні виробничих приміщень (будівель), обладнання, технологічних процесів, вентиляцій, для контролю за якістю виробничого середовища. ГДК шкідливих речовин, що використовуються у даному виробничому приміщенні наведено в таблиці 2 додатку К.

З метою забезпечення нормованих параметрів мікроклімату та чистоти повітря робочої зони запропоновано такі заходи: у приміщенні повинна бути встановлена система опалення для холодного і кондиціонування для теплого періодів року; для підвищення вологості повітря слід розташовувати місткості з водою за типом акваріумів поблизу опалювальних приладів або використовувати зволожувачі; припливно-витяжна система вентиляції, а при несприятливих погодних умовах кондиціонування.

7.1.2 Виробниче освітлення

Для забезпечення гігієнічних раціональних умов на робочих місцях великі вимоги пред'являються щодо кількісних та якісних показників освітлення.

З точки зору задач зорової роботи в приміщенні, де проводяться роботи з проектування мережі мобільного зв'язку четвертого покоління, відповідно до [23] знаходимо, що вони відповідають III розряду зорових робіт. Вибираємо контраст об'єкта з фоном – середній та характеристику фону – середню, яким відповідає підрозряд 6.

Нормовані значення коефіцієнта природного освітлення (КПО) та мінімальні значення освітленості для штучного освітлення приведені в табл.3 додатку К.

Оскільки приміщення знаходиться в місті Вінниця (друга група забезпеченості природним світлом), а світлові пройми орієнтовані за азимутом 90° , то за таких умов КЕО визначатиметься за формулою [23, 24].

$$e_N = e_H m_N [\%], \quad (7.1)$$

де e_H – табличне значення КЕО, %;

m_N – коефіцієнт світлового клімату;

N – порядковий номер групи забезпеченості природним світлом.

Підставляючи відомі значення отримаємо нормовані значення КПО для бокового та суміщеного освітлення:

$$e_{N,6} = 2 \cdot 0,85 = 1,7 (\%);$$

$$e_{N,c} = 1,2 \cdot 0,85 = 1,02 (\%).$$

Для встановлення нормованих значень показників освітлення передбачено такі заходи: при недостатньому природному освітлені в світлу пору доби доповнення штучним за допомогою люмінесцентних ламп з утворенням системи суміщеного освітлення; використання штучного освітлення в темну пору доби.

7.1.3 Виробничі віброакустичні коливання

Зважаючи на те, що при експлуатації пристроїв крім усього іншого устаткування використовується обладнання, робота якого генерує шум та вібрацію, необхідно передбачити захист від шуму та вібрації.

Визначено, що приміщення, де проводиться робота з проектування мережі мобільного зв'язку четвертого покоління може містити робочі місця із шумом та вібрацією, який виходить від сусідніх промислових приміщень.

Для запобігання травмуванню працюючих під дією шуму та вібрації вони підпадає під нормування. Основним документом стосовно виробничого шуму, діючим на території нашої країни, є [5], згідно з яким допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку і еквівалентні рівні шуму на робочих місцях в виробничих приміщеннях не повинні перевищувати значень, що приведені у табл. 4 додатку К. Норми виробничих вібрацій наведені в таблиці 5 додатку К для 3-ї категорії (технологічна) типу "в".

Для забезпечення допустимих параметрів віброакустичних коливань в приміщенні передбачено такі заходи:

- 1) завчасне здійснення профілактичного ремонту;
- 2) використання в конструкціях обладнання акустичних екранів та звуко-та віброізоляційних кожухів.

7.1.4 Виробничі випромінювання

Аналіз умов праці показав, що приміщення, де проводиться робота з проектування мережі мобільного зв'язку четвертого покоління може містити електромагнітні випромінювання.

Гранично допустимі рівні електромагнітних полів показані в таблиці 7.6 додатку Х.

Для гарантування захисту і досягнення нормованих рівнів випромінювань необхідно застосовувати екранні фільтри та інші засоби захисту, що пройшли випробування в акредитованих лабораторіях і мають щорічний гігієнічний сертифікат.

Виконати розрахунок послаблення магнітного випромінювання сітчастим екраном, якщо довжина хвилі $\lambda = 42$ мм, крок сітки $d = 16$ мм, радіус дроту $r_0 = 0,5$ мм.

Послаблення магнітного випромінювання сітчастим екраном можна визначити за формулою

$$L = 10 \lg \frac{4 \left(\frac{d}{\lambda} \ln \frac{d}{2\pi r_0} \right)^2}{1 + 4 \left(\frac{d}{\lambda} \ln \frac{d}{2\pi r_0} \right)^2} \text{ [дБ]}, \quad (7.2)$$

де d – крок сітки, мм;

λ – довжина хвилі, мм;

r_0 – радіус дроту, мм.

Після підстановки відомих значень у формулу (7.2), отримаємо:

$$L = 10 \lg \frac{4 \left(\frac{16}{42} \ln \frac{16}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,5} \right)^2}{1 + 4 \left(\frac{16}{42} \ln \frac{16}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,5} \right)^2} = 1,5495 \text{ (дБ)}.$$

7.2 Технічні рішення з промислової та пожежної безпеки при проведенні проектування мережі мобільного зв'язку четвертого покоління

7.2.1 Безпека щодо організації робочих місць

Конструкція робочого місця, його розміри і взаємне розташування його елементів мають відповідати антропометричним, психофізіологічним і фізіологічним властивостям працівника, а також характеру роботи [27].

Площа, на якій розташовується одне робоче місце для обслуговуючого персоналу, повинна складати не менше 6,0 м², об'єм приміщення – не менше ніж 20 м³, висота – не менше 3,2 м [28].

Інтер'єр приміщень потрібно оздоблювати дифузно-віддзеркалювальними матеріалами з коефіцієнтом відбиття: стелі 0,7-0,8; стін 0,4-0,5; підлоги 0,2-0,3. Поверхня підлоги має бути гладкою, не слизькою, без вибоїн, зручною для вологого прибирання, мати антистатичні властивості. Забороняється

використовувати під час оснащення інтер'єру полімерні матеріали, які забруднюють повітря шкідливими хімічними речовинами та сполуками.

7.2.2 Електробезпека

Основними причинами ураження електричним струмом в даному приміщенні можуть бути: робота під напругою при ремонтних роботах, несправність електрообладнання, випадковий дотик до струмоведучих частин або металевих частин, які опинилися під напругою. У відповідності до [29] дане приміщення відноситься до приміщень із підвищеною небезпекою ураження електричним струмом в наслідок наявності значної (понад 75 %) вологості. Тому безпека експлуатації електрообладнання має гарантуватись рядом заходів, які включають застосування ізоляції струмовідних частин, захисного заземлення, захисних блокувань тощо [30].

7.2.3 Пожежна безпека

Відповідно до [31] приміщення, де проводиться робота з проектування мережі мобільного зв'язку четвертого покоління, відноситься до категорії пожежної небезпеки В. Дане приміщення відноситься до 2-го ступеня вогнестійкості, в якому приміщення знаходяться в будівлі з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону із застосуванням листових і плитних негорючих матеріалів.

Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій розглядуваного приміщення наведені в таблиці 7.7. В таблиці 7.8 наведено протипожежні норми проектування будівель і споруд.

Вибираємо, що приміщення, де проводиться робота з проектування, має бути оснащене двома вогнегасниками, пожежним щитом, а також ємністю з піском [32].

7.3 Дослідження стійкості роботи мережі мобільного зв'язку в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій.

Забезпечення стійкості роботи телекомунікаційних систем і мереж у НС базується на комплексі організаційних, інженерно-технічних заходів і засобів, спрямованих на збереження працездатності в умовах дії загрозливих чинників. Для цього необхідно: прогнозувати та оцінити можливі наслідки; заздалегідь спланувати заходи із запобігання та зменшення вірогідності виникнення НС і скорочення масштабів прояву результатів НС; організація робіт в умовах НС та ліквідація її наслідків.

Матеріали, які використовуються в електронних елементах (метали, неорганічні матеріали, напівпровідники, діелектрики, смоли та різні органічні сполуки), з яких виготовляється мережі мобільного зв'язку по різному реагують на іонізуючі випромінювання. Найбільш чутливі до радіації метали, оскільки їм властива висока концентрація вільних носіїв.

Електромагнітні імпульси діють на роботу мережі, викликаючи в ній оборотні і необоротні зміни. Електромагнітний імпульс являє собою велику небезпеку для електронної апаратури будь-якого типу. Слід пам'ятати про те, що захист апаратури від механічних пошкоджень не захищає від дії електромагнітного імпульсу. Апаратура, виконана на напівпровідникових і інтегральних схемах, що працюють на малих струмах і напругах особливо нестійка до ЕМІ. Це відбувається тому, що така апаратура схильна до впливу зовнішніх полів. ЕМІ пробиває ізоляцію, випалює елементи електросхем радіоапаратури, викликає коротке замикання в радіо пристроях, іонізацію діелектриків.

Безвідмовність мережі мобільного зв'язку – це властивість зберігати працездатність при її використанні в процесі передачі даних. Поряд з цим поява відмов мережі мобільного зв'язку пов'язана з тим, що в деякі моменти часу роботи може виникнути відмова деяких елементів системи обмеженого доступу в наслідок порушення дієздатності апаратної частини системи зв'язку. Дані порушення можуть виникнути при нестійкому живленні, що виникає в наслідок

дії електромагнітного імпульсу, іонізуючого випромінювання та інших факторів надзвичайних ситуацій.

Як наслідок, мережа мобільного зв'язку може бути використана у якості системи збору інформації для швидкого прийняття рішень у НС, тому необхідно дослідити вплив загрозливих чинників на роботу та розробити заходи, які сприятимуть підвищенню стійкості її роботи.

7.3.1 Дослідження стійкості роботи мережі мобільного зв'язку в умовах дії іонізуючих випромінювань

Мережа передачі даних поєднує програмну та апаратну частину засобів зв'язку, тому загрозливі чинники є досить різноманітними. Загрозливі чинники, що впливають на безпеку роботи мережі мобільного зв'язку здебільшого можна віднести до чинників техногенного та воєнного характеру.

Визначаємо граничні значення дози опромінення $D_{грi}$, для елементної бази елементів системи, при яких виникають незворотні зміни. Отримані дані заносимо в табл. 7.1.

Таблиця 7.1 – Граничні значення експозиційних доз приймача мережі мобільного зв'язку.

№	Блоки мережі	Елементи РЕА	$D_{зві}, P$	$D_{гр}, P$
1	Живлення	Мікросхеми	10^5	10 ⁴
		Діоди	10^4	
2	Приймач- передавач	Конденсатори	10^7	
		Резистори	10^7	

Проаналізувавши дані табл. 7.1, визначили, що самим уразливим елементом блоків мережі мобільного зв'язку з мінімальною дозою $D_{грi} = 10^4 P$ є такі як транзистори та діоди. Визначаємо можливу дозу опромінення за формулою:

$$D_M = \frac{2 \cdot P_1 (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_n})}{K_{\text{осл}}}, \quad (7.3)$$

де P_1 – максимальне значення рівня радіації (6,81 Р/год);

t_k – час кінця опромінення ($t_k=40000$ год);

t_n – час початку опромінення (1 год);

$K_{\text{осл}}$ – коефіцієнт послаблення радіації ($K_{\text{осл}}=1$).

$$D_M = \frac{2 \cdot 6,81 \cdot (\sqrt{40000} - \sqrt{1})}{1} = 2710,38 \text{ (Р)}.$$

Оскільки $D_{\text{гр}} > D_M$, то дана система стійка до дії радіації. Визначимо допустимий час роботи мережі мобільного зв'язку в заданих умовах за формулою:

$$t_d = \frac{D_{\text{гр}} \cdot K_{\text{осл}} + 2 \cdot P_1 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot P_1}, \quad (7.4)$$

$$t_d = \left(\frac{10^4 \cdot 1 + 2 \cdot 6,81 \sqrt{1}}{2 \cdot 6,81} \right)^2 = 540540 \text{ (год)}.$$

Отже, можлива доза опромінення елементної бази $D_M=2710,38$ Р, а допустима - 10^4 Р. Отже, мережа мобільного зв'язку буде стійкою в умовах дії іонізуючого випромінювання. Допустимий час роботи мережі мобільного зв'язку в заданих умовах становить 540540 год., при рівні радіації 6,81 Р/год.

7.3.2 Дослідження стійкості роботи мережі мобільного зв'язку в умовах дії електромагнітного імпульсу

Початкові дані: $E_B=12,94$ кВ/м, $U_{ж}=220$ В; 5В. Дослідження стійкості роботи мережі мобільного зв'язку ведеться в послідовності:

1. Визначається горизонтальна складова напруженості електричного поля

$$E_G = 10^{-3} \cdot E_B = 10^{-3} \cdot 12,94 \cdot 10^3 = 12,94 \text{ (В/м)}$$

2. Мережа мобільного зв'язку розподіляється на окремі функціональні ділянки. На кожній ділянці визначається максимальна довжина струмопровідних частин.

На ділянці мережі живлення максимальна довжина вертикальної і горизонтальної струмопровідної частини $l_{в.ж}=0,13$ м, $l_{г.ж} = 0,11$ м. На ділянці приймача-передавача $l_{в.м}=0,017$ м, $l_{г.м} = 0,021$ м.

3. Для кожної ділянки визначаються наведені напруги у струмопровідних частинах.

На ділянці мережі живлення:

$$U_{в.ж} = E_G \cdot l_{в.ж} = 12,94 \cdot 0,13 = 1,68 \text{ (В)};$$

$$U_{г.ж} = E_B \cdot l_{г.ж} = 12,94 \cdot 10^3 \cdot 0,11 = 1423,4 \text{ (В)}.$$

На ділянці приймача-передавача:

$$U_{в.м} = E_G \cdot l_{в.м} = 12,94 \cdot 0,017 = 0,219 \text{ (В)};$$

$$U_{г.м} = E_B \cdot l_{г.м} = 12,94 \cdot 10^3 \cdot 0,021 = 271,7 \text{ (В)}.$$

4. Визначається допустиме коливання напруги живлення

$$U_{\text{д}} = U_{\text{ж}} + \frac{U_{\text{ж}} \cdot N}{100} (B).$$

На ділянці мережі живлення:

$$U_{\text{дж}} = U_{\text{ж}} + \frac{U_{\text{ж}} \cdot N}{100} = 220 + \frac{220}{100} \cdot 5 = 231 (B).$$

На ділянці приймача-передавача:

$$U_{\text{дм}} = U_{\text{м}} + \frac{U_{\text{м}} \cdot N}{100} = 5 + \frac{5}{100} \cdot 5 = 5,2 (B).$$

5. Визначаються коефіцієнти безпеки

$$K_{\text{БВ}} = 20 \cdot \lg \frac{U_{\text{д}}}{U_{\text{В}}}, K_{\text{БГ}} = 20 \cdot \lg \frac{U_{\text{д}}}{U_{\text{Г}}}.$$

Для ділянці живлення:

$$K_{\text{БВЖ}} = 20 \cdot \lg \frac{U_{\text{дж}}}{U_{\text{ВЖ}}} = 20 \cdot \lg \frac{231}{1,68} = 42,76 \geq 40 (\text{дБ});$$

$$K_{\text{БГЖ}} = 20 \cdot \lg \frac{U_{\text{дж}}}{U_{\text{ГЖ}}} = 20 \cdot \lg \frac{231}{1423,4} = -15,91 \leq 40 (\text{дБ});$$

Для ділянці мікропроцесорного блоку:

$$K_{\text{БВМ}} = 20 \cdot \lg \frac{U_{\text{дм}}}{U_{\text{ВМ}}} = 20 \cdot \lg \frac{5,2}{0,219} = 27,50 \leq 40 (\text{дБ});$$

$$K_{БГМ} = 20 \cdot \lg \frac{U_{ДМ}}{U_{ГМ}} = 20 \cdot \lg \frac{5,2}{271,7} = -34,42 \leq 40 \text{ (дБ)}.$$

6. Результати розрахунків заносимо в таблицю 7.2

Таблиця 7.2 – Коефіцієнти безпеки блоків мережі мобільного зв'язку

Дільниця мережі	U _д , В	E _в , В/м	E _г , В/м	U _в , В	U _г , В	K _{БВ} , дБ	K _{БГ} , дБ
Живлення	231	12940	12,94	1,68	1423,4	42,76	-15,91
Приймач-передавач	5,2	12940	12,94	0,219	271,7	27,50	-34,42

7. Дані таблиці аналізуємо і робимо висновки

Коефіцієнти безпеки набагато менше 40 дБ, тому необхідно застосовувати екранування.

7.4 Розробка заходів по підвищенню стійкості роботи мережі мобільного зв'язку в умовах надзвичайних ситуацій

Тож задана мережа мобільного зв'язку є умовно стійкою в умовах впливу іонізуючого випромінювання. Допустимий час роботи мережі в заданих умовах становить 540540 год., при рівні радіації 6,81 Р/год. Для додаткового захисту можна застосувати підбір радіаційно стійкої елементної бази та перебування мережі в більш захищених приміщеннях.

Від впливу на систему ЕМІ необхідно застосувати додаткове екранування. Визначається перехідне гасіння енергії електричного поля екраном (А, дБ). Для сталого екрану визначається за допомогою формули:

$$A = 5,2 \cdot t \cdot \sqrt{f} \text{ (дБ)},$$

де t - товщина стінки екрану, см;

f – частота $f=15000$ Гц.

Для ділянки живлення:

$$A_{ГЖ}=40-(-15,91)=55,91 \text{ (дБ)},$$

$$t = \frac{A_{ГЖ}}{5,2\sqrt{f}} = \frac{55,91}{5,2\sqrt{15000}} = 0,087 \text{ (см)}.$$

Для ділянки примача-передавача:

$$A_{ГМ}=40-(-34,42)=74,42 \text{ (дБ)},$$

$$t = \frac{A_{ГЖ}}{5,2\sqrt{f}} = \frac{74,42}{5,2\sqrt{15000}} = 0,11 \text{ (см)}.$$

7.5 Висновки до розділу

Під час виконання цього розділу було розглянуто такі питання охорони праці і безпеки в надзвичайних ситуаціях, як технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії, визначення послаблення ЕМВ сітчастим екраном, технічні рішення з промислової та пожежної безпеки під час проведення проектування мережі мобільного зв'язку четвертого покоління, безпека у надзвичайних ситуаціях.

Також в даному розділі нами була досліджена стійкість роботи мережі мобільного зв'язку в умовах дії іонізуючих випромінювань і електромагнітного імпульсу. Допустимий час роботи мережі мобільного зв'язку в заданих умовах становить 540540 год., при рівні радіації 6,81 Р/год.

В умовах дії електромагнітного імпульсу коефіцієнт безпеки безпровідної мережі мобільного зв'язку для вертикальних струмопровідних частин на ділянці живлення мережі був більший за 40 дБ. В цьому випадку система стійка. Для горизонтальних струмопровідних частин на ділянці живлення і для приймача-передавача коефіцієнт безпеки був менший за 40 дБ. Після застосування металевих екранів коефіцієнт безпеки став не менше 40 дБ, а тому система є стійкою до ЕМП і може працювати без збоїв.

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

ВИСНОВКИ

Таким чином, на сьогоднішній день технологія мобільного WiMAX є однією з найбільш популярних. Її показники та параметри є найбільш оптимальними та кращими за показники інших відомих стандартів для побудови мобільних мереж. Тому велика кількість мобільних пристроїв удосконалюються для роботи із мережами WiMAX, що дозволить забезпечити високу швидкість передачі даних та велику дальність встановлення зв'язку.

Одним з основних завдань мережі WiMAX, є завдання забезпечення потрібної якості обслуговування, до якої входить необхідність виділення для станціям мережі необхідної швидкості передачі у каналу зв'язку «вниз». Також було встановлено, що одним із досить ефективних способів забезпечення бажаної швидкості передачі є рішення завдання розподілу підканалів у каналі зв'язку «вниз».

Однією з відмінних рис стандарту WiMAX є використання технологій для підтримки широкосмугових послуг, це адаптивна модуляція, пріоритезація трафіка, множинний доступ з часовим розділення. Застосування адаптивної модуляції дозволяє системі WiMAX пристосовувати схему модуляції сигналу в залежності від рівня відношення сигнал/шум в радіоканалі, але види модуляції, використовувані в стандарті, здатні підтримати задану швидкість передачі необхідну для послуги triple play.

Запропонована архітектура мережі дає можливість одержати єдину точку доступу до сервісу, що реалізує єдиний сеанс зв'язку, при цьому можна забезпечити введення нових послуг, а також надання та підтримку необхідної якості обслуговування. Впровадження новітньої методики ставить перед операторам завдання розбудови нових систем доступу, при цьому вони зможу реалізувати найсучасніші послуги для користувачів. Для підтримання бажаного рівня сервісу і пропонується використовувати технологію мобільного WiMAX при застосуванні сучасних антенних технологій.

У магістерській кваліфікаційній роботі розглянута методика врахування впливу збільшення кількості прольотів лінії зв'язку та обгрунтовано зміни потужності міжканальної перехідної завади при різному числі підканалів у структурі OFDM-сигналу.

Суттєво знизити вартість та час розгортання мережі пропонується за рахунок збільшення зони обслуговування базової станції без використання будь-яких з'єднань.

У роботі обгрунтовано новий критерій наведення променів Smart-антен за рахунок використання детектора типу модуляції. Це дозволяє спростити апаратну частину базової станції, її вартість, підвищити швидкодію переміщення променя, покращити "безшовність" мереж і якість зв'язку у випадку, коли абонент рухається, зокрема на великій відстані від базової станції.

В економічній частині роботи були розрахована вартість розробки, виробничі собівартість, ціна реалізації та термін окупності нового пристрою.

В розділі "Безпека життєдіяльності" проаналізовані умови праці в лабораторії для досліджень, виконано організаційно-технічні, санітарно-гігієнічні заходи та протипожежні заходи.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Мордовець С.А. Застосування технології WiMAX в місті Черкаси / С.А. Мордовець, С.М. Одокієнко, Є.Ю.Катаєва // Молодий учений. – 2017. – № 11 (51). – С. 1062-1066.
2. Дрововозов, В.І. Застосування технології Mobile WiMAX 2.0 для підвищення швидкості та надійності передачі даних в мережах зв'язку / В.І. Дрововозов, О.М. Бригинець, О.В. Толстікова, К.С. Гребініченко // Матеріали II міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Інформаційні управляючі системи і комп'ютерний моніторинг» ІУС та КМ-2011. – Покровськ. – 2011.
3. Пінчук О.О. Шляхи та методи удосконалення технології WiMAX / О.О. Пінчук // Матеріали конференції «Сучасні напрямки теоретичних і прикладних досліджень» SWorld-2014. – Одеса. – 2014.
4. Сюваткин В. С. WiMAX - технология беспроводной связи: теоретические основы, стандарты, применение // Сюваткин В. С., Есипенко В. И., Ковалев И. П., Сухоробров В. Г. С.-Пб.: Изд-во «БХВ-Петербург», 2005.
5. Рашич А. В. Сети беспроводного доступа WiMAX: учеб. пособие / Рашич А. В. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – 179 с.
6. Коляденко Ю. Ю. Методика расчета кластерной структуры и необходимого частотного ресурса для создания сети беспроводного доступа по технологии Wimax / Ю. Ю. Коляденко, Д. Л. Чечеткин, А. Д. Муслим // Радиоелектронні і комп'ютерні системи. - 2010. - № 2. - С. 92–96.
7. Лемешко А.В. Математическая модель централизованного распределения ресурса нисходящего канала WiMAX на канальном и сетевом уровнях модели OSI / А.В. Лемешко, Х.Д.К. Аль-Джанаби, О.М. Ходжаев // Проблеми телекомунікацій. – 2016. – № 1 (18). – С. 52 - 71.
8. Дроздова В.Г. Анализ вероятностно-временных характеристик протоколов MAC беспроводных сетей класса WiMAX с фиксированными форма-

- тами кадров, 10-я международная конференция-семинар по микро/нанотехнологиям и электронным приборам EDM'2009, с. 153-156.
9. Ивженко А. В. Исследование механизмов адаптации в беспроводных WiMAX каналах связи при передаче мультимедийной информации / А. В. Ивженко, В. В. Маслий, А. И. Цопа // Радиотехника. - 2012. - Вып. 169. - С. 152-161.
 10. Дудикевич В. Б. Системна модель безпеки безпроводних технологій зв'язку шифрування даних у WiMAX-системах / В. Б. Дудикевич, В. Г. Микитин, А. І. Ребець, Р. І. Банах // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Комп'ютерні системи та мережі. - 2014. - № 806. - С. 49-56.
 11. Современные беспроводные сети: состояние и перспективы развития / И.А. Гепко, В.Ф. Олейник, Ю.Д. Чайка, А.В. Бондаренко. – К.: ЕКМО, 2009. – 672 с.
 12. Аникина В. С. Моделирование и оценка качественных характеристик сети WiMAX Автоматизация технологических объектов и процессов / В. С. Аникина, Н. В. Червинская // Поиск молодых. Сборник научных работ XV научно-технической конференции аспирантов и студентов в г. Донецке 20-22 мая 2015 г. - Донецк, ДонНТУ, 2015. – 267 с.
 13. Гаркуша С.В. Разработка и анализ модели распределения подканалов в сети стандарта IEEE 802.16 / С.В. Гаркуша // Вісник національного університету «Львівська політехніка»: Радіоелектроніка та телекомунікації. – 2012. – № 738. – С. 177-185.
 14. Гаркуша С.В. Разработка и анализ масштабируемой модели распределения подканалов в сети стандарта IEEE 802.16 // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – 2012. – Вип. 4(33). – С. 68-74.
 15. Гаркуша С.В. Модель распределения пропускной способности нисходящего канала связи технологии WiMAX с ограничением скорости переда-

- чи / С.В. Гаркуша // Инфокоммуникационные технологии. – 2013. – Том 11, № 3. – С. 18-23.
16. Беркман Л. Н. Оптимизация критерия адаптации Smart-антенн для технологии WiMax / Л. Н. Беркман, Р. В. Выговский // Наукові записки УНДІЗ. – 2010. – №2(14). – С. 5-14.
 17. Выговский Р. В. Основные принципы построения фазомодулированных сигналов сети WiMax / Р. В. Выговский // Матер. IV Міжнар. наук.-практ. конф. «Сучасні інформаційно-комунікаційні технології COMINFO-2008», 15-19 вересня 2008 р., Ялта. – К.:ДУІКТ – 2008.
 18. Выговский Р. В. Технология WiMax как сеть доступа / Р. В. Выговский, Кокиза С. В. // Матер. наук.-практ. семінару «Сучасні телекомунікаційні та інформаційні технології», м. Київ, червень-липень 2010 р. – С. 10-11.
 19. Методичні вказівки до виконання студентами-магістрантами наукового напрямку економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. В.О. Козловський – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 22 с.
 20. Козловський В.О. Техніко-економічні обґрунтування та економічні розрахунки в дипломних проектах та роботах. Навчальний посібник. – Вінниця : ВДТУ, 2003. – 75с.
 21. ГОСТ 12.0.003-74.ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
 22. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
 23. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення.
 24. Пособие по расчету и проектированию, естественного, искусственного и совмещенного освещения НИИСФ – М.: Стройиздат. 1985. – 384 с.
 25. ДСН 3.3.6-037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
 26. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої та загальної вібрацій.
 27. ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.

28. Методичні вказівки до опрацювання розділу "Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях" в дипломних проектах і роботах студентів спеціальностей, що пов'язані з функціональною електронікою, автоматизацією та управлінням / Уклад. О. В. Березюк, М. С. Лемешев. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 64 с.
29. Правила улаштування електроустановок. 2-е вид., перероб. і доп. – Х: "Форт", 2009. – 736 с.
30. ДБН В.2.5-27-2006. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд.
31. ДБН В.1.1.7-2002. Пожежна безпека об'єктів будівництва.
32. НАПБ Б.03.001-2004. Типові норми належності вогнегасників.
33. СНиП 2.09.02-85. Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений.
34. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97), МОЗ України. – К., 1997.

ДОДАТКИ

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

Додаток А
(обов'язковий)
ВНТУ

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав.кафедри ТКСТБ
канд.техн.наук,
професор
Г.Г.Бортник

“ — ” _____ 2019 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
на виконання магістерської кваліфікаційної роботи
ПРОЕКТУВАННЯ МЕРЕЖІ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ
ЧЕТВЕРТОГО ПОКОЛІННЯ
08-34.МКР.003.00.000 ТЗ

Керівник роботи
к.т.н., доц. кафедри ТКСТБ ВНТУ
Семенова О.О.

Виконавець: ст. гр. ТКС-18м
Бучинський Я.В.

1 ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Робота проводиться на підставі наказу ректора по Вінницькому національному технічному університету “02” 10 2019 року № 254 та індивідуального завдання на магістерську кваліфікаційну роботу.

Дата початку роботи: 02.09.2019 р.

Дата закінчення: 09.12.2019 р.

2 МЕТА І ПРИЗНАЧЕННЯ МКР

Метою даної магістерської кваліфікаційної роботи є **удосконалення МЕТОДІВ** проектування мережі мобільного зв'язку четвертого покоління.

Об'єкт дослідження – фізичні процеси у пристроях мобільного зв'язку.

Предмет дослідження – пристрої системи мобільного зв'язку.

Основними завданнями роботи є:

- огляд принципів проектування мережі мобільного зв'язку четвертого покоління;
- розроблення методів підвищення показників якості;
- синтез приймального блоку.

Отримані у ході виконання роботи дані пропонується застосовувати у безпроводних мережах для підвищення ефективності їх функціонування.

3 ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ МКР

Список використаних джерел розробки:

3.1 Коляденко Ю. Ю. Методика расчета кластерной структуры и необходимого частотного ресурса для создания сети беспроводного доступа по технологии WiMAX / Ю. Ю. Коляденко, Д. Л. Чечеткин, А. Д. Муслим // Радиоелектронні і комп'ютерні системи. - 2010. - № 2. - С. 92–96.

3.2 Лемешко А.В. Математическая модель централизованного распределения ресурса нисходящего канала WiMAX на канальном и сетевом уровнях модели OSI / А.В. Лемешко, Х.Д.К. Аль-Джанаби, О.М. Ходжаев // Проблемы телекоммуникацій. – 2016. – № 1 (18). – С. 52 - 71.

3.3 Дроздова В.Г. Анализ вероятностно-временных характеристик протоколов MAC беспроводных сетей класса WiMAX с фиксированными форматами кадров, 10-я международная конференция-семинар по микро/нанотехнологиям и электронным приборам EDM'2009, с. 153-156.

3.4 Ивженко А. В. Исследование механизмов адаптации в беспроводных WiMAX каналах связи при передаче мультимедийной информации / А. В. Ивженко, В. В. Маслий, А. И. Цопа // Радиотехника. - 2012. - Вып. 169. - С. 152-161.

3.5 Дудикевич В. Б. Системна модель безпеки безпроводних технологій зв'язку шифрування даних у WiMAX-системах / В. Б. Дудикевич, В. Г. Микитин, А. І. Ребець, Р. І. Банах // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Комп'ютерні системи та мережі. - 2014. - № 806. - С. 49-56.

3.6 Современные беспроводные сети: состояние и перспективы развития / И.А. Гепко, В.Ф. Олейник, Ю.Д. Чайка, А.В. Бондаренко. – К.: ЕКМО, 2009. – 672 с.

3.8 Аникина В. С. Моделирование и оценка качественных характеристик сети WiMAX Автоматизация технологических объектов и процессов / В. С. Аникина, Н. В. Червинская // Поиск молодых. Сборник научных работ XV научно-технической конференции аспирантов и студентов в г. Донецке 20-22 мая 2015 г. - Донецк, ДонНТУ, 2015. – 267 с.

3.9 Гаркуша С.В. Разработка и анализ модели распределения подканалов в сети стандарта IEEE 802.16 / С.В. Гаркуша // Вісник національного університету «Львівська політехніка»: Радіоелектроніка та телекомунікації. – 2012. – № 738. – С. 177-185.

3.10 Выговский Р. В. Технология WiMax как сеть доступа / Р. В. Выговский, Кокиза С. В. // Матер. наук.-практ. семінару «Сучасні телекомунікаційні та інформаційні технології», м. Київ, червень-липень 2010 р. – С. 10-11.

4 ВИКОНАВЕЦЬ

Вінницький національний технічний університет, кафедра телекомунікаційних систем та телебачення, студент групи ТКС-18м Бучинський Ярослав Вікторович.

5 ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ МКР

Пропонується виконати розробити методи підвищення ефективності функціонування мобільних мереж.

Технічні вимоги, яким повинна відповідати розробка, наступні:

дальність дії – до 50 км;

робоча частота – 2...11 ГГц;

максимальна швидкість передачі даних – до 70 Мбіт/с;

спектральна ефективність – до 5 біт/сек/Гц;

швидкість доступу у інтернет – до 10 Мбіт/с;

зона дії одного сектора базової станції – 800–1500 метрів

6 ЕТАПИ МКР І ТЕРМІНИ ЇХ ВИКОНАННЯ

№	Назва та зміст етапу	Термін виконання		Очікувані результати	Звітна документація
		початок	закінчення		
1	2	3	4	5	6
1.	Розробка технічного завдання (ТЗ)	02.09.2019р.	06.09.2019р.	Розроблене ТЗ	Додаток А
2.	Техніко-економічне обґрунтування тематики (ТЕО)	09.09.2019р.	13.09.2019р.	Розроблене ТЕО	Вступ. Розділ 1
3.	Розрахунок покриття мережею 4G	16.09.2019р.	04.10.2019р.	Результати досліджень	Розділ 2, 3
1	2	3	4	5	6

1	2	3	4	5	6
4	Підвищення показників якості базових станцій	07.10.2019р	25.10.2019р.	Результати досліджень	Розділи 4
1	2	3	4	5	6
5.	Розроблення приймача	28.10.2019р.	08.11.2019р.	Електричні схеми	Розділ 5
6.	Аналіз економічної ефективності розробки	11.11.2019р.	15.11.2019р.	Економічна частина	Розділ 6
7.	Аналіз безпеки життєдіяльності (БЖД), цивільний захист (ЦЗ)	18.11.2019р.	22.11.2019р.	Частина БЖД, ЦЗ	Розділ 7
8.	Оформлення пояснювальної записки (ПЗ) та графічної частини	25.11.2019р.	29.11.2019р.	Оформлена документація	ПЗ та графічна частина
9.	Попередній захист та рецензування МКР	02.12. 2019р.	06.12.2019р.	Позитивні відгуки	Відгук Рецензія
10	Захист МКР ДЕК		09.12. 2019р.	Позитивний захист	Протокол ДЕК

7 ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОРЯДОК РЕАЛІЗАЦІЇ МКР

В результаті виконання роботи будуть розроблені:

- мережа WiMax;
- рекомендації по підвищенню показників якості базових станцій;
- схема приймача WiMax;
- економічна частина МКР;
- розділ безпеки життєдіяльності і ЦЗ.

Результати, отримані в процесі виконання даної роботи, будуть впроваджені в галузі телекомунікацій шляхом впровадження нових технологій.

Очікуваний техніко-економічний ефект. При впровадженні результатів досліджень очікується підвищення попиту на послуги зв'язку і, відповідно, підвищення їх якості.

8 МАТЕРІАЛИ, ЯКІ ПОДАЮТЬ ПІСЛЯ ЗАКІНЧЕННЯ РОБОТИ ТА ПІД ЧАС ЕТАПІВ

За результатами виконання МКР до ЕК подаються пояснювальна записка, графічна частина МКР, відзив і рецензія.

9 ПОРЯДОК ПРИЙМАННЯ МКР ТА ЇЇ ЕТАПІВ

Поетапно результати виконання МКР розглядаються керівником роботи та обговорюються на засіданні кафедри.

Захист магістерської кваліфікаційної роботи відбувається на відкритому засіданні ЕК.

10 ВИМОГИ ДО РОЗРОБЛЮВАНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Документація, що розробляється в процесі виконання досліджень повинна містити:

- техніко-економічне обґрунтування розробки;
- мережу WiMax;
- рекомендації по підвищенню показників якості базових станцій;
- схема приймача WiMax;

- економічну частину та розділ БЖД і ЦЗ;
- рекомендації щодо подальшого використання отриманих результатів.

11 ВИМОГИ ЩОДО ТЕХНІЧНОГО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ З ОБМЕЖЕНИМ ДОСТУПОМ

У зв'язку з тим, що інформація не є конфіденційною, заходи з її технічного захисту не передбачаються.

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

Додаток Б
(обов'язковий)

Мережа WiMAX

ВНТУ ФІРМЕН
ТКСТЬ МКР 2019

Додаток В
(обов'язковий)

Структура мережі WiMAX

ВНТУ ФІРМЕН
ТКСТЬ МКР 2019

Додаток Д
(обов'язковий)

Результат розрахунку траси «вниз» при модуляції 64-QAM

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

Додаток Е
(обов'язковий)

Структура радіорелейної лінії

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

Додаток Ж
(обов'язковий)

Результат дослідження міжканальної завади

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

Додаток И
(обов'язковий)

Приймач з дискретизацією проміжної частоти
Схема структурна електрична

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

Додаток К

Нормовані значення виробничих факторів

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

Таблиця 1 – Допустимі показники мікроклімату [19]

Період року	Категорія робіт	Температура повітря, °С для робочих місць		Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с
		постійних	непостійних		
Холодний	Іб	20-24	17-25	75	≤0,2
Теплий	Іб	21-28	19-30	60 при 27°С	0,1-0,3

Таблиця 2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони

Назва речовини	Параметр, що нормується	Значення	Клас небезпеки
Пил нетоксичний	ГДК, мг/м ³	0,15	4
Іони n ⁺ , n ⁻	число іонів в 1 см ³ повітря	50000	–

Таблиця 3 – Нормативні значення КПО і мінімальні освітленості при штучному освітленні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізн., мм	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фону	Освітленість для штучного освітлення, лк			КПО, %	
						комбіноване		загальне	Природне освітлення (бокове)	Суміщене освітлення (бокове)
						всього	у т. ч. від загального			
Високої точності	0,3-0,5	III	в	середній	середній	750	200	300	2	1,2

Таблиця 4 – Допустимі рівні звукового тиску і еквівалентні рівні звуку

Рівні звукового тиску в дБ в октавних полосах з середньо-геометричними частотами, Гц									Рівні звуку та еквівалентні рівні звуку, дБА
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Таблиця 5 – Допустимі рівні віброприскорення [23]

Гранично допустимі рівні віброприскорення, дБ, в октавних полосах з середньо-геометричними частотами, Гц						Коректовані рівні віброприскорення, дБА
2	4	8	16	31,5	63	
36	33	33	39	45	51	33

Таблиця 6 – Гранично допустимі рівні електромагнітних полів (безперервне випромінювання, амплітудна чи кутова модуляція)

Номер діапазону	Метричний розподіл діапазонів	Частоти	Довжина хвиль, λ	ГДР, В/м
5	Кілометрові хвилі (низькі частоти, НЧ)	30-300 кГц	10-1 км	25
6	Гептаметрові хвилі (середні частоти, СЧ)	0,3-3 МГц	1-0,1 км	15
7	Декаметрові хвилі (високі частоти, ВЧ)	3-30 МГц	100-10 м	$3 \cdot \lg \lambda$
8	Метрові хвилі (дуже високі частоти, ДВЧ)	30-300 МГц	10-1 м	3

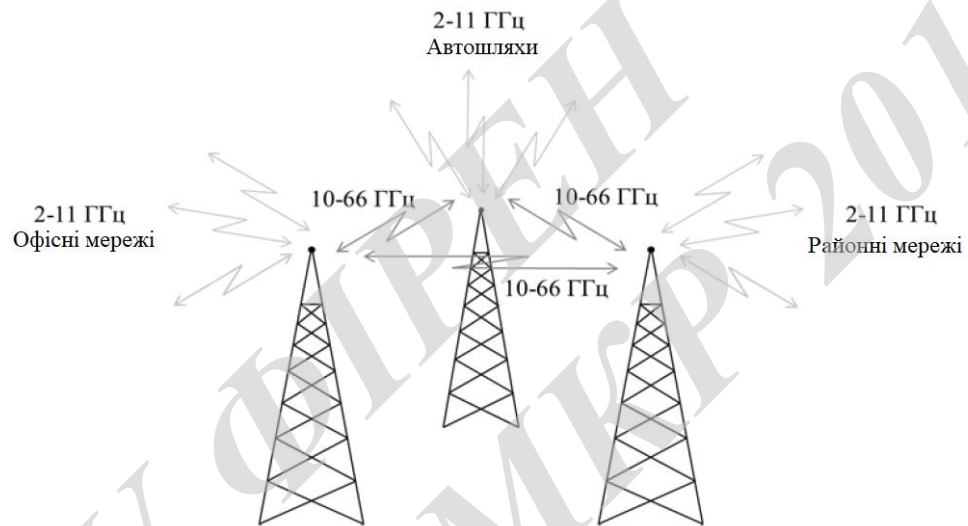
Таблиця 7 – Значення мінімальних меж вогнестійкості приміщення [28]

Ступінь вогнестійкості будівлі	Стіни				Колони	Східчасті майданчики	Плити та інші несучі конструкції	Елементи покриття	
	Несучі та східчасті клітки	Самонесучі	Зовнішні несучі	Перегородки				Плити, прогони	Балки, ферми
2	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	EI 15 M0	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M0	REI 15 M0	R 30 M0

Примітка. R – втрати несучої здатності; E – втрати цілісності; I – втрати теплоізолювальної спроможності; M – показник здатності будівельної конструкції поширювати вогонь (межа поширення вогню); M0 – межа поширення вогню дорівнює 0 см.

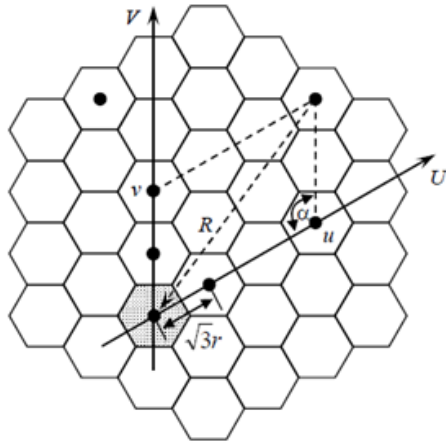
Таблиця 8 – Протипожежні норми проектування будівель і споруд [30]

Об'єм приміщення, тис. м ³	Категорія пожежної безпеки	Ступінь вогнестійкості	Відстань, м, для щільності людського потоку в загальному проході, осіб/м ²			Кількість людей на 1 м ширини евакуиходу	Відстань між будівлями та спорудами, м, при ступені їх вогнестійкості			Найбільша кількість поверхів	Площа поверху в межах пожежного відсіку, м ² , для числа поверхів		
			до 1	2-3	4-5		I,II	III	IV,V		1	2	3 і більше
до 15	B	2	100	60	40	110	9	9	12	8	не обмежується		

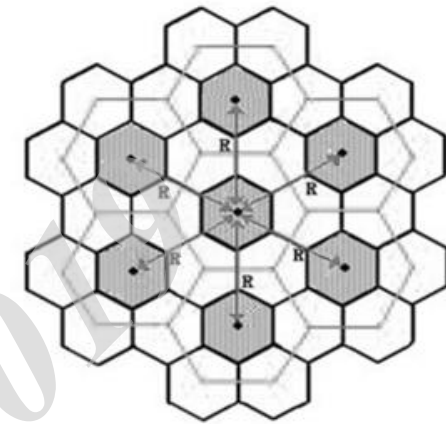


ВНТУ ФОРМАН
ТКСТЬ МЕР 2019

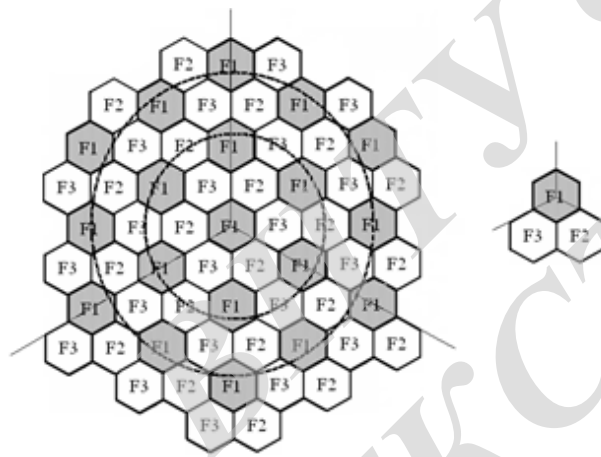
						08-34.МКР.003.00.001 Е1		
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Мережа WiMAX	Літ.	Маса	Масштаб
Розроб.		Бучинський						
Перевір.		Семенова						
Т.Контр.								
Реценз.						Арк. 1	Аркушів 1	
Н.Контр.		Семенова			ВНТУ, ТКС-18М			
Затверд.		Бортник						



Розділення зони покриття на стільники



Апроксимація кластерів трикутниками

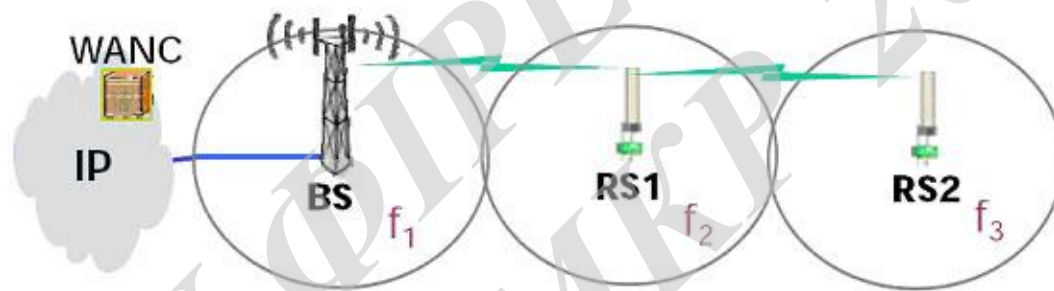


Розподіл стільників, що інтерферують

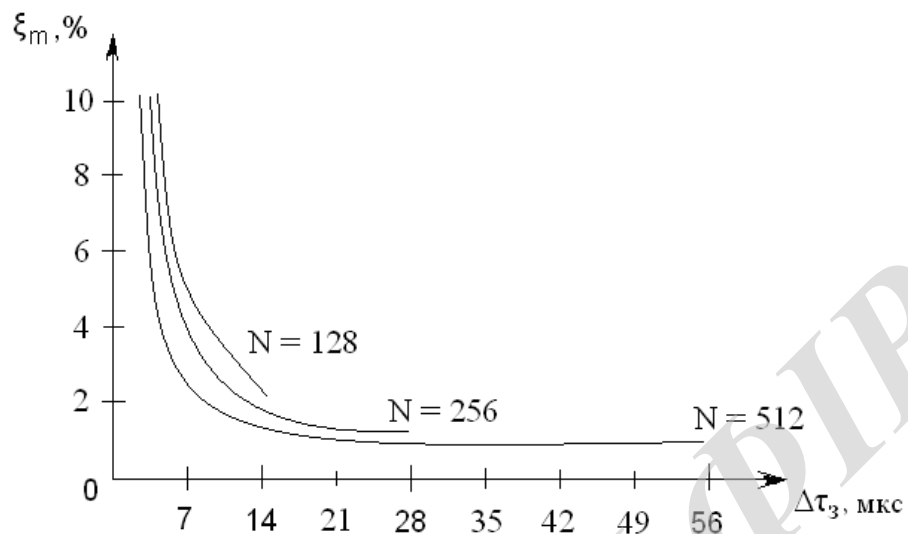
					08-34.МКР.003.00.002 Е1			
Змн	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Структура мережі WiMAX	Літ.	Маса	Масштаб
	Розроб.	Бучинський						
	Перевір.	Семенова						
	Т.Контр.							
	Реценз.					Арк. 1	Аркушів 1	
	Н.Контр.	Семенова			ВНТУ, ТКС-18М			
	Затверд.	Бортник						

Енергетичні характеристики, параметри	Значення	Розрахункові формули
Потужність передавача P^{TX} , дБм	32	
Втрати у фідері антени ПРД, P_{fid}^{TX} , дБ	2	
Максимальний КП антени ПРД, G_0^{TX} , дБі	17	
Випромінювана потужність P_{rad} , дБм	47	$P_{rad} = P^{TX} - P_{fid}^{TX} + G_0^{TX}$ $P_{rad} = 32 - 2 + 17$
Чутливість приймача P^{RX} , дБм	-103	
Необхідна потужність корисного сигналу з імовірністю 50 % $P_{ws(50\%)}$, дБм	-107,4	$P_{ws(50\%)} = P^{RX} - G_0^{RX}$ $P_{ws(50\%)} = -103 - 4,4$
Необхідна напруженість поля корисного сигналу з імовірністю 50 % $E_{ws(50\%)}$, дБ (мкВ/м)	37	$E_{ws(50\%)} = 77,2 + 20 \lg F + P_{ws(50\%)}$ $E_{ws(50\%)} = 77,2 + 20 \lg 2300 - 107,4$
Середньоквадратичне відхилення (СКВ) флуктуацій сигналу σ , дБ	10	
Параметр логнормального розподілу рівнів сигналу по місцю розташування з імовірністю 75% $\eta_{(75\%)}$, раз	0,68	
Необхідна потужність корисного сигналу на границі зони обслуговування з імовірністю 75% $P_{ws(75\%)}$, дБм	-100,6	$P_{ws(75\%)} = P_{ws(50\%)} + \eta_{(75\%)} \cdot \sigma$ $P_{ws(75\%)} = -107,4 + 0,68 \cdot 10$
Необхідна напруженість поля корисного сигналу на границі зони обслуговування з імовірністю 75% $E_{ws(75\%)}$, дБ (мкВ/м)	43,8	$E_{ws(75\%)} = E_{ws(50\%)} + \eta_{(75\%)} \cdot \sigma$ $E_{ws(75\%)} = 37 + 0,68 \cdot 10$
Припустимі основні втрати передачі з імовірністю 50% $L_{t(50\%)}$, дБ при знаходженні АС на вулиці	154,4	$L_{t(50\%)} = P_{rad} - P_{ws(50\%)}$ $L_{t(50\%)} = 47 - (-107,4)$
Припустимі основні втрати передачі з імовірністю 75% $L_{t(75\%)}$, дБ при знаходженні АС на вулиці	147,6	$L_{t(75\%)} = L_{t(50\%)} - \eta_{(75\%)} \cdot \sigma$ $L_{t(75\%)} = 154,4 - 0,68 \cdot 10$
Максимальна дальність зв'язку з імовірністю 75% на границі зони обслуговування R_0 , км	0,58	$R = f(F, L, H_{BS}, H_{MS})$ $L = L_{t(75\%)}$

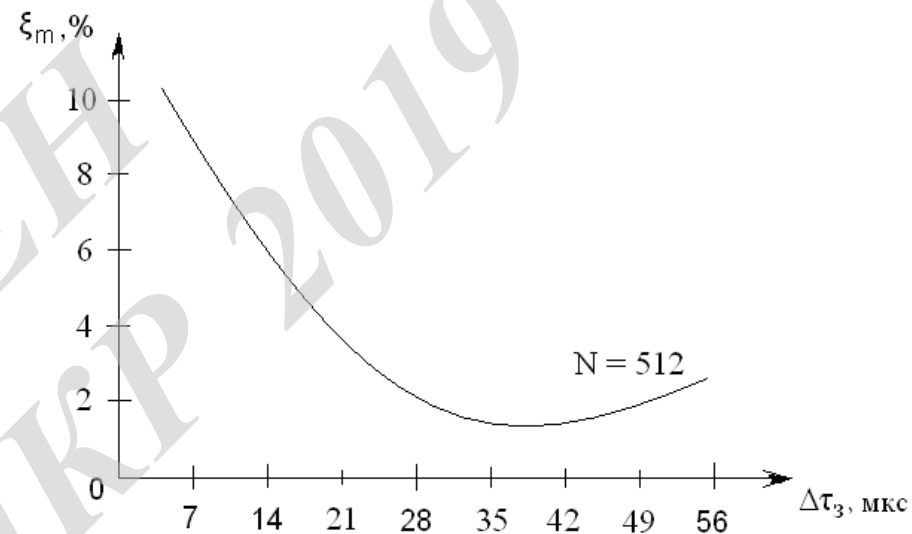
				08-34.МКР.003.00.003 Е1				
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Результат розрахунку траси «вниз» при модуляції 64-QAM	Літ.	Маса	Масштаб
	Розроб.	Бучинський						
	Перевір.	Семенова						
	Т.Контр.							
	Реценз.							
	Н.Контр.	Семенова				Арк. 1		Аркушів 1
	Затверд.	Бортник				ВНТУ, ТКС-18М		



					08-34.МКР.003.00.004 Е1			
Змн	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Структура радіорелейної лінії	Літ.	Маса	Масштаб
	Розроб.	Бучинський						
	Перевір.	Семенова						
	Т.Контр.							
	Реценз.					Арк. 1	Аркушів 1	
	Н.Контр.	Семенова			ВНТУ, ТКС-18М			
	Затверд.	Бортник						

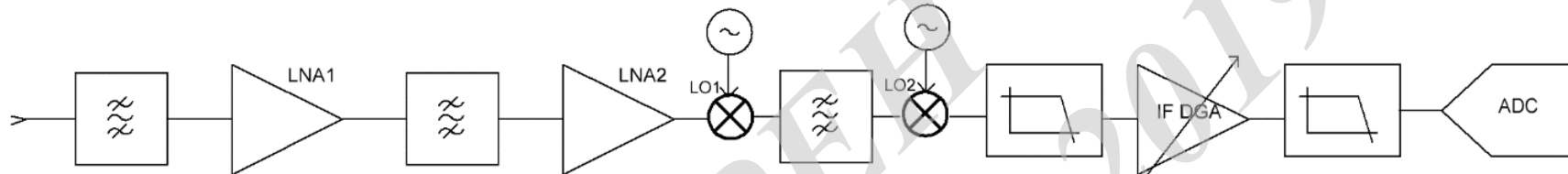


Залежність міжканальної завади від часу при різній кількості підносіних для одного переприймання



Залежність міжканальної завади від часу при 512 підносійних для п'яти переприймань

					08-34.МКР.003.00.005 Е1			
Змн.	Лист	№ док.ум.	Підпис	Дата	Результат дослідження міжканальної завади	Літ.	Маса	Масштаб
	Розроб.	Бучинський						
	Перевір.	Семенова						
	Т.Контр.							
	Реценз.					Арк. 1	Аркушів 1	
	Н.Контр.	Семенова			ВНТУ, ТКС-18М			
	Затверд.	Бортник						



ВНТУ ФІРМЕНА 2019
ТКСТЬ МКР

					08-34.МКР.003.00.000 Е1			
Змн	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Приймач з дискретизацією проміжної частоти Схема структурна електрична	Літ.	Маса	Масштаб
	Розроб.	Бучинський						
	Перевір.	Семенова						
	Т.Контр.							
	Реценз.					Арк. 1	Аркушів 1	
	Н.Контр.	Семенова			ВНТУ, ТКС-18М			
	Затверд.	Бортник						