

Пояснювальна записка

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

на тему:

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПОБУДОВИ МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ П'ЯТОГО
ПОКОЛІННЯ

08-34.МКР.002.00.000 ПЗ

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

_____ Болдинюк С.О.

Керівник: к.т.н., доцент каф. ТКСТБ

_____ Васильківський М.В.

« _____ » _____ 2019 р.

Рецензент: к.ф.м.н., проф. каф. ЕНС

_____ Кравченко Ю.С.

« _____ » _____ 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., професор Г.Г. Бортник

“ ___ ” _____ 2019 року

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Болдинюку Сергію Олеговичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження методів побудови мереж зв'язку п'ятого покоління

керівник роботи Васильківський Микола Володимирович, канд. техн. наук, доцент,

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

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

2. Строк подання студентом роботи 02 грудня 2019 року

3. Вихідні дані до роботи 1. Радіус мережі зв'язку – 50 км; 2. Значення затримки поширення інформаційного сигналу – 1 мс; 3. Рівень потужності передавача - 20 дБп; 4. Інтенсивність використання каналу передавання – 0,5; 5. Щільність пристроїв зв'язку в мережі – 0,02 пристроїв/км²; 6. Рівень потужності завади на вході приймача - -70 дБп; 7. Значення SINR сигналу на вході приймача – 12 дБп; 8. Пропускна здатність каналу передавання – 60 Мбіт/с; 9. Кількість транзитних вузлів – 8.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз основних напрямів розвитку мереж зв'язку; 2. Мережі зв'язку п'ятого покоління; 3. Дослідження методу маршрутизації трафіка для надщільних мереж на основі технології D2D; 4. Мережі зв'язку на базі технології D2D з використанням додаткових маршрутизаторів.

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

1. Структура мережного пристрою, заснованого на IoT модулях; 2. Багаторівнева система хмарної інфраструктури для мереж зв'язку п'ятого покоління в умовах впровадження послуг Тактильного Інтернету; 3. Модель впливу завад; 4. Модель мережі; 5. Мережа зв'язку з ультра малими затримками.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Васильківський М.В., доцент кафедри 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.	Аналіз основних напрямів розвитку мереж зв'язку	13.09.2019р.	
3.	Дослідження мережі зв'язку п'ятого покоління	04.10.2019р.	
4.	Дослідження методу маршрутизації трафіка для надщільних мереж на основі технології D2D	25.10.2019р.	
5.	Дослідження мережі зв'язку на базі технології D2D з використанням додаткових маршрутизаторів	08.11.2019р.	
6.	Аналіз економічної ефективності розробки	15.11.2019р.	
7.	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	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 ЕК	10.12. 2019р.	

Студент

(підпис)

Болдинюк С. О.

Керівник роботи

(підпис)

Васильківський М.В.

РЕФЕРАТ

Дослідження методів побудови мереж зв'язку п'ятого покоління.
Магістерська кваліфікаційна робота / С. О. Болдинюк – ВНТУ, 2019 р. – 118с.,
26 рис., 27 табл., – українською мовою.

У магістерській кваліфікаційній роботі було проведено дослідження методів побудови мереж зв'язку 5G. Розглянуті питання створення надщільних мереж і мереж з ультра малими затримками передачі трафіку, ідентифікації пристроїв у надщільних мережах, застосування технології взаємодії D2D, кластеризації мережі та маршрутизації трафіку в мережі.

ABSTRACT

The study of methods for building fifth-generation communication networks..
Master's qualification work / SO Boldyniuk – VNTU, 2019 – 118 p., 26 pic., 27
tabl., – in Ukrainian.

In the master's qualification work, a study was conducted of methods for
constructing 5G communication networks. The issues of creating super-dense
networks and networks with ultra-low latencies of traffic transmission, identification
of devices in super-dense networks, the use of D2D interaction technology, network
clustering and traffic routing in the network are considered.

ІНСТИТУТ
ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
2019

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП	9
1 АНАЛІЗ ОСНОВНИХ НАПРЯМІВ РОЗВИТКУ МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ НА СЕРЕДНЬОСТРОКОВУ І ДОВГОСТРОКОВУ, ДО 2030 РОКУ, ПЕРСПЕКТИВИ.....	12
1.1 Інтернет речей	12
1.1.1 Технологія D2D.....	13
1.1.2 Ідентифікація пристроїв і контенту в умовах надщільних мереж....	14
1.2 Тактильний Інтернет.....	19
1.3 Інтернет Навичок	19
1.4 Модельні мережі	20
1.5 Мережі зв'язку п'ятого покоління	21
1.6 Оцінка наукового, технічного та економічного рівня НДДКР	22
1.7 Оцінювання комерційного потенціалу розробки	24
1.8 Прогнозування витрат на виконання НДДКР	27
1.9 Доцільність науково-дослідної роботи.....	30
1.10 Мета і завдання магістерської кваліфікаційної роботи	31
1.11 Висновки	32
2 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ П'ЯТОГО ПОКОЛІННЯ	33
2.1 Основні характеристики мереж зв'язку п'ятого покоління.....	33
2.2 Затримка для Тактильного Інтернету і децентралізація мережі	34
2.3 Багаторівнева система хмарних обчислень для надання послуг Інтернету	35
2.4 Кластеризація мережі при наданні послуг Тактильного Інтернету.....	36
2.5 Мережі зв'язку 2030	39
2.5.1 Основні фундаментальні зміни в розвитку мереж зв'язку в теперішній час	39
2.5.2 Перспективні технології для мереж зв'язку 2030	41
2.5.3 Нові технології для мереж зв'язку 2030.....	43
2.6 Висновки	44

3 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ МАРШРУТИЗАЦІЇ ТРАФІКА ДЛЯ НАДЦІЛЬНИХ МЕРЕЖ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ВЗАЄМОДІЯ ПРИСТРІЙ-ПРИСТРІЙ D2D.....	45
3.1 Основні характеристики технології D2D	45
3.2 Щільність і активність терміналів.....	48
3.3 Модель каналу.....	49
3.4 Результати імітаційного моделювання	53
3.5 Маршрутизація трафіку в мережі бездротового зв'язку, побудованої з застосуванням D2D технологій	56
3.5.1 Формулювання завдання.....	57
3.5.2 Модель маршруту	59
3.5.3 Комплексний метод вибору маршруту.....	62
3.6 Висновки	69
4 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ НА БАЗІ ТЕХНОЛОГІЇ D2D З ВИКОРИСТАННЯМ ДОДАТКОВИХ МАРШРУТИЗАТОРІВ	71
4.1 Позасмугова кластеризація	71
4.2 Кооперативні мережі	72
4.3 Модель мережі.....	74
4.4 Вибір місця розташування для розміщення транзитних вузлів	76
4.5 Висновки	86
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	87
5.1 Розрахунок витрат на проведення НДДКР стосовно методів побудови мережі зв'язку п'ятого покоління	87
5.2 Визначення коефіцієнта наукової значимості отриманих результатів науково-дослідної роботи	94
5.3 Внесок дослідника в досягнення отриманих результатів НДР	95
5.4 Висновки	96
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	97
6.1 Виробнича санітарія та гігієна праці	97
6.1.1 Склад повітря робочої зони та мікроклімат	97
6.1.2 Виробниче освітлення	98
6.1.3 Виробничі віброакустичні коливання.....	99
6.1.4 Виробничі випромінювання	99
6.2 Промислова та пожежна безпека під час проведення дослідження	101

6.2.1 Безпека щодо організації робочих місць	101
6.2.2 Електробезпека.....	102
6.2.3 Пожежна безпека	102
6.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи мережі 5G зв'язку в умовах дії загрозливих факторів НС.....	103
6.3.1 Дослідження стійкості роботи мережі 5G зв'язку в умовах дії іонізуючого випромінювання	103
6.3.2 Дослідження стійкості роботи мережі 5G зв'язку в умовах дії електромагнітного імпульсу	105
6.3.3 Розробка превентивних заходів по підвищенню стійкості роботи мережі 5G зв'язку в умовах дії надзвичайних ситуацій	106
6.4 Висновки	107
ВИСНОВКИ.....	108
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	110
ДОДАТКИ.....	118
Додаток А (обов'язковий) – Технічне завдання	119
Додаток Б (обов'язковий) – Структура мережного пристрою заснованого на ІоТ модулях.....	128
Додаток В (обов'язковий) – Багаторівнева система хмарної інфраструктури для мереж зв'язку п'ятого покоління в умовах впровадження послуг Тактильного Інтернету	129
Додаток Г (обов'язковий) – Мережа зв'язку з ультра малими затримками.....	130
Додаток Д (обов'язковий) – Модель впливу завад.....	131
Додаток Е (обов'язковий) – Результати дослідження.....	132
Додаток Є (довідниковий) – Лістинг алгоритму вибору маршруту.....	136
Додаток Ж (обов'язковий) – Модель мережі	137
Додаток К (довідниковий) – Допустимі значення виробничих чинників..	138

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

A2A (Avatar-to-Avatar) – взаємодія аватар-аватар;
A2H (Avatar-to-Human) – взаємодія аватар-людина;
D2D (Device-to-Device) – взаємодії пристрій-пристрій;
DOA (Digital Object Architecture) – архітектура цифрових об'єктів;
EPC (Evolved Packet Network) – розвинена пакетна мережа;
GPRS (General Packet Radio Service) – загальний сервіс пакетної радіопередачі;
GRI (Global Registry of Identifiers) – глобальний реєстр ідентифікаторів;
H2A (Human-to-Avatar) – взаємодія людина-аватар;
He2He (Heart-to-Heart) – взаємодія «Від серця до серця»;
HetNet (Heterogeneous Networks) – гетерогенні мережі;
IBSS (Independent Base Station) – взаємодія без застосування базової станції;
IMEI (International Mobile Equipment Identity) – міжнародний ідентифікатор мобільного обладнання;
IMS (IP Multimedia Subsystems) – IP мультимедійні підсистеми;
IoT (Internet of Things) – Інтернет Речей;
LRI (Local Registry of Identifiers) – локальні реєстри ідентифікаторів;
LTE (Long Term Evolution) – системами тривалої еволюції;
M2M (Machine-to-Machine) – машина-машина;
MEC (Mobile Edge Calculations) – мобільні граничні обчислення;
NGN (Next Generation Networks) – мереж зв'язку наступного покоління;
NFV (Network Functions Virtualization) – віртуалізація мережевих функцій;
PAN (Personal Area Network) – персональна мережа;
PID (Product's Identifier Database) – база даних ідентифікаторів продуктів;
QoS (Quality of Service) – якість обслуговування;
RFID (Radio Frequency Identification) – ідентифікація радіочастоти;
SDN (Software-Defined Networking) – програмно-конфігуровані мережі;
SINR (Carrier to Interference + Noise Ratio) – сигнал/(шум+завада);
VR (Virtual Reality) – віртуальна реальність;
WSN (Wireless Sensor Networks) – бездротові сенсорні мережі;
АТС – автоматична телефонна станція;
БПЛА – безпілотні літальні апарати;
ІКТ – інформаційно-комунікаційні технології;
ПД – передача даних.

ВСТУП

Актуальність теми. Друге десятиліття 21 століття ознаменувалося створенням концепції розвитку мереж зв'язку і розробкою стандартів для мереж зв'язку п'ятого покоління. Це не тільки змінило погляд на розвиток мереж зв'язку в цілому, але і призвело до появи цілого ряду нових напрямків в науково-дослідній роботі в галузі систем, мереж і пристроїв телекомунікацій. Викликано це було, перш за все, появою більш щільних мереж і мереж з ультра малими затримками.

В основі появи концепції надщільних мереж лежить Інтернет Речей. Відповідно до прогнозів, граничне число інтернет речей становить 30-50 трильйонів. 3GPP вже зараз радить планувати мережі зв'язку п'ятого покоління виходячи з 1 млн. пристроїв на 1 кв. км. Звичайно, що це вимагає перегляду методів побудови мереж зв'язку при впровадженні мереж 5G. Це можливо тільки за умови впровадження нових технологій, наприклад, технології взаємодії пристрій-пристрій D2D, що може полегшити впровадження надщільних мереж. Технології D2D дозволяють як розвантажити ядро мережі шляхом замикання значної частки трафіку безпосередньо між пристроями, так і зменшити кругову затримку при наданні послуг мережі.

Що ж стосується мереж зв'язку з ультра малими затримками, в основі появи яких лежить концепція Тактильного Інтернету, то їх вплив на методи побудови мереж зв'язку має ще більше значення. Вимога до кругової затримки в 1 мс (в сто разів менше, ніж вимоги щодо передачі мови) змушує задуматися про децентралізацію мережі і її ресурсів. Нові технології програмно-комутованих мереж SDN, віртуалізація мережевих функцій NFV, мобільних граничних обчислень MEC допомагають в ряді випадків досягти необхідного значення. Однак проблема стоїть набагато ширше, а саме: слід вивчити неминучу кластеризацію мережі з урахуванням джерел генерації трафіку на різних територіях і зрозуміти процеси децентралізації мережі.

Аналіз останніх досліджень. В області Інтернету Речей і мереж зв'язку п'ятого покоління існує досить багато робіт вчених А.Є. Кучерявого, А.І. Парамонова, А.А. Атеуа, J. Andrews, M. Dohler та інших [1, 2, 3, 4].

Зазначені вище роботи внесли вирішальний внесок у дослідження гетерогенних мереж. Були також ретельно вивчені проблеми вивантаження трафіку і взаємодій D2D з мережевою підтримкою. Однак проблеми побудови мереж зв'язку п'ятого покоління з урахуванням майбутнього впровадження мереж з ультра малими затримками і децентралізації мережі до сих пір не було приділено достатньої уваги. D2D взаємодії виявилися настільки ефективною технологією, що стає доцільним досліджувати D2D мережі, побудовані на основі цих взаємодій. Останнє, звичайно, вимагає розробки відповідних методів маршрутизації в мережах D2D, особливо з урахуванням властивостей надщільних мереж зв'язку п'ятого покоління [5,6, 7, 8].

Мета та постановка задачі. Метою даної кваліфікаційної роботи є розробка і дослідження методів побудови мереж зв'язку п'ятого покоління 5G в умовах надщільної структури і ультра малих затримок.

Задачами магістерської кваліфікаційної роботи є:

- аналіз концепцій розвитку мереж зв'язку на середньострокову і довгострокову перспективи;
- синтез методу маршрутизації трафіку для надщільних мереж на основі технології взаємодії пристрій-пристрій D2D; методу побудови мережі D2D з використанням додаткових маршрутизаторів; моделі мережі зв'язку на основі особливостей побудови мереж зв'язку з ультра малими затримками.

Об'єктом дослідження є мережі зв'язку п'ятого покоління.

Предмет дослідження є методи побудови мереж зв'язку п'ятого покоління.

Методи досліджень базуються на використанні: методів теорії телетрафіка, теорії масового обслуговування, теорії оптимізації, імітаційне моделювання.

Наукова новизна одержаних результатів:

а) запропоновано метод маршрутизації трафіку в мережах зв'язку п'ятого покоління і алгоритм його реалізації при використанні технологій D2D, що відрізняється від відомих тим, що вибір маршруту здійснюється на основі комплексного критерію максимальної пропускної здатності і мінімальної кількості транзитів. А також метод побудови мережі D2D з використанням додаткових маршрутизаторів.

б) розроблено метод кластеризації мережі зв'язку, що відрізняється тим, що кластеризація здійснюється в умовах надання послуг мережею з ультра малими затримками, що призводить до її децентралізації.

Практичне значення. Практичне значення роботи полягає в створенні науково-обґрунтованих рекомендацій з планування мереж зв'язку п'ятого покоління в умовах впровадження надщільних структур і ультра малих затримок.

Апробація результатів роботи. Основні ідеї роботи доповідались і обговорювались на I Міжнародній науково-технічній конференції "Сучасні проблеми інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем" і на науковій конференції ВНТУ у 2019 році.

1 АНАЛІЗ ОСНОВНИХ НАПРЯМІВ РОЗВИТКУ МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ НА СЕРЕДНЬОСТРОКОВУ І ДОВГОСТРОКОВУ, ДО 2030 РОКУ, ПЕРСПЕКТИВИ

1.1 Інтернет речей

Початок 21 століття ознаменувався новим технологічним явищем для мереж зв'язку: появою сенсорних пристроїв, що дало можливість їх використання звичайними користувачами. Розпочалися широкомасштабні дослідження з подальшим застосуванням бездротових сенсорних мереж, що породило концепцію Інтернету Речей [1] і масштабне застосування в мережах зв'язку самоорганізованих структур.

Концепція Інтернет Речей як основа для розгортання подальших науково-дослідних робіт з'явилася в рамках досліджень Сектора Стандартизації Міжнародного Союзу Електрозв'язку (МСЕ-Т) в 2010 році при початку робіт над рекомендацією Y.2060. У цій рекомендації було дано системне визначення речей з точки зору мереж зв'язку, наведені вимоги високого рівня до Інтернет Речей, розроблена еталонна модель Інтернет Речей як невід'ємної частини мереж зв'язку 21 століття.

У даній концепції «речами» називають об'єкти фізичного світу або інформаційного світу, які можна ідентифікувати і інтегрувати в мережі зв'язку. Інтернет Річчю можна визнати при виконанні тільки двох умов: адресація (звичайно, що вже IPv6) і інтерфейс з мережею зв'язку для можливості інтеграції в її структуру. Принциповим в цьому визначенні є те, що речі можуть бути не тільки фізичні, але і віртуальні, тобто контент.

Концепція Інтернет Речей пред'являє ряд вимог до мереж зв'язку, які можуть бути узагальнені наступним чином:

- будь-яка річ повинна мати можливість об'єднання з глобальною інфокомунікаційною структурою;
- мережі Інтернет Речей повинні бути здатні забезпечити річ наданням їй послуг без обмежень, таких як, конфіденційність і семантика між фізичними і віртуальними речами. При цьому всі ці можливості повинні бути забезпечені як для речей фізичного, так і віртуального світу;
- пристрої Інтернет Речей можуть бути гетерогенними, побудованими на різних апаратних і програмних платформах, а також мережах. Вони

повинні мати можливість взаємодіяти з іншими пристроями або платформами послуг через різні мережі;

- статус речей може змінюватися динамічно, наприклад, від сплячих до активних, від пов'язаних з мережею до непов'язаних і навпаки, і так далі. Кількість речей, місце розташування, швидкість та інше, також можуть змінюватися динамічно. Все це разом призводить до того, що для реалізації концепції Інтернет Речей потрібна наявність самоорганізованих мереж.

Найважливішим при впровадженні концепції Інтернет Речей є їх кількість. Відповідно до прогнозів відомого футуролога в області інформаційно-комунікаційних технологій Ж. Б. Вальднера гранична кількість речей, підключених до мережі зв'язку, може скласти від 30 до 50 трильйонів. Це істотно змінює уявлення про мережу, оскільки замість мільярдів терміналів йдеться про трильйони. Для дослідження в подальшому важливо те, що в трильйонній мережі принципово змінюється щільність пристроїв. Так, відповідно до вимог 3GPP, число пристроїв в мережах зв'язку п'ятого покоління може становити до 1 млн. пристроїв на 1 кв. км.

Такі мережі отримали назву надщільні мережі і багато в чому саме такі мережі визначають ряд ключових характеристик мереж зв'язку п'ятого покоління. Для раціонального розподілу ресурсів в надщільних мережах [2, 3, 4, 5] в даний час передбачається широко використовувати технології взаємодії пристрій-пристрій D2D [6, 7, 8, 9, 10].

1.1.1 Технологія D2D

Технологія взаємодії пристрій-пристрій D2D заснована на добре відомій раніше в мережах Wi-Fi взаємодії без застосування базової станції, так званий режим IBSS. Дійсно, коли в кінці 90-х років минулого століття з'явилися стандарти сімейства IEEE 802.11 основне завдання, яке вони повинні були вирішити, полягали в можливості забезпечення бездротової взаємодії комп'ютерів на конференціях, семінарах, в громадських місцях, в лікарнях за відсутності базових станцій. Якщо при впровадженні стандартів сімейства IEEE 802.11 існував дефіцит базових станцій і було досить затратно використовувати їх для кожного конкретного випадку, то при впровадженні надщільних мереж з дуже великою кількістю пристроїв, метою впровадження взаємодії D2D є розвантаження ядра мережі. Звичайно, є і побічний

позитивний ефект, який полягає в забезпеченні ультра малої кругової затримки, досягненні необхідних характеристик якості обслуговування і якості сприйняття інформації завдяки малим відстаням між терміналами, але початкова ідея такої взаємодії полягала саме в розвантаженні ядра мережі.

Подальше впровадження мереж зв'язку п'ятого покоління і зазначені вище характеристики взаємодії D2D сприятимуть широкому впровадженню цієї технології, що звичайно ставить питання про доцільність створення мереж D2D. Звичайно, була досить велика кількість науково-дослідних робіт в галузі використання технології D2D в мережах зв'язку п'ятого покоління, в тому числі розглядалися питання використання взаємодії D2D з мережевою підтримкою.

1.1.2 Ідентифікація пристроїв і контенту в умовах надщільних мереж

Звичайно, що існуючі методи ідентифікації на основі системи IMEI, які функціонують для мереж з кількома мільярдами пристроїв можуть виявитися непридатними для трильйонних мереж. Тому, аналізуючи проблеми побудови мереж зв'язку п'ятого покоління не можна не брати до уваги питання ідентифікації пристроїв в надщільних мережах. Ідентифікація пристроїв в мережах зв'язку має дуже важливе значення, особливо в умовах надщільних мереж, коли контрафактних пристроїв і наданого ним контенту може бути дуже багато, в першу чергу за рахунок надзвичайно великої кількості самих пристроїв в таких мережах.

Відповідно до технічної доповіді МСЕ-Т по боротьбі з контрафактною ІКТ продукцією, в світі є велика кількість можливостей для боротьби з контрафактною продукцією. Більшість з них засновані на специфічних і/або індустриальних технологіях і не можуть бути використані в інших випадках.

Більш того, покупець повинен бути знайомий з ідентифікаторами, які використовуються для боротьби з контрафактною продукцією.

Все вищесказане показує, що існує велика кількість систем, що використовуються для боротьби з контрафактною продукцією, які іноді не невідомі і не приносять користі з точки зору користувача.

Однак, існує і ряд прикладів, коли такі системи використовуються покупцем на постійній основі. Беручи до уваги прискорене зростання чисельності Інтернет Речей у всіх областях індустрії [11], цілком обґрунтованим є те, що в недалекому майбутньому всі речі стануть Інтернет

Речами. Тому, IoT може розглядатися як один з ефективних інструментаріїв, який може бути використаний для боротьби з контрафактом.

Крім того, спільне технічне рішення, засноване на IoT і DOA може розглядатися як ефективна технічна схема для боротьби з контрафактом. Рішення DOA-IoT не обмежуються ІКТ продукцією і можуть бути ефективно використане і в інших галузях (таких, як фармацевтична промисловість, автомобільна, авіабудування тощо).

Принципи ідентифікації пристроїв базуються на розміщенні та додатку конкретного IoT модуля до конкретного продукту, не обов'язково ІКТ продукту.

З цією метою кожен продукт пов'язується з IoT модулем, який може забезпечити користувачеві доступ до профілю продукту, який містить детальну інформацію про цей продукт. IoT модуль являє собою шлюз між покупцем і продуктом виробника. Відповідно, «Універсальний Ідентифікатор Продуктів» призначається продукту, який містить, принаймні, один IoT модуль.

В основному, «Універсальна Ідентифікаційна Система» відповідає таким вимогам:

- незалежність по відношенню до продукту/технології і наданні можливості ідентифікувати послуги, процеси і об'єкти;
- можливість підтримки різних видів інформації про продукт, які зрозумілі для покупця (модель, розміри, зображення, логотип тощо);
- захист від злому, що забезпечує високий рівень безпеки доступу до профілю продукту, що використовує IoT модуль.

Відповідно до зазначених вище вимог, IoT модуль забезпечує відповідний механізм для високого рівня безпеки. При цьому, IoT модуль базується на одному з наступних інтерфейсів: дротовий, бездротові, IEEE 802.3, GPRS, EDG, 3G, LTE, RFID, NFC (QR код), IEEE 802.11, IEEE 802.15.1, IEEE 802.15.4, IEEE 802.15.6, IEEE 802.16.

Кожна із зазначених технологій має свої технічні особливості, які є унікальними для цієї технології і не можуть бути дубльовані. Ці особливості будуть використані для створення механізмів/систем ідентифікації специфічних для технології. Відповідні параметри IoT модуля називаються "апаратні ідентифікатори" і можуть бути записані для IoT в «Електронний цифровий паспорт» модуля IoT.

Користувач може отримати доступ до IoT інтерфейсу, використовуючи відповідні технічні рішення, які співвідносяться з однією із зазначених технологій. Ці рішення також, як опис апаратних ідентифікаторів і «Електронних цифрових паспортів», повинні бути внесені до окремої ІТУ-Т рекомендації.

«Універсальний Ідентифікатор Продуктів», який використовується для боротьби з контрафактною продукцією, включає наступні дані:

- ID IoT модуля (апаратний ідентифікатор);
- вид об'єкта (продукту);
- дата реєстрації в базі даних;
- основна інформація про продукт:
 - найменування виробника;
 - дата випуску;
 - характеристики продукту (модель, зображення, логотип)
- сертифікат:
 - набір стандартів, яким відповідає продукт;
 - дата видачі сертифіката;
 - лабораторія/установа сертифікації;
 - дата закінчення терміну служби.

Структура «Універсального Ідентифікатора Продуктів» приведена в додатку Б.

При використанні концепції DOA формат «Універсального Ідентифікатора Продуктів» виглядає наступним чином:

Префікс/Суфікс, де «Префікс» визначає місце розташування зареєстрованого домену (країна/регіон), а «Суфікс» визначає відповідну інформацію про продукт.

Існує два види процедур для верифікації «Універсального Ідентифікатора Продуктів»:

- опція 1 – покупець може перевірити ідентифікацію продукту, використовуючи незалежні технічні рішення (наприклад, скануючи бар код за допомогою мобільного телефону, отримати код від RFID і так далі);
- опція 2 – покупець може перевірити ідентифікацію продукту, використовуючи власні можливості цього продукту (наприклад, мобільного телефону, планшета, персонального комп'ютера, автомобільних підсистем).

Використання цих опцій показано на рис. 1.1 і рис. 1.2 відповідно.

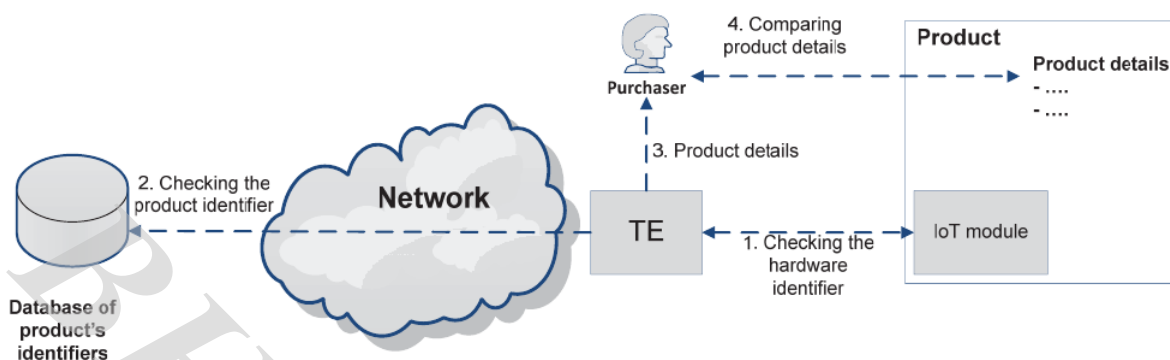


Рисунок 1.1 – Верифікація ідентифікаторів продукту з використанням незалежних технічних рішень (опція 1)

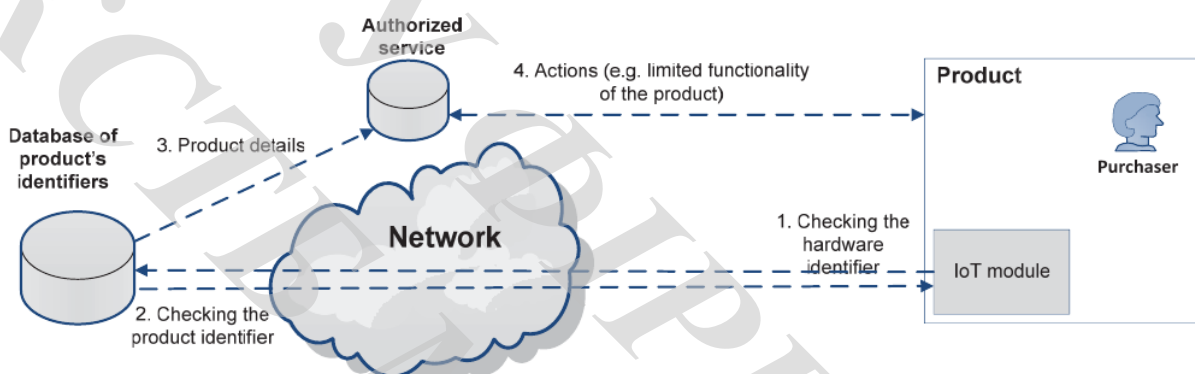


Рисунок 1.2 – Верифікація ідентифікаторів продукту з використанням його власних можливостей (опція 2)

Запропонована ідентифікаційна система має розподілену клієнт-серверну архітектуру з централізованою базою даних ідентифікаторів продуктів PID. PID ґрунтується на концепції DOA, архітектура якої включає два рівня: глобальний реєстр ідентифікаторів GRI і локальні реєстри ідентифікаторів LRI.

Відповідно до концепції DOA реєстр GRI використовується для управління доменами ідентифікаторів, в той час як LRI використовується для ідентифікації власника об'єкта.

Взаємовідношення між цими ідентифікаторами показані на рис. 1.3.

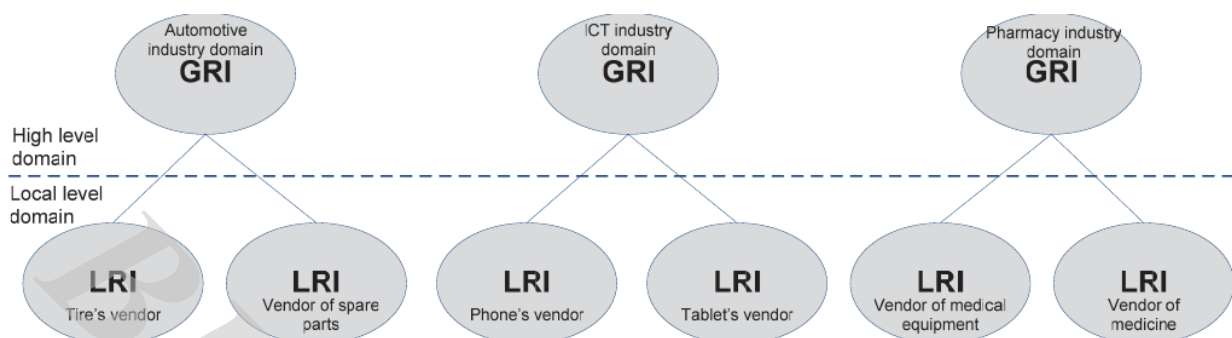


Рисунок 1.3 – Взаємовідносини між ідентифікаторами в глобальній системі ідентифікації, що використовуються для боротьби з контрафактною продукцією

GRI можуть бути розташовані в країнах або регіонах, в той час як LRI розташовуються на стороні постачальників. Дані реєстрів LRI повинні відображатися у відповідному реєстрі GRI. Реєстр GRI повинен забезпечувати даними, включаючи дані реєстрів LRI, відповідно до запитів, які отримуються від PID.

PID може бути доступний покупцеві продуктів з використанням будь-якого з сучасних технічних засобів (наприклад, мобільного телефону, персонального комп'ютера, планшета). Архітектура системи ідентифікації показана на рис. 1.4.

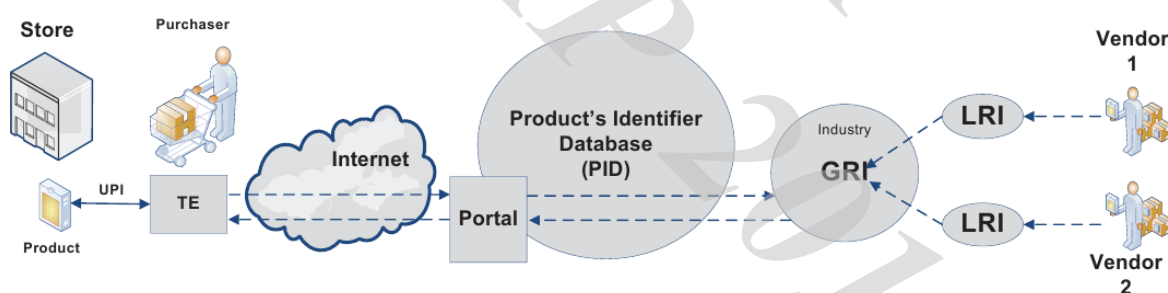


Рисунок 1.4 – Архітектура ІКТ системи ідентифікації, яка допомагає в боротьбі з контрафактною продукцією.

1.2 Тактильний Інтернет

Історично трохи пізніше концепції Інтернет Речей з'явилася концепція Тактильного Інтернету [12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19]. І якщо перша принципово змінила численні характеристики клієнтської бази операторів зв'язку, то друга в 100 раз посилила вимоги щодо затримки при наданні послуг зв'язку. До появи концепції Тактильного Інтернету найбільш чутливими до затримки вважалися послуги з передачі мови і відео. При цьому для надання таких послуг з високою якістю, прийнятною затримка вважається величиною в 100 мс.

Концепція Тактильного Інтернету передбачає можливість передачі по мережі зв'язку тактильних відчуттів. При цьому вимоги до кругової затримки визначені в документах МСЕ-Т як 1 мс. З урахуванням інших вимог МСЕ-Т до затримки внаслідок обмежень по швидкості поширення світла в 5 мкс на 1 км [20] стає очевидним, що послуги Тактильного Інтернету з необхідною якістю можуть бути надані на дуже обмеженій території.

Такі мережі отримали назву мереж зв'язку з ультра малими затримками [21, 22] і багато в чому визначають архітектуру і принципи побудови не тільки мереж зв'язку п'ятого покоління, а й перспективних мереж 2030 року.

1.3 Інтернет Навичок

Термін *Internet of Skills* був введений М. Dohler для спільного використання роботів, Штучного Інтелекту, мереж зв'язку п'ятого покоління і Тактильного Інтернету [22]. Звідси випливає, що додатки Інтернет Навичок можуть бути найрізноманітнішими [23]. Мало того, передбачається, що Інтернет Навичок може запропонувати користувачеві більш привабливі послуги, ніж існуючий контент. В якості додатків Інтернет Навичок можуть бути охорона здоров'я, мистецтво, освіта, в тому числі не обов'язково тільки вища, зоологія, спорт. Оскільки навички визначають можливу поведінку і людей, і тварин, і роботів можна говорити про те, що Інтернет Навичок володіє безмежними властивостями. Тому, в майбутньому слід вважати, що впровадження програм Інтернет Навичок надасть принциповий вплив на мережу зв'язку.

В ході накопичення досвіду навичок для наступних поколінь не менший інтерес представляє відтворення дій, які виконували інші люди або їхні

предки. Це, як уже зазначалося вище, дозволить передавати найкращу практику навичок через покоління. Навички можуть бути накопичені як індивідуальні, так і усереднені по кожній із професій.

1.4 Модельні мережі

Починаючи з впровадження цифрових АТС в мережах зв'язку, в якості експериментального інструментарію для вивчення характеристик мереж і систем зв'язку добре зарекомендували себе модельні мережі. Ця методологія адекватно себе показала і при експериментальних дослідженнях Інтернет Речей [24, 25].

Однією з головних задач, які необхідно вирішити, перш ніж можна буде використовувати послуги Тактильного Інтернету, є поглиблене дослідження відповідності інфраструктури необхідним вимогам. Пропонуючи послуги Тактильного Інтернету, необхідно враховувати ті обставини, що кругова затримка не повинна перевищувати 1 мс. У зв'язку з великою складністю проектування мереж зв'язку з ультра малими затримками і відсутністю відповідних моделей і методів аналітичного моделювання, раціональним рішенням буде проведення досліджень на модельній мережі, в ході якого можна оцінити різні варіанти взаємодії основних елементів системи Тактильного Інтернету. Використання такої мережі надасть можливість провести комплексне дослідження мережі для Тактильного Інтернету як в штатному режимі роботи, так і в умовах перевантаження, що дозволяє дати більш якісну та об'єктивну оцінку характеристик.

Можливі варіанти досліджень модельної мережі. Можна виділити наступні варіанти постановки досліджень:

1) дослідження характеристик тактильних датчиків і приводів. Даний варіант передбачає визначення точності значень тактильного датчика і роботи тактильних приводів за допомогою спеціального тестового додатка, розташованого на сервері;

2) дослідження програмно-конфігурованого мережевого комутатора і контролера. Даний варіант передбачає дослідження відповідності функціонування програмно-конфігурованих мережевих комутаторів і контролера заданим вимогам, дослідження маршрутизації, а також функцій розподілу завантаження комутаторів і контролера за допомогою спеціального додатку для верифікації на контролері;

3) дослідження мультиплексування з поділом по довжині хвилі. Дані роботи припускають дослідження функцій мультиплексування з поділом по довжині хвилі, демультимплексування, перевірку обслуговування пакетів і так далі, за допомогою спеціального додатку, розташованого на сервері.

4) дослідження якості обслуговування і якості сприйняття. Аналізуються і оцінюються параметри якості обслуговування і якості сприйняття в процесі передачі даних через модельну мережу за допомогою спеціального додатку, розташованого на сервері.

1.5 Мережі зв'язку п'ятого покоління

Всі перераховані вище концепції необхідні для створення мереж зв'язку п'ятого покоління. Попередні покоління мереж, включаючи і мережі зв'язку четвертого покоління з системами тривалої еволюції LTE були розраховані на інші кількісні характеристики, а саме: кілька мільярдів користувачів і затримки величиною в 100 мс. Звичайно, що в процесі еволюції мереж зв'язку четвертого покоління, особливо в умовах наближення до впровадження мереж зв'язку п'ятого покоління, в мережах зв'язку почали з'являтися деякі технології, які повинні знайти широке застосування в мережах зв'язку п'ятого покоління. Наприклад, кооперативні мережі [26], які створили базу для подальшого впровадження технологій D2D. Саме технології кооперативних мереж зробили зони базових станцій LTE гетерогенним, що крім основи для впровадження технологій D2D призвело до появи гетерогенних мереж.

Мережі зв'язку п'ятого покоління є гетерогенними вже за своєю природою, які поєднують в собі не тільки різні радіо технології, а й перспективні технології фіксованих мереж зв'язку. Можна сказати, що мережі зв'язку п'ятого покоління є гетерогенними, що підкреслює їх відмінність від попередніх поколінь мереж зв'язку [27, 28, 29, 30]. Однак, найбільш принципово новими властивостями мереж зв'язку п'ятого покоління є щільність і ультра малі затримки. Саме ці дві властивості вимагають застосування нових технологій для забезпечення самої можливості їх реалізації.

Останнім часом з'явилися роботи, в яких під сумнів було поставлено необхідність подальшого розвитку пакетного ядра мережі EPS, оскільки не було виявлено рішень щодо забезпечення за допомогою цієї традиційної технології необхідної величини кругової затримки в мережах зв'язку п'ятого

покоління [17, 18, 29]. Альтернативні пропозиції з побудови ядра мережі на основі технології NFV забезпечують суттєво менші значення затримок при інших рівних умовах.

Найважливішу роль у виконанні вимог щодо мереж зв'язку п'ятого покоління відіграє технологія мобільних граничних обчислень MEC. Якщо мережа зв'язку в умовах ультра малих затримок підлягає децентралізації, то і обчислювальні ресурси мережі доцільно перерозподілити. Пропозиція по створенню багаторівневої системи хмар з розміщенням міні-хмар на рівні базових станцій і забезпечення їх взаємозв'язку між собою за допомогою високошвидкісних оптичних ліній зв'язку дає можливість не тільки досягти необхідних значень затримки, але і розвантажити ядро мережі [6, 9, 12, 27, 30].

Для побудови мереж зв'язку п'ятого покоління потрібно застосувати безліч нових технологій. Різноманіття завдань зі створення мереж зв'язку п'ятого покоління вимагає і відповідних науково-дослідних робіт. У роботі пропонуються нові рішення з побудови мереж зв'язку п'ятого покоління як надщільних мереж і мереж з ультра малими затримками на основі використання кластеризації і технологій D2D. При цьому технології D2D розглядаються не як взаємодія окремих пристроїв, а як мережа D2D [7, 31, 32, 33].

1.6 Оцінка наукового, технічного та економічного рівня НДДКР

Проаналізуємо рівень науково-дослідної роботи яка пов'язана з дослідженням методів побудови мережі зв'язку п'ятого покоління. Виходячи з відповідних вимог НТП, доцільно орієнтуватися на час проведення НДДКР не більше 2 років (+2), при чому технічні показники результатів плануються на рівні кращих світових зразків (0); передбачаються можливості отримання авторських свідоцтв (0); а строк окупності витрат 2 роки і менше (+3).

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 таблиць 1.1 та 1.2, та підрахувавши загальну суму балів $+2 + 0 + 0 + 3 = +5$, робимо висновок, що дана науково-дослідна робота є досить перспективною.

1.7 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 [34].

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

Бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Критерій	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 аналогів	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	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в	Експлуатаційні витрати на рівні експлуа-	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в
Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою

Продовження табл.1.3

7	Активна конкуренція великих компаній на ринку	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 років	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
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 повідомлення 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	2
2	4	3	4
3	2	3	3
4	3	3	3
5	3	3	3
6	3	4	4
7	4	2	3
8	3	3	4
9	2	2	2
10	4	2	2
11	2	2	3
12	2	3	3
Сума балів	34	32	35
Середньоарифметична сума балів <u>СБ</u>	<u>33,67</u>		

За даними табл. 1.4 зробимо висновок щодо рівня комерційного потенціалу дослідження. При цьому доцільно користуватися рекомендаціями, наведеними в табл. 1.5 [34].

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 33,67 бала, що, згідно табл. 1.5, свідчить про комерційну важливість

проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки вище середнього).

1.8 Прогнозування витрат на виконання НДДКР

Для детального обґрунтування доцільності проведення досліджень стосовно методів побудови мережі зв'язку п'ятого покоління необхідно провести попередній розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи. Для визначення суми витрат на проведення НДДКР передбачено складання приблизного кошторису цих витрат [34].

Таблиця 1.6 – 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	10720,00	510,48	42	21440,00
2. Ст. науковий співробітник	10055,00	478,81	21	10055,00
3. Науковий співробітник	9700,00	461,90	21	9700,00
4. Інженер-конструктор радіоелектронних систем	9570,00	455,71	21	9570,00
5. Технік	6400,00	304,76	42	12800,00
Всього				63565,00

Витрати на основну заробітну плату працівників (Зр), що здійснюють підготовку робочих місць необхідних для досліджень методів побудови мережі зв'язку п'ятого покоління, підготовку та формування інформаційних пакетів, підготовку та монтаж обладнання складе в межах 6300,00 грн.

Додаткова заробітна плата дослідників складе приблизно 7000,00 грн.

Нарахування на заробітну плату дослідників складуть приблизно 17000,00 грн.

Таблиця 1.7 – Витрати на основні матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Одиниця виміру	Ціна за одиницю, грн.	Витрачено	Вартість витраченого матеріалу, грн.
Папір офісний А4 білий (80%)	уп.	112,00	6,0	672,00
Диск оптичний (CD-R)	шт.	10,25	6,0	61,50
Органайзер офісний ЕКО- 81ВІС	уп.	85,00	6,0	510,00
Канцелярське приладдя	компл.	194,00	5,0	970,00
Картридж змінний Canon 216AF	шт	985,00	2,0	1970,00
FLASH-пам'ять OMEGA 32G	шт.	350,00	2,0	700,00
Всього				5000,00

Таблиця 1.8 – Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, грн.	Сума, грн.
Термінал (імітатор навантаження)	1,0	18500,00	18500,00
Термінал (імітатор приймача)	1,0	18500,00	18500,00
Роутер 652AF	2,0	6280,00	12560,00
Сервер 5-BCD1	1,0	9540,00	9540,00
Модулятор AF450F	2,0	7350,00	14700,00
Імітатор рівнів віртуальної мережі KDV-54	1,0	10420,00	10420,00
Імітатор користувацької мережі на основі оптоволокна FIREN2	2,0	2620,00	5240,00
Комутатор багаторівневий H34-O	1,0	5360,00	5360,00
Маршрутизатор ХА-16	1,0	3735,00	3735,00
Антенa ZX	2,0	580,00	1160,00
Електроніка базової станції	1,0	24698,00	24698,00
Батареї резервного живлення AAG-55	3,0	128,00	384,00
Модулі технічного обслуговування VIVA256	3,0	3896,00	11688,00
Всього			136500,00

Амортизація обладнання.

Таблиця 1.9 – Величина амортизаційних відрахувань

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, міс.	Величина амортизаційних відрахувань, грн
Комп'ютеризований програмно-аналітичний комплекс	21807,00	5	2	726,90
Метрологічний комплекс МСХ13-А54	12046,00	5	2	401,53
Програмне забезпечення підтримки мереж	16568,00	3	2	920,44
Місце оператора спеціалізоване	9780,00	5	2	326,00
Офісна оргтехніка	12300,00	4	2	512,50
Дослідницька лабораторія	200000,00	25	2	1333,33
Всього				4220,00

Таблиця 1.10 – Витрати на електроенергію при проведенні досліджень

Найменування обладнання	Кількість годин роботи обладнання, год.	Встановлена потужність, кВт	Коефіцієнт використання потужності	Величина оплати
Комп'ютеризований програмно-аналітичний комплекс	336,00	0,72	1	534,64
Метрологічний комплекс МСХ13-А54	290,00	0,02	1	12,82
Місце оператора спеціалізоване	120,00	0,32	1	84,86
Офісна оргтехніка	120,00	0,72	0,8	152,76
Термінал (імітатор навантаження)	290,00	0,32	1	205,09
Термінал (імітатор приймача)	290,00	0,32	1	205,09
Роутер 652AF	290,00	0,06	1	38,45
Сервер 5-BCD1	290,00	0,12	1	76,91

Продовження таблиці 1.10

Модулятор AF450F	290,00	0,16	1	102,54
Імітатор рівнів віртуальної мережі KDV-54	290,00	0,25	1	160,23
Імітатор користувацької мережі на основі оптоволокна FIREN2	290,00	0,03	1	19,23
Комутатор багаторівневий H32	290,00	0,25	1	160,23
Маршрутизатор ХА-16	290,00	0,32	1	205,09
Електроніка базової станції	290,00	0,92	1	589,63
Модулі технічного обслуговування VIVA256	290,00	0,08	1	51,27
Всього				2600,00

Інші витрати складуть в межах 140000,00 грн.

Загальні витрати на проведення досліджень стосовно методів побудови мережі зв'язку п'ятого покоління.

$$B = 63565,00 + 6300,00 + 7000,00 + 17000,00 + 5000,00 + 136500,00 + 4220,00 + 2600,00 + 140000,00 = 382185,00 \text{ (грн.)}$$

1.9 Доцільність науково-дослідної роботи

Для обґрунтування доцільності виконання науково-дослідної роботи 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 формулою [35]:

$$K_p = \frac{I^n \cdot T_c \cdot R}{B \cdot t}, \quad (1.1)$$

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

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, $T_c = 1...3$;

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.) $B = 382,2$ тис. грн;

t – час дослідження роботи, років.

Підставляючи числові дані в (1.1) отримаємо:

$$K_p = \frac{3^3 \cdot 3 \cdot 4}{382,2 \cdot \frac{2}{12}} = 1,63.$$

Оскільки $K_p > 1$, тому науково-дослідну роботу з дослідження методів побудови мережі зв'язку п'ятого покоління можна вважати економічно доцільною з достатньо високим науковим, технічним та економічним рівнем.

1.10 Мета і завдання магістерської кваліфікаційної роботи

Виходячи з викладеного, метою магістерської кваліфікаційної роботи є розробка і дослідження методів побудови мереж зв'язку п'ятого покоління 5G в умовах надщільної структури і ультра малих затримок в мережі.

Для досягнення поставленої мети в МКР послідовно вирішуються наступні завдання:

- аналіз концепцій розвитку мереж зв'язку на середньострокову і довгострокову, до 2030 року, перспективи;

- розробка і дослідження кластерної побудови мереж зв'язку в умовах ультра малих затримок;
- розробка моделі мережі зв'язку 2030 року на основі особливостей побудови мереж зв'язку з ультра малими затримками;
- розробка і дослідження методу маршрутизації трафіку для надщільних мереж на основі технології взаємодії пристрій-пристрій D2D;
- розробка методу побудови мережі D2D з використанням додаткових маршрутизаторів, що представляють собою широко використовуванні термінали мереж зв'язку;
- розробка методу вибору місця розташування і кількості додаткових маршрутизаторів на основі модифікованого алгоритму FOREL.

1.11 Висновки

1) Мережі зв'язку п'ятого покоління є надщільними мережами з ультра малими затримками, що вимагає розробки нових методів їх побудови.

2) Оскільки попередні покоління мереж не володіли зазначеними в пункті 1 висновків властивостями, для реалізації вимог до надщільності і ультра малих затримок потрібне застосування нових технологій, таких як програмно-конфігуровані мережі SDN, віртуалізація мережевих функцій NFV, мобільних граничних обчислень MEC, взаємодії пристрій-пристрій D2D.

3) Крім зміни методів побудови мереж зв'язку п'ятого покоління, потрібні зміни методів ідентифікації, тестування та інших, забезпечуючи стале функціонування технологій мереж зв'язку п'ятого покоління. У роботі запропоновано для ідентифікації в надщільних мережах використовувати технологію ідентифікації на основі архітектури цифрових об'єктів DOA.

4) Практична значимість магістерської кваліфікаційної роботи полягає в створенні науково-обґрунтованих рекомендацій з планування мереж зв'язку п'ятого покоління в умовах впровадження надщільних структур і ультра малих затримок.

5) Оскільки $K_p > 1$, тому науково-дослідну роботу з дослідження методів побудови мережі зв'язку п'ятого покоління можна вважати економічно доцільною з достатньо високим науковим, технічним та економічним рівнем.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ П'ЯТОГО ПОКОЛІННЯ

2.1 Основні характеристики мереж зв'язку п'ятого покоління

Слід зазначити, що мережі п'ятого покоління є гетерогенними, тобто об'єднують в собі безліч різних мереж: від традиційних мобільних і фіксованих мереж зв'язку загального користування до сенсорних [36] і літаючих мереж [37, 38, 39]. В англійській літературі такі мережі отримали назву HetNet [40]. Спочатку гетерогенність була помічена при дослідженні взаємодії сенсорних мереж з LTE [41]. При цьому виявилось, що гетерогенність може бути використана для поліпшення якості обслуговування користувачів або пристроїв, що знаходяться, наприклад, на окраїні зони обслуговування базової станції за рахунок застосування пристроїв інших мереж в якості ретрансляторів при забезпеченні зв'язку з базовою станцією. Виник новий напрям досліджень, що одержав назву кооперативної передачі або кооперативних мереж [26], що стало першим кроком по перетворенню радіального принципу побудови зони покриття базової станції в mesh мережу. Очевидно, що mesh мережа є принципово більш надійною структурою, ніж радіальна мережа.

Другою новою особливістю мережа зв'язку п'ятого покоління зобов'язана концепції Інтернет Речей [1]. Ця особливість пов'язана з принципово іншим числом потенційних речей, які можуть бути приєднані до мережі, в порівнянні з традиційними уявленнями про обсяг клієнтської бази мереж зв'язку. Відповідно при значному збільшенні кількості Інтернет Речей істотно зменшується відстань між взаємодіючими в мережі пристроями. Тому мережі 5G називають мережами з високою щільністю (High Dense) або навіть надщільні мережі (Super High Dense) [3]. При цьому цілком звичайно виглядає нова концепція взаємодії прилеглих пристроїв без участі базової станції або маршрутизаторів. Ця взаємодія називається пристрій-пристрій D2D [4, 42, 43] і при масштабному впровадженні призведе до істотної економії енергії в мережі в цілому. Звичайно, що при цьому зона базової станції перетворюється спочатку в повноцінну mesh мережу, а в подальшому і в групи пристроїв [44].

Ще однією особливістю мереж п'ятого покоління, є принципова зміна структури мережі і її вплив на суспільний розвиток, що дає можливість надання послуг так званого Тактильного Інтернету [21], вимога щодо затримок для якого становить 1 мс, що в 100 разів менше, ніж для традиційних пакетних

мереж зв'язку загального користування, які будуються у відповідності з концепцією мереж зв'язку наступного покоління NGN. Ця особливість призвела до ще однієї назви мереж зв'язку п'ятого покоління – мережі зв'язку з ультра малими затримками.

2.2 Затримка для Тактильного Інтернету і децентралізація мережі

При визначенні параметрів затримки для мереж з ультра малими затримками постала необхідність обліку фізичних обмежень по швидкості передачі інформації. Сектор Стандартизації Телекомунікацій Міжнародного Союзу Електрозв'язку рекомендує враховувати ці обмеження як 5 мкс на кілометр [45]. Виходячи з цього, формула для обчислення затримки в мережах зв'язку виглядає наступним чином:

$$T = R \cdot \tau + \Theta, \quad (2.1)$$

де R – відстань;

τ – затримка, пов'язана з фізичними обмеженнями по передачі інформації (5 мкс на кілометр);

Θ – затримка, яку вносить технічними засобами мережі.

При обмеженні затримки величиною в 1 мс з урахуванням застосування цього значення до двосторонньої затримки і припускаючи використання в якості систем передачі сучасних систем з великою пропускнуою здатністю радіус дії таких мереж, при наданні послуг Тактильного Інтернету, обмежується приблизно 50 км.

Це означає, що ресурси оператора для надання послуг Тактильного Інтернету, які потребують затримки величиною в 1 мс, повинні розташовуватися, по можливості, в центрі кола радіусом в 50 км.

Останнє принципово змінює уявлення про структуру мережі 20-х років 21 століття, вимагаючи від неї децентралізації ресурсів для надання ряду послуг.

2.3 Багаторівнева система хмарних обчислень для надання послуг Інтернету

В дослідженнях [12, 19] була запропонована багаторівнева система хмарних обчислень для надання послуг Тактильного Інтернету. При цьому виділяються такі рівні (рис. 2.1):

- мікро-хмари, що розміщуються на рівні користувачів (абонентських смартфонів, ноутбуків, роботів, Інтернет Речей тощо);
- міні-хмари, що розміщуються на рівні базових станцій і групових елементів оптичних мереж доступу;
- макро-хмари, що розміщуються на рівні ядра операторської мережі;
- віддалені хмари, що представляють собою, як правило, ресурси найбільших світових компаній.



Рисунок 2.1 – Багаторівнева система хмарної інфраструктури для мереж зв'язку п'ятого покоління в умовах впровадження послуг Тактильного Інтернету

На рис. 2.1 крім традиційних терміналів на рівні використання мікро-хмар розташовуються також мережеві роботи, які можуть використовуватися як на підприємствах і в офісах, так і в жилих приміщеннях користувачів. Відзначимо, що коли мова йде про макро-хмари, то саме вони розміщуються в межах 50 км від точки надання послуги.

Ієрархічна система хмар для мереж зв'язку загального користування крім сумісних технічних рішень прагне прийняття нових регуляторних документів, зокрема регламентації інформації, яка може розміщуватися на тих чи інших рівнях хмар такої мережі.

2.4 Кластеризація мережі при наданні послуг Тактильного Інтернету

У другому десятилітті 21 століття тенденція зростання частки інформаційно-комунікаційних технологій набула нових рис, пов'язаних з тим, що з'явилася так звана конвергенція галузей. Дійсно, саме мережа зв'язку загального користування виступає як надбудова над усіма іншими галузями, забезпечуючи необхідну інфраструктуру для створення і функціонування медичних мереж, мереж для житлово-комунального господарства, автомобільних мереж. При цьому на етапі розвитку мереж зв'язку наступного покоління часто приймаються рішення щодо централізації ключових елементів мережі, наприклад, IMS.

Тактильний Інтернет і децентралізація мережі можуть принципово змінити дану ситуацію, оскільки надання послуг Тактильного Інтернету з необхідною якістю можливо в колі радіусом не більше 50 км. Враховуючи, що послуги Тактильного Інтернету будуть визначальними для мережевих робіт, децентралізація мережі призведе не тільки до перерозподілу висококваліфікованих фахівців в галузі зв'язку [31], але і в області промислового виробництва, сучасної медицини і так далі.

Пошук кластерів являє собою ітераційний процес, в ході якого проводиться розрахунок і переміщення передбачуваного центру кластера, поки він не зійдеться з центром ваг локального скупчення об'єктів. В результаті кластеризації всі множини вихідних об'єктів виявляються розбитими на підмножини за ознакою близькості елементів один до одного. Для кожного виділеної підмножини визначається його центр, який наприклад, може служити точкою розміщення макро-хмари. В такому випадку макро-хмара буде, ймовірно, мінімально віддаленою від усіх об'єктів кластера. При виконанні даного алгоритму відбувається пошук рішення, при якому мінімізується сума квадратів відстаней між центрами кластерів і об'єктами кластерів. Алгоритм не дає абсолютного мінімуму, одержувані рішення залежать від початкових умов і можуть відрізнятися один від одного. Такі рішення прийнято розглядати як рішення близькі до оптимальних.

Формально, роботу даного алгоритму можна описати таким чином. Якщо вихідна множина з n об'єктів, що підлягають кластеризації, це $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, то завдання кластеризації, в загальному вигляді можна сформулювати як задачу оптимізації, цільовою функцією якої є вираз виду:

$$O = \min_{k, (x, y) C_j \in C} \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{m_j} d^2(a_{j,i}, C_j), \quad (2.2)$$

де $a_{j,i}$ – i -й елемент j -го кластера;

C_j – центр j -го кластера;

$d^2(a_{j,i}, C_j)$ – функція, що виражає ступінь близькості i -го елемента j -го кластера до центру j -го кластера.

Множина кластерів $C = \{C_1, C_2, \dots, C_k\}$ містить k елементів. Змінними, за якими проводиться пошук мінімуму (2.2) є координати центрів кластерів $(x, y) C_j$ і кількість кластерів k .

В окремому випадку, коли координати елементів кластерів і їх центрів представлені їх значеннями (x, y) в прямокутній системі координат, функція, яка має ступінь близькості i -го елемента j -го кластера до центру j -го кластера можна представити у вигляді:

$$\hat{d}(a_{j,i}, C_j) = \sqrt{(x_{j,i} - x_j^{(C)})^2 + (y_{j,i} - y_j^{(C)})^2} \quad (2.3)$$

де $x_{j,i}$ і $y_{j,i}$ – координати i -го елемента j -го кластера в прямокутній системі координат (м);

$x_j^{(C)}$ і $y_j^{(C)}$ – координати центру j -го кластера в прямокутній системі координат (м).

Координати центрів кластерів визначаються як:

$$x_{j,i}^{(C)} = \frac{1}{m_j} \sum_{i=1}^{m_j} x_{j,i}, \quad (2.4)$$

$$y_{j,i}^{(C)} = \frac{1}{m_j} \sum_{i=1}^{m_j} y_{j,i}, \quad (2.5)$$

де $x_{j,i}$ і $y_{j,i}$ – координати i -го елемента j -го кластера в прямокутній системі координат (м);

m_j – кількість елементів в j -м кластері.

У загальному випадку, при використанні функції $d(a_{j,i}, C_j)$ може бути використана спеціалізована функція, що дозволяє обчислити відстань між двома точками на поверхні землі.

Формально алгоритм може бути представлений, як показано нижче:

- 1) ініціалізація множини не кластеризованих об'єктів: $A := \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$;
- 2) вибір довільної точки $C_j \in A$ випадковим чином;
- 3) повторення;
- 4) утворення кластеру – з центром в C_j : $A_j := \{a_j \in A \mid d(a_j, C_j) < R_0\}$;
- 5) розміщення центру кола в центр ваги кластера: $C_j^{(m)}$ визначається відповідно до виразів (2.4) і (2.5);
- 6) поки центр $C_j^{(m)}$ не стабілізується, повторювати починаючи з пункту 4;
- 7) позначення всіх об'єктів A_j як кластеризовані: $A := A \setminus A_j$ (виключити з подальшого розгляду кластер A_j);
- 8) якщо у вибірці є не кластеризований об'єкти, $A \neq \emptyset$, то повернутися до пункту 3;
- 9) завершення алгоритму.

У наведеному алгоритмі величина R_0 – визначає максимально допустиме віддалення елементів кластера від його центру (м). При цьому ця величина може бути розрахована на основі вимог до затримки в такий спосіб:

$$R_0 = (T - \Theta) / \tau. \quad (2.6)$$

В результаті виконання алгоритму всі A об'єктів вихідної множини будуть розподілені по k множинам $A_j, j = 1 \dots k$ (кластерам).

Координати центрів знайдених кластерів $C_1 \dots C_k$ визначаються згідно виразів (2.4) і (2.5).

Відзначимо, що дана задача може вирішуватися як в лінійному, так і в метричному просторі. У першому випадку центр кластера може бути отриманий в будь-якій точці, у другому випадку центр кластера завжди буде збігатися з координатами одного з кластеризованих об'єктів, тобто з координатами деякого населеного пункту.

2.5 Мережі зв'язку 2030

2.5.1 Основні фундаментальні зміни в розвитку мереж зв'язку в теперішній час

Надщільні мережі. Концепція Інтернет Речей, основна в області мереж і систем зв'язку, призвела і до появи мереж зв'язку п'ятого покоління, і до створення надщільних мереж зв'язку. Надщільність є однією з ознак не тільки мереж 5G/IMT-2020 року, але і всіх наступних. Дійсно, вимоги 3GPP щодо забезпечення необхідного рівня якості обслуговування та якості сприйняття при розміщенні 1 млн. терміналів на 1 кв. км принципово відрізняється від характеристик щільності мереж, що існує на даний час. Дуже складно уявити мільйон чоловік на 1 кв. км, в той час як 1 млн. пристроїв на 1 кв. км, в загальному не межа. Відповідно до прогнозів граничне число Інтернет Речей становитиме 50 трильйонів, що може бути досягнуто саме в районі 2030 року. Тому, поняття надщільних мереж буде існувати ще досить довго.

Властивість надщільності призводить до розуміння того факту, що встановлення з'єднань для настільки близько розташованих пристроїв з

використанням централізованих елементів мережі, в тому числі базової станції, є марнотратним по відношенню до обмежених ресурсів мережі.

З'являється технологія взаємодії пристрій-пристрій D2D, що виключає використання базової станції для реалізації послуг Інтернет Речей. При цьому частка трафіку, замикається всередині технологій D2D, що може становити десятки відсотків.

При побудові мережевої архітектури, у надщільній мережі, істотне значення відіграє кластеризація, що застосовується в багатьох задачах з аналізу і синтезу в умовах наявності великої кількості елементів системи. З урахуванням викладеного, можна очікувати, що в мережах зв'язку 2030 безпосередні взаємодії між близько розташованими людьми, роботами і пристроями також будуть відігравати визначальну роль.

Мережі зв'язку з ультра малими затримками. Необхідність передачі тактильних відчуттів [15, 16, 46] привела до ще більш значних змін в області побудови мереж зв'язку, оскільки в цьому випадку потрібно було передавати інформацію з затримкою в 1 мс, що в 100 разів менше, ніж в існуючих мережах. Концепція Тактильного Інтернету [21, 47] фактично призводить до децентралізації мережі. Такі мережі стали називати мережами зв'язку з ультра малими затримками, і їх застосування виявилось істотно ширше, ніж тільки передача тактильних відчуттів. Так, наприклад, при створенні безпілотних автомобілів і їх функціонуванні в мережі зв'язку затримки в 1 мс є також необхідними.

Інтернет навичок. Концепція Інтернету Навичок [22] також вимагає для своєї реалізації наявності мереж з ультра малими затримками. Інтернет Навичок як концепція дозволяє реалізувати в мережах зв'язку з ультра малими затримками нові класи послуг, що дозволяють використовувати мережу для опанування людьми і робото-технічними пристроями нових навичок. При цьому стає можливим передавати найкращу практику навичок навіть через покоління [48].

Літаючі мережі. Ще однією фундаментальною зміною в розвитку мереж зв'язку стало об'єднання літаючого і наземного сегментів мереж в єдину мережу [38]. Для мереж розподілу і збору інформації досить давно використовувалися супутники, літаки, і, останнім часом, безпілотні літальні апарати (БПЛА). Але тільки з появою літаючих сенсорних мереж на основі близько розташованих до земної поверхні БПЛА відбулася інтеграція літаючого і наземного сегментів. Слід зазначити, що невелика висота польоту

БПЛА в таких мережах, яка вимірюється десятками метрів, робить їх придатними для використання в мережах зв'язку з ультра малими затримками.

2.5.2 Перспективні технології для мереж зв'язку 2030

Виходячи з аналізу фундаментальних змін в розвитку мереж зв'язку, можна стверджувати, що мережі зв'язку 2030 будуть надщільними мережами з ультра малих затримками, що забезпечують скорочення цифрового розриву між територіями за рахунок децентралізації мережі. Разом з тим, ці мережі отримують ряд нових характеристик за рахунок розвитку технологій в сфері мереж і систем зв'язку [49].

Телеприсутність. Персоналізація мережі. Одним з найбільш перспективних програм для мереж 2030 є широке використання і поширення аватарів для відтворення та здійснення дій людини, яка ними керує (телеприсутність). У цьому випадку може знадобитися забезпечити затримку в мережах навіть менше 1 мс.

Крім того, при збільшенні популяції аватарів і їх функціональному вдосконаленні виникнуть ситуації, коли безліч аватарів конкретного користувача будуть керуватися ним або через головний аватар, або будь-яким іншим доступним способом. Ці мережі аватарів можуть стати одним з найважливіших джерел трафіку в нових мережах 2030 з новими типами взаємодій: H2A, A2H і A2A.

Взаємодія користувача з його аватарами призводить до деякої персоналізації мережі. Аватар являє собою користувацький термінал мережі, віддалений від користувача на досить велику відстань, що вимірюється кілометрами. У цьому випадку ресурси мережі використовуються користувачем для взаємодії з його ж терміналом або терміналами.

Приклади взаємодій з аватарами в мережі наведені на рис.2.2.

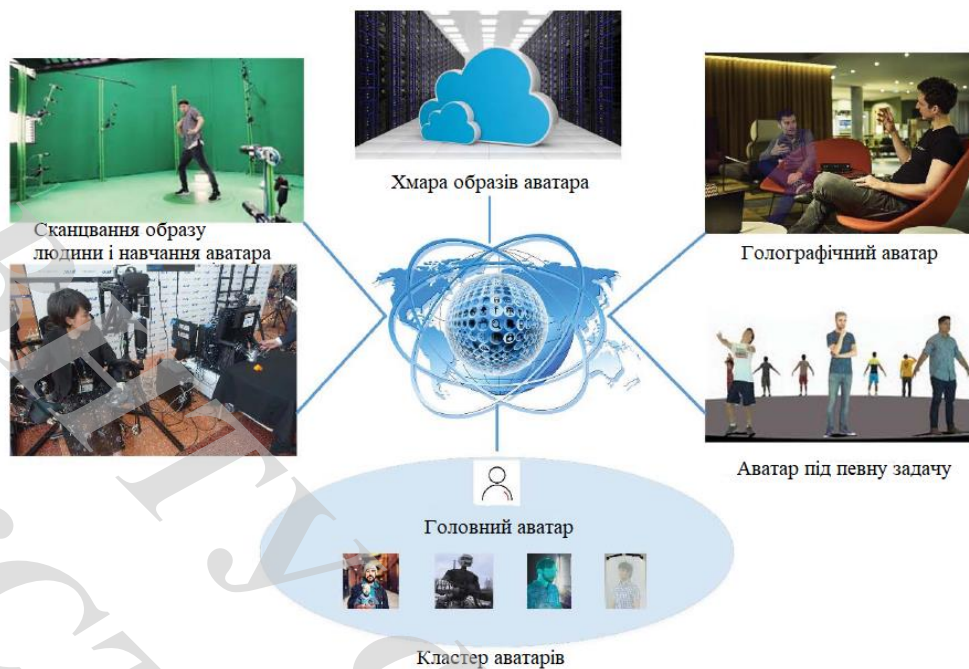


Рисунок 2.2 – Взаємодії з аватарами в мережі зв'язку в 2030 році

Наномережі. До 2030 року різні застосування наномереж і наноречей повинні будуть знайти широке застосування. Наноречі ще більше підвищать щільність мереж. Прогрес в області спектроскопії вже призвів до того, що доступними стали інфрачервоні мікро-спектрометри, які вже можуть бути вбудовані в смартфони. Тому кожному користувачеві щодня стає доступним аналіз продуктів та інших предметів, що представляють інтерес для оперативного підтвердження якості. Ця можливість забезпечується отриманням спектрограми і швидким аналізом у відповідній хмарі. Можна стверджувати, що такі послуги будуть широко використовуватися і утворять новий значний трафік в мережі зв'язку.

Застосування малогабаритних інфрачервоних спектрометрів уможливорює використовувати феромони для прийому інформації. Для передачі інформації вже використовуються синтезовані феромони, а їх прийом до сих пір міг здійснюватися тільки особинами живого світу. Під час академічного семінара МСЕ-Т "Калейдоскоп-2014" було запропоновано використовувати феромони для взаємодії "Від серця до серця" Heart-to-Heart (He2He), що в найближчі 10 років не виглядає, з точки зору мереж зв'язку, нездійсненною можливістю.

Літаючі мережі. У деяких роботах для реалізації вимог мереж зв'язку 2030 були запропоновані рішення на основі конвергенції наземних і супутникових мереж. Переваги супутникових мереж в частині покриття нівелюються недоліками з точки зору величини затримки. Висота орбіти низькоорбітальних супутників становить, як правило, 700-1500 км. В даний час розглядаються проекти, де мінімальна висота зменшується до 350 кілометрів. Але все одно для мереж з ультра малими затримками це занадто багато. Така висота орбіти для супутників зв'язку призводять до принципово нездоланих завдань в реалізації мережевих послуг з ультра малими затримками. Через велику відстань до супутника можна надавати послуги мереж, толерантних до затримок, але не для повсякденних завдань людей і роботів, включаючи аватарів, які принципово не можуть бути реалізовані через великі затримок. Більш реалістичними для побудови мереж 2030 є сценарії використання літальних апаратів на основі БПЛА або навіть використання закріплених БПЛА, які можуть функціонувати при висотах, вимірюваних десятками і сотнями метрів [38].

Структура мережі зв'язку з ультра малими затримками в 2030 році приведена в додатку Г. Крім розглянутих вище існуючих і нових додатків мережі на рисунку зображені також медичні мережі, доповнена реальність, промислові гуманоїди і додатки для підтримки концепції Індустрії 4.0 [50, 51, 52, 53]. Ці додатки також вимагають для свого стійкого функціонування значень затримки величиною не більше 1 мс.

2.5.3 Нові технології для мереж зв'язку 2030

Багато характеристик мереж зв'язку 2030 будуть визначатися новими технологіями, які знайдуть широке впровадження для реалізації цих мереж. Штучний інтелект буде керувати потоками трафіку, квантові комп'ютери дозволять терміналам користувача виконувати безліч нових завдань при взаємодіях з близько розташованими користувачами, роботами, пристроями, нанотехнології забезпечать безпрецедентні послуги для користувачів медичних мереж. Але з точки зору мереж зв'язку, як таких, мережі зв'язку 2030 будуть занадто щільні з ультра малих затримками, персоналізованими для реалізації телеприсутності, з інтеграцією наземного і літаючого сегмента, а також в повній мірі реалізованої концепції Індустрії 4.0.

2.6 Висновки

1) Подальший розвиток мереж зв'язку і реалізація послуг Тактильного Інтернету при впровадженні мереж зв'язку п'ятого покоління призведе до децентралізації мережі на основі вимог щодо забезпечення затримки величиною не більше 1 мс.

2) Для впровадження мереж зв'язку п'ятого покоління з наданням послуг Тактильного Інтернету в якості одного з варіантів розглядається побудова багаторівневої системи хмарної інфраструктури.

3) Децентралізація мережі на основі впровадження мереж зв'язку п'ятого покоління з наданням послуг Тактильного Інтернету призведе до принципового зниження цифрового розриву між різними територіями.

4) Дослідження в області мереж зв'язку 2030 враховують фундаментальні зміни, що відбулися з мережами зв'язку в період формування концепції мереж зв'язку п'ятого покоління, стандартизації мереж і систем 5G/IMT-2020 і досвіду тестування фрагментів цих мереж.

5) Основні фундаментальні зміни, які відбулися з мережами зв'язку на етапі робіт по 5G/IMT-2020 року – поява надщільних мереж і мереж з ультра малими затримками. Ці нові властивості не тільки збережуться для мереж зв'язку 2030, а й отримають нові додатки, що визначають розвиток мереж на наступному етапі.

6) Надщільні мережі при створенні мереж зв'язку 2030 поповняться елементами наносвіту, а мережі зв'язку з ультра малими затримками дозволять реалізувати телеприсутність, як в формі роботів аватарів, так і вигляді голографічної телеприсутності.

7) Низькоорбітальні супутникові мережі зв'язку, які не можуть надавати користувачам послуги мереж з ультра малих затримками внаслідок фундаментальних обмежень по швидкості світла, можуть бути використані в мережах зв'язку 2030 для надання користувачам послуг мереж, толерантних до затримок.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ МАРШРУТИЗАЦІЇ ТРАФІКА ДЛЯ НАДЩІЛЬНИХ МЕРЕЖ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ВЗАЄМОДІЯ ПРИСТРІЙ-ПРИСТРІЙ D2D

3.1 Основні характеристики технології D2D

В останні десятиліття мережі зв'язку зазнали істотних змін в своєму розвитку. Досить широкого поширення набули самоорганізуючі мережі, додатки яких у вигляді бездротових сенсорних мереж, мереж автомобільного транспорту, медичних мереж вже знайшли застосування, в тому числі і в мережах зв'язку загального користування. Однак найбільш принципові зміни, а ж до фундаментальних кількісних і якісних характеристик мережі відбудуться при масштабному впровадженні мереж зв'язку п'ятого покоління 5G.

З одного боку, при впровадженні мереж і систем 5G відбувається фантастичне зростання числа пристроїв, досягаючи відповідно до рекомендацій 3GPP 1 млн на 1 кв. км. Такі кількісні характеристики призводять до появи надщільних мереж. З іншого боку, при впровадженні мереж і систем 5G в 100 разів посилюються вимоги до затримок, при цьому затримка не повинна перевищувати 1 мс. Враховуючи це якісні характеристики призводять до появи мереж зв'язку з ультра малими затримками.

І надщільні мережі, і мережі зв'язку з ультра малими затримками відображають загальний процес перетворення мережі, що виражається, в першу чергу, в її децентралізації [31]. Ультра малі затримки, як це зазначено в [31], вимагають децентралізації мережі для надання послуг Тактильного Інтернету. Це концептуальний розвиток мережі підтримується все більш широким застосуванням граничних обчислень, наприклад, при побудові багаторівневої системи хмар [12]. Надщільні мережі вимагають розвитку взаємодії між пристроями, тобто D2D, що дозволяє в ряді випадків використовувати ресурси мережі тільки на рівні терміналів.

При цьому в мережах 5G будуть активно застосовуватися методи як внутрішньосмугової, так і позасмугової кластеризації користувачів, що дозволить підвищити якість надання послуг і ефективність використання мережевих ресурсів [54]. Зокрема, передбачається широке застосування взаємодій виду пристрій-пристрій, як з використанням базових станцій мережі

зв'язку, так і без їх використання. У ряді випадків такий вид взаємодії дозволяє істотно розширити зону обслуговування мережі і підвищити якість зв'язку, в тому числі для взаємодій машина-машина (M2M) [55, 56, 57, 58, 59]. При використанні позасмугових засобів для організації D2D-з'єднань, як правило, використовуються стандарти групи IEEE 802.11 (Wi-Fi Direct). Поширення пристроїв цієї групи стандартів надзвичайно пріоритетне.

У роботі розглянуто вплив абонентської щільності на потенційні можливості застосування D2D-технології для децентралізації мережі при використанні Wi-Fi Direct.

Можливість використання взаємодії типу D2D була визначена в документах 3GPP [4]. Дана технологія представлена для мереж LTE і перспективних мереж 5G в частині обслуговування трафіку Інтернет Речей. Основні цільові призначення D2D-технологій – це прямі з'єднання між пристроями, що знаходяться у відносній близькості один до одного (рівень персональних мереж PAN).

Застосування технологій D2D, потенційно, суттєво розширює можливості організації мереж зв'язку. Поряд з організацією прямих зв'язків з різними пристроями (моніторами, принтерами, телевізійними приймачами тощо), D2D взаємодії можуть бути використані для організації кластерів і транзиту трафіку через один з пристроїв, вибраний як головний вузол кластера [60, 61]. Застосування D2D-кластеризації підвищує ефективність використання радіочастотних ресурсів мережі. Застосування кластеризації і транзитних пристроїв дозволять в ряді випадків розширити зону зв'язку мережі або підвищити якість обслуговування (QoS) трафіку [8, 54].

Потенційно, при досить високій щільності вузлів мережі, застосування D2D взаємодії дозволяє організувати маршрути доставки повідомлень. При ряді припущень потенційні можливості організації зв'язків між вузлами можна описати теоремою Ердеша-Рені для випадкового графа. Як приклад наведено дві моделі, кожна з містить по 400 вузлів розташованих в квадраті з довжиною сторін по 500 м (рис. 3.1, а і б).

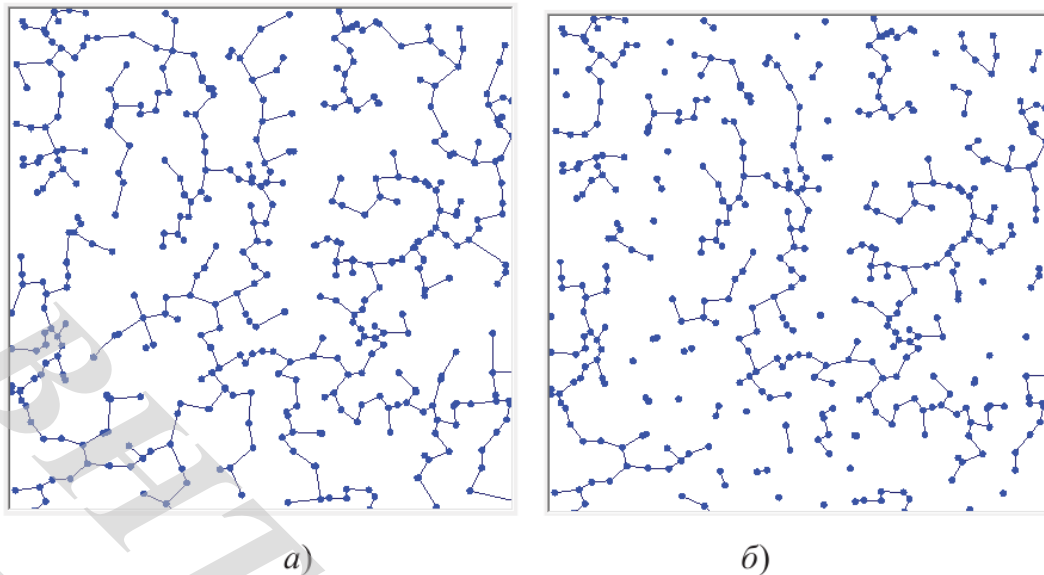


Рисунок 3.1 – Моделі мережі у вигляді а) зв'язного і б) незв'язного графів

Зробимо припущення про те, що довжина шляху в мережі не має обмежень з точки зору кількості транзитів. Вибір маршруту в мережі являє собою завдання оптимізації, в якій серед усієї можливої множини маршрутів вибирається той, який найбільшою мірою відповідає заданому критерію. Найбільш поширені завдання пошуку найкоротших шляхів, де під довжиною розуміється сума вагових коефіцієнтів, присвоєних ребрах графа.

У мережі бездротового зв'язку довжина ребра може характеризуватися, наприклад, затримкою передачі пакета між відповідними вузлами. Затримка, в свою чергу, залежить від швидкості передачі даних і їх обсягу, без урахування часу очікування. Швидкість ПД залежить від індексу MCS [62], тобто від рівня сигналу або відношення сигнал/шум. Останнє більш точно характеризує можливість прийому сигналу. Під шумом розуміються будь-які сигнали, що приймаються разом з корисним сигналом. Як правило, це природні шуми, створювані в навколишньому середовищі і в самому радіоприймальному пристрої, і сигнали штучного походження, такі як індустриальні завади і інтерференція від аналогічних приймально-передавальних пристроїв, що знаходяться на порівняно малій відстані.

З огляду на те, що для організації D2D-зв'язків часто застосовується технологія Wi-Fi, вплив завад від сусідніх пристроїв набуває особливого значення, так як в сучасній міській інфраструктурі ця технологія використовується досить широко. В даній ситуації ступінь впливу завад визначається кількістю пристроїв і активністю використання стандартів Wi-Fi в розглянутій інфраструктурі.

3.2 Щільність і активність терміналів

Організація D2D-зв'язків в неліцензованому діапазоні частот, як правило, передбачає використання стандартів сімейства IEEE 802.11 (Wi-Fi Direct), які мають дуже широке поширення як для організації корпоративних, громадських, так і приватних мереж. Поширення даної технології настільки велике, що з достатньою впевненістю можна вважати, що кожна людина, квартира або приватний будинок потенційно мають у своєму розпорядженні пристрій, що є елементом мережі Wi-Fi. З огляду на використання єдиного середовища для передачі сигналів, одночасне застосування цих пристроїв призводить до їх взаємного впливу. Найбільш істотні з них – внутрішньоканальні і міжканальні завади.

Стандарти Wi-Fi припускають частотне розділення каналів для зниження взаємного впливу сусідніх точок доступу: 13 каналів – в діапазоні 2,4 ГГц, 14 каналів – в діапазоні 5 ГГц. Однак існуючий канальний розподіл в повній мірі не виключає взаємного впливу, що виникає із-за збільшення смуги сигналу, що передається, до 40 МГц при частотному розносі каналів 20 МГц. Це призводить до виникнення завад між каналами. Виключити їх можна тільки при використанні каналів, рознесених не менше ніж на 40 МГц, наприклад, для діапазону 2,4 ГГц це – 1-й, 6-й і 11-й канал. Ці канали найбільш часто використовуються. Дана ситуація призводить до різної ймовірності використання каналів.

Вплив завад між каналами може бути дуже великий, проте для спрощення завдання обмежимося розглядом тільки завад в середині каналу. Тому далі при згадці завад будемо мати на увазі саме внутрішньоканальні завади. При збільшенні числа сусідніх пристроїв і/або ймовірності їх активного стану звичайно зростає ймовірність накладання сигналів на корисний сигнал, тобто збільшуються завади і знижується SINR. Можна припустити, що все це призводить до зниження QoS і, як наслідок, до зменшення зони зв'язку при D2D взаємодіях.

Для дослідження даного припущення розглянемо два випадки, характерних для міської та сільської місцевості. Наприклад, якщо розглядати територію міста, то найбільша щільність абонентських терміналів і джерел завад, відповідно, знаходиться в межах багатоповерхових будинків. У подібному випадку середня відстань між джерелами визначається розмірами середнього житлового приміщення (квартири) і за вибірковими оцінками

становить приблизно 8 м, а щільність користувачів 0,016 пристроїв/м² в межах будівлі.

Якщо розглядати сільську місцевість, то відстань між терміналами та потенційними джерелами завад визначається середньою відстанню між житловими будівлями. Вибірковий аналіз карт місцевості показав, що типові значення відстані між приватними житловими будинками становить приблизно 31 м, а щільність користувачів – приблизно 0,001 пристроїв/м². Далі будемо розглядати ці два значення як типові.

3.3 Модель каналу

Вважаючи, що потужність шуму постійна, опишемо якість каналу між вузлами i та j за допомогою відношення сигнал/(шум + завада) SINR:

$$SINR_{ij} = 10 \lg \frac{P_{ij}^{(S)}}{P_j^I}, \quad (3.1)$$

$$\text{де } P_j^I = \sum_{r=1}^k P_r^{(j)} ;$$

k – кількість джерел завад в зоні зв'язку j -го вузла;

$P_r^{(j)}$ – потужність сигналу в точці j -го вузла від r -го джерела завад.

$$P_r^{(j)} = P_r - A(d_{jr}), \quad (3.2)$$

де P_r – потужність r -го джерела завад;

d_{jr} – відстань від точки прийому до r -го джерела завад.

$$P_{ij}^{(S)} = P_i - A(d_{ij}), \quad (3.3)$$

де P_i – потужність джерела сигналу в точці передачі;

$A(d_{ij})$ – модель затухання сигналу від відстані;

d_{ij} – відстань між вузлами i та j .

Тоді досяжна швидкість передачі даних в каналі між i та j вузлами складе:

$$b_{ij} = \varphi(\text{SINR}_{ij}), \quad (3.4)$$

де $\varphi(\text{SINR}_{ij})$ – залежність швидкості передачі від відношення сигнал/(шум + завада), що визначається стандартом як номер схеми модуляції і кодування (MCS).

Під пропускнуою здатністю каналу будемо розуміти досяжну швидкість передачі, пропорційну відношенню сигнал/(шум + завада) в точці прийому. Особливість залежності пропускнуої здатності каналу від відношення сигнал/(шум + завада) полягає в тому, що стандарт IEEE 802.11 [63] передбачає, що сигнал сусідньої станції, рівень якої вище деякого значення ($P_0 = 80$ дБм) розглядається як використання каналу. Передавач в таких умовах не передає дані і відбувається їх затримка в буфері. При меншому рівні сигналу він інтерпретується як шум (завада) і дані передаються.

Однак ця оцінка проводиться на передавальній стороні, а на стороні приймача рівень завад може мати будь-яке значення.

Таким чином, всі джерела завад умовно можна розділити на дві групи: джерела, які призводять до використання каналу, їх не слід враховувати щодо SINR; і джерела, що створюють завади, рівень яких нижче порогового, їх слід враховувати в цьому відношенні. Джерела завад в точці як передачі, так і прийому одні і ті ж, відмінність сигналу завади обумовлено різними умовами поширення між джерелом завади і відповідною точкою прийому або передачі.

Розглянемо модель, наведену на рис. 3.2. Вона описує деякий інтервал часу, коли один з вузлів мережі (Tx) є передавачем, а другий (Rx) приймачем. На вході кожного з цих вузлів присутній сигнал завади, створований джерелами I_1, \dots, I_k .

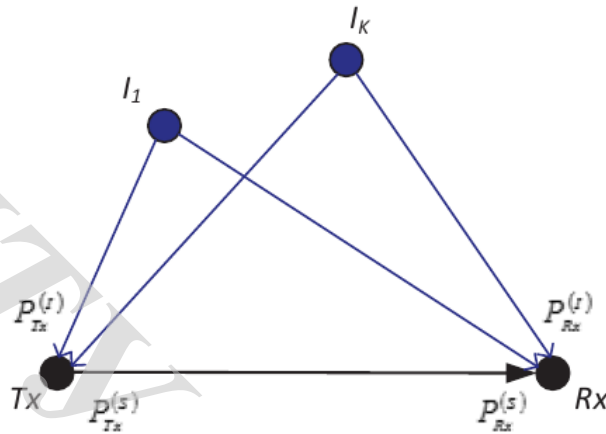


Рисунок 3.2 – Модель впливу завад

Допускаючи адитивний характер завад, потужність сигналів завади в точках передачі і прийому визначається як:

$$P_{Tx}^{(I)} = \sum_{i=1}^k a_i(P_i^{(I)}, \nu_i^{(Tx)}), \quad (3.5)$$

$$P_{Rx}^{(I)} = \sum_{i=1}^k b_i(P_i^{(I)}, \nu_i^{(Rx)}), \quad (3.6)$$

де $a_i(P_i^{(I)}, \nu_i^{(Tx)})$ і $b_i(P_i^{(I)}, \nu_i^{(Rx)})$ – функції, що описують залежність потужності завади від i -го джерела на вході відповідного пристрою від умов поширення сигналу, характеризуються множиною параметрів $\nu_i^{(Tx)}$ або $\nu_i^{(Rx)}$ відповідно. Зокрема, зробимо допущення про те, що ці залежності можуть бути описані однією функціональною залежністю, тобто моделлю затухання.

$$a_i(P_i^{(I)}, \nu_i) = b_i(P_i^{(I)}, \nu_i) = a(P_i^{(I)}, \nu_i), i = 1 \dots k, \quad (3.7)$$

де $P_i^{(I)}$ – потужність джерела завад;

ν_i – умова розповсюдження сигналу від даного джерела завад.

Зробимо також припущення про те, що умови поширення можуть бути описані відстанню до джерела завади і характеристиками перешкод на шляху поширення сигналу за допомогою моделі затухання [62].

Будемо вважати також, що стан джерела завади випадковий, тому він активний лише малий проміжок часу, який визначається параметрами трафіку і ефективністю використання часового ресурсу каналу. Можна використовувати різні методи опису цього процесу. В даному випадку будемо вважати, що середнє значення часу активного стану відомо і дорівнює η . Тоді, з урахуванням наявності механізму аналізу стану каналу, середня потужність завади на вході приймача буде визначатися:

$$\hat{P}_{Rx}^{(I)}(t) = \sum_{i=1}^k I_i \eta_i a(P_i^{(I)}, \nu_i^{(Rx)}), \quad (3.8)$$

де $I_i = \begin{cases} 1, a(P_i^{(I)}, \nu_i^{(Tx)}) < P_0 \\ 0, a(P_i^{(I)}, \nu_i^{(Tx)}) > P_0 \end{cases}$ – індикаторна (характеристична) функція, що

характеризує приналежність i -го джерела завад до групи джерел, які слід враховувати при розрахунку SINR.

Миттєве значення потужності завади:

$$\hat{P}_{Rx}^{(I)}(t) = \sum_{i=1}^k I_i S(t) a(P_i^{(I)}, \nu_i^{(Rx)}), \quad (3.9)$$

де $S(t) = \begin{cases} 1, \text{передається інформація} \\ 0, \text{канал вільний} \end{cases}$ – випадкова характеристична

функція, що описує стан i -го джерела завади. Фактично, вид $S(t)$ визначається трафіком, створеним i -м джерелом завад. Якщо допустити, що тривалість активного стану джерела завад – випадкова величина, що має експоненціальний розподіл, то агрегований в точці прийому процес також буде мати експоненціальний розподіл часу активного стану, тобто являти собою найпростіший потік. Більш того, якщо розподіл ймовірностей окремих джерел завад має розподіл відмінний від експоненціального, то відповідно до

теореми, при досить великій їхній кількості властивості агрегованого потоку будуть прямувати до властивостей найпростішого потоку.

Будемо вважати, що згукання сигналу відбувається відповідно до моделі, рекомендованої для застосування всередині приміщень [64]:

$$L(d) = 20\lg(f) + N\lg(r) + P_f(n) - 28, \quad (3.10)$$

де r – відстань (м);

f – частота (МГц);

N – коефіцієнт втрати потужності;

n – кількість перешкод;

$P_f(n)$ – параметр втрати потужності при проходженні перешкоди (дБ).

3.4 Результати імітаційного моделювання

З урахуванням (3.9) і моделі згукання (3.10) побудована імітаційна модель. На рис. 3.3а наведені результати імітаційного моделювання завади в точці прийому для пуассонівського поля джерел при щільності 0,016 пристроїв/м² і використання каналного ресурсу $\rho = 0,01$.

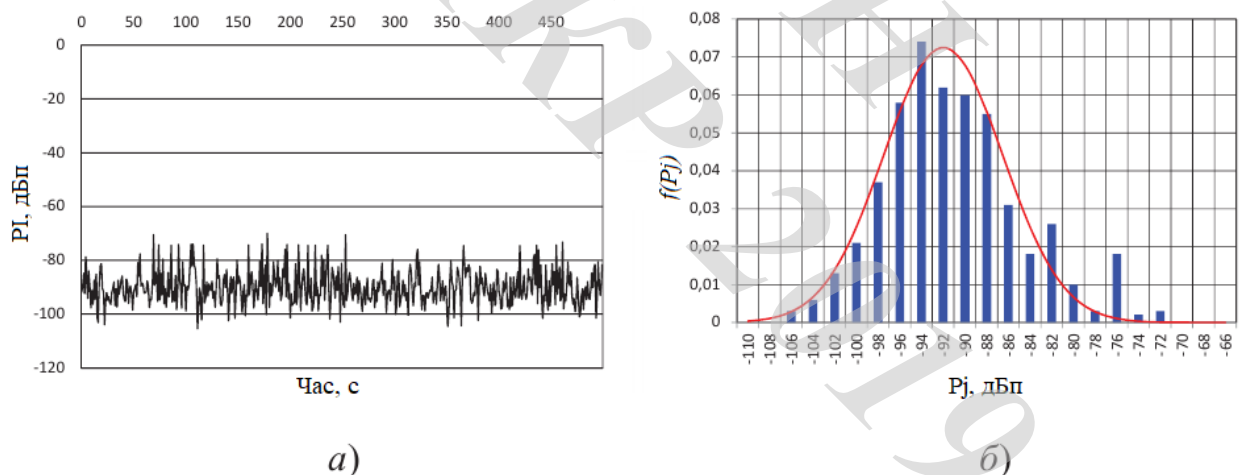


Рисунок 3.3 – Потужність завад в точці прийому і її щільність ймовірності (імітаційне моделювання)

При зазначених умовах середня потужність сигналу завади на вході приймача склала близько -92 дБп. Щільність потужності завади, також наведена на рис. 3.3б, досить близька до нормального розподілу.

За допомогою імітаційної моделі була досліджена залежність потужності завади в точці прийому від щільності пристроїв при різній інтенсивності використання каналу [16]. На рис. 3.4 представлена отримана в результаті моделювання залежність, при середньому використанні каналу 0,01, 0,1 і 0,5 і зміна щільності пристроїв від 0,0005 до 0,02 пристроїв/м². При моделюванні потужності всіх джерела вважаються однаковими і рівними 20 дБп, всі джерела випадковим чином розміщені в прямокутній області площею 40 000 м².

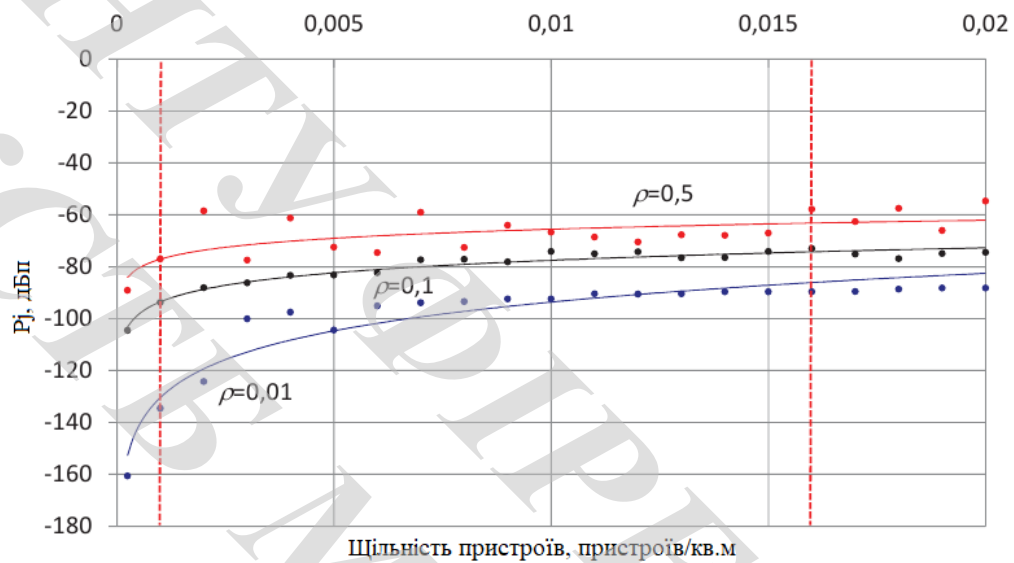


Рисунок 3.4 – Залежність потужності сигналу завади в точці прийому від щільності пристроїв при різній інтенсивності використання каналу

Отримані залежності досить добре можуть бути описані логарифмічним законом виду:

$$P_i = a \lg(d) - b(\partial Bn), \quad (3.11)$$

де a і b – константи. У табл. 3.1 наведені значення a і b для різного використання каналних ресурсів ρ .

Таблиця 3.1 – Параметри апроксимації

Використання каналу ρ	Значення a	Значення b
0,01	16	19,9
0,1	6,9	45,5
0,5	5	

Апроксимація результатів моделювання дозволила отримати просту емпіричну функцію, що дозволяє встановити залежність потужності завад від щільності пристроїв і інтенсивності трафіку:

$$P_I = \frac{3,8}{\rho^{0,3}} \lg(d) - 6,8 \lg(\rho) - 53,1 (\text{дБн}), \quad (3.12)$$

де d – щільність пристроїв/м²;

ρ – інтенсивність використання каналу.

На рис. 3.5 наведено приклад залежності швидкості ПД для характерних значень щільності пристроїв 0,016 і 0,001 при використанні стандарту IEEE 802.11n. У прикладі взята модель затухання сигналу для багатоповерхового будинку в типових умовах міської забудови (нижня крива) і для типового випадку розміщення приватних будівель в сільській місцевості (верхня крива). Дискретний характер залежності визначається набором схем модуляції і кодування (MCS) в обраному стандарті. Для демонстрації виграшу (в відстані) на рисунку виділена різниця відстані між користувачами при швидкості до 39 Мбіт/с. Вона становить приблизно 49 м. Ця величина дуже суттєва, так як в деяких випадках перевершує допустиму дальність зв'язку в умовах міста.

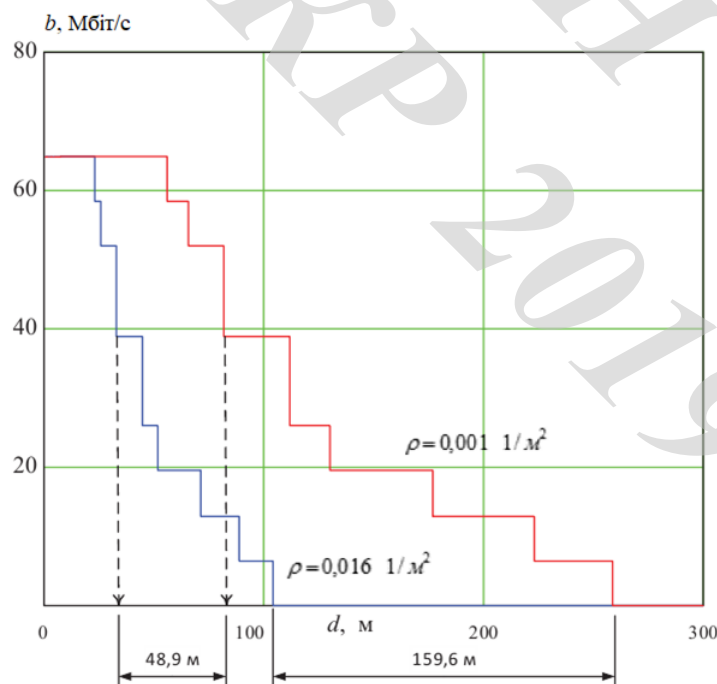


Рисунок 3.5 – Залежність досяжної швидкості передачі даних для стандарту IEEE 802.11n при різній щільності терміналів

Як видно з отриманих результатів, для типових значень, характерних для щільності терміналів в міській та сільській місцевості, різниця потужності сигналу інтерференції становить близько 45 дБ (при малому використанні каналного ресурсу 0,01) і близько 20 дБ (при відносно високому – 0,1...0,5). Фактично, це означає, що аналогічні результати будуть мати місце і для відношення SINR. Це дозволяє істотно збільшити зону зв'язку і QoS трафіку. Приклади численних оцінок демонструють відчутний вигравш в швидкості ПД і дальності зв'язку в умовах низької щільності терміналів.

3.5 Маршрутизація трафіку в мережі бездротового зв'язку, побудованої з застосуванням D2D технологій

Перспективні мережі зв'язку 5G є гетерогенними, що виражається у використанні різних технологій на рівні мереж доступу, і застосування різних методів побудови мереж. Наприклад, застосування технологій D2D, в мережах 5G, дає додаткові можливості в частині підвищення ефективності використання мережевих ресурсів. Застосування позасмугової технології D2D дає потенційну можливість організації мережі досить великого масштабу [5, 32, 54].

Спільне використання D2D технологій дає можливість побудови спеціалізованої мережі, на базі абонентських терміналів, що підтримують дану функціональність. Якість функціонування такої мережі може бути описано основними параметрами, критичними для реалізації певних послуг. Якщо цільовою послугою є доставка даних, які не критичні до затримки і допускають втрати, то основним показником може бути ймовірність доставки пакета даних. Очевидно, що ця ймовірність істотно залежить від структури мережі, як фізичної, так і логічної [66]. Якщо зміна фізичної структури можлива лише з залученням додаткових ресурсів, то зміна логічної структури забезпечується застосовуваними протоколами маршрутизації.

Ефективність маршрутизації трафіку можна оцінити якістю обраних маршрутів. При цьому критерій вибору повинен враховувати ті властивості мережі, які найбільшою мірою відбиваються на якості маршруту.

Якість каналу між двома сусідніми вузлами залежить від ряду факторів, що впливають на поширення радіосигналу і його обробку в радіоприймальному пристрої. В першу чергу, це фактори, що впливають на відношення SINR, такі як відстань, що визначає згасання сигналу в

середовищі поширення і завади, які мають місце в точці прийому [42, 43, 67]. В умовах мережі високої щільності слід очікувати, що найбільша частина завад буде створюватися завадами в середині каналу [68]. Таким чином, при маршрутизації трафіку в бездротовій мережі слід визначити критерій, що враховує ці основні чинники.

У роботі запропоновано метод вибору маршрутів з урахуванням внутрішньоканальних завад, створюваних вузлами мережі.

3.5.1 Формулювання завдання

Характер взаємного впливу вузлів мережі бездротового зв'язку, що використовують один і той же частотний канал, може проявлятися двояко. Розглянемо ситуацію коли, деякий вузол (передавач) мережі повинен передати дані іншому вузлу мережі (приймачу), що знаходиться в його зоні зв'язку. Інші вузли мережі також можуть обмінюватися даними. Сигнали, утворенні передавачами цих вузлів, матимуть місце в точках розміщення розглянутих вузлів. Будемо називати їх сторонніми сигналами, а сигнали, утворенні передавальним вузлом корисними.

По-перше, якщо потужність стороннього сигналу в точці розміщення передавача корисного сигналу досить велика, то передавач корисного сигналу розцінює стан середовища як зайняте і очікує його звільнення. У цьому випадку відбуваються втрати за часом, тобто зростає навантаження на канал.

По-друге, якщо потужність завади в цій точці досить мала, то передавач виконує передачу корисного сигналу, а сигнал від іншого джерела в точці прийому створює заваду і знижує відношення сигнал/(шум + завада). В такому випадку, зниження відношення сигнал/шум, призводить до вибору більш низькій швидкості передачі даних в каналі.

Як можна помітити, в обох випадках, наявність стороннього сигналу призводить до зменшення пропускної здатності каналу між розглянутими вузлами. Таким чином, при побудові маршруту слід прагнути до збільшення потужності корисного сигналу, зменшення енергії сторонніх сигналів, в точці прийому, що можна висловити через відношення SINR.

$$b_{ij} = \varphi(\text{SINR}_{ij}), \quad (3.13)$$

де $\varphi(SINR_{ij})$ – залежність швидкості передачі від співвідношення сигнал/шум, обумовлена стандартом як номер схеми модуляції і кодування (MCS).

Типова залежність пропускної здатності для стандарту IEEE 802.11n [63] приведена на рис. 3.6.

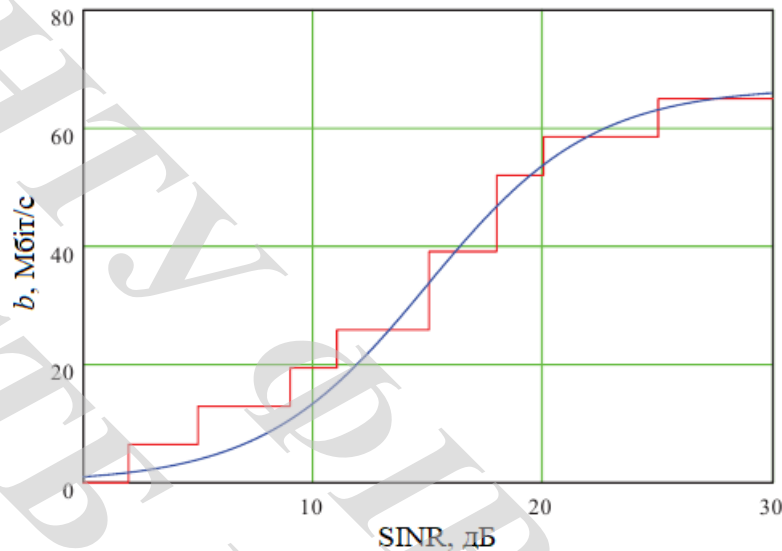


Рисунок 3.6 – Залежність пропускної здатності від відносини SINR сигналу на вході приймача (IEEE 802.11n)

Для зручності обчислень дискретну функцію можна апроксимувати безперервною функцією. В даному випадку використана S-крива виду:

$$\tilde{b}_{ij} = \frac{b_m}{1 + e^{-\frac{x-x_0}{b_0}}} \text{ (Мбіт / с)}, \quad (3.14)$$

де x_0 – точка згину (дБ);

b_0 – нахил кривої (дБ).

Відношення SINR є визначальним, проте, в ньому враховуються лише потужності, тобто миттєві або середні значення і не враховується трафік, утворений вузлами мережі, який в кінцевому результаті, визначає ступінь взаємовпливу. Наприклад, мале гіпотетичне значення SINR, без урахування трафіку, ще не говорить про низьку якість каналу. Якщо враховуються в цьому

відношенні вузли, які не створюють трафік, то фактичне значення потужності завади дорівнюватиме нулю.

3.5.2 Модель маршруту

Пропускна здатність маршруту визначається пропускною здатністю на його «найгіршій» ділянці. Таким чином, ділянка маршруту, що має найменший відношення SINR визначає його максимальну пропускну здатність.

Розглянемо модель мережі у вигляді графа з заданою множиною вершин V і дуг A . $G(V,A)$ в якому вершини відповідають вузлам мережі, а дуги зв'язкам між ними. Зв'язки між вершинами характеризують властивості каналів, які в загальному випадку не симетричні. Якщо граф зв'язний, то між будь-якою парою вершин s і t може існувати один або більше шляхів, в загальному випадку множина шляхів – Π_{st} . Кожен шлях в графі P між вершинами s і t містить деяку кількість ділянок k , кожна з ділянок описується відповідною дугою $P_{st} = \{a_{s_1}, a_{ij}, \dots, a_{mk}\}$. Кожна з дуг a_{ij} має відповідне чисельне значення b_{ij} , що відображає його пропускну здатність. Зокрема, можна вважати, що $a_{ij} = b_{ij}$.

Таким чином, завдання вибору маршруту в даному випадку можна сформулювати як задачу оптимізації, яка полягає у виборі маршруту з максимальною пропускною здатністю, яка визначається ділянкою з мінімальною пропускною здатністю, тобто:

$$P_{ij}^{(\max)} = \max_{P_{ij} \in \Pi_{ij}} \left\{ \min(a \in P_{ij}) \right\}, \quad (3.15)$$

Якщо прийняти модель пропускної здатності (3.14) як монотонну неспадну дискретну функцію від SINR [54], то в якості значення a_{ij} може бути вибрано і значення $SINR_{ij}$, в цьому випадку, якість маршруту буде визначатися ділянкою з мінімальним значенням $SINR_{ij}$. Це твердження може бути доведено на основі властивостей монотонної неспадної функції і прийнятих припущень.

Доведемо, що вибір маршруту з максимальною пропускною здатністю за критерієм максимуму мінімального значення для всіх ділянок маршруту, є

еквівалентним вибору маршруту за критерієм максимуму мінімального значення SINR для всіх ділянок маршруту.

Умови: нехай маршрут складається з k ділянок $P_{st} = \{a_{si}, a_{ij}, \dots, a_{mk}\}$, кожна з яких характеризується величиною пропускної здатності b , залежність якої від величини SINR, описується не спадною монотонною функцією $b_{ij} = f(SINR_{ij})$. При цьому пропускна здатність маршруту дорівнює $B_{ij} = \min \{b \in P_{ij}\}$.

Доведення: якщо мінімальна пропускна здатність для всіх ділянок маршруту дорівнює $\min \{a_{ir}, a_{r,g}, \dots, a_{i,j}\} = a_{m,n}^{(\min)}$, що означає, що ця величина найменша з усіх значень пропускної здатності $a_{m,n}^{(\min)} \leq (\forall a_{ij} \in P_{ij})$, а значення пропускної здатності може бути визначено як $a_{ij} = f(SINR_{ij})$ і визначається в свою чергу з $f(SINR_{ij}) \leq (\forall f(SINR_{ij}) \in P_{ij})$ в сил у того, що f монотонна не спадаюча функція.

Для вирішення даного завдання пошуку маршруту з максимальною пропускною здатністю можуть бути використані алгоритми з теорії графів.

В якості вихідного параметра можна використовувати величину SINR. Алгоритм вибору маршруту може бути різний, в залежності від застосовуваного протоколу маршрутизації. Як приклад розглянемо застосування алгоритму, заснованого на використанні трикомпонентної функції виду:

$$SINR_{ij} = \max \{SINR_{ij}, \min(SINR_{ik}, SINR_{kj})\}, \quad (3.16)$$

де $SINR_{ij}$ – це відношення SINR на вході приймача вузла j при прийомі сигналу від вузла i , яке визначається наступним чином:

$$SINR_{ij} = \lg \frac{P_{ij}}{P_N + P_I} (\text{дБ}), \quad (3.17)$$

де P_{ij} – потужність сигналу, що передається i -м вузлом на вхід j -го вузла з урахуванням затухання сигналу в середовищі поширення (Вт);

P_N – потужність шуму на вході j -го вузла (Вт);

P_I – потужність інтерференції на вході j -го вузла (Вт).

У мережі з відносно високою щільністю $P_I \gg P_N$, можна зробити припущення, що:

$$SINR_{ij} \approx \lg \frac{P_{ij}}{P_{I(ij)}} (\text{дБ}), \quad (3.18)$$

де $P_{I(ij)}$ – сумарна потужність інтерференції утвореної вузлами мережі на вході j -го вузла.

Припустимо, що гіпотетична сумарна потужність сигналів інтерференції, може бути отримана простим підсумовуванням потужності сигналів від відповідних вузлів при припущенні, що всі вони одночасно передають ці сигнали:

$$P_{i(ij)} = 0,001 \sum_{k=1}^n 10^{\frac{P_k - A(d_{ik})}{10}} (Bm), k \neq i, j, \quad (3.19)$$

де P_k – потужність сигналу на виході передавача k -го вузла (дБп);

$A(d_{ij})$ – затування сигналу, утвореного k -м вузлом в зоні розміщення j -го вузла (дБ);

d_{ij} – відстань між k -м та j -м вузлом (м).

Для залежності затування від відстані може бути обрана модель, з найбільшою відповідністю реальним умовам розповсюдження сигналу.

Вважаючи, що більшість користувачів D2D зосереджені всередині приміщень, опишемо затування сигналу моделлю, рекомендованою для застосування всередині приміщень [64]:

$$A(d) = 20 \lg(f) + N \lg(d) + P_f(n) - 28 (\text{дБ}), \quad (3.20)$$

де d – відстань (м);

f – частота (МГц);

N – коефіцієнт втрати потужності;
 n – кількість перешкод;
 $P_f(n)$ – параметр втрати потужності при проходженні через перешкоду (дБ).

3.5.3 Комплексний метод вибору маршруту

Величина потужності, як було зазначено вище, є гіпотетичною. Вона відображає лише потенційно можливу потужність завади, за умови, що всі вузли мережі, що створюють завади, одночасно знаходяться в стані передачі. Зрозуміло, що практично, ймовірність такої ситуації прагне до нуля. Однак, дана модель корисна, так як дає можливість знайти маршрути, найменш схильні до завад.

Використовуючи для вибору маршруту критерій (3.16) ми вважаємо, що величина SINR є визначальною величиною, однаково критичною для всіх ділянок маршрутів. Таке твердження справедливе, в тому випадку, коли активність всіх вузлів мережі строго однакова і визначається трафіком. Дійсно, сигнал завади має місце лише в тому випадку, коли відповідний вузол передає дані, а ймовірність цього ρ_i визначається інтенсивністю утвореного трафіку a_i .

$$\rho_i = a_i / b_i, \quad (3.21)$$

де b_i – пропускна здатність каналу (біт / с);

a_i – інтенсивність трафіку (біт / с).

Таким чином, при наявності в мережі даних про інтенсивність трафіку, величина ρ_i характеризує ступінь впливу завади утвореної відповідним вузлом на пропускну здатність ділянки маршруту. Енергія сигналу утвореного i -м вузлом мережі за час Δt дорівнює $e_i = \rho_i P_i \Delta t$, тоді величину $\rho_i P_i$ можна розглядати як середню потужність сигналу утворену i -м вузлом мережі \bar{P}_i . У такому випадку вираз (3.17) можна модифікувати з урахуванням впливу трафіку, замінивши P_k на їх середні значення $\bar{P}_k = \rho_k P_k$. Тоді результуюче значення відношення сигнал/(шум + завада), отримане згідно (3.15) або (3.16)

також потрібно буде розглядати як середнє значення $\overline{SINR_{ij}}$. Використовуючи цей показник в задачі вибору маршруту, результат вибору маршруту з найбільшою пропускнуою здатністю буде визначатися як відношення сигнал/(шум + завада), так і трафіком утвореним вузлами мережі.

Друга модель є більш загальною, тому що в разі, коли всі значення інтенсивності трафіку рівні $\rho_i = \rho \ i=1..n$, її застосування еквівалентно застосуванню першої моделі.

Корисність першої моделі полягає в тому, що вона демонструє випадок, коли слід враховувати тільки вплив SINR і не слід враховувати трафік. На практиці, це може мати місце тоді, коли величина трафіку невідома і її доводиться прийняти рівною для всіх вузлів мережі, або коли інтенсивність трафіку настільки висока, що слід орієнтуватися виключно на мінімальний вплив сусідніх вузлів мережі.

Варто відзначити, що в разі, коли інтенсивність трафіку вузлів мережі мале, і його впливом можна знехтувати, то вираз (3.16) для SINR втрачає сенс і його слід замінити виразом для потужності корисного сигналу

$$P_{ij} = 10 \lg \frac{P_{ij}}{0,001} \text{ (дБп)}$$

і далі вирішувати завдання пошуку маршруту тільки з урахуванням цих значень.

Для дослідження маршрутів була побудована імітаційна модель, що описує маршрутизацію в мережі, розміщеної в двовимірному просторі в зоні обслуговування, що представляє квадрат зі стороною 200 м. У зоні обслуговування вузли мережі розміщені випадковим чином, тобто координати x і y вузлів мережі являють собою незалежні випадкові числа з рівномірним законом розподілу. Вважаємо, що кожен з вузлів мережі може бути пов'язаний з будь-якими вузлами. При дослідженні вибираються випадкові пари вузлів і будуються маршрути між ними.

На рис. 3.7 наведені результати імітаційного моделювання вибору маршруту між двома вузлами мережі відповідно до критерію мінімальної відстані і максимальної пропускної здатності з урахуванням завади.

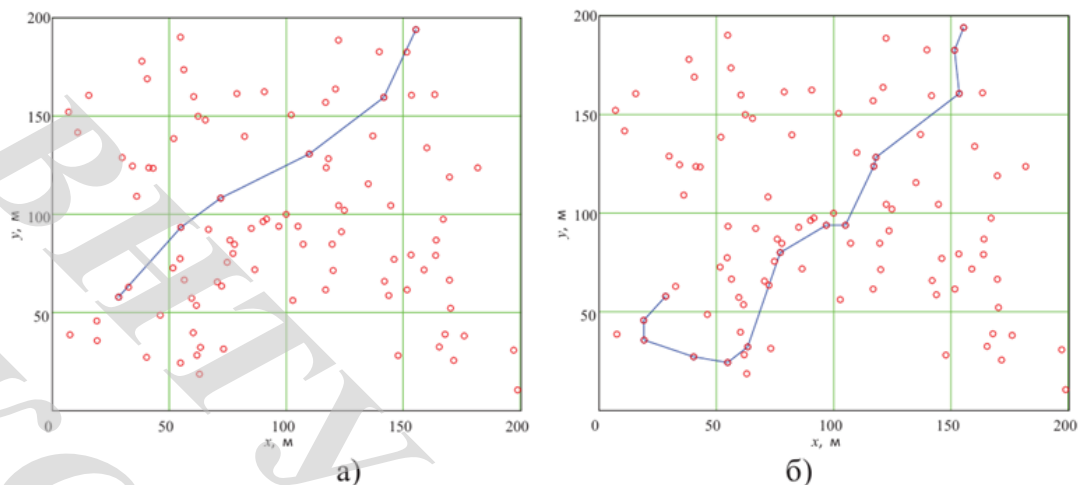


Рисунок 3.7 – Приклади вибору маршрутів а) критерій довжини (відстані), б) максимальна пропускна здатність

Видно, що протяжність маршруту, побудованого за другим критерієм суттєво більше, в першому випадку 4 транзитних вузла, в другому 12 транзитних вузлів.

На рис. 3.8 наведені приклади вибору маршруту між двома вузлами мережі відповідно до критерію максимальної пропускної здатності з урахуванням інтерференції і максимальної пропускної здатності з урахуванням інтерференції і інтенсивності трафіку.

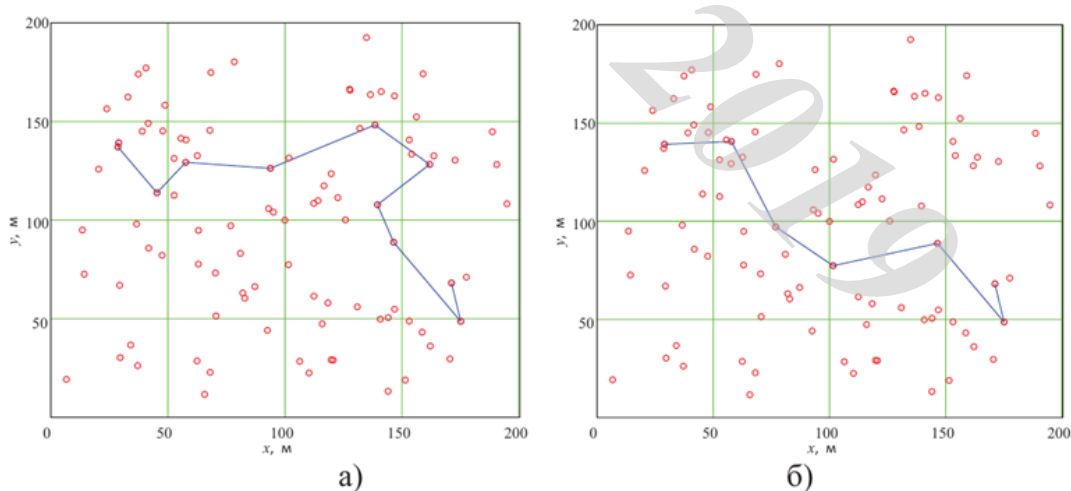


Рисунок 3.8 – Приклади вибору маршрутів а) без урахування інтенсивності трафіку б) з урахуванням інтенсивності трафіку

З наведених прикладів видно, що прийняття в розрахунок інтерференції утвореної сигналами вузлів мережі істотно впливає на вибір маршруту. Аналіз результатів імітаційного моделювання показав, що в порівнянні з маршрутом обраним за критерієм відстані, в середньому збільшується кількість транзитів. Це пояснюється вибором ділянок з максимальним відношенням SINR, величина якого обернено пропорційна відстані між передавальними і приймальними вузлами. Збільшення кількості транзитів, в загальному, є фактором, що негативно впливає на якість маршруту, тому, його доцільно враховувати при пошуку рішення. Розглянемо комплексний критерій вибору маршруту по максимальній пропускну здатності і мінімальній кількості транзитів.

Так як одночасне застосування двох критеріїв на кожному кроці процесу пошуку маршруту неможливо, то сформулюємо умову для використання одного з них.

Можна припустити, що примусове застосування критерію (3.16) не завжди виправдано. Наприклад, якщо різниця між $SINR_{ij}$ і $\min(SINR_{ik}, SINR_{kj})$ мала, то вибір додаткового транзиту через k -й вузол не виправданий.

$$SINR_{ij} = \begin{cases} \max\{SINR_{ij}, \min(SINR_{ik}, SINR_{kj})\}, \\ |SINR_{ij} - \min(SINR_{ik}, SINR_{kj})| > \varepsilon_0 \\ SINR_{ij} \end{cases} \quad (3.22)$$

В такому випадку необхідно оцінити «критичне» значення ε_0 , перевищення, якого робить виправданим збільшення кількості транзитів.

Для вибору цієї величини будемо виходити з таких міркувань. Збільшення кількості транзитних вузлів у маршруті збільшує трафік, утворений в мережі, отже, і потужність завади для інших вузлів мережі, тим самим зменшуючи для них відношення SINR. Будемо вважати, що рішення про вибір додаткового транзитного вузла доцільно лише тоді, коли вигрощ, який виражається через ε_0 в (3.22) перевищує зниження величини SINR для інших вузлів. Опис даного алгоритму наведено в додатку Є.

На рис. 3.9 наведені результати імітаційного моделювання маршрутів за критеріями довжини, максимальної пропускну здатності і комбінованого критерію. Найкоротший маршрут, який наведено на рис. 3.9а, містить

мінімальну кількість транзитів, що дорівнює 7 транзитним вузлам. Маршрут обраний з урахуванням пропускної здатності, при припущенні однакової інтенсивності трафіку всіх вузлів, наведено на рис. 3.9б, він містить 30 транзитних вузлів. Результати, отримані при використанні комбінованого критерію, наведені на рис. 3.9в і 3.9г, вони містять 18 і 10 транзитних вузлів, відповідно. Різниця між двома останніми результатами полягають у тому, що в першому випадку (рис. 3.9в) критична величина $\varepsilon_0 = 2$ дБ, а в другому випадку (рис. 3.9г) $\varepsilon_0 = 5$ дБ.

Отримані результати показали, що застосування простих критеріїв вибору маршруту по одному з параметрів дають рішення, які можуть виявитися, на практиці, малопридатними через занадто велику кількість транзитів, а також ігнорування впливу обраного маршруту на інші вузли мережі.

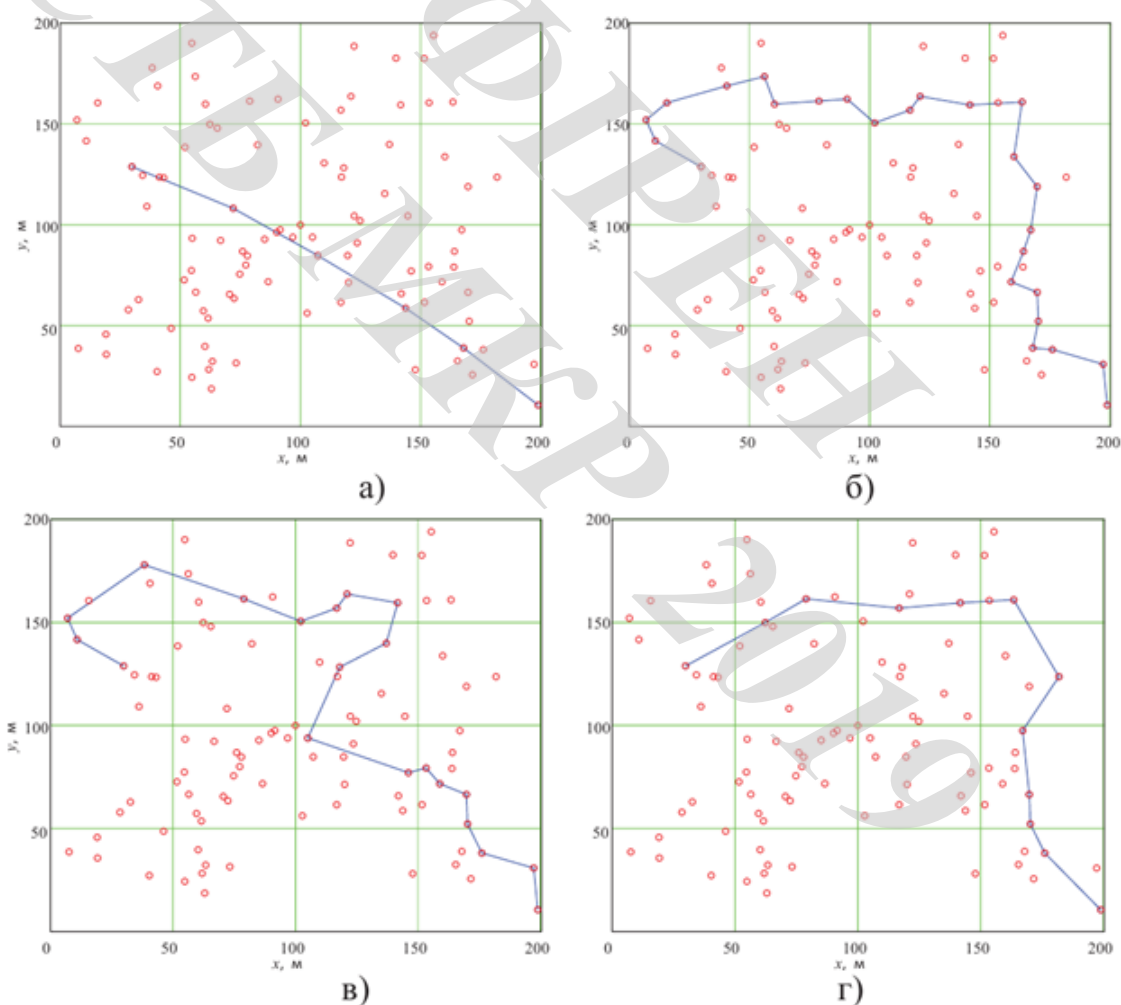


Рисунок 3.9 – Приклади вибору маршрутів а) за критеріями довжини, б) максимальної пропускної здатності, в), г) комбінованого критерію

Запропонований метод вибору маршруту з застосуванням комбінованого критерію, що представлений виразом (3.22), дає можливість знайти компроміс між кількістю транзитів і якістю маршруту.

Як було зазначено вище, параметри обраного маршруту впливають на мережу зв'язку. Кожен з транзитних вузлів маршруту обслуговує утворений ним трафік, а не транзитний трафік. Один вузол може використовуватися в декількох маршрутах, отже, величина обслуговуваного ними трафіку буде визначатися кількістю маршрутів в яких він виконує роль транзитного вузла. Будемо вважати, що всі вузли утворюють трафік однакової інтенсивності a_0 , опишемо величину трафіку, що обслуговується вузлом відношенням a/a_0 , де a – загальний трафік, який обслуговується вузлом мережі.

На рис. 3.10 наведені результати дослідження за допомогою імітаційного моделювання залежності відносної величини трафіку, що обслуговується вузлом від величини виграшу a_0 .

Опишемо цей вплив на мережу середньою величиною трафіку, що обслуговується вузлом мережі.

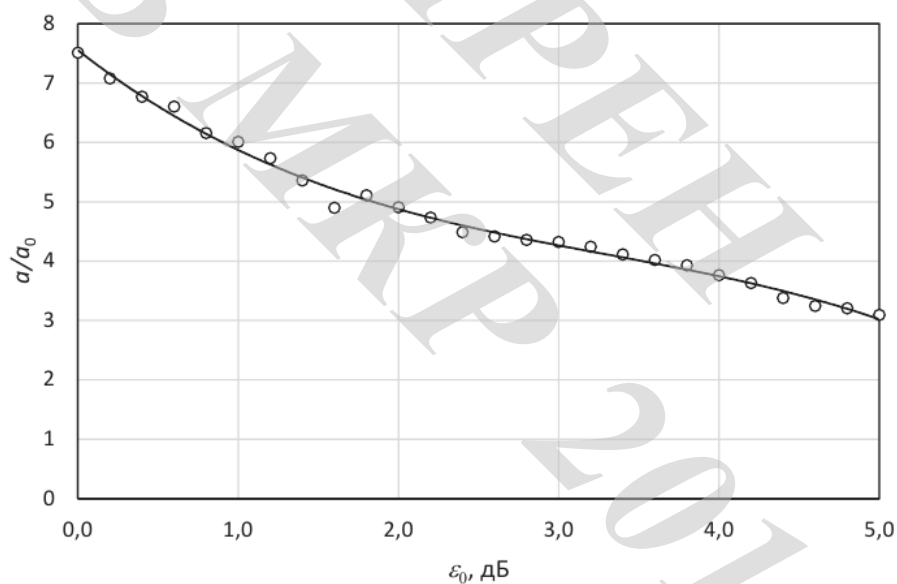


Рисунок 3.10 – Залежність відносної величини навантаження на вузол мережі від величини виграшу ε_0

З результатів наведених на рис. 3.10 видно, що зі збільшенням відносної величини трафіку, що обслуговується вузлом, величина виграшу зменшується. Це пов'язано зі зменшенням довжини маршруту. Ці дані можна інтерпретувати

як те, що в середньому, кожен з вузлів мережі обслуговує від 3 при $\varepsilon_0 = 5$ дБ до 7,5 при $\varepsilon_0 = 0$ дБ потоків трафіку.

Потужність завади, отже, і величина SINR і характеристики маршруту, згідно з наведеними вище міркуваннями залежать від взаємного розташування вузлів мережі, яке в свою чергу визначається конкретною реалізацією мережі, тобто може бути найрізноманітнішим. Для прийнятого в імітаційної моделі пуассонівського поля, мережу зручно описати використовуючи абонентську щільність, тобто кількість терміналів на одиницю площі. У такому випадку потужність завади і довжина маршруту будуть залежати від щільності вузлів мережі. На рис. 3.11 наведено залежності отримані в результаті імітаційного моделювання.

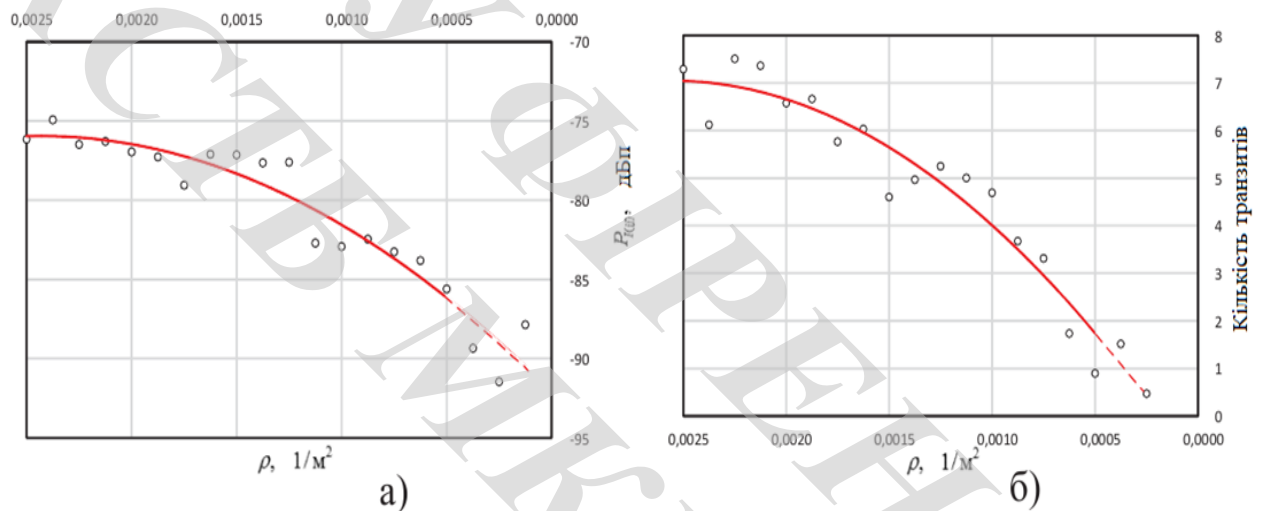


Рисунок 3.11 – Зміна потужності інтерференції зі зміною щільності вузлів мережі

Отримані залежності показують, що зі зменшенням щільності користувачів зменшуються, як середня потужність завади, так і середня довжина маршруту. З урахуванням наведених вище міркувань ці результати цілком очікувані. Вони підтверджують те, що в умовах мережі з низькою щільністю організація маршрутів може бути ефективним засобом побудови мережі.

Права частина кривих на рис. 3.11 а і б, при щільності менше $0,005 1/m^2$, має, скоріше, теоретичний сенс, тому що при занадто малій щільності терміналів відстані між ними зростають настільки, що ймовірність побудови маршруту, при випадковому розподілі вузлів, прямує до нуля. Практично

побудова маршрутів в такому випадку доцільна лише в конкретних випадках, тобто при не випадковому виборі положення вузлів мережі.

Наведена вище гіпотетична модель мережі передбачає, що кожен з вузлів може виконувати функції транзитного вузла, проте в реальній мережі це не завжди так. Тому, предметом подальших досліджень може бути дослідження методів вибору транзитних вузлів в залежності від параметрів функціонування мережі.

3.6 Висновки

1) Застосування технології D2D дозволяє істотно розширити можливості бездротової мережі зв'язку за рахунок вивантаження частини трафіку з базової мережі та децентралізації її обслуговування.

2) За допомогою імітаційного моделювання була встановлена емпірична залежність потужності завади від щільності пристроїв і інтенсивності трафіку, що обслуговується ними.

3) Визначено, що для типових значень щільності користувачів і пристроїв в міській і в сільській місцевості різниця потужності завод може становити від 20 до 45 дБ, що забезпечує істотний вииграш в якості і дальності зв'язку в сільських умовах по відношенню до міських умов.

4) Отримані результати показують, що технології D2D в умовах низької щільності користувачів і пристроїв мають навіть більшу ефективність за рахунок низького рівня інтерференції, і як наслідок, підвищення QoS і дальності максимального зв'язку.

5) Потенційні можливості D2D технологій дозволяють об'єднати в мережу значну кількість пристроїв, якщо останні мають функціональні можливості маршрутизації трафіку.

6) Теоретично, існуюча абонентська щільність терміналів дозволяє побудувати мережу з високою ймовірністю зв'язності, що дає потенційну можливість доставки даних, використовуючи тільки ресурси кінцевих пристроїв.

7) Маршрутизація трафіку в мережі бездротового зв'язку побудованої із застосуванням D2D може реалізовуватися на основі різних алгоритмів і критеріїв вибору маршрутів.

8) Найбільш універсальним критерієм вибору маршруту є пропускна здатність, яка пов'язана зі відношенням сигнал/(шум + завада).

9) Вибір маршруту з урахуванням впливу внутрішньоканальних завад, тільки на ділянки маршруту, призводить до збільшення його довжини.

10) Запропоновано комплексний критерій і метод вибору маршрутів з урахуванням впливу внутрішньоканальних завад як на елементи маршруту, так і на елементи всієї розглянутої мережі.

11) Запропонований метод дозволяє отримати компромісне рішення, яке враховує як якість обраного маршруту, так і ступінь впливу цього рішення на якість функціонування мережі.

12) Результати імітаційного моделювання підтвердили, що в мережі з відносно низькою щільністю користувачів організація маршрутів з використанням D2D технології може забезпечити побудову мережі досить великого масштабу.

4 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ НА БАЗІ ТЕХНОЛОГІЇ D2D З ВИКОРИСТАННЯМ ДОДАТКОВИХ МАРШРУТИЗАТОРІВ

4.1 Позасмугова кластеризація

Побудова перспективних мереж зв'язку п'ятого покоління 5G [31] передбачає широке використання таких методів підвищення ефективності функціонування мережі, як внутрішньосмугової і позасмугової маршрутизації.

Позасмугова кластеризація в даний час реалізується з використанням технології Wi-Fi Direct, яка дозволяє реалізувати канал зв'язку з найближчими пристроями «безпосередньо», тобто оминаючи базову станцію мережі рухомого зв'язку. Така можливість у перспективних мережах розглядається як додаткова функціональність абонентських терміналів, що дозволяє створювати мережі з використанням тільки горизонтальних зв'язків. Подібні можливості можуть знайти застосування в умовах відмов обладнання мережі оператора зв'язку, в надзвичайних ситуаціях, при перевантаженнях мережі, а також в нормальних умовах з метою вивантаження трафіку з мережі рухомого зв'язку.

Наприклад, в роботах [20, 28] робиться аналіз потенційних можливостей побудови мережі в умовах високої щільності абонентських терміналів. Ці можливості забезпечують високу ймовірність побудови горизонтальних зв'язків в мережі значного масштабу.

Звичайно, що існують фізичні обмеження, які не дозволяють побудувати мережу довільного масштабу. Розмір мережі обмежений, перш за все, ресурсами загального середовища поширення. Однак, в ряді випадків, при відносно малій інтенсивності трафіку, а також при вирішенні питань організації протоколів маршрутизації, можлива побудова мережі досить великого масштабу.

Як було зазначено вище, побудова таких мереж дає додаткові можливості в забезпеченні надійності зв'язку між абонентами, а також дає можливість організувати збір і доставку даних з пристроїв Інтернет Речей.

4.2 Кооперативні мережі

Розглядаючи таку мережу як самоорганізуючу, виникає ряд питань, пов'язаних з використанням ресурсів абонентських терміналів. Звичайно, що при побудові такої мережі можуть використовуватися тільки термінали тих користувачів, які прийняли відповідні умови і дозволили використання їх терміналів. Таке використання, потенційно, несе ряд негативних для користувача моментів, таких як додаткові витрати енергії, а також додаткові загрози безпеки особистих даних. При цьому кількість потенційних користувачів буде набагато менше, ніж загальна кількість користувачів мережі, що тягне за собою зменшення щільності терміналів-вузлів мережі, а, отже, і потенційних можливостей організації горизонтальних зв'язків.

Ця проблема в свій час стала перешкодою на шляху широкого впровадження так званих кооперативних мереж. Теорія кооперативних мереж була вельми популярна на етапі розробки і впровадження систем LTE [69]. До розробки та впровадження систем LTE зона базової станції представляла собою радіальну мережу. Добре відомо, що така структура не тільки ненадійна, але і неефективна як по енергоспоживанню, так і в питаннях забезпечення необхідної якості обслуговування і сприйняття, особливо для користувачів, що знаходяться на кордоні зони обслуговування.

До моменту розробки та впровадження систем тривалої еволюції зона базової станції вже перестала бути однорідною і придбала всі риси гетерогенності. Дійсно, в зоні базової станції, найчастіше і одночасно, функціонували бездротові сенсорні мережі WSN, мережі транспортних засобів VANET, медичні мережі MBAN. Якщо будь-який з об'єктів цих мереж опинявся ближче до базової станції, то теоретично його можна було б використовувати в якості транзитного вузла, зменшуючи при цьому енергоспоживання терміналів мережі і покращуючи якість обслуговування за рахунок скорочення граничних відстаней між об'єктами. Відомо, що пропускна здатність на маршруті визначається як пропускна здатність найгіршої ділянки. У такій гетерогенній мережі довжина найгіршої ділянки зменшувалася в порівнянні з безпосереднім з'єднанням між терміналом мережі і базовою станцією. Крім того, мережа переставала бути радіальною, і переходила в розряд mesh мережі, при цьому могла бути забезпечена кращою надійністю. Однак широкого поширення кооперативні мережі не отримали по ряду організаційно-технічних причин.

Традиційно в рамках досліджень по кооперативним мереж розглядалися три варіанти кооперації. Найбільш простим варіантом була установка додаткових ретрансляторів в зоні базової станції, наприклад, в місцях поганої радіовидимості або на кордонах зони охоплення базової станції. Однак цей варіант масово не міг застосовуватися в силу суттєвих витрат на установку додаткового обладнання. У необхідних випадках цей варіант використовувався і використовується, але масовим він не став по згаданій вище причини.

Другий варіант кооперації був пов'язаний якраз з згадуваними вже гетерогенними мережами, коли в якості додаткових ретрансляторів могли бути використані головні вузли або базові станції бездротової сенсорної мережі, автомобільні мережі, базові станції медичної мережі. Однак, як правило, ці елементи мережі належать різним операторам і провайдерам, що не дає знайти компромісний варіант їх спільного використання з терміналами стільникових мереж.

Найпривабливішим представлявся третій варіант створення кооперативних мереж. У цьому випадку в якості кооператорів виступали самі термінали користувачів мережі, які перебували ближче до базової станції, ніж термінал, запитує службу кооперативної мережі для отримання кращої якості обслуговування, та ще й при менших витратах енергії. Було запропоновано досить велика кількість моделей побудованих, в основному, на положенні про те, що термінал-кооператор отримує якісь бали за рахунок надання функції кооперації і додаткової витрати енергії, які він може потім використовувати в якості платежів за обслуговування, сам запитує кооперативне обслуговування при знаходженні, наприклад, поблизу кордону зони обслуговування базової станції. Однак знайти підходящу процедуру і зацікавити користувачів мережі такими послугами також не вдалося.

При цьому дослідні роботи в області кооперативних мереж дозволили виявити їхні переваги та недоліки, і використовувати позитивний досвід в дослідженнях з побудови мереж зв'язку п'ятого покоління. Як вже вище зазначалося, мережі зв'язку п'ятого покоління є гетерогенними, надщільними і з ультра малими затримками. Властивість надщільності якраз добре поєднується з теорією кооперативних мереж, коли потрібно знайти відповідний для кооперації вузол мережі. Особливо це помітно на прикладі мереж зв'язку D2D. Дійсно, переходячи від розгляду D2D тільки як взаємодії до створення D2D мереж необхідно забезпечити транзитні функції для

окремих вузлів мережі D2D. Тільки в цьому випадку ми отримаємо мережу D2D, причому кількість транзитних вузлів в одному з'єднанні не обмежене. Тим не менш корисно згадати досвід по розробці і спробам широкого впровадження кооперативних мереж. Дійсно, використовувати термінали користувачів мережі для додаткової маршрутизації в будь-якому випадку недоцільно, оскільки не існує добре відпрацьованих процедур взаємного обліку споживання енергії та надання послуг з кращими параметрами. З іншого боку, використання в якості додаткових маршрутизаторів стандартних терміналів мережі є надзвичайно привабливим. Через те, що виникають можливості використання одних і тих же протоколів, процедур ідентифікації, автентифікації і так далі.

Мало того, введення адекватних додаткових маршрутизаторів в мережу дозволить при необхідності забезпечити функції законного перехоплення трафіку.

У зв'язку з викладеним, досягти бажаної мети можливо, в першу чергу, шляхом введення в мережу додаткових вузлів – терміналів, які візьмуть на себе небажані для користувачів функції. Так, якщо функції маршрутизації і транзитних вузлів будуть виконувати тільки вузли, то термінали користувачів не будуть нести додаткових витрат енергії. В якості таких вузлів можуть бути використані стандартні термінали мереж зв'язку, що належать або самому оператору зв'язку, або провайдеру, який здійснює свою діяльність на громадських територіях.

У магістерській кваліфікаційній роботі наведені результати розробки методу побудови мережі зв'язку на базі технології D2D з використанням додаткових маршрутизаторів.

4.3 Модель мережі

Зі сказаного вище випливає, що для забезпечення функціонування мережі навіть при досить високій щільності користувачів бажано мати ресурс, який гарантовано або з достатнім ступенем впевненості забезпечить можливість побудови маршрутів між терміналами користувачів. Будемо виходити з припущення, що можливість маршрутизації трафіку через термінали користувачів підтримується тільки деякою частиною цих терміналів, яка дорівнює η . При цьому в мережу можливо ввести додаткові

вузли – маршрутизатори, які не утворюють власного трафіку, а їх основною функцією є транзит трафіку, утвореного терміналами користувачів. Будемо вважати, що маршрутизатори не мають необмеженого запасу енергії, а їх можливості в частині організації радіоканалу і пропускної здатності ідентичні характеристикам абонентських терміналів.

Фактично дані допущення передбачають створення деякої додаткової мережевої інфраструктури, яка дозволяє розширити можливості мережі за рахунок введення додаткових вузлів. З огляду на те, що функціонально додаткові вузли аналогічні абонентським терміналам, їх введення може бути досить дешевим рішенням для забезпечення функціональних можливостей мережі.

Основними завданнями в такому випадку є завдання вибору місця розташування і кількості транзитних вузлів.

Будемо вважати, що в деякій зоні обслуговування, що представляє двовимірну область, розміщені n_T терміналів користувачів, які можуть бути вузлами мережі. У цій же області може бути розміщено n_M додаткових транзитних вузлів. Загальна кількість вузлів в зоні обслуговування $n = n_T + n_M$, а частка маршрутизаторів становить $\eta = n_M / n$.

У задачі будемо враховувати такі фактори як відстані між вузлами d_{ij} , потужності переданих сигналів P_i , затухання сигналу A_{ij} , утворений трафік a_i . Будемо вважати, що передаючи сигнали вузли створюють завади іншим вузлам мережі, які впливають на якість прийому, яке характеризується відношенням SINR. Якщо потужність завади на вході приймача більше деякої величини, то канал вважається зайнятим, в іншому випадку, завада впливає на якість каналу через величину SINR [68], що виражається в зменшенні швидкості передачі даних [54].

Вважаємо, що вузли мережі розміщені в зоні обслуговування випадковим чином, тобто утворюють пуассонівське поле. Координати вузлів (x_i, y_i) є незалежно випадковими числами, які мають рівномірний розподіл.

4.4 Вибір місця розташування для розміщення транзитних вузлів

Зробимо припущення про те, що термінали користувачів випадково розподілені в зоні обслуговування. У зв'язку з цим в кожній з точок зони обслуговування має місце різний рівень завад створюваних вузлами мережі:

$$P_{\text{int}}(x, y) = \sum_{i=1}^n \rho_i 10^{\frac{1}{10}(P_i^{(\text{TX})} - A(d))} \quad (\text{дБн}), \quad (4.1)$$

де ρ_i – частина часу, протягом якого i -й вузол передає дані;

$P_i^{(\text{TX})}$ – потужність передавача i -го вузла (дБп);

$A(d)$ – затухання сигналу на відстані d від передавача (дБ), в даному випадку прийнята модель [49];

d – відстань між i -м вузлом і точкою (x, y) (м).

На рис. 4.1 приведена ілюстрація рівня завад, що створюється сигналами вузлів мережі в кожній з точок зони обслуговування, згідно (4.1).

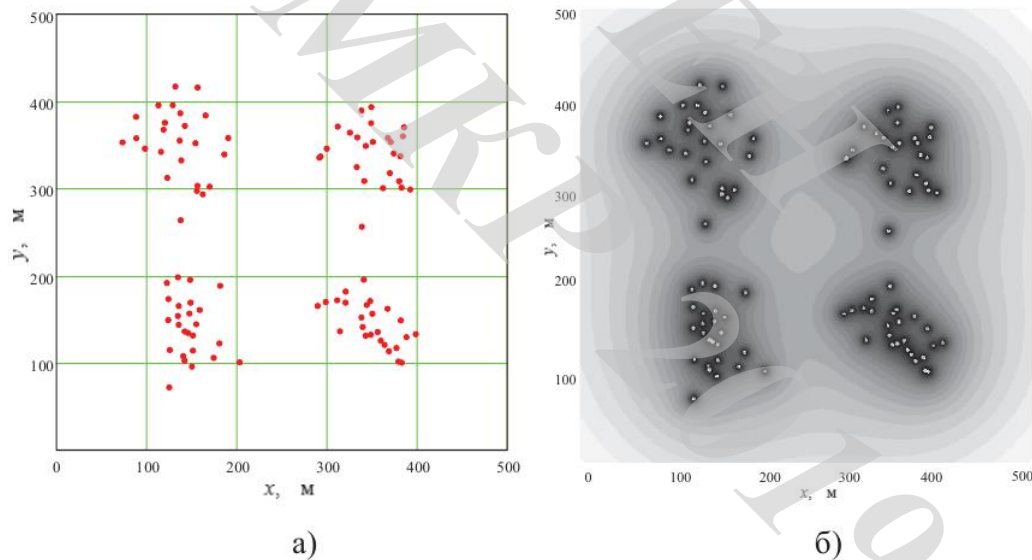


Рисунок 4.1 – Рівень завад утворений сигналами вузлів мережі

На рис. 4.1а приведена структура моделі мережі, а на рис. 4.1б розподіл потужності завад. Більш світлий відтінок відповідає меншій потужності завад.

При виборі місця транзитного вузла будемо прагнути до того, щоб умови прийому в цій точці були найкращими. Будемо вважати, що умови прийому

визначаються величиною відношення сигнал/(шум + завада). При відношенні SINR, вважається, що потужність завад значно перевищує потужність інших шумів. Це відношення може бути визначено для конкретного вузла. Якщо говорити про множину вузлів, бажано, щоб транзитний вузол обслуговував трафік більш ніж одного вузла, то його значення буде випадковим і залежати від того як вибрано цю множину. Таким чином, вибір місця розташування транзитного вузла можна розглядати як задачу вибору множини вузлів за деяким критерієм. В якості такого критерію доцільно використовувати величину SINR. Наприклад, критерієм відбору вузлів в групу вузлів може бути умова:

$$SINR(x, y, i) \geq S_0, \quad (4.2)$$

Нехай в цільовій області є множина з n вузлів $N = \{n_1, n_2, \dots, n_n\}$, тоді введення k транзитних вузлів будемо розглядати як розбиття цієї множини на k підмножин N_1, N_2, \dots, N_k , таких що $\bigcup_{i=1}^k N_i = N$, $\bigcap_{i=1}^k N_i = \emptyset$. Для вирішення подібних завдань можуть бути використані методи кластерного аналізу [7, 33].

Розглянемо можливість застосування для вирішення даного завдання методу FOREL, який полягає в почерговому знаходженні центрів кластерів, які можуть розглядатися як шукані позиції розміщення транзитних вузлів. У класичній інтерпретації алгоритм здійснює пошук екстремуму наступної цільової функції:

$$\min_{N_j} / \max \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{N_j} d(n_i, C_m^{(j)}), \quad (4.3)$$

де $d(n_i, C_m^{(j)})$ – метрика, що виражає відношення між центром кластера і його i -м елементом;

$C_m^{(j)}$ – центр j -го кластера;

n_i – i -й елемент j -го кластера;

N_j – кількість елементів в j -м кластері;

k – кількість кластерів.

Мінімізація або максимізація виразу (4.3) залежить від виду функції $d(n_i, C_m^{(j)})$. В даному випадку можна буде записати як:

$$\max_{N_j} \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{N_j} SINR(x, y, i). \quad (4.4)$$

Обчислення центру ваг кластера:

$$C_m^{(x)} = \frac{1}{N \sum_{i=1}^N SINR_i} \sum_{i=1}^N x_i SINR_i, \quad (4.5)$$

$$C_m^{(y)} = \frac{1}{N \sum_{i=1}^N SINR_i} \sum_{i=1}^N y_i SINR_i. \quad (4.6)$$

В даних виразах $SINR_i$ – це відношення сигнал/(шум + завада) в даній точці (x, y) відносно вузла i .

$$SINR_i = P_i^{(TX)} - A(i, x, y) - 10 \lg(P_{\text{int}}(x, y) / 0.001), \quad (4.7)$$

де $A(i, x, y)$ – затухання сигналу на ділянці між точкою (x, y) та i -м вузлом мережі;

$P_{\text{int}}(x, y)$ – потужність завад в точці (x, y) , згідно (4.1).

Алгоритм кластеризації може бути представлений таким чином:

- 1) ініціалізація множини некластеризованих об'єктів: $U := N$;
- 2) вибір довільної точки $C_m \in U$ випадковим чином;
- 3) повторення;
- 4) утворення кластеру – з центром в C_m : $N_k := \{n_i \in U \mid SINR(C_m, i) \geq S_0\}$;
- 5) розміщення центру сфери в центр ваг кластера: $C_m := (C_m^{(x)}, C_m^{(y)})$ (відповідно до виразів (4.4) і (4.5));
- 6) поки центр C_m не стабілізується, повторювати починаючи з пункту 4;

- 7) позначення всіх об'єктів N_k як кластеризованих: $U := U \setminus N_k$ (виключити з подальшого розгляду кластер N_k);
- 8) якщо у вибірці є некластеризований об'єкт, $U \neq \emptyset$, то повернутися до пункту 3;
- 9) завершення;

У загальному випадку задача (4.3) є завданням неопуклого програмування, тому, її рішення не дає глобальної оптимальності. В результаті застосування запропонованого алгоритму отримуємо розбиття вихідної множини об'єктів N на деяку, випадкову, кількість підмножин N_k , яке можна розглядати як близьке до оптимального рішення задачі (4.4). Змінюючи початкові умови, які складаються у вибір початкової точки пошуку можна отримати різні рішення. Ця можливість може бути використана на практиці для отримання множини рішень, подальшого їх аналізу і вибору найбільш оптимального за деякими додатковими критеріями, наприклад, кількістю елементів в кластерах, розподілу їх кількості та інших.

На рис. 4.2 наведені приклади розв'язання задачі вибору місця розташування для транзитних вузлів при різній величині S_0 . У моделі зона обслуговування прийнята як квадрат з розміром сторін по 500 м. У зоні обслуговування випадковим чином розміщені 100 вузлів мережі. В даному випадку використано мультимодального розподілу з чотирма локальними точками розсіювання. Знайдені рішення відзначені покарбованими колами, а вузли мережі точками.

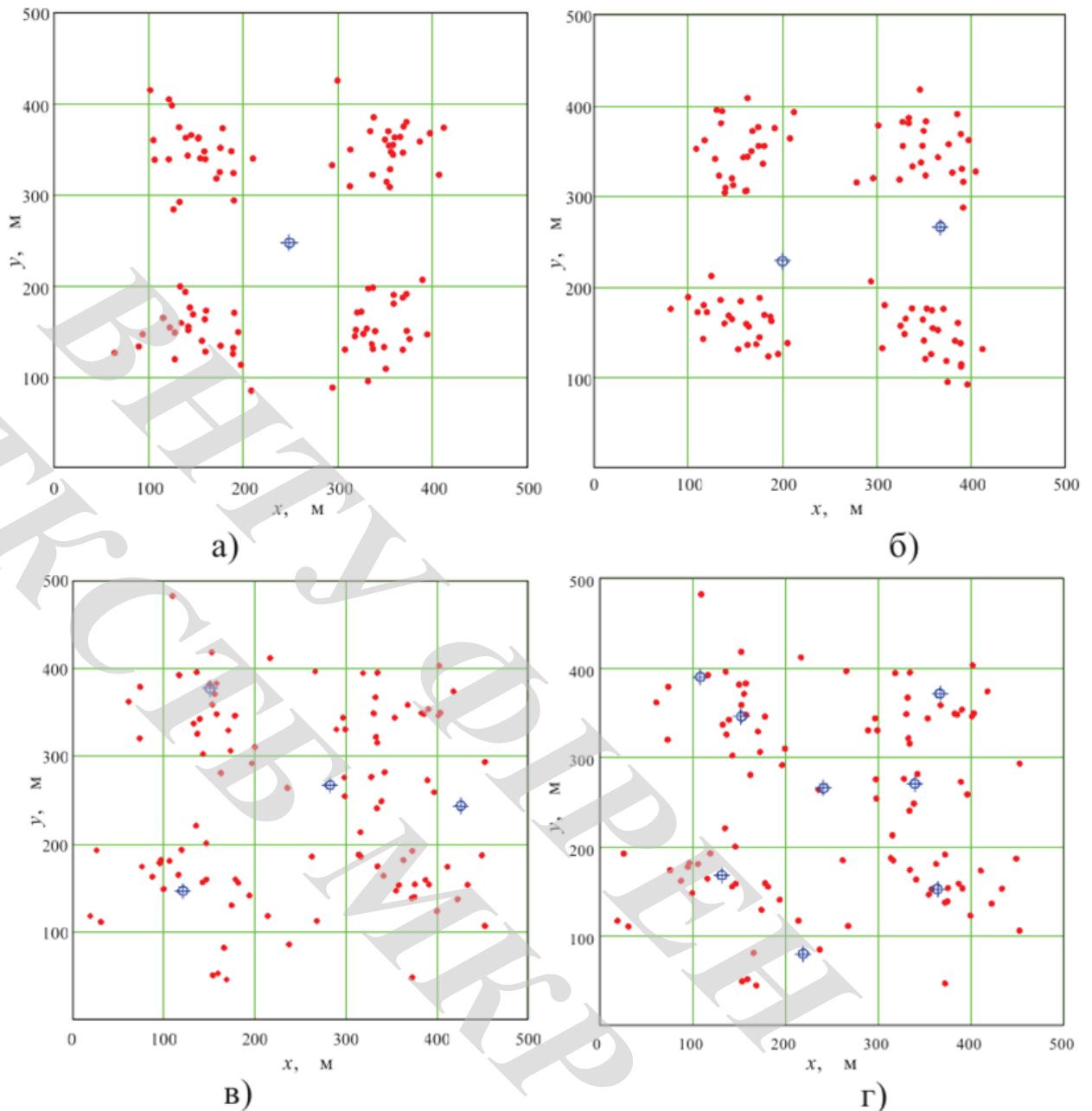


Рисунок 4.2 – Результати рішення виразу (4.3) модифікованим алгоритмом FOREL для різних порогових значень SINR [а) – 5 дБ, б) – 7дБ, в) – 8 дБ, г) – 10 дБ]

Наведений приклад демонструє те, що зі збільшенням порогового значення SINR збільшується і кількість транзитних вузлів. Це цілком очікуваний результат, тому що збільшення цієї величини досягається наближенням транзитного вузла до вузлів мережі, отже, забезпечити виконання умови (4.2) можна тільки при більшій кількості груп вузлів. Однак, вибір позицій розташування не очевидний, тому що на нього також впливають завади, створювані всіма вузлами мережі.

На рис. 4.3 наведено приклад порівняння вибору позицій транзитних вузлів без урахування завад (за критерієм мінімуму $RSSI > -60$ дБм) і з урахуванням завад (за критерієм $SINR > 8$ дБ).

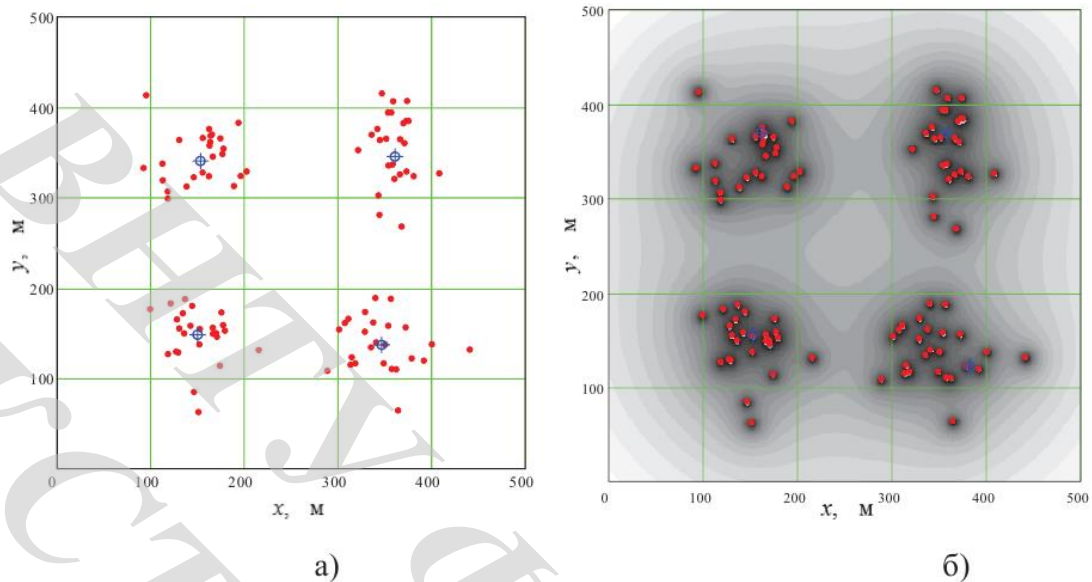


Рисунок 4.3 – Кластеризація а) без урахування завад, б) з урахуванням завад

Як видно з наведених рисунків, кількість транзитних вузлів однакова, але положення точок розміщення транзитних вузлів при врахуванні завад відрізняється. Також відрізняється і середня величина SINR в кластері, з урахуванням завад вона в середньому більше на 3,8 дБ, в даному прикладі. Отже, в цьому випадку забезпечується більш висока пропускна здатність.

Залежність кількості кластерів від порогового рівня SINR рівномірно розподілених терміналів в зоні обслуговування приведена на рис. 4.4.

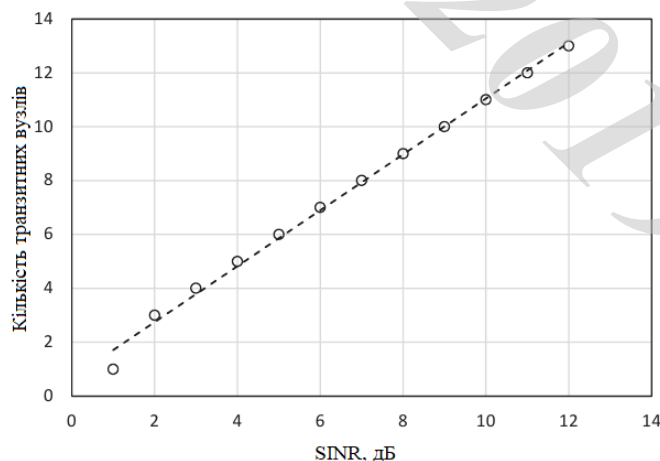


Рисунок 4.4 – Залежність кількості транзитних вузлів від порогової (мінімальної) величини SINR

Як видно з наведеного рисунка, кількість транзитних вузлів, в даному прикладі, майже лінійно залежить від граничної величини SINR.

Очевидно, що вибір порогового значення SINR при використанні даного методу визначає структуру мережі, що формується транзитними вузлами.

Вибір малих значень призводить до формування кластерів великого розміру і вибору малої кількості транзитних вузлів (рис. 4.2а). В цьому випадку навантаження на транзитний вузол буде проводитися вузлами відповідного кластера, а пропускна здатність каналу буде визначатися відповідним значенням SINR [63, 70].

Вибір великого значення SINR призводить до збільшення кількості транзитних вузлів (рис. 4.4), яке теоретично може досягати кількості терміналів.

Вибір малих значень SINR дозволяє спростити структуру мережі, заощадивши транзитні вузли за рахунок якості обслуговування. Такий варіант застосовується у випадку малої інтенсивності трафіку, утвореного вузлами мережі. Вибір високого значення дозволяє підвищити якість обслуговування за рахунок збільшення кількості транзитних вузлів, їх наближення до вузлів – джерел трафіку.

Ймовірно, що в більшості практичних випадків слід шукати компромісне рішення між якістю обслуговування і кількістю вузлів.

Слід зазначити, що допустима величина SINR обмежена фізичними параметрами мережі, такими як: потужність передавачів, кількість вузлів (терміналів), інтенсивність трафіку утвореного терміналами, характером розташування вузлів відносно один одного і можливо іншими факторами, які не розглянуті в даній моделі. При виборі порогового значення слід виходити з області допустимих значень.

На рис. 4.5 наведені гістограми емпіричних розподілів SINR отриманих в результаті кластеризації з пороговою величиною 8 дБ за даним методом (рис. 4.5а) і кластеризацією за величиною RSSI без урахування інтерференції (рис. 4.5б).

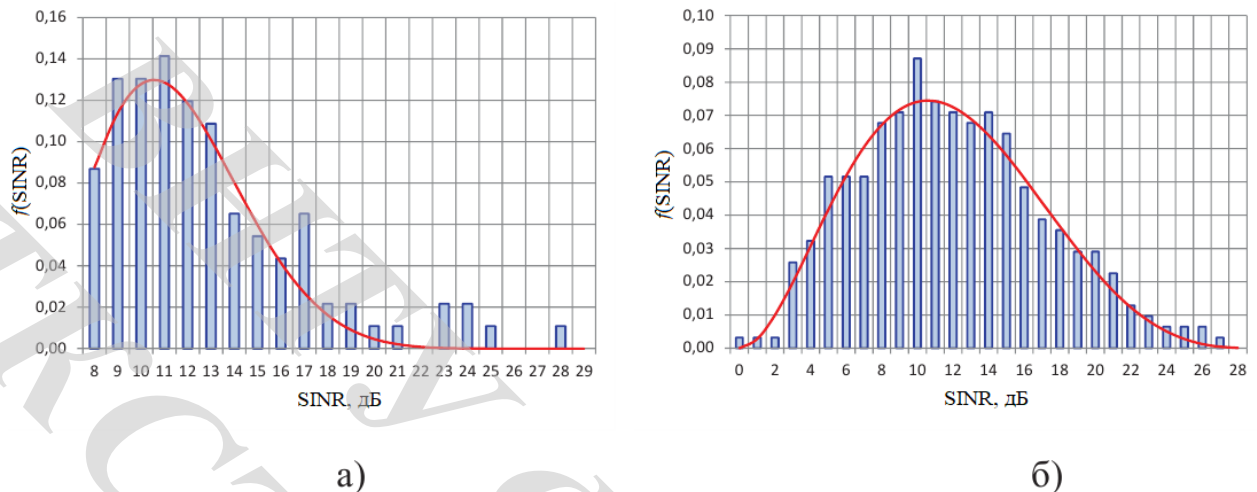


Рисунок 4.5 – Розподіл величини SINR для вузлів мережі а) при пороговому значенні 8 дБ, б) при кластеризації за величиною RSSI

Отриманий розподіл (рис. 4.5а) обмежений знизу величиною порогового значення, а зверху величиною максимально допустимого значення, яке визначається параметрами і конфігурацією мережі (в даному випадку 28 дБ). Середня величина склала 13,7 дБ, а середньоквадратичне відхилення 4,3 дБ. Розподіл, отриманий в результаті кластеризації за величиною RSSI, має аналогічний характер, з тією різницею, що нижня його межа визначається параметрами мережі, як і верхня. Середня величина SINR у другому випадку становить 11,75 дБ, а середньоквадратичне відхилення 5,8 дБ.

В даному випадку виграв, який дає запропонований алгоритм, становить близько 2 дБ для середнього значення і 1,5 дБ для середньоквадратичного відхилення. Таким чином, рішення, отримане запропонованим методом, дозволяє отримати велику пропускну здатність, в середньому 5 Мбіт/с для стандарту 802.11n, і менший її розкид для вузлів мережі в порівнянні з методом, що не враховує впливу завад. Також зауважимо, що при кластеризації без урахування завад реальне відношення SINR в ряді випадків не перевищує 2 дБ, що практично відповідає нульовій пропускній здатності, тобто відсутності зв'язку.

Отриманий емпіричний розподіл досить точно може бути апроксимованим бета-розподілом з урахуванням відмінностей їх параметрів.

Якщо ефективність введення транзитних вузлів представляти такими параметрами як відношення сигнал/(шум + завада) при врахуванні внутрішньоканальних завад, а також величиною пропускної здатності, то можна стверджувати, що запропонований метод має істотно більшу ефективність у порівнянні з подібними методами, що не враховують внутрішньоканальні завади.

Порівняльною оцінкою ефективності може бути величина SINR при рівній кількості транзитних вузлів. Для порівняння ефективності даного методу розглянемо модель з рівномірним розподілом вузлів в зоні обслуговування і оцінимо залежність середньої величини SINR для різної кількості транзитних вузлів, обраних з урахуванням і без урахування інтерференції. На рис. 4.6 наведені отримані залежності.

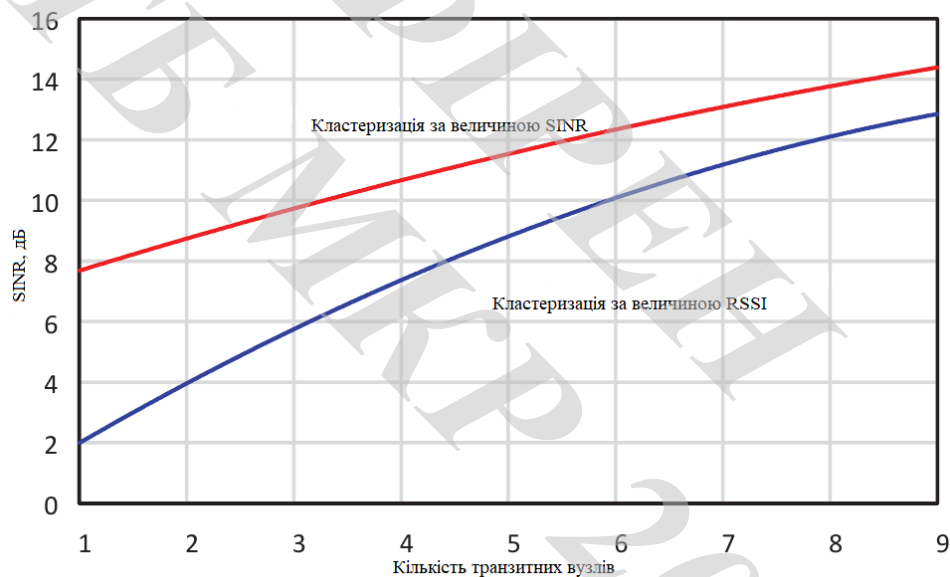


Рисунок 4.6 – Залежність середньої величини SINR від кількості транзитних вузлів

Як видно з отриманих залежностей, ефективність запропонованого методу вище, ніж при кластеризації без урахування завад, причому більший виграв має місце при відносно малій кількості транзитних вузлів. З ростом кількості транзитних вузлів виграв знижується, але при реальних значеннях кількості вузлів він має істотне значення.

Кількість транзитних вузлів залежить від вибору граничної величини SINR, останнє в свою чергу залежить від конфігурації мережі. Зокрема, якщо розглядати рівномірний розподіл користувачів по території, то її можна пов'язати з щільністю користувачів. На рис. 4.7 приведена залежність кількості транзитних вузлів від щільності користувачів при їх рівномірному розподілі по території, отримана в результаті імітаційного моделювання. Для наведеного прикладу, порогова величина SINR була обрана рівною 5 дБ.

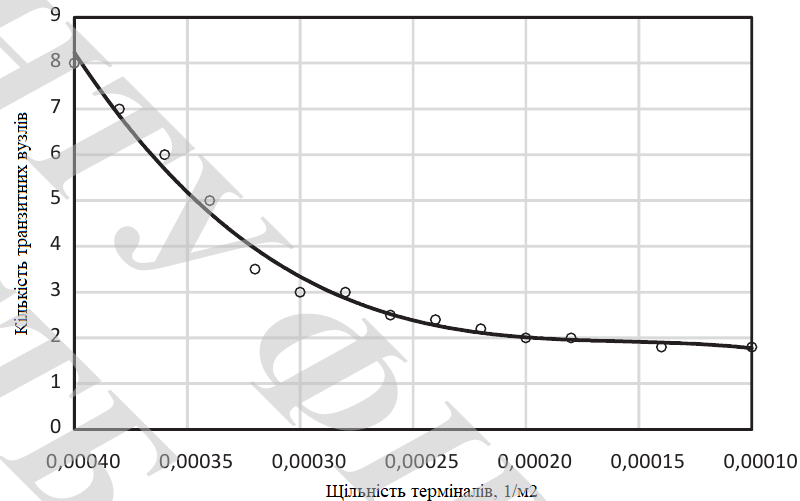


Рисунок 4.7 – Залежність кількості транзитних вузлів від щільності терміналів в зоні обслуговування

Як видно з наведеного прикладу, при зменшенні щільності терміналів зменшується кількість транзитних вузлів, що пояснюється зниженням сумарної потужності завад. Мінімальна кількість транзитних вузлів буде залежати від граничної величини SINR і конфігурації мережі. Слід очікувати, що в реальній мережі, розміщеної на значній території, після досягнення мінімуму, кількість транзитних вузлів буде збільшуватися через необхідність забезпечення зв'язності мережі.

4.5 Висновки

1) Побудова мережі з використанням D2D технології при обмеженні функціональності терміналів користувачів, заборону транзиту трафіку, може бути забезпечене введенням додаткових транзитних вузлів. Основним завданням побудови мережі в такому випадку є вибір точок розміщення і кількості додаткових маршрутизаторів (транзитних вузлів).

2) Критерієм вибору місця розташування транзитних вузлів в умовах внутрішньоканальних завад є величина відношення сигнал/(шум + завада).

3) В якості методу вибору місця розташування і кількості транзитних вузлів може бути використаний модифікований алгоритм FOREL, в якому в якості метрики використовується величина SINR.

4) Отримані результати залежать від обраної порогової величини SINR і відрізняються кількістю транзитних вузлів і розміром кластерів, що обслуговуються цими вузлами.

5) Зміна граничної величини SINR дає можливість знайти компроміс між якістю обслуговування і кількістю вузлів, тобто домогтися найбільшої ефективності використання ресурсів.

6) Порівняльний аналіз запропонованого методу з методами, що не враховують внутрішньоканальних завад, довів свою ефективність. При поданні ефективності величиною SINR і пропускною здатністю, мінімальний вигрощ, отриманий в результаті імітаційних експериментів склав 2 дБ і 5 Мбіт/с, відповідно.

7) При відносно малій щільності терміналів через меншу сумарну потужність завад для побудови мережі потрібна менша кількість транзитних вузлів.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Розрахунок витрат на проведення НДДКР стосовно методів побудови мережі зв'язку п'ятого покоління

В техніко-економічному обґрунтуванні представленому в першому розділі даної магістерської кваліфікаційної роботи було приблизно обґрунтовано доцільність проведення НДДКР. Тому в даному розділі будуть проведені більш детальні розрахунки витрат на проведення НДДКР стосовно методів побудови мережі зв'язку п'ятого покоління.

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

Основна заробітна плата дослідників та розробників, яка розраховується за формулою [34]:

$$z_o = \frac{M}{T_p} \cdot t, \quad (5.1)$$

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

T_p – число робочих днів в місяці, 21 дн.;

t – число днів роботи розробника (дослідника).

Проведені розрахунки зводимо до табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – 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	10720,00	510,48	42	21440,00
2. Ст. науковий співробітник	10055,00	478,81	21	10055,00
3. Науковий співробітник	9700,00	461,90	21	9700,00
4. Інженер-конструктор радіоелектронних систем	9570,00	455,71	21	9570,00
5. Технік	6400,00	304,76	42	12800,00
Всього				63565,00

Витрати на основну заробітну плату працівників (Z_p), що здійснюють підготовку робочих місць необхідних для досліджень методів побудови мережі зв'язку п'ятого покоління, підготовку та формування інформаційних пакетів, підготовку та монтаж обладнання тощо, розраховуються на основі норм часу, які необхідні для виконання даної роботи, за формулою [34]:

$$Z_p = \sum_1^n t_i \cdot C_i \cdot K_c, \quad (5.2)$$

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 [34]:

$$C_i = \frac{M_n \cdot K_i}{T_p \cdot T_{zm}}, \quad (5.3)$$

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, $T_p = 21$ дн.;

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

Проведені розрахунки внесемо до табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – 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	16,00	2	1,1	27,32	437,17
2. Інсталяція програмного забезпечення	10,50	4	1,35	33,53	352,10
3. Встановлення модулів	16,00	5	1,7	42,23	675,63
4. Монтаж імітаторів мереж	32,00	4	1,35	33,53	1073,06
5. Формування бази даних результатів вимірювань	120,00	3	1,2	29,81	3576,86
6. Підготовка приміщення	8,00	2	1,1	27,32	218,59
Всього					6333,40

Додаткова заробітна плата розробників, дослідників та працівників, які приймали участь в дослідженнях та розробці НДДКР з дослідження мереж розраховується як 10% від основної заробітної плати розробників та працівників:

$$Z_d = Z_o \cdot 10 / 100\% \quad (5.4)$$

$$Z_d = (63565,00 + 6333,40) \cdot 10 / 100 \% = 6989,84 \text{ (грн.)}$$

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

$$H_s = (Z_o + Z_d) \cdot 22\% / 100\% \quad (5.5)$$

$$H_s = (63565,00 + 6333,40 + 6989,84) \cdot 22\% / 100\% = 16915,41 \text{ (грн.)}$$

Витрати на матеріали на даному етапі проведення НДДКР пов'язані з використанням моделей елементів та моделювання роботи і досліджень за

допомогою комп'ютерної техніки та створення експериментальної системи, тому дані витрати формуються на основі офісних витратних матеріалів.

Витрати на матеріали, що були використані при проведенні досліджень, розраховуються по кожному виду матеріалів за формулою [34]:

$$M = \sum_1^n H_i \cdot C_i \cdot K_i, \quad (5.6)$$

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. 5.3.

Таблиця 5.3 – Витрати на основні матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Одиниця виміру	Ціна за одиницю, грн.	Витрачено	Вартість витраченого матеріалу, грн.
Папір офісний А4 білий (80%)	уп.	112,00	6,0	672,00
Диск оптичний (CD-R)	шт.	10,25	6,0	61,50
Органайзер офісний ЕКО-81BIC	уп.	85,00	6,0	510,00
Канцелярське приладдя	компл.	194,00	5,0	970,00
Картридж змінний Canon 216AF	шт	985,00	2,0	1970,00
FLASH-пам'ять OMEGA 32G	шт.	350,00	2,0	700,00
Всього				4883,50

З врахуванням транспортних витрат вартість матеріалів складе:

$$M = 4883,60 * 1,1 = 5371,85 \text{ грн.}$$

Витрати на комплектуючі (основне обладнання, емулятори), що були використані при дослідженні мереж, розраховуються за формулою:

$$H = \sum_1^n N_i \cdot C_i \cdot K_i, \quad (5.7)$$

де N_i – кількість комплектуючих i -го виду, шт.;

C_i – покупна ціна комплектуючих i -го виду, грн.;

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

n – кількість видів матеріалів.

Проведені розрахунки зводимо до табл. 5.4.

Таблиця 5.4 – Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, грн.	Сума, грн.
Термінал (імітатор навантаження)	1,0	18500,00	18500,00
Термінал (імітатор приймача)	1,0	18500,00	18500,00
Роутер 652AF	2,0	6280,00	12560,00
Сервер 5-BCD1	1,0	9540,00	9540,00
Модулятор AF450F	2,0	7350,00	14700,00
Імітатор рівнів віртуальної мережі KDV-54	1,0	10420,00	10420,00
Імітатор користувацької мережі на основі оптоволокна FIREN2	2,0	2620,00	5240,00
Комутатор багаторівневий H34-O	1,0	5360,00	5360,00
Маршрутизатор ХА-16	1,0	3735,00	3735,00
Антенa ZX	2,0	580,00	1160,00
Електроніка базової станції	1,0	24698,00	24698,00
Батареї резервного живлення AAG-55	3,0	128,00	384,00
Модулі технічного обслуговування VIVA256	3,0	3896,00	11688,00
Всього			136485,00

Витрати на комплектуючі з урахуванням транспортних витрат складають:

$$H = 136485,00 \cdot 1,1 = 150133,50 \text{ (грн.)}$$

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

$$A_{обл} = \frac{Ц_б}{T_е} \cdot \frac{t_{вик}}{12}, \quad (5.8)$$

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

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

$T_е$ – строк корисного використання обладнання, приміщень тощо, років.

Проведені розрахунки необхідно звести до табл. 5.5.

Таблиця 5.5 – Величина амортизаційних відрахувань

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, міс.	Величина амортизаційних відрахувань, грн
Комп'ютеризований програмно-аналітичний комплекс	21807,00	5	2	726,90
Метрологічний комплекс МСХ13-А54	12046,00	5	2	401,53
Програмне забезпечення підтримки мереж	16568,00	3	2	920,44
Місце оператора спеціалізоване	9780,00	5	2	326,00
Офісна оргтехніка	12300,00	4	2	512,50
Дослідницька лабораторія	200000,00	25	2	1333,33
Всього				4220,71

Витрати на силову електроенергію на проведення досліджень розраховують за формулою [34]:

$$V_e = V \cdot \Pi \cdot \Phi \cdot K_{п}, \quad (5.9)$$

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. 5.6.

Таблиця 5.6 – Витрати на електроенергію при проведенні досліджень

Найменування обладнання	Кількість годин роботи обладнання, год.	Встановлена потужність, кВт	Коефіцієнт використання потужності	Величина оплати
Комп'ютеризований програмно-аналітичний комплекс	336,00	0,72	1	534,64
Метрологічний комплекс МСХ13-А54	290,00	0,02	1	12,82
Місце оператора спеціалізоване	120,00	0,32	1	84,86
Офісна оргтехніка	120,00	0,72	0,8	152,76
Термінал (імітатор навантаження)	290,00	0,32	1	205,09
Термінал (імітатор приймача)	290,00	0,32	1	205,09
Роутер 652AF	290,00	0,06	1	38,45
Сервер 5-BCD1	290,00	0,12	1	76,91
Модулятор AF450F	290,00	0,16	1	102,54
Імітатор рівнів віртуальної мережі KDV-54	290,00	0,25	1	160,23
Імітатор користувацької мережі на основі оптоволокна FIREN2	290,00	0,03	1	19,23
Комутатор багаторівневий H32	290,00	0,25	1	160,23
Маршрутизатор ХА-16	290,00	0,32	1	205,09
Електроніка базової станції	290,00	0,92	1	589,63
Модулі технічного обслуговування VIVA256	290,00	0,08	1	51,27
Всього				2598,83

Інші витрати охоплюють: загальновиробничі 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:

$$I = (63565,00 + 6333,40) * 200\% / 100\% = 139796,79 \text{ (грн.)}$$

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

$$B = 63565,00 + 6333,40 + 6989,84 + 16915,41 + 5371,85 + 150133,50 + 4220,71 + 2598,83 + 139796,79 = 395925,33 \text{ (грн.)}$$

5.2 Визначення коефіцієнта наукової значимості отриманих результатів науково-дослідної роботи

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

$$K_{3H} = \frac{\sum_3 b_i \cdot d_i}{\sum_3 b_{\max} \cdot d_i}, \quad (5.10)$$

де b_i – значимість отриманих результатів: b_1 – ступінь наукової новизни, b_2 – рівень теоретичної обґрунтованості, b_3 – ступінь експериментальної перевірки результатів;

d_i – питома вага кожної характеристики, значення якої наведено в таблиці. Максимальне значення отриманих результатів можна прийняти в межах 7...10 балів;

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

Оцінка отриманих результатів наведена в табл. 5.7.

Таблиця 5.7 – 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	0,500	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
b_2	0,333	Позитивне рішення на основі зроблених узагальнень	Установлення залежностей, які використовувались в інших випадках	Відкриття нових шляхів рішення задачі
b_3	0,167	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 (5.10) оцінимо наукову значимість отриманих результатів:

$$K_{3H} = \frac{7 \cdot 0,5 + 8 \cdot 0,333 + 8 \cdot 0,167}{10 \cdot 0,5 + 10 \cdot 0,333 + 10 \cdot 0,167} = 0,75.$$

5.3 Внесок дослідника в досягнення отриманих результатів НДР

Внесок дослідника в досягнення отриманих результатів НДР можна розрахувати за формулою:

$$V = \frac{k_{TBI} \cdot 3_i}{\sum_1^n k_{TBI} \cdot 3_i}, \quad (5.11)$$

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

$$V = \frac{3 \cdot 9700,00}{3 \cdot 10720,00 + 3 \cdot 9570,00 + 1,5 \cdot 10055,00} = 0,49.$$

5.4 Висновки

1) Загалом запланована науково-дослідна робота з проведення досліджень стосовно методів побудови мережі зв'язку п'ятого покоління вимагає вкладення для проведення досліджень в межах 395925,00 грн.

2) Отримані результати досліджень мають високий рівень наукової значимості (в межах 0,75), що свідчить про доцільність проведення розробок.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Захист працівників під час трудового процесу від небезпечних та шкідливих виробничих факторів, що справляють негативний вплив на здоров'я, життя, а також працездатність людини, забезпечення належних умов праці є важливими завданнями безпеки життєдіяльності у виробничому середовищі.

У цьому розділі проводиться розгляд шкідливих, небезпечних [71] і уражаючих для людини і навколишнього середовища чинників, що виникають при проведенні дослідження методів побудови мереж зв'язку п'ятого покоління. В ньому висвітлюються, в тому числі, технічні рішення з виробничої санітарії та гігієни праці, визначення кроку сітки сітчастого екрану для послаблення ЕМВ, технічні рішення з промислової та пожежної безпеки під час проведення дослідження, безпека у надзвичайних ситуаціях.

6.1 Виробнича санітарія та гігієна праці

6.1.1 Склад повітря робочої зони та мікроклімат

Визначаємо для приміщення для проведення дослідження методів побудови мереж зв'язку п'ятого покоління, категорію важкості робіт за фізичним навантаженням – легка Іа.

Згідно із [72] допустимі показники температури, відносної вологості та швидкості руху повітря у робочій зоні для теплого та холодного періодів року наведені в табл. 6.1, додаток Ж.

Для опромінення менше 25% поверхні тіла працівника, допустима інтенсивність теплового опромінення – 100 Вт/м^2 .

Вміст шкідливих речовин в повітрі робочої зони не повинен перевищувати гранично допустимих концентрацій (ГДК) у повітрі робочої зони і підлягає систематичному контролю з метою запобігання можливості перевищення ГДК, значення яких для роботи з ЕОМ наведено в табл. 6.2, додаток Ж.

При використанні ЕОМ джерелом забруднення повітря є також іонізація молекул речовин, що містяться у повітрі. Рівні додатних та від'ємних іонів повинні відповідати [73] і наведені у табл. 6.3, додаток Ж.

Для встановлення нормованих параметрів мікроклімату та складу повітря робочої зони передбачено:

- 1) в приміщенні має бути встановлена система опалення для холодного і кондиціонування для теплого періодів року;
- 2) застосування вентиляції, яка видаляє забруднення або нагріте повітря з приміщення, а також за допомогою неї контролюється швидкість руху повітря і вологість.

6.1.2 Виробниче освітлення

З метою створення гігієнічних раціональних умов на робочих місцях значні вимоги висуваються щодо якісних та кількісних показників освітлення.

З точки зору задач зорової роботи в приміщенні, де проводиться робота з дослідження методів побудови мереж зв'язку п'ятого покоління, згідно [74] знаходимо, що вони відносяться до IV розряду зорових робіт. Приймаємо контраст об'єкта з фоном – великий, а характеристику фону – середню, яким відповідає підрозряд зорових робіт 2.

Нормативні значення коефіцієнта природного освітлення (КПО) та мінімальні значення освітленості для штучного освітлення наведені в табл. 6.4, додаток Ж.

Оскільки приміщення розташоване в місті Вінниця (2-га група забезпеченості природним світлом), а вікна розташовані за азимутом 45° , то за таких умов КЕО розраховується за виразом [73, 74]:

$$e_N = e_n \cdot m_N [\%], \quad (6.1)$$

де e_n – табличне значення КЕО для бокового освітлення, %;

m_N – коефіцієнт світлового клімату;

N – номер групи забезпеченості природним світлом.

За відомими значеннями отримаємо нормовані значення КПО для бокового та суміщеного освітлення:

$$e_{N.b} = 1.5 \cdot 0.9 = 1.4(\%);$$

$$e_{N.c} = 0.9 \cdot 0.9 = 0.8(\%).$$

Для встановлення нормованих значень показників освітлення запропоновано:

- 1) за недостатнього природного освітлення у світлий час доби доповнення штучним завдяки використанню люмінесцентних ламп з утворенням системи суміщеного освітлення;
- 2) використання загального штучного освітлення в темний час доби.

6.1.3 Виробничі віброакустичні коливання

Зважаючи на те, що при використанні пристроїв крім усього іншого устаткування застосовується обладнання, робота якого супроводжується шумом та вібрацією, потрібно передбачити шумовий та вібраційний захист.

Визначено, що приміщення, в якому відбувається робота з дослідження методів побудови мереж зв'язку п'ятого покоління може містити робочі місця із шумом та вібрацією, що спричиняється рухомими елементами ЕОМ.

Для запобігання травмуванню працюючих від дії шуму він підлягає нормуванню. Головним нормативом з питань промислового шуму, діючим на території України, є [75], у відповідності з яким допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку та еквівалентні рівні шуму на робочих місцях в виробничих приміщеннях не мають бути більшими ніж значення, які приведені у табл. 6.5, додаток Ж. Норми виробничих вібрацій наведені в табл. 6.6, додаток Ж для локальної вібрації.

Для поліпшення віброакустичного клімату у приміщенні передбачено:

- 1) постійне змащування підшипників вентиляторів блоку живлення ЕОМ і кулерів відеоадаптера та мікропроцесора;
- 2) контроль рівня шуму та вібрації не менше 1 разу на рік.

6.1.4 Виробничі випромінювання

Величина напруженості електромагнітного поля на робочих місцях з персональними комп'ютерами не повинні перевищувати граничнодопустимі, які складають 20 кВ/м.

Експозиційна доза рентгенівського випромінювання на відстані 0,05 м від екрана до корпусу монітора при будь-яких положеннях регулювальних

пристроїв не повинні перевищувати $7,74 \oplus 10^{-12}$ Кл/кг, що відповідає потужності еквівалентної дози 0,1 мБер/год (100 мкР/год) згідно [76].

Для гарантування захисту і досягнення нормативних рівнів випромінювання необхідно використовувати екранування робочого місця і скорочення часу опромінення за рахунок перерв на відпочинок.

Визначимо крок сітки сітчастого екрану, якщо послаблення магнітного випромінювання $L = 33$ дБ, довжина хвилі $\lambda = 41$ мм, радіус дроту $r_0 = 0,45$ мм.

Крок сітки сітчастого екрану можна визначити з формули:

$$L = 10 \lg \frac{4 \left(\frac{d}{\lambda} \ln \frac{d}{2\pi r_0} \right)^2}{1 + 4 \left(\frac{d}{\lambda} \ln \frac{d}{2\pi r_0} \right)^2} \text{ [дБ]}, \quad (6.2)$$

звідки після значних математичних перетворень отримаємо таку ітераційну формулу:

$$d = e^{\frac{\pi r_0 \lambda}{d \sqrt{1 - 10^{L/10}}}} \text{ [мм]}, \quad (6.3)$$

де L – послаблення магнітного випромінювання, дБ;

λ – довжина хвилі, мм;

r_0 – радіус дроту сітчастого екрану, мм.

Прийmemo початкове значення $d_0 = 4$ мм. Після підстановки відомих значень у формулу (6.3), одержимо в першому наближенні:

$$d_1 = e^{\frac{3,14 \cdot 0,45 \cdot 41}{\sqrt{1 - 10^{33/10}}}} = 0,9928 \text{ (мм)};$$

в другому наближенні:

$$d_2 = e^{\frac{3,14 \cdot 0,45 \cdot 41}{0,9928 \sqrt{1 - 10^{33/10}}}} = 0,9711 \text{ (мм)};$$

в третьому наближенні:

$$d_3 = e^{\frac{3,14 \cdot 0,45 \cdot 41}{0,9711 \sqrt{1 - 10^{33/10}}}} = 0,9705(\text{мм});$$

в четвертому наближенні:

$$d_4 = e^{\frac{3,14 \cdot 0,45 \cdot 41}{0,9705 \sqrt{1 - 10^{33/10}}}} = 0,9705 (\text{мм}).$$

Оскільки $d_3 \approx d_4$, то остаточно приймаємо крок сітки сітчастого екрану $d = d_4 = 0,9705$ мм.

6.2 Промислова та пожежна безпека під час проведення дослідження

Сучасний етап розвитку техніки, автоматизації розробок та досліджень характеризується широким використанням на робочому місці ЕОМ. Велика кількість прикладних програм перетворює ЕОМ на основне знаряддя праці радіоінженера.

6.2.1 Безпека щодо організації робочих місць

Робочі місця з відеодисплейним терміналом зобов'язані розташовуватись на відстані не менше ніж 1,5 м від стіни з вікнами, від інших стін – на віддалі 1 м, одне від одного на віддалі не менше ніж 1,5 м. У випадку розміщення робочих місць потрібно виключити ймовірність прямого засвічування екрану джерелом природного освітлення. Робоче місце раціонально розташовувати таким чином, щоб природне освітлення знаходилось збоку, бажано з лівого [77].

Поверхня екрана повинна розташовуватись на відстані 400-700 мм від органів зору працівника. Висота робочої поверхні столу під час виконання роботи сидячи повинна налаштовуватись в межах 680-800 мм. Робочий стіл повинен мати простір для ніг висотою не менше 600 мм, шириною не менше ніж 500 мм, глибиною на рівні колін не менше 450 мм та на рівні витягнутої ноги не менше як 650 мм [78].

6.2.2 Електробезпека

Причинами ураження електричним струмом у цьому приміщенні можуть бути: робота під напругою під час проведення ремонтних робіт, несправність електрообладнання, випадковий дотик до металевих частин, що опинилися під напругою чи струмоведучих частин. Згідно [79] це приміщення належить до приміщень із підвищеною небезпекою ураження електричним струмом через наявність високої (понад 75 %) відносної вологості. Через це безпека використання електрообладнання повинна гарантуватись рядом заходів, які передбачають застосування ізоляції струмовідних частин, захисних блокувань, захисного заземлення та інше [80].

6.2.3 Пожежна безпека

Відповідно до [81] приміщення, де проводиться робота з дослідження методів побудови мереж зв'язку п'ятого покоління, відноситься до категорії пожежної небезпеки Б. Це приміщення відноситься до 3-го ступеня вогнестійкості, в якому приміщення знаходяться в будівлі з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону. Для перекриттів дозволяється застосовувати дерев'яні конструкції, захищені штукатуркою або негорючими листовими, плитними матеріалами, або матеріалами груп горючості Г1, Г2. До елементів покриттів не висовуються вимоги щодо межі вогнестійкості, поширення вогню, при цьому елементи горищного покриття з деревини повинні мати вогнезахисну обробку.

Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій розглядуваного приміщення наведені в табл. 6.7. В табл. 6.8 приведено протипожежні норми проектування будівель і споруд.

Вибираємо, що приміщення, де проводиться робота з дослідження, має бути обладнане двома вогнегасниками, пожежним щитом, а також ємністю з піском [82].

6.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи мережі 5G зв'язку в умовах дії загрозливих факторів НС

Робота радіоелектронної апаратури (РЕА) в умовах дії радіоактивних випромінювань має таку специфіку: РЕА може раптово втратити працездатність при критичних рівнях радіації; в елементах схем РЕА можуть початись зворотні та незворотні процеси.

При електромагнітному імпульсі можуть спостерігатись високі імпульси струмів і напруг у провідниках та кабелях зв'язку, електропередач, систем обчислювальних машин і автоматичних систем управління, антенах радіостанцій тощо.

6.3.1 Дослідження стійкості роботи мережі 5G зв'язку в умовах дії іонізуючого випромінювання

Вихідні дані: рівень радіації через 1 год після аварії $P_{1max} = 4,86$ Р/год; максимальне значення часу, протягом якого повинна працювати апаратура $t_{pmax} = 5200$ год; коефіцієнт ослаблення радіації $K_{осл} = 2$; час початку опромінення $t_n = 1$ год.

Як критерій стійкості роботи приймаємо максимальне значення експозиційної дози, при якому РЕА мережі 5G зв'язку буде працювати з необхідною якістю протягом часу напрацювання на відмову.

Дослідження стійкості роботи проводимо в такій послідовності: аналізуємо принципову електричну схему і визначаємо елементи, від яких залежить його функціонування.

Визначаємо граничні значення експозиційних доз, за яких у елементах можуть виникнути зворотні зміни, але елемент ще буде працювати. Дані заносимо в табл. 6.9.

За мінімальним значенням $D_{зв.і}$ визначаємо границю стійкості роботи РЕА мережі 5G зв'язку в цілому. Це значення заносимо в табл. 6.9.

Таблиця 6.9 – Максимально допустимі експозиційні дози елементів РЕА

№	Блоки	Елементи РЕА пристрою	$D_{зв.і}, P$	$D_{зв.Б}, P$	$D_{зв}, P$
1	Живлення	Діоди 1N4004	10^5	10^5	10^4
		Резистори МЛТ	10^6		
2	Управління	Конденсатори СР-13.020	10^6	10^4	
		Транзистори 2SA1271	10^4		
		Мікросхеми К1533	10^5		

Граничне значення дози:

$$D_{гр} = D_{зв} \cdot K_{осл} [P]; \quad (6.4)$$

$$D_{гр} = 10^4 \cdot 2 = 2 \cdot 10^4 (P).$$

Можлива доза опромінення елементної бази в заданих умовах складає

$$D_M = \frac{2P_{1max} (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_n})}{K_{осл}} [P]; \quad (6.5)$$

$$D_M = \frac{2 \cdot 4,86 \cdot (\sqrt{5200} - \sqrt{1})}{2} = 345,6 (P).$$

Оскільки $D_M = 345,6 P < D_{гр} = 2 \cdot 10^4 P$, то апаратура мережі 5G зв'язку буде працювати протягом потрібного гарантійного часу стійко із заданим рівнем надійності.

6.3.2 Дослідження стійкості роботи мережі 5G зв'язку в умовах дії електромагнітного імпульсу

Вихідні дані: $E_B = 10,21$ кВ/м; $U_{жс} = 220 \pm 5\%$ В; $l_G = 0,43$ м; $l_B = 0,18$ м.

За критерій стійкості роботи радіоелектронних систем в цих умовах приймаємо коефіцієнт безпеки:

$$K_s = 20 \lg \frac{U_d}{U_{в(z)}} \geq 40 \quad [\text{дБ}], \quad (6.6)$$

де U_d – допустимі коливання $U_{жс}$;

$U_{в(z)}$ – напруга наведення в вертикальних (горизонтальних) струмопровідних частинах.

Визначаємо горизонтальну складову напруженості електромагнітного поля за формулою:

$$E_z = 10^{-3} E_s \quad [\text{кВ/м}], \quad (6.7)$$

де E_B – вертикальна складова напруженості електромагнітного поля, кВ/м.

Визначаємо вертикальну та горизонтальну напруги наведення на струмопровідних частинах РЕА за формулами:

$$U_s = E_z l_s \quad [\text{В}]; \quad (6.8)$$

$$U_z = E_s l_z \quad [\text{В}], \quad (6.9)$$

де l_s , l_z – довжини вертикальної та горизонтальної струмопровідних частин РЕА відповідно, м.

Визначаємо допустиме коливання напруги живлення:

$$U_d = U_{жс} + \frac{U_{жс}}{100} N \quad [\text{В}], \quad (6.10)$$

де $U_{ж}$ – робоча напруга живлення, В;
 N – допустимі коливання напруги, %.

Підставляючи відомі значення у формули (6.7, ..., 6.10, 6.6) отримаємо:

$$E_2 = 10^{-3} \cdot 10,21 = 0,01021 \text{ (кВ/м);}$$

$$U_6 = 0,01021 \cdot 1000 \cdot 0,18 = 1,8378 \text{ (В);}$$

$$U_2 = 10,21 \cdot 1000 \cdot 0,43 = 4390,30 \text{ (В);}$$

$$U_{\partial} = 220 + \frac{220}{100} \cdot 5 = 231 \text{ (В);}$$

$$K_{6в} = 20 \lg \frac{231}{1,8378} = 142,15 \text{ (дБ);}$$

$$K_{6г} = 20 \lg \frac{231}{4390,3} = -25,58 \text{ (дБ).}$$

Оскільки $(K_{6в} = 142,15 \text{ дБ}) > (K_{6ном} = 40 \text{ дБ})$ і $(K_{6г} = -25,58 \text{ дБ}) < (K_{6ном} = 40 \text{ дБ})$, то робота мережі 5G зв'язку є нестійкою до дії електромагнітного імпульсу.

6.3.3 Розробка превентивних заходів по підвищенню стійкості роботи мережі 5G зв'язку в умовах дії надзвичайних ситуацій

Найбільш ефективним способом підвищення стійкості роботи РЕА є екранування системи або її елементів. Для цього проводиться розрахунок екрану. Розраховуємо перехідне затухання енергії електричного поля сталеним екраном:

$$A = K_{6ном} - K_{6мін} \text{ [дБ];} \quad (6.11)$$

$$A = 40 - (-25,58) = 65,58 \text{ (дБ),}$$

де $K_{6ном}$ – номінальний коефіцієнт безпеки ($K_{6ном} = 40 \text{ дБ}$);
 $K_{6мін}$ – мінімальний розрахунковий коефіцієнт безпеки.

Товщину захисного екрану визначаємо за формулою:

$$t = \frac{A}{k\sqrt{f}} \quad [\text{см}]; \quad (6.12)$$

$$t = \frac{65,58}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} 0,102(\text{см}) = 1,02(\text{мм}),$$

де k – коефіцієнт, який для сталюого екрану дорівнює 5,2;

f – найбільш характерна частота ($f = 15000$ Гц).

Підвищення стійкості роботи мережі 5G зв'язку можна досягти шляхом посилення найбільш слабких елементів і ділянок системи, а також завчасним проведенням комплексу інженерно-технічних, технологічних та організаційних заходів, які спрямовані на максимальне зниження дії уражаючих факторів і створення умов для відновлення працездатності пристрою.

6.4 Висновки

Було розглянуто такі питання охорони праці як технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії, технічні рішення з промислової та пожежної безпеки під час проведення дослідження методів побудови мереж зв'язку п'ятого покоління.

Також було досліджено стійкість роботи мережі 5G зв'язку в умовах впливу загрозливих факторів назвичайних ситуацій. З дослідження впливу електромагнітного імпульсу на стійкість роботи мережі 5G зв'язку можна сказати, що система РЕА виявилася нестійкою в роботі. Застосування екранування РЕА суттєво підвищує її стійкість в умовах дії електромагнітного імпульсу. Для забезпечення стійкості необхідно використовувати екран в 1,02 мм.

ВИСНОВКИ

У МКР були отримані наступні основні результати:

1) За результатами аналізу концепцій Інтернет Речей, Тактильного Інтернету та Інтернет Навичок встановлено, що мережі зв'язку п'ятого покоління є надщільними мережами з ультра малими затримками, що вимагають розробки нових методів їх побудови.

2) Попередні покоління мереж не мали властивостей для реалізації вимог щодо надщільності і ультра малих затримок, для вирішення цього необхідно застосовувати нові технології, такі як програмно-конфігуровані мережі SDN, віртуалізація мережевих функцій NFV, мобільні граничні обчислення MEC, взаємодії пристрій-пристрій D2D.

3) Зміни методів побудови мереж зв'язку п'ятого покоління, призводять до необхідності заміни методів ідентифікації, тестування та інших технологій для забезпечення стабільного функціонування мереж зв'язку п'ятого покоління. Для ідентифікації в надщільних мережах запропоновано використовувати технологію ідентифікації на основі архітектури цифрових об'єктів DOA.

4) Розроблено методику кластеризації мережі зв'язку, що відрізняється тим, що кластеризація здійснюється в умовах надання мережею послуг з ультра малими затримками, що призводить до децентралізації мережі.

5) Розроблено модель мережі зв'язку 2030 року, що відрізняється від відомих тим, що в основі побудови такої мережі лежать мережі зв'язку з ультра малими затримками. Надщільні мережі при створенні мереж зв'язку 2030 поповняться елементами наносвіту, а мережі зв'язку з ультра малими затримками дозволять реалізувати телеприсутність як в формі роботів аватарів, що належать користувачам і виконують їх команди з максимальною відповідністю тактильних відчуттів конкретного користувача, так і вигляді голографічної телеприсутності.

6) Встановлено, що D2D-технології в умовах низької щільності користувачів і пристроїв мають навіть більшу ефективність за рахунок низького рівня завад, і як наслідок, підвищення QoS і максимальної дальності зв'язку. Потенційні можливості D2D технологій дозволяють об'єднати в мережу значну кількість пристроїв, якщо останні мають функціональні можливості маршрутизації трафіку. Існуюча абонентська щільність терміналів дозволяє побудувати мережу з високою ймовірністю зв'язності, що дає

потенційну можливість доставки даних, використовуючи тільки ресурси кінцевих пристроїв.

7) Визначено невідому раніше залежність потужності завад від щільності розміщення вузлів мережі і величини трафіку, а також отримана емпірична формула для такої залежності.

8) Запропоновано метод маршрутизації трафіку в мережах зв'язку п'ятого покоління і алгоритм його реалізації при використанні технологій D2D, що відрізняється від відомих тим, що вибір маршруту здійснюється на основі комплексного критерію максимальної пропускну здатності і мінімальної кількості транзитів.

9) Запропоновано метод побудови мережі D2D з використанням додаткових маршрутизаторів, що відрізняється тим, що додатковими маршрутизаторами є широко використовувані термінали мереж зв'язку.

10) Розроблено метод побудови мережі з використанням додаткових маршрутизаторів і методику вибору місця розташування, а також кількості транзитних вузлів на основі модифікованого алгоритму FOREL, для якого в якості метрики використовується значення величини SINR, що дозволяє збільшити пропускну здатність мережі D2D як мінімум на 10-20%.

11) Запланована науково-дослідна робота з проведення досліджень стосовно методів побудови мережі зв'язку п'ятого покоління вимагає вкладення для проведення досліджень в межах 395925,00 грн.

12) Результати досліджень мають високий рівень наукової значимості (в межах 0,75), що свідчить про доцільність проведення розробок.

13) Було розглянуто такі питання охорони праці як технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії, технічні рішення з промислової та пожежної безпеки під час проведення дослідження методів побудови мереж зв'язку п'ятого покоління. Також було досліджено стійкість роботи мережі 5G зв'язку в умовах впливу загрозливих факторів назвичайних ситуацій. З дослідження впливу електромагнітного імпульсу на стійкість роботи мережі 5G зв'язку можна сказати, що система РЕА виявилася нестійкою в роботі. Застосування екранування РЕА суттєво підвищує її стійкість в умовах дії електромагнітного імпульсу. Для забезпечення стійкості необхідно використовувати екран в 1,02 мм.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кучерявый А. Е. Интернет Вещей / А. Е. Кучерявый. // Электросвязь. – 2013. – №1. – С. 21–24.
2. Перспективы научных исследований в области сетей связи на 2017-2020 годы / [А. Е. Кучерявый, А. Е. Владыко, Р. В. Киричек та ін.]. // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2016. – №3. – С. 1–14.
3. 5G Multi-RAT LTE-Wi-Fi Ultra-Dense Small Cells: Performance, Dynamics, Architecture, and Trends / [O. Galinina, A. Pyattaev, S. Andreev etc]. // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. – 2015. – P. 1224–1240.
4. LTE Device to Device (D2D) Proximity Services (ProSe) User Equipment (UE) radio transmission and reception (Release 12). // 3GPP TR 36.877 V12.0.0. – 2015.
5. Comparison of Protocols for Ubiquitous Wireless Sensor Network / A.Muthanna, A. Paramonov, A. Koucheryavy, A. Prokopiev. // International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops 6. Сер. "2014 6th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops, ICUMT 2014". – 2015. – P. 334–337.
6. Атея А. А. Архитектура сотовой системы 5G на базе MEC / А. А. Атея // Молодежная научная школа по прикладной теории вероятностей и телекоммуникационным технологиям (АРТСТ-2017) материалы молодежной научной школы / А. А. Атея., 2017. – С. 23–29.
7. Бородин А. С. Маршрутизация трафика в сети беспроводной связи, построенной на базе D2D-технологий / А. С. Бородин, А. И. Парамонов. // Электросвязь. – 2019. – №2. – С. 38–44.
8. Asadi A. Network-assisted Outband D2D-clustering in 5G Cellular Networks: Theory and Practice / A. Asadi, V. Mancuso. // IEEE Transactions on Mobile Computing. – 2016.
9. Ateya A. 5G framework based on multi-level edge computing with D2D enabled communication / A. Ateya, A. Muthanna, A. Koucheryavy. // In Advanced Communication Technology (ICACT), 2018 20th International Conference on, IEEE. – 2018. – P. 507–512.

10. Enabling D2D Communication through MEC and SDN / [A. Muthanna, A. Khakimov, A. Ateya etc]. // *Communications in Computer and Information Science*. – 2018. – №919. – P. 95–105.
11. Бородин А. С. Архитектуры промышленного Интернета Вещей / А. С. Бородин, Т. А. Москаленко, Р. В. Киричек. // *Информационные технологии и телекоммуникации*. – 2017. – №4. – С. 49–56.
12. Атея А. А. Многоуровневая облачная архитектура для услуг Тактильного Интернета / А. А. Атея, А. И. Выборнова, Р. В. Киричек. // *Электросвязь*. – 2017. – №2. – С. 26–30.
13. Кучерявый А. Е. Тактильный интернет: новые возможности и задачи / А. Е. Кучерявый, А. И. Выборнова // *Проблемы техники и технологий телекоммуникаций ПТиТТ-2016 Первый научный форум "Телекоммуникации: теория и технологии"* / А. Е. Кучерявый, А. И. Выборнова. – Самара, 2016. – С. 133–134.
14. Кучерявый А. Е. Тактильный Интернет / А. Е. Кучерявый, А. И. Выборнова. // *Сборник научных статей V международной научно-технической и научно-методической конференции «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании» АПИНО-2016*. – 2016. – №1. – С. 6–11.
15. Realizing the Tactile Internet: Haptic Communications over Next Generation 5G Cellular Networks / [A. Aijaz, M. Dohler, A. H. Aghvami etc]. // *IEEE Wireless Communications*. – 2017. – P. 82–89.
16. Shaping 5G for the Tactile Internet / A. Aijaz, M. Simsek, M. Dohler, G. Fettweis. // *5G Mobile Communications*, Springer International Publishing. – 2017. – P. 677–691.
17. Intelligent core network for Tactile Internet system / [A. Ateya, A. Muthanna, A. Vybornova etc]. // *In Proceedings of 17 the International Conference on Future Networks and Distributed Systems*. – 2017. – №15.
18. End-to-end system structure for latency sensitive applications of 5G / A. Ateya, A. Muthanna, M. Al-Bahri, A. Koucheryavy. // *Электросвязь*. – 2018. – №6. – P. 56–61.
19. Multilevel cloud based Tactile Internet system / A. A. Ateya, A. Vybornova, R. Kirichek, A. Koucheryavy. // *In Proceedings of the 19th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)*, Bongpyeong, Korea. – 2017. – P. 105–110.

20. Paramonov A. Connectivity Estimation in Wireless Sensor Networks / A. Paramonov, I. Nurilloev, A. Koucheryavy. // Lecture Notes in Computer Science. – 2016. – P. 269–277.
21. Кучерявый А. Е. Тактильный Интернет. Сети связи со сверхмалыми задержками / А. Е. Кучерявый, М. А. Маколкина, Р. В. Киричек. // Электросвязь. – 2016. – №1. – С. 44–46.
22. Dohler M. Internet of Skills, Where Robotics Meets AI, 5G and the Tactile Internet / M. Dohler. // European Conference on Networks and Communications (EuCNC). – 2017. – С. 1–5.
23. 5G case study of Internet of Skills: Slicing the human senses / [M. A. Lema, K. Antonakoglou, F. Sardis etc]. // In Networks and Communications (EuCNC), 2017 European Conference on. – 2017. – P. 1–6.
24. Kirichek R. Internet of Things Laboratory Test Bed / R. Kirichek, A. Koucheryavy. // LNEE. – 2016. – №348.
25. Model networks for internet of things and SDN / R. Kirichek, A. Vladyko, M. Zakharov, A. Koucheryavy. // 18th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT). – 2016. – P. 76–79.
26. Relaying Operation in 3GPP LTE: Challenges and Solutions / [C. Hoymann, W. Chen, H. Montojo etc]. // IEEE Communications Magazine. – 2012.
27. Realizing the Tactile Internet: Haptic Communications over Next Generation 5G Cellular Networks / [A. Aijaz, M. Dohler, V. Friderikos etc]. // IEEE Wireless Communications. – 2017. – P. 82–89.
28. Analytical Evaluation of D2D Connectivity Potential in 5G Wireless Systems / [A. 95. Muthanna, P. Masek, J. Hosek та ин.]. // Lecture Notes in Computer Science. – 2016. – P. 395–403.
29. Multilevel cloud based Tactile Internet system / A. A. Ateya, A. Vybornova, R. Kirichek, A. Koucheryavy. // In Proceedings of the 19th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT). – 2017. – P. 105–110.
30. Энергоэффективная граничная облачная система для 5G / М. И. Филимонова, А. А. Атея, А. С. Мутханна, Р. В. Киричек. // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2017. – №4. – С. 78–84.
31. Бородин А. С. Сети связи пятого поколения как основа цифровой экономики / А. С. Бородин, А. Е. Кучерявый. // Электросвязь. – 2017. – №5. – С. 45–49.

32. Бородин А. С. Особенности использования D2D-технологий в зависимости от плотности пользователей и устройств / А. С. Бородин, А. Е. Кучерявый, А. И. Парамонов. // *Электросвязь*. – 2018. – №10. – С. 40–45.
33. Бородин А. С. Метод построения сети связи на базе D2D-технологий с использованием дополнительных маршрутизаторов / А. С. Бородин, А. Е. Кучерявый, А. И. Парамонов. // *Электросвязь*. – 2019. – №4. – С. 86–92.
34. Козловський В. О. Методичні вказівки до виконання студентами-магістрантами наукового напрямку економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / В. О. Козловський. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 22 с.
35. Козловський В. О. Техніко-економічні обґрунтування та економічні розрахунки в дипломних проектах та роботах / В. О. Козловський. – Вінниця: ВДТУ, 2003. – 75 с.
36. Intelligent Access Network Selection in Converged Multi-Radio Heterogeneous Networks / [S. Andreev, M. Gerasimenko, O. Galinina etc]. // *IEEE Wireless Communications*. – 2017. – №6. – P. 86–96.
37. Бондарев А. Н. Метод регулирования воздушного движения БПЛА в умных городах и сообществах / А. Н. Бондарев, А. С. Бородин, Р. В. Киричек. // 72-я Всероссийская научно-техническая конференция, посвященная Дню радио — СПб.: СПбГЭУ «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина). – 2017. – С. 186–188.
38. Летающие сенсорные сети / [А. Е. Кучерявый, Р. В. Владыко, А. И. Киричек та ін.]. // *Электросвязь*. – 2014. – №9.
39. Dao N. Analysis of Routes in the Network based on a Swarm of UAVS / N. Dao, A. Koucheryavy, A. Paramonov. // *Lecture Notes in Electrical Engineering*. – 2016. – №376. – P. 1261–1271.
40. Agiwal M. Next generation 5G wireless networks: A comprehensive survey / M. Agiwal, A. Roy, N. Saxena. // *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. – 2016. – P. 1617–1655.
41. Сенсорные сети в гетерогенной зоне системы длительной эволюции / А.Футахи, А. И. Парамонов, А. В. Прокопьев, А. Е. Кучерявый. // *Электросвязь*. – 2015. – №3.
42. Хуссейн О. А. Анализ влияния технологий D2D на функционирование беспроводных сетей связи / О. А. Хуссейн, А. И. Парамонов. //

- Информационные технологии и телекоммуникации. – 2018. – №2. – С. 79–86.
43. Хуссейн О. А. Анализ кластеризации D2D-устройств в сетях пятого поколения / О. А. Хуссейн, А. И. Парамонов, А. Е. Кучерявый. // Электросвязь. – 2018. – №9. – С. 32–38.
44. Kirichek R. Flying Ubiquitous Sensor Networks as a Queueing System / R. Kirichek, A. Paramonov, A. Koucheryavy. // 17th International Conference on Advanced Communications Technology (ICTACT) 2015. – 2015. – P. 127–132.
45. Recommendation Y.1541 Network performance objectives for IP-based services. Telecommunication Standardization Sector of ITU, Geneva, 2018.
46. The tactile internet: vision, recent progress, and open challenges / M. Maier, M. Chowdhury, B. P. Rimal, D. P. Van. // IEEE Communications Magazine. – 2016. – №5. – P. 138–145.
47. ITU-T Technology Watch Report, “The Tactile Internet,” Aug. 2014.
48. Интернет навыков / [А. С. Бородин, А. Е. Кучерявый, М. А. Маколкина и др.]. // Электросвязь. – 2018. – №1. – С. 55–65.
49. Бородин А. С. Сети связи 2030 / А. С. Бородин, А. Е. Кучерявый, Р. В. Киричек. // Электросвязь. – 2018. – №11. – С. 52–56.
50. Маколкина М. А. Развитие услуг дополненной реальности в рамках концепции Тактильного Интернета / М. А. Маколкина. // Электросвязь. – 2017. – №2. – С. 36–40.
51. Распределение ресурсов при предоставлении услуги дополненной реальности / М. А. Маколкина, А. И. Парамонов, А. А. Еоголь, А. Е. Кучерявый. // Электросвязь. – 2018. – №8. – С. 23–30.
52. Makolkina M. The Augmented Reality Service Provision in D2D Network / M. Makolkina, A. Vikulov, A. Paramonov. // Communications in Computer and Information Science. – 2017. – №700. – P. 281–290.
53. Makolkina M. The Models of Moving Users and IoT Devices Density Investigation for Augmented Reality Applications / M. Makolkina, A. Koucheryavy, A. Paramonov. // Lecture Notes in Computer Science. – 2017. – P. 683–692.
54. Clustering Optimization for Out-of-Band D2D Communications / [A. Paramonov, O. Hussain, K. Samouylov etc]. // Wireless Communications and Mobile Computing. – 2017.

55. Парамонов А. И. Разработка и исследование комплекса моделей трафика для сетей связи общего пользования : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук / Парамонов А. И. – Санкт-Петербург, 2014.
56. Парамонов А. И. Модели потоков трафика для сетей D2D / А. И. Парамонов. // Электросвязь. – 2014. – №4. – С. 11–16.
57. Парамонов А. И. Проблемы развития инфокоммуникационных услуг и их влияние на перераспределение трафика / А. И. Парамонов, Н. С. Сенькина. // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2016. – №1. – С. 46–54.
58. Chornaya D. Investigation Of Machine-To-Machine Traffic Generated By Mobile Terminals / D. Chornaya, A. Paramonov, A. Koucheryavy. // International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops 6. Сер. "2014 6th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops, ICUMT 2014". – 2015. – P. 210–213.
59. Paramonov A. D2D Traffic Models And Flow Types In Case Of Mass Event Detection / A. Paramonov, A. Koucheryavy. // Lecture Notes in Computer Science. – 2014. – P. 294–300.
60. Вимадинов Р. Ф. Кластеризация в мобильных сетях 5G. Случай частичной мобильности / Р. Ф. Вимадинов, А. С. Мутханна, А. Е. Кучерявый. // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2015. – №2. – С. 44–52.
61. Разработка модели кластеризации для реализации умного города / М. С.Мутханна, М. Н. Шпаков, А. А. Атея, А. С. Мутханна. // 73-я Всероссийская Научно-Техническая Конференция, Посвященная Дню Радио. – 2018.
62. ITU-R P. 1238-5. Дані про поширення радіохвиль і методи прогнозування для планування систем радіозв'язку всередині приміщень і локальних зонних радіомереж в частотному діапазоні 900 МГц - 100 ГГц.
63. IEEE Std 802.11 - 2016. IEEE Standard for Information technology — Telecommunications and information exchange between systems. Local and metropolitan area networks — Specific requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. НьюЙорк: ИнститутIEEE., 2016 - 3534 с.

64. Рекомендація ІТУ-Р Р.1238-8. Дані про поширення радіохвиль і методи прогнозування для планування систем радіозв'язку всередині приміщень і локальних зонових радіомереж в частотному діапазоні 300 МГц - 100 ГГц. Серія Р. 2015.
65. Викулов А. С. Анализ трафика в сети беспроводного доступа стандарта IEEE 802.11 / А. С. Викулов, А. И. Парамонов. // Труды учебных заведений связи. – №3. – С. 21–27.
66. Mahmood O. A. Optimization of Routes in the Internet of Things / O. A. Mahmood, A. Paramonov. // 18th International Conference on Next Generation Wired/Wireless Networking (NEW2AN), and 11th Conference on Internet of Things and Smart Spaces (ruSMART) conference proceedings. – 2018. – P. 584–593.
67. Дао Ч. Н. Метод выбора стабильного маршрута в сети с подвижными узлами / Ч. Н. Дао, А. И. Парамонов. // Электросвязь. – 2018. – №8. – С. 37–44.
68. Викулов А. С. Анализ основных видов помех в задаче планирования сетей Wi-Fi с высокой плотностью пользователей / А. С. Викулов, А. И. Парамонов. // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2018. – №1. – С. 21–31.
69. Системы и сети радиодоступа 4G: LTE, WiMax / [А. Е. Рыжков, М. А. Сивере, В. О. Воробьев та ін.]. – СПб: Линк, 2012. – 226 с.
70. Викулов А. С. Эффективность использования канала и метод оптимизации числа кадров в блоке A-MSDU для сети IEEE 802.11ac / А. С. Викулов, А. И. Парамонов. // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2017. – №4. – С. 21–31.
71. ГОСТ 12.0.003-74.ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
72. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
73. Пособие по расчету и проектированию, естественного, искусственного и совмещенного освещения НИИСФ – М.: Стройиздат. 1985. – 384 с.
74. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення.
75. ДСН 3.3.6-037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
76. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97), МОЗ України. – К., 1997.

77. ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
78. Березюк О. В. Охорона праці. Підсумкова державна атестація спеціалістів, магістрів в галузях електроніки, радіотехніки, радіоелектронних апаратів та зв'язку : навчальний посібник / О. В. Березюк, М. С. Лемешев. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 104 с.
79. Правила улаштування електроустановок. 2-е вид., перероб. і доп. – Х: "Форт", 2009. – 736 с.
80. ДБН В.2.5-27-2006. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд.
81. ДБН В.1.1.7-2002. Пожежна безпека об'єктів будівництва.
82. НАПБ Б.03.001-2004. Типові норми належності вогнегасників.
83. ДСН 3.3.6.03999. Державні санітарні норми виробничої та загальної вібрацій.
84. СНиП 2.09.02-85. Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений.

ДОДАТКИ

ВНТЗ
ТКСТЪ ОРРЕН
МКР
2019

Додаток А

ВЕНТУ ФІРМЕН
ТКСТЪ МКР
2019

ВНТУ ДІПРЕН
ТКСТБ МКР
2019

ВНТУ ДІПРЕН
ТКСТБ МКР
2019

ВНТУ ДІПРЕН
ТКСТБ МКР
2019

ВНТУ ДІПРЕН
ТКСТБ МКР
2019

ВНТУ ДІПРЕН
ТКСТБ МКР
2019

ВНТУ ДІПРЕН
ТКСТБ МКР
2019

ВНТУ ДІПРЕН
ТКСТБ МКР
2019

ВНТУ ДІПРЕН
ТКСТБ МКР
2019

Додаток Б
(обов'язковий)

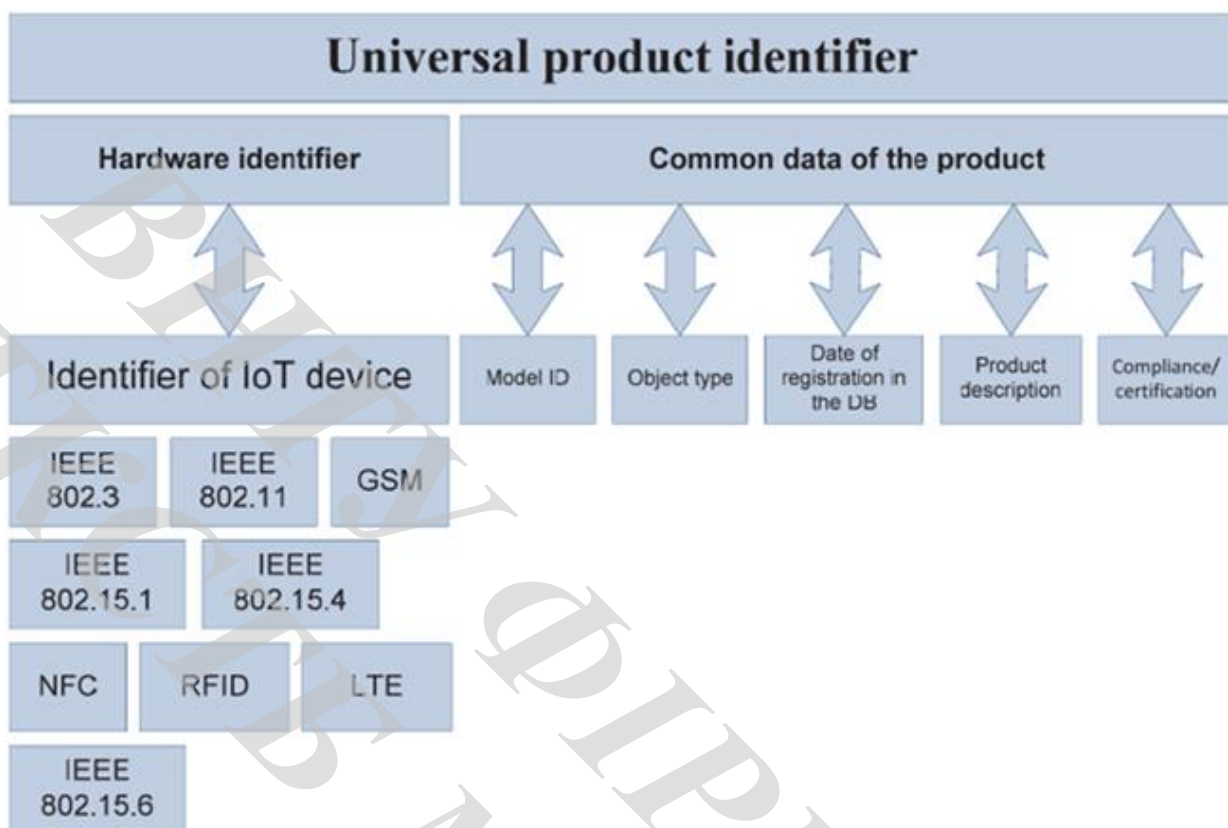


Рисунок Б.1 – Структура мережного пристрою заснованого на IoT модулях

Додаток В
(обов'язковий)



Рисунок В.1 – Багаторівнева система хмарної інфраструктури для мереж зв'язку п'ятого покоління в умовах впровадження послуг Тактильного Інтернету

Додаток Г
(обов'язковий)



Рисунок Г.1 – Мережа зв'язку з ультра малими затримками

Додаток Д
(обов'язковий)

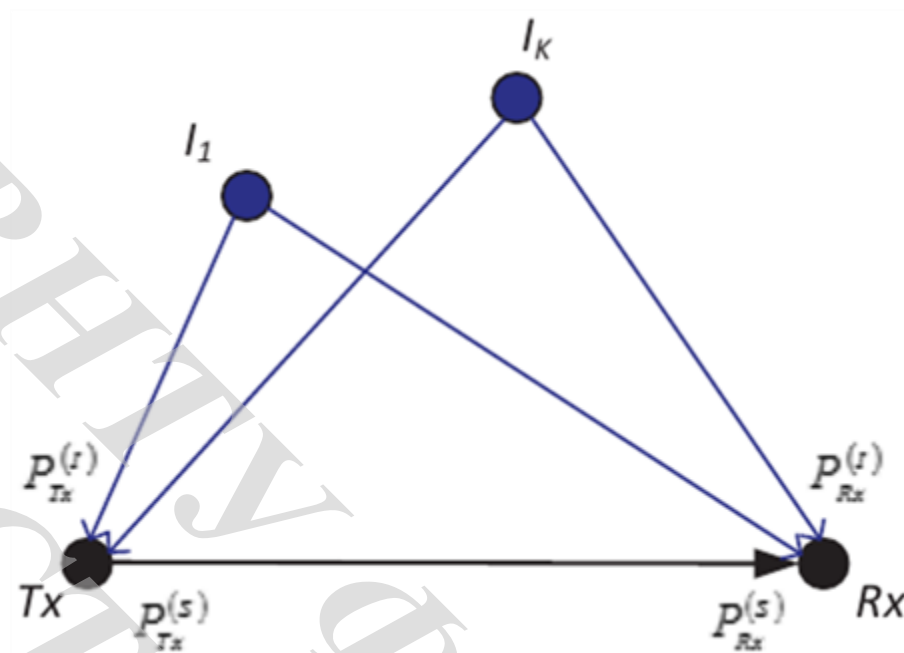


Рисунок Д.1 – Модель впливу завод

Додаток Е
(обов'язковий)

Результати дослідження

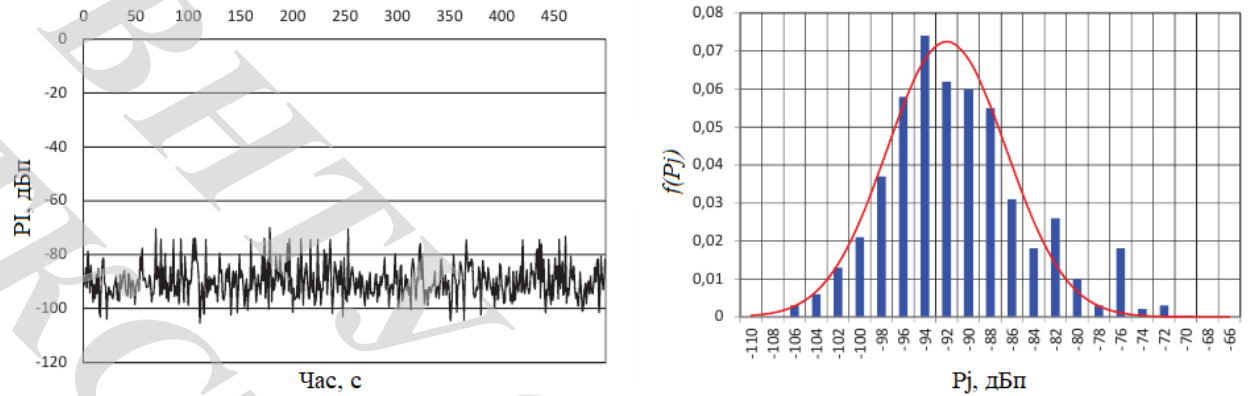


Рисунок Е.1 – Потужність завад в точці прийому і її щільність ймовірності

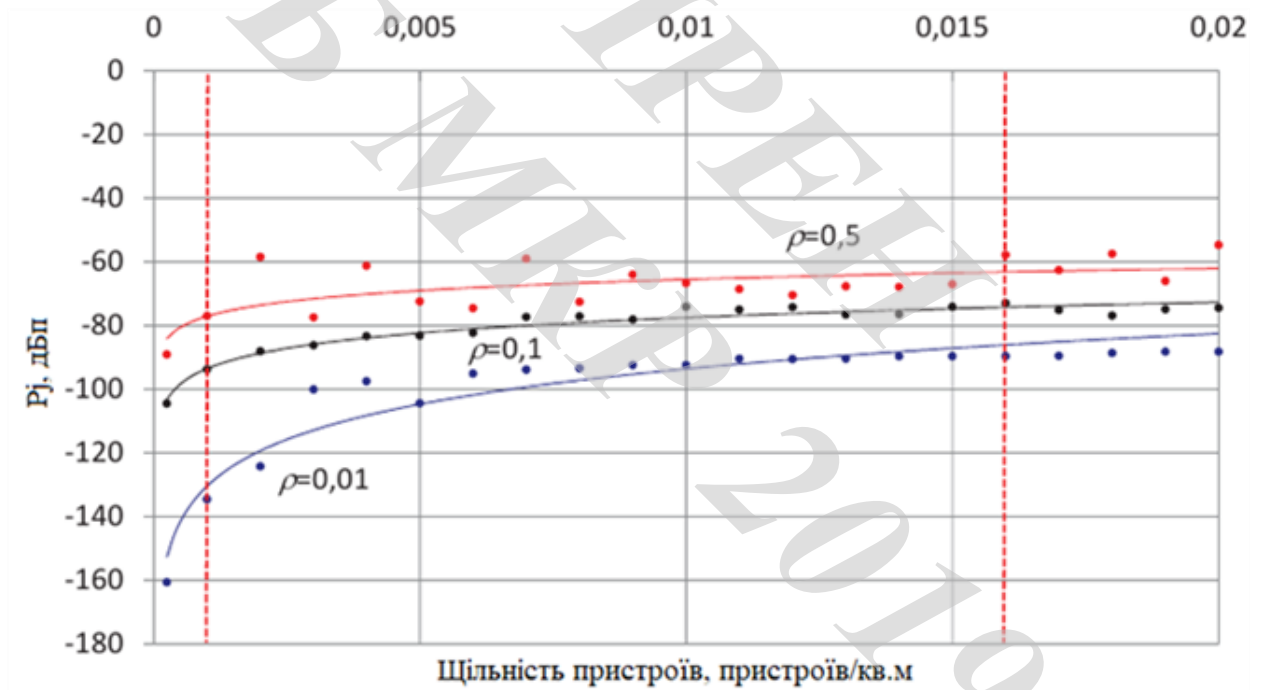


Рисунок Е.2 – Залежність потужності сигналу завади в точці прийому від щільності пристроїв при різній інтенсивності використання каналу

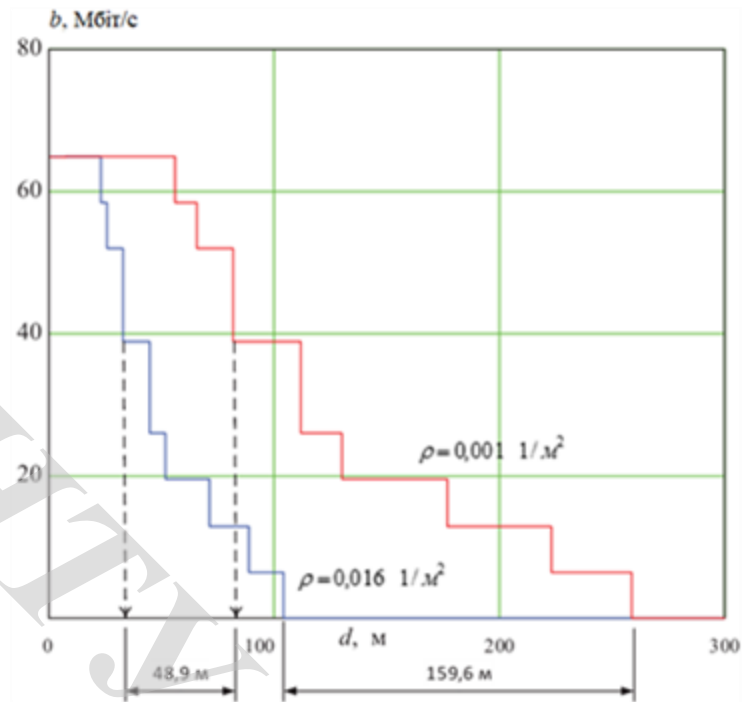


Рисунок Е.3 – Залежність досяжної швидкості передачі даних для стандарту IEEE 802.11n при різній щільності терміналів

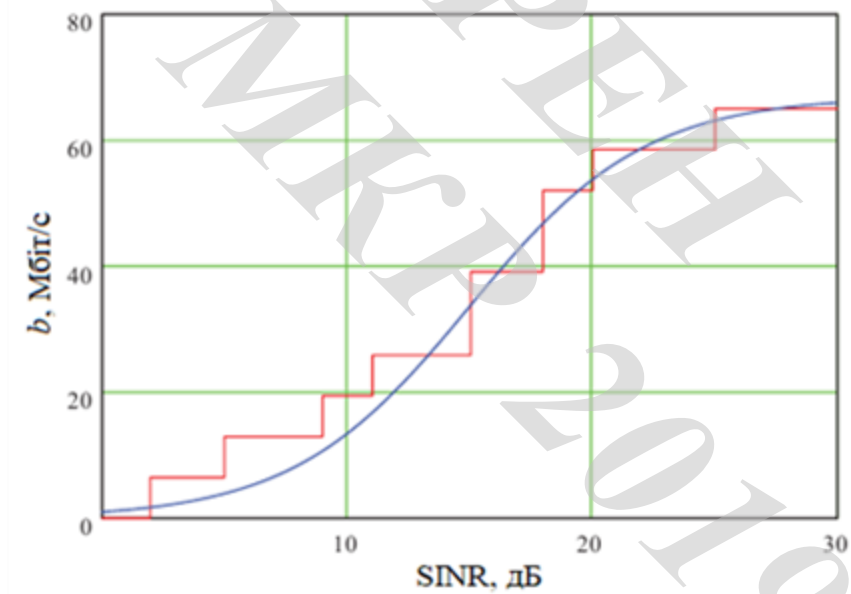


Рисунок Е.4 – Залежність пропускну́ї здатності від відносини SINR сигналу на вході приймача (IEEE 802.11n)

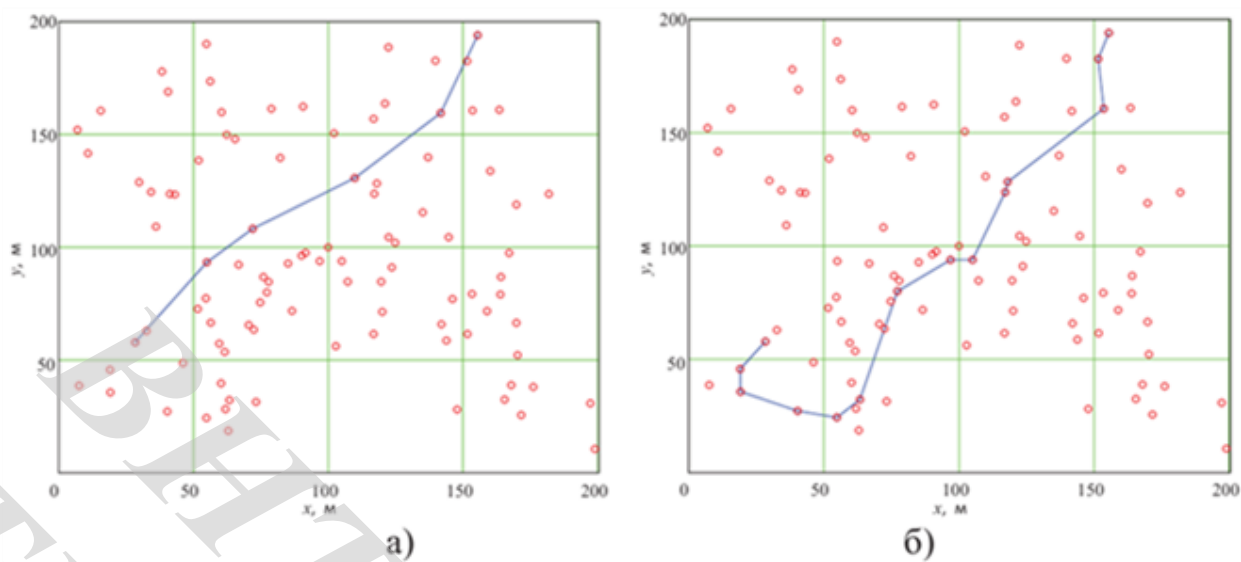


Рисунок Е.5 – Вибір маршруту а) критерій довжини (відстані), б) максимальна пропускна здатність

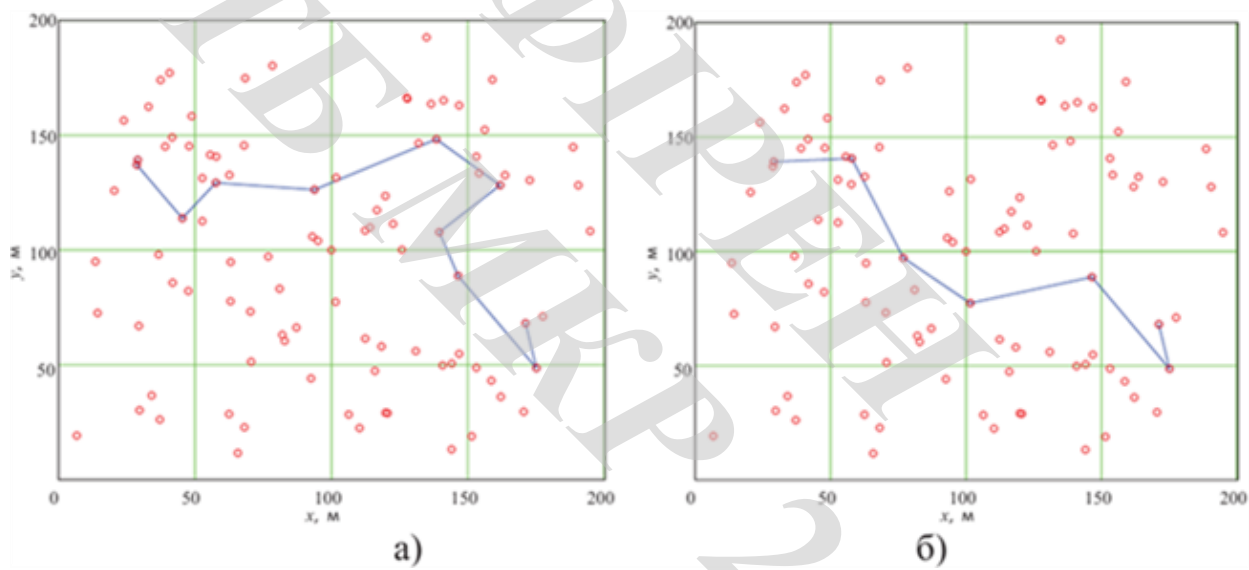


Рисунок Е.6 – Вибір маршруту а) без урахування інтенсивності трафіку б) з урахуванням інтенсивності трафіку

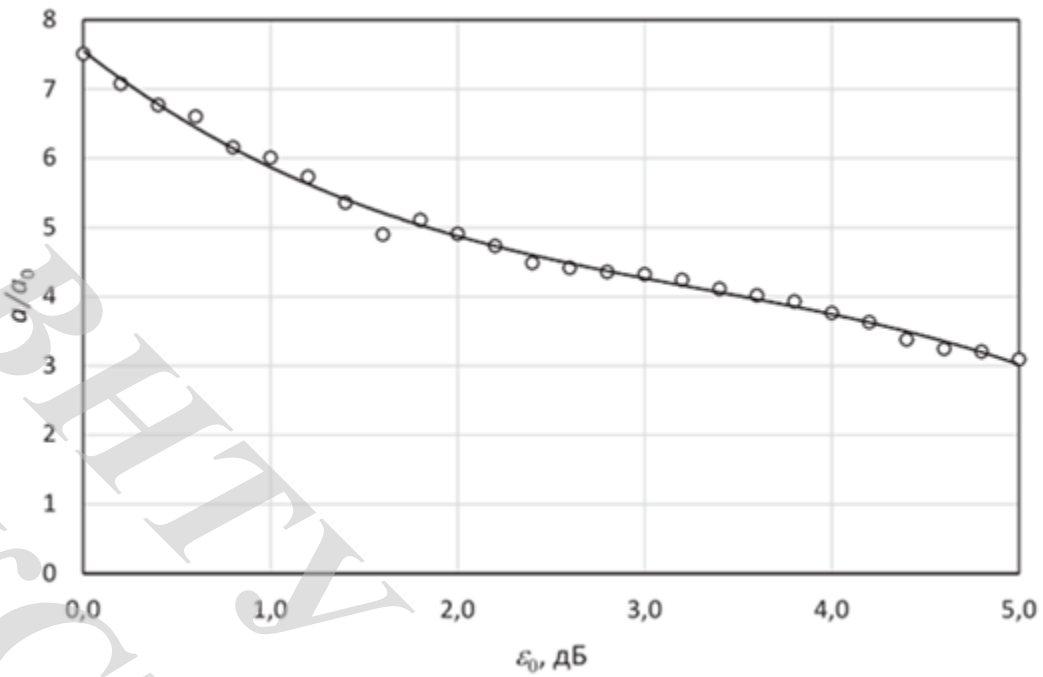


Рисунок Е.7 – Залежність відносної величини навантаження на вузол мережі від величини виграшу ϵ_0

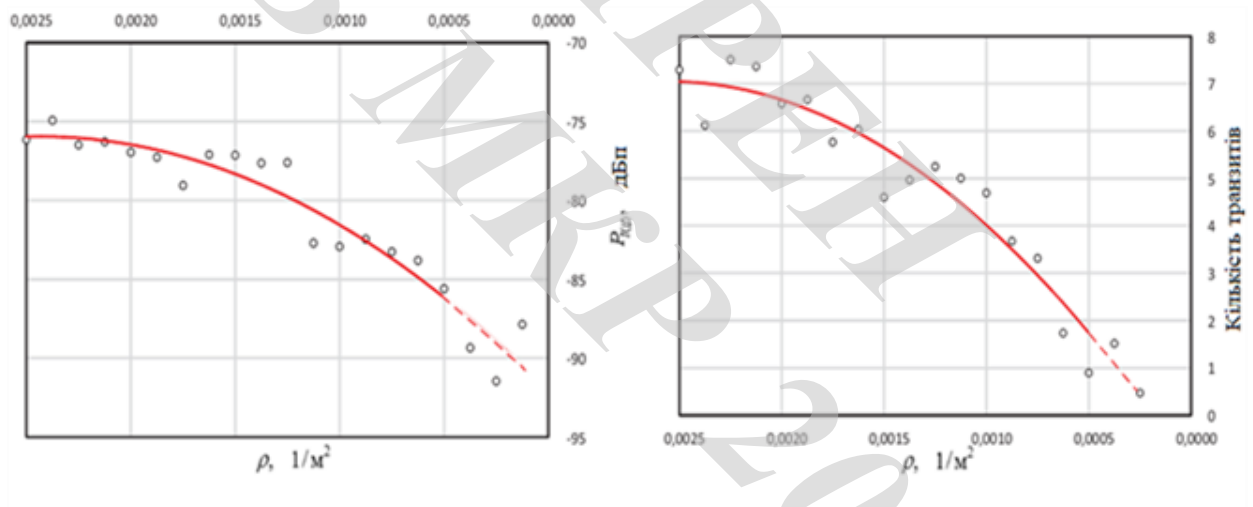


Рисунок Е.8 – Зміна потужності інтерференції зі зміною щільності вузлів мережі

Додаток Є
(довідниковий)

Лістинг алгоритму вибору маршруту

Input: зважений граф $G(V,E)$

Output: масив мінімальних значень $sinr [i][j]$, масив маршрутів $next [i][j]$, масив ваги дуг $dist [i][j]$

let $dist$ be a $n \times n$ масив довжин найкоротших шляхів (infinity)

let $sinr$ be a $n \times n$ масив значень мінімальних значень SINR

let $next$ be a $n \times n$ | масив номерів вершин найкоротших шляхів

procedure opt-rout ()

for each edge (u, v)

$dist [u] [v] \leftarrow d(u, v)$ // довжина ребра $d(u, v)$

$sinr [u] [v] \leftarrow sinr(u, v)$ // величина $sinr(u, v)$

$next [u] [v] \leftarrow v$ // номер вершини в маршруті

for k **from** 1 **to** n // Основний цикл

for i **from** 1 **to** n

for j **from** 1 **to** n

if $sinr [i] [j] - \min (sinr [i] [k] + sinr [k] [j]) < \epsilon_0$

then

$sinr [i] [j] \leftarrow \min (sinr [i] [k] + sinr [k] [j])$

$next [i] [j] \leftarrow next [i] [k]$

Додаток Ж
(обов'язковий)

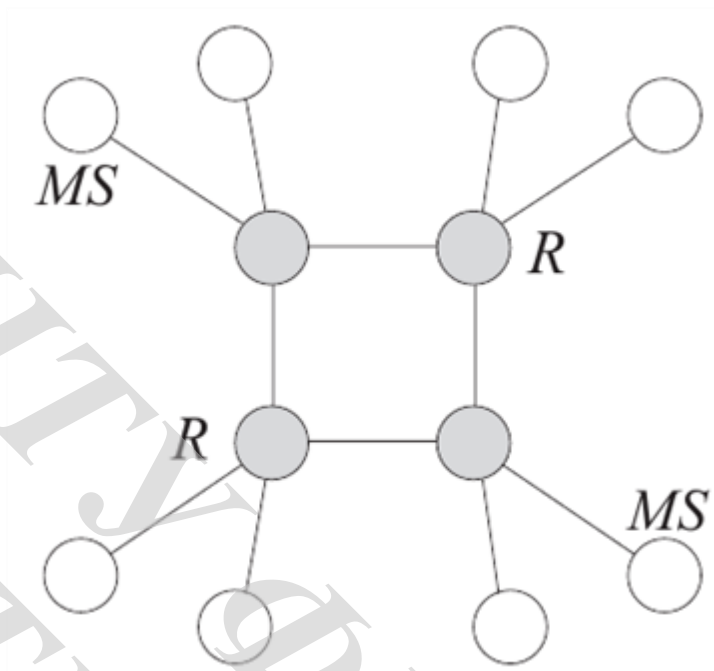


Рисунок Ж.1 – Модель мережі

Додаток К
(довідниковий)

Допустимі значення виробничих чинників

Таблиця 6.1 – Нормовані допустимі параметри мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура повітря, °С для робочих місць		Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с
		постійних	непостійних		
Холодний	Ia	21-25	18-26	75	≤0,1
Теплий		22-28	20-30	55 при 28°С	0,1-0,2

Таблиця 6.2 – ГДК шкідливих речовин [73]

Назва шкідливої речовини	ГДК, мг/м ³	Агрегатний стан	Клас небезпеки
Озон	0,1	Пара	4
Оксиди азоту	5	Пара	2
Пил	4	Аерозоль	2

Таблиця 6.3 – Число іонів в 1 см³ повітря приміщення при роботі на ЕОМ

Рівні	Мінімально необхідні	Оптимальні	Максимально допустимі
Позитивний	400	1500-3000	50000
Негативний	600	3000-5000	50000

Таблиця 6.4 – Нормативні значення КПО та мінімальні освітленості для штучного освітлення

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Підрияд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фону	Освітленість при штучному освітленні, лк			КПО для бокового освітлення, %	
						комбіноване		загальне	Природного	Суміщеного
						всього	у т.ч. від загального			
Середньої точності	0,5-1	IV	г	великий	середній	300	150	150	1,5	0,9

Таблиця 6.5 – Допустимі рівні шуму та еквівалентні рівні звуку

Рівні звукового тиску в дБ в октавних полосах із 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 6.6 – Допустимі рівні вібрації [83]

Гранично допустимі рівні віброприскорення, дБ, в октавних полосах із середньо-геометричними частотами, Гц								Коректовані рівні віброприскорення, дБА
8	16	31,5	63	125	250	500	1000	
73	73	79	85	91	97	103	109	76

Таблиця 6.7 – Значення мінімальних меж вогнестійкості приміщення [81]

Ступінь вогнестійкості будівлі	Стіни							Елементи покриття	
	Несучі та східчасті клітки	Самонесучі	Зовнішні несучі	Перегородки	Колони	Східчасті майданчики	Плити та інші несучі конструкції	Плити, прогони	Балки, ферми
3	REI 120	REI 60	E 15	EI 15	R 120	R 60	REI 45	нн	нн
	M0	M0	M0	M1	M0	M0	M1	нн	нн

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; M1 – $M \leq 25$ см – для горизонтальних конструкцій; $M \leq 40$ см – для вертикальних і похилих конструкцій; нн – не нормується.

Таблиця 6.8 – Протипожежні норми проектування будівель і споруд [84]

Об'єм приміщення, тис. м ³	Категорія пожежної небезпеки	Ступінь вогнестійкості	Відстань, м, при щільності людського потоку в загальному проході, осіб/м ²			Кількість людей на 1 м ширини евакуаційного ходу	Протипожежні розриви, 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	Б	3	40	25	15	45	9	12	15	1	5200	–	–

Додаток А
(обов'язковий)
ВНТУ

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри ТКСТБ ВНТУ,
канд. техн. наук, професор
Г.Г.Бортник
“ ___ ” _____ 2019 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи
ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПОБУДОВИ МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ П'ЯТОГО
ПОКОЛІННЯ
08-34.МКР.002.00.000 ТЗ

Керівник роботи
к.т.н., доц. кафедри ТКСТБ ВНТУ
Васильківський М.В.

Виконавець: ст. гр. ТКС-18м
Болдинюк С.О.

1 ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

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

Дата початку роботи: 02.09.2019 р.

Дата закінчення: 10.12.2019 р.

2 МЕТА І ПРИЗНАЧЕННЯ МКР

Метою даної магістерської кваліфікаційної роботи є розробка і дослідження методів побудови мереж зв'язку п'ятого покоління в умовах надщільної структури і ультра малих затримок.

Задачами магістерської кваліфікаційної роботи є:

- розробка технічного завдання;
- аналіз концепцій розвитку мереж зв'язку на середньострокову і довгострокову перспективи;
- дослідження методу маршрутизації трафіку для надщільних мереж на основі технології взаємодії пристрій-пристрій D2D;
- дослідження методу побудови мережі D2D з використанням додаткових маршрутизаторів;
- дослідження моделі мережі зв'язку на основі особливостей побудови мереж зв'язку з ультра малими затримками.

Об'єкт дослідження є мережі зв'язку п'ятого покоління.

Предмет дослідження є методи побудови мереж зв'язку п'ятого покоління.

Основними завданнями роботи є:

- техніко-економічне обґрунтування доцільності даної розробки;
- аналіз основних напрямів розвитку мереж зв'язку;
- мережі зв'язку п'ятого покоління;

- дослідження методу маршрутизації трафіка для надщільних мереж на основі технології D2D;
- мережі зв'язку на базі технології D2D з використанням додаткових маршрутизаторів;
- аналіз економічної ефективності проведеної розробки;
- дослідження питань безпеки життєдіяльності.

Дослідження основних напрямів розвитку мереж зв'язку полягає в створенні науково-обґрунтованих рекомендацій з планування мереж п'ятого покоління в умовах впровадження надщільних структур і ультра малих затримок.

3 ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ МКР

Робота базується на результатах звіту з переддипломної практики “Дослідження методів побудови мереж зв'язку п'ятого покоління”, який виконувався у ВНТУ 2019/2020 н.р. Під час підготовки магістерської кваліфікаційної роботи будуть використані матеріали цього звіту.

Список використаних джерел розробки:

3.1 Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и применение / Бернард Скляр ; [пер. с англ]. – М.: Изд. Дом “Вильямс”, 2003. – 1104с.

3.2 Бородин А.С. Маршрутизация трафика в сети беспроводной связи, построенной на базе Б2Б-технологий / Бородин А.С., Парамонов А.И. // Электросвязь, №2, 2019, с. 38-44.

3.3 Бородин А.С. Метод построения сети связи на базе D2D-технологий с использованием дополнительных маршрутизаторов / А.С. Бородин, А.Е. Кучерявый, А.И. Парамонов // Электросвязь, №4, 2019, с. 86-92.

3.4 Бородин А.С. Особенности использования D2D-технологий в зависимости от плотности пользователей и устройств. / Бородин А.С., Кучерявый А.Е., Парамонов А.И. // Электросвязь. 2018. № 10. С. 40-45.

3.5 Бородин А.С. Интернет навыков / Бородин А.С., А. Е. Кучерявый, Е. А. Кучерявый, М.А. Маколкина, А. И. Выборнова, В. Д. Фам, А. Ястребова // Электросвязь. 2018. № 1. С. 55-65.

3.6 Викулов А.С., Анализ основных видов помех в задаче планирования сетей Wi-Fi с высокой плотностью пользователей / Викулов А.С., Парамонов А.И. // Информационные технологии и телекоммуникации. 2018. Т. 6. № 1. С. 21-31.

3.7 Дао Ч.Н., Метод выбора стабильного маршрута в сети с подвижными узлами / Дао Ч.Н., Парамонов А.И // Электросвязь. 2018. № 8. С. 37-4

3.8 Маколкина, М.А. Распределение ресурсов при предоставлении услуги дополненной реальности / Маколкина, М.А.; Парамонов, А.И.; Еоголь, А.А.; Кучерявый, А.Е. // Электросвязь. 2018. № 8. С. 23-30.4.

3.9 Ateya, A. 5G framework based on multi-level edge computing with D2D enabled communication / Ateya, A.; Muthanna, A., Koucheryavy, A. // In Advanced Communication Technology (ICACT), 2018 20th International Conference on, IEEE, pp. 507-512, Feb. 2018.

3.10 Ateya, A. A. Development of Intelligent Core Network for Tactile Internet and Future Smart Systems / Ateya, A. A.; Muthanna, A.; Gudkova, I.; Abuarqoub, A.; Vybornova, A.; Koucheryavy, A. // Journal of Sensor and Actuator Networks, 7(1), pp. 1, 2018.

3.11 Mahmood O.A., Optimization of Routes in the Internet of Things. / Mahmood O.A., Paramonov A. // 18th International Conference on Next Generation Wired/Wireless Networking (NEW2AN), and 11th Conference on Internet of Things and Smart Spaces (ruSMART) conference proceedings. 2018. С. 584-593.

3.12 Положення про кваліфікаційну роботу у Вінницькому національному технічному університеті / Уклад. О. Н. Романюк, Р. Р. Обертюх, Т. О. Савчук, Л. П. Громова – Вінниця : ВНТУ, 2015 – 27 с.

3.13 Кухарчук В.В., Ігнатенко О.Г., Обертюх Р.Р. Методичні вказівки до оформлення дипломних проектів (робіт) для студентів всіх спеціальностей.- В.: ВДТУ, 2002.

3.14 Козловський В.О. Техніко-економічні обґрунтування та економічні розрахунки в дипломних проектах та роботах. Навчальний посібник. – В.: ВДТУ, 2003.

3.15 ДСТУ 3008-2015. Інформація та документація, звіти у сфері науки і техніки.- К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016.

3.16 Разработка и оформление конструкторской документации радиоэлектронной аппаратуры. Справочник. Под ред. Э.Т.Романычевой.- М: Радио и связь, 1989.

3.17 Бортник Г.Г., Васильківський М.В. Методичні вказівки до підготовки магістерських кваліфікаційних робіт для студентів спеціальності «Телекомунікації та радіотехніка» усіх форм навчання.- Вінниця:ВНТУ, 2018.- 50 с.

4 ВИКОНАВЕЦЬ

Вінницький національний технічний університет, кафедра телекомунікаційних систем та телебачення, студент групи ТКС-18м Болдинюк С. О.

5 ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ МКР

Пропонується виконати дослідження методів побудови мереж зв'язку п'ятого покоління 5G в умовах надщільної структури і ультра малих затримок

Технічні вимоги, яким повинна відповідати розробка, наступні:

- радіус мережі зв'язку – 50 км;
- значення затримки поширення інформаційного сигналу – 1 мс;
- рівень потужності передавача - 20 дБп;
- інтенсивність використання каналу передавання – 0,5;
- щільність пристроїв зв'язку в мережі – 0,02 пристроїв/км²;

- рівень потужності завади на вході приймача – -70 дБп;
- значення SINR сигналу на вході приймача – 12 дБп;
- пропускна здатність каналу передавання – 60 Мбіт/с;
- кількість транзитних вузлів – 8.

При розробці мереж п'ятого покоління в умовах впровадження надщільних структур і ультра малих затримок слід максимально використовувати стандартні та уніфіковані деталі.

6 ЕТАПИ МКР І ТЕРМІНИ ЇХ ВИКОНАННЯ

№	Назва та зміст етапу	Термін виконання		Очікувані результати	Звітна документація
		початок	закінчення		
1.	Розробка технічного завдання (ТЗ)	02.09.2019р.	06.09.2019р.	Розроблене ТЗ	Додаток А
2.	Аналіз основних напрямів розвитку мереж зв'язку	09.09.2019р.	13.09.2019р.	Проведений аналіз	Вступ. Розділ 1.
3.	Дослідження мережі зв'язку п'ятого покоління	16.09.2019р.	04.10.2019р.	Проведений аналіз	Розділ 2
4.	Дослідження методу маршрутизації трафіка для надщільних мереж на основі технології D2D	07.10.2019р.	25.10.2019р.	Розроблений метод	Розділ 3
5.	Дослідження мережі зв'язку на базі технології D2D з використанням додаткових маршрутизаторів	28.10.2019р.	08.11.2019р.	Характеристики і параметри	Розділ 4
6.	Аналіз економічної ефективності	11.11.2019р.	15.11.2019р.	Економічна частина МКР	Розділ 5
7.	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	18.11.2019р.	22.11.2019р.	Частина ОТ та БНС	Розділ 6

8.	Оформлення пояснювальної записки (ПЗ) та графічної частини	25.11.2019р.	29.11.2019р.	Оформлена документація	ПЗ та графічна частина
9.	Нормоконтроль, попередній захист, рецензування МКР	02.12. 2019р.	06.12.2019р.	Позитивні відзиви	Відзив. рецензія
10.	Захист МКР ЕК		10.12. 2019р.	Позитивний захист	Протокол ЕК

7 ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОРЯДОК РЕАЛІЗАЦІЇ МКР

В результаті виконання роботи будуть розроблені:

- структура мережного пристрою, заснованого на IoT модулях;
- багаторівнева система хмарної інфраструктури для мереж зв'язку п'ятого покоління в умовах впровадження послуг Тактильного Інтернету;
- модель впливу завад;
- модель мережі;
- мережа зв'язку з ультра малими затримками;
- економічна частина МКР;
- розділ ОП та БНС;
- рекомендації щодо подальшого використання мережі зв'язку з ультра малими затримками.

Результати, отримані в процесі виконання даної роботи, будуть впроваджені в галузі телекомунікацій:

- Регіональний Центр експлуатації телекомунікаційної мережі України шляхом впровадження мережі зв'язку з ультра малими затримками;
- ПАТ “Укртелеком” шляхом впровадження багаторівневої системи хмарної інфраструктури для мереж зв'язку п'ятого покоління для послуг Тактильного Інтернету.

Очікуваний техніко-економічний ефект. При впровадженні результатів досліджень очікується підвищення максимальної пропускної здатності і зменшення мінімальної кількості транзитів.

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;
- структуру мережного пристрою, заснованого на IoT модулях;
- багаторівневу систему хмарної інфраструктури для мереж зв'язку п'ятого покоління в умовах впровадження послуг Тактильного Інтернету;
- модель впливу завад;
- модель мережі;

- мережу зв'язку з ультра малими затримками;
- економічну частину та розділ БЖД і ЦЗ;
- рекомендації щодо подальшого використання мережі зв'язку з ультра малими затримками.

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.