


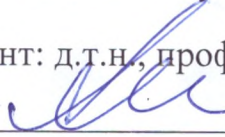
Вінницький національний технічний університет  
Факультет інформаційних електронних систем  
Кафедра інфокомунікаційних систем і технологій

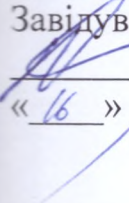
**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
на тему:  
**«Особливості проектування та впровадження мереж 5G  
на території України»**

Виконав: студент 2-го курсу,  
групи ТКС-21м  
спеціальності 172 – Телекомунікації та  
радіотехніка

 Дира В.В.

Керівник: к.т.н., доцент каф. ІКСТ  
 Семенова О.О.  
« 16 » 12 2022 р.


Опонент: д.т.н., професор каф. ІРТС  
 Осадчук О.В.  
« 16 » 12 2022 р.

Допущено до захисту  
Завідувач кафедри ІКСТ  
 д.т.н., проф. Кичак В.М.  
« 16 » 12 2022 р.

Вінниця ВНТУ – 2022 рік

Вінницький національний технічний університет  
Факультет інформаційних електронних систем  
Кафедра інфокомунікаційних систем і технологій  
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)  
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 ІКСТ  
д.т.н., проф В.М. Кичак

  
“14” 09 2022 року

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

Дирі Вадиму Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Особливості проектування та впровадження мереж 5G на території України

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

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

затвержені наказом вищого навчального закладу від “14” 09 2022 року № 203

2. Строк подання студентом роботи 12 грудня 2022 року



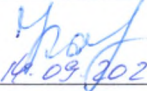
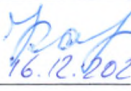


3. Вихідні дані до роботи: частота радіоканалу – 30 кГц; висота антени БС – 30м, висота антени МС – 1,5 м вихідна потужність БС – 50 дБм, вихідна потужність МС – 23 дБм запас на затінення – 8,7 дБ кількість виділених ресурсних блоків – 133 і 273, зона – міська.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) вступ; огляд принципів планування та проектування мережі 5G; проблеми при плануванні і проектуванні мереж 5G; особливості планування і проектування мереж 5G; моделювання мережі доступу 5G; розрахунок мережі 5G економічна частина; охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях; висновки; література; додатки.

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

1) Загальна архітектура мережі. 2) Функції розподілу пропускної здатності. 3) Модуль вектора помилки. 4) Визначення транзитних вузлів. 5) Розташування транзитних вузлів. 6) Моделювання поширення радіохвиль.

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технічна частина	Семенова О.О., доцент каф. ІКСТ	 14.09.2022	 16.12.2022
Економічна частина	Кавецький В.В. доцент кафедри ЕПВМ	 14.09.2022	 16.12.2022
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Рембідюка С.В. професор каф. БМДПБ	 14.09.2022	 16.12.2022

7. Дата видачі завдання 01 вересня 2022 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи
1.	Розробка технічного завдання	12.09.2022р.
2.	Техніко-економічне обґрунтування розробки	19.09.2022р.
3.	Огляд особливостей проектування мережі	07.10.2022р.
4.	Моделювання мережі	28.10.2022р.
5.	Розрахунок параметрів мережі	18.11.2022р.
6.	Аналіз економічної ефективності розробки	25.11.2022р.
7.	Аналіз безпеки життєдіяльності, цивільний захист	02.12.2022р.
8.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини	09.12.2022р.
9.	Нормоконтроль МКР	12.12.2022р.
10.	Попередній захист МКР, рецензування МКР	14.12.2022р.
11.	Захист МКР ДЕК	19.12.2022р.

Студент

  
 (підпис)

Дири В. В.

Керівник роботи

  
 (підпис)

Семенова О.О.

## АНОТАЦІЯ

УДК 621.396

Дира Вадим Володимирович. Особливості проектування та впровадження мереж 5G на території України. Магістерська кваліфікаційна робота. – Вінниця: ВНТУ, 2022. – 115с.

На українській мові. Бібліогр.: 34 назв; Рис.:30; Табл.: 20.

Магістерська робота присвячена аналізу принципів проектування мереж 5G. Розглянуто основні проблеми та шляхи їх вирішення. Здійснено моделювання та розрахунок мережі. Розраховано економічний ефект. Розглянуті питання безпеки життєдіяльності та охорони праці. Отримані результати задовольняють вимогам технічного завдання.

Ключові слова: мережа, проектування, мобільний

## ABSTRACT

UDK 621.396

Dyra Vadym Volodymyrovych. Peculiarities of design and implementation of 5G networks on the territory of Ukraine. Master thesis. – Vinnytsya: VNTU, 2022. – 115pp.

In Ukrainian language. Refs.: 34 titles; figs.: 30; tables: 20.

The master thesis is dedicated to the analysis of principles of designing 5G networks. The main problems and ways to solve them has been considered. Modeling and calculation of the network has been carried out. The economic gain has been calculated. Problems of industrial and occupational safety have been considered. The obtained results satisfy preliminary specifications.

Keywords: network, designing, mobile.

The master's thesis is devoted.

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 ОГЛЯД ПРИНЦИПІВ ПЛАНУВАННЯ ТА ПРОЄКТУВАННЯ МЕРЕЖІ 5G	6
1.1 Ключові завдання під час моделювання мережі.....	6
1.2 Сучасні підходи до планування мереж 5G .....	7
1.3 Перспективи модернізації мереж зв'язку від LTE до 5G .....	9
1.4 Частоти, що використовуються для 5G.....	11
1.5 Вибір мережевої архітектури Non-Standalone чи Standalone.....	12
1.6 Основні труднощі, пов'язані з розгортанням мереж 5G.....	13
1.7 Модернізація обладнання для базової станції.....	14
1.8 Готові моделі стільників.....	16
1.9 Технологія покриття 5G мережі усередині приміщення.....	18
2 ПРОБЛЕМИ ПРИ ПЛАНУВАННІ І ПРОЄКТУВАННІ МЕРЕЖ 5G .....	23
2.1 Частотний спектр стандарту 5G.....	23
2.2 Проблеми, пов'язані з якістю сигналів у міліметровому діапазоні.....	25
2.3 Оцінка якості сигналів .....	26
2.4 Вибір вимірювального рішення.....	28
2.5 Вимірювання параметрів пристроїв стандарту 5G NR у міліметровому діапазоні .....	30
3 ОСОБЛИВОСТІ ПЛАНУВАННЯ І ПРОЄКТУВАННЯ МЕРЕЖ 5G .....	32
3.1 Модель мережі .....	32
3.2 Вибір місця розташування транзитних вузлів.....	33
3.3 Формування кластерів .....	39
4 МОДЕЛЮВАННЯ МЕРЕЖІ ДОСТУПУ 5G.....	44
4.1 Моделювання середовища.....	44
4.2 Моделювання поширення радіохвиль.....	47
4.3 Моделювання системи п'ятого покоління.....	49
4.4 Планування Massive MIMO.....	49
4.5 Процес планування параметрів комірки.....	51

5 РОЗРАХУНОК МЕРЕЖІ 5G.....	55
5.1 Розрахунок максимально допустимих втрат.....	55
5.2 Розрахунок зони покриття базової станції за моделлю COST231.....	58
5.3 Розрахунок швидкості передачі 5G NR.....	59
6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	61
6.1 Оцінювання наукового ефекту .....	61
6.2 Розрахунок витрат на здійснення науково-дослідної роботи .....	66
6.3 Оцінювання важливості та наукової значимості науково-дослідної роботи	81
6.4 Висновки по розділу.....	82
7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	83
7.1 Технічні рішення з безпечного виконання робіт.....	84
7.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	86
7.3 Інформування та оповіщення.....	93
ВИСНОВКИ.....	96
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	98
ДОДАТКИ.....	101
Додаток А (обов'язковий) Технічне завдання.....	102
Додаток Б (обов'язковий) Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень.....	109
Додаток В (обов'язковий) Загальна архітектура мережі. Плакат.....	110
Додаток Д (обов'язковий) Функції розподілу пропускної здатності. Плакат...	111
Додаток Е (обов'язковий) Модуль вектора помилки. Плакат.....	112
Додаток Ж (обов'язковий) Визначення транзитних вузлів. Плакат.....	113
Додаток И (обов'язковий) Розташування транзитних вузлів. Плакат.....	114
Додаток К (обов'язковий) Моделювання поширення радіохвиль. Плакат.....	115

## ВСТУП

*Актуальність теми.* Безпроводові технології стрімко розвиваються і змінюються з кожним роком. Насправді, лише кілька років тому навантаження на мережу були зовсім іншими – без «тонни» відеофайлів, повідомлень і гігантських онлайн-світів. Змінилися не тільки обсяги інформації, але і кількість користувачів – і все це вимагає оновлення мобільних мереж.

Адаптувати можливості мережі під нинішні потреби повинні нові стандарти телекомунікаційних технологій – зараз під них підпадає п'яте покоління мобільних мереж. Саме до нового п'ятого покоління і відноситься технологія 5G NR, здатна зробити інтернет більш доступним, швидким і надійним.

Говорити про швидке впровадження в Україні 5G почали відразу ж після запуску 4G в 2018 році. Пророкували появу наступного покоління зв'язку вже через 2 роки, синхронно з його поширенням в ЄС. Навіть був підписаний відповідний президентський указ з графіком запуску зв'язку п'ятого покоління. Але реалізація планів затягується.

Тому важливою задачею є дослідження технологій 5G та аналіз особливостей впровадження даної технології в Україні.

*Аналіз останніх досліджень.* Дослідженню особливостей планування, проектування та впровадження мереж стільникового зв'язку п'ятого покоління присвячені праці багатьох вітчизняних та закордонних вчених. Зокрема, можна виділити праці Климаш М.М., Бешлей М.І., Одарченко Р.С., Скулиш М.А та багатьох інших [1-7]. Проблеми розгортання мереж п'ятого покоління досліджені у [8-11]. Праці [12-14] присвячені особливостям мереж 5G, які потрібно враховувати при їх проектуванні. Застосування інтелектуальних технологій при плануванні та проектуванні мереж стільникового зв'язку п'ятого покоління досліджується у працях [15-18].

*Мета та задачі дослідження.* Метою даної магістерської кваліфікаційної роботи є дослідження особливостей проектування мереж стільникового зв'язку п'ятого покоління.



Для досягнення мети потрібно розв'язати такі задачі:

- аналіз основних принципів проектування мереж стільникового зв'язку п'ятого покоління;
- аналіз проблемних місць при проектуванні мережі;
- обґрунтування шляхів оптимізації процесу проектування стільникової мережі п'ятого покоління.

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

Предметом дослідження є принципи проектування мереж мобільного зв'язку п'ятого покоління.

*Методи дослідження.* Для рішення поставлених завдань були використані методи теорії телетрафіку, теорії інформації та передавання сигналів, імітаційне моделювання.

*Новизна одержаних результатів* полягає у наступному:

- обґрунтовано способи забезпечення високої якості сигналів;
- запропоновано моделювати внутрішню і зовнішню мережі паралельно;
- досліджено вплив завад на розташування вузлів.

*Апробація результатів магістерської кваліфікаційної роботи.* Основні ідеї роботи доповідались і обговорювались на LI науково-технічній конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету у 2022 році.

# 1 ОГЛЯД ПРИНЦИПІВ ПЛАНУВАННЯ ТА ПРОЄКТУВАННЯ МЕРЕЖІ 5G

## 1.1 Ключові завдання під час моделювання мережі

Перед початком розгортання мережі необхідним є широке та ефективне її моделювання. Метою моделювання мережі є розв'язання таких ключових задач:

- необхідно розв'язати задачу частотно-територіального планування, щоб забезпечити мінімальну кількість міжсистемних завад, при максимальній зоні обслуговування, забезпечуючи необхідну якість передачі інформації та ЕМС з існуючим радіообладнанням;

- перевірити характеристики наявної мережі;
- оптимізувати методи перетворення та передачі інформації по майбутній мережі;

- оптимізувати параметри пристроїв, що працюють у цій мережі.

Для вирішення вищезгаданих проблем моделювання безпроводної мережі необхідні такі вихідні дані:

- карта місцевості, необхідна для адекватного опису умов поширення сигналу в регіоні при використанні моделі в автоматизованих комп'ютерних системах;

- інформація про розподіл абонентів (трафік) в області, що оцінюється, та їх характеристики (питоме навантаження), аналітично визначена або представлена у форматі взаємозамінних картографічних даних;

- технічні характеристики майбутньої мережі (технології передачі та обробки інформації, діапазон частот, необхідний рівень відношення сигнал/шум тощо), що залежать від стандарту, що використовується;

- показники майбутнього обладнання;

- координати та технічні характеристики радіообладнання, що працює в регіоні, необхідне для розрахунку показників ЕМС, спроектованих і експлуатованих у цьому регіоні мереж.

## 1.2 Сучасні підходи до планування мереж 5G

Проектування мережі 5G відрізняється від процесів проектування попередніх стандартів. Справа в тому, що обладнання для 5G, а також і сама архітектура мережі значно змінилася. 5G стає більш віртуальною, ніж апаратною. Тобто навіть процес обробки даних у дата центрі змінився [16].

Створення максимально можливої зони покриття забезпечуючи при цьому необхідну ємність мережі є основним підходом до проектування мережі наступного покоління ранніх стадіях розвитку. Ці поставлені задачі найчастіше є суперечливими одна одній. Так, наприклад у місті з щільною забудовою покриття мережі набагато менше, ніж повинно бути, але при цьому зберігається хороша пропускна здатність. А в приміській зоні все навпаки, зона покриття більша і покриваються великі території, але пропускна здатність значно нижча.

На сьогодні існує декілька підходів до планування мережі 5G:

1. Планування мережі «з нуля»: мережа розгортається в новій області без опори на існуючі мережі (4G). Такі мережі називаються автономними. У Україні такий підхід недоцільний через його територію.

2. Мережа 5G будується поступово з максимальним використанням існуючих мереж 4G (за допомогою модернізації). У цьому випадку доцільно встановити перші базові станції 5G, в місцях, де мережа 4G не справляється з обслуговуванням трафіку і вирішувати проблему не покриття, а насамперед, нарощування ємності мережі. З огляду на те, що використання цього підходу потребує менших інвестицій, це оптимальний вибір для ринку в Україні.

3. Мережа 5G будується з використанням інфраструктури існуючої мережі 3G шляхом заміни базових станцій 3G/HSPA (також програмного забезпечення в них) на 5G та відповідно, зміцнення транспортної інфраструктури (за

допомогою модернізації). Це дороге рішення, яке потребує значних разових інвестицій. Цей варіант також розглядається, оскільки важливість мережі 3G знижується з кожним роком, і багато країн оголосили про намір відмовитися від мережі третього покоління.

4. Створення єдиного оператора 5G всю країну. Його можна створити за підходом 1 чи 2, якщо є така можливість та фінансування. Всі діючі оператори мають можливість продавати послуги цього «перевізника». Тут є низка мінусів:

- не готове законодавство;
- не задіяний механізм конкуренції, а отже, собівартість проєкту та ціни на його послуги можуть виявитися надто високими;
- немає стимулів до розвитку.

5. Спільне будівництво мереж 5G кількома операторами. Цей підхід означає, що держава видає ліцензії та частоти за умови, що кожна або декілька таких ліцензій призначені для спільного використання двома або більше операторами. Подібні приклади існують. Цей метод найбільш вірогідний, тому що інвестиції в цей проєкт є величезними, і цей метод допоможе операторам скоротити витрати втричі.

Проєктування мережі включає наступні етапи:

- підготовчий етап, на ньому відбувається збір інформації про заплановану мережу, тобто ємність майбутньої мережі, зона покриття, готуються необхідні ресурси та проводять моделювання.

Номінальне та детальне планування, яке включає вибір та використання різних методів планування. Він включає налаштування моделі розподілу, визначення порогових значень із запланованого ресурсу, створення докладного плану радіомережі на основі порогових значень, перевірку швидкості передачі з більш докладною оцінкою трафіку, налаштування планування, параметри планування gNB;

- визначення ключових показників ефективності та параметрів планування використання параметрів та лічильників gNB, які визначають ефективність ключових показників та цілей на основі постачальника обладнання, контроль

ключових показників ефективності та цілей за допомогою планування, а також оптимізація до та після запуску мережі.

### 1.3 Перспективи модернізації мереж зв'язку від LTE до 5G

Як уже згадувалося, сучасні мережі 4G не відповідають вимогам, викладеним у нових сценаріях застосування. Крім щільності з'єднання, ширини смуги радіозв'язку і т.д., затримки в мережах 4G відносно великі. Затримки складаються із затримок у частині радіозв'язку та в частині інфраструктури, і сьогодні досягають десятків мілісекунд. У довгостроковій перспективі для повноцінних мереж 5G, включаючи підтримку Slicing та URLLC, потрібна нова мережева інфраструктура NGCN (конвергентна мережа наступного покоління) та оновлення мережі радіодоступу. Консорціум 3GPP спочатку врахував складність розгортання нових мереж і використав сценарії переходу від стандартної конфігурації LTE мереж до 5G. Використання 5G пропонується спочатку проводити поверх існуючої інфраструктури LTE EPC в режимі NSA (Non-Standalone), як це робили оператори стільникового зв'язку раніше. У такій конфігурації затримки радіочастини скоротяться, але через обмеження LTE ядра EPC, загальний показник затримки буде далекий від вимог URLLC. Головний зміст такої конфігурації в іншому — в радіочастині ми отримаємо значне підвищення пропускнуої здатності достатніх для більшості існуючих додатків eMBB, а також стабільність з'єднання при великій кількості абонентів, що підключилися, на одну базову станцію.

Початкова модель NSA спрямована на покращення якості мобільного широкосмугового інтернету для підвищення надійності та об'єму даних, що передаються шляхом використання підключення в режимі EN-DC (E-UTRAN New Radio — Dual Connectivity). Користувальницькі термінали, що підтримують EN-DC, можуть одночасно підключатися до базових станцій LTE і 5G, при цьому базова станція LTE є якірною (потрібна модернізація до ng-eNB або new generation eNB). Користувальницький термінал (UE) спочатку реєструється в

мережі через E-UTRAN на низьких частотах (<2 ГГц) і починає транслювати в мережу результати вимірювань, що виконуються на мережі радіодоступу 5G-NR. При задовільній «якості радіосигналу» 5G базова станція LTE ng-eNB ініціює запит до базової станції 5G gNB виділення UE мережевих ресурсів. Після завершення процедури UE підключається одночасно до базових станцій LTE ng-eNB та 5G gNB. Звісно, зона охоплення базової станції 5G буде вже LTE, так як високочастотний сигнал міліметрового діапазону має більший коефіцієнт згасання.

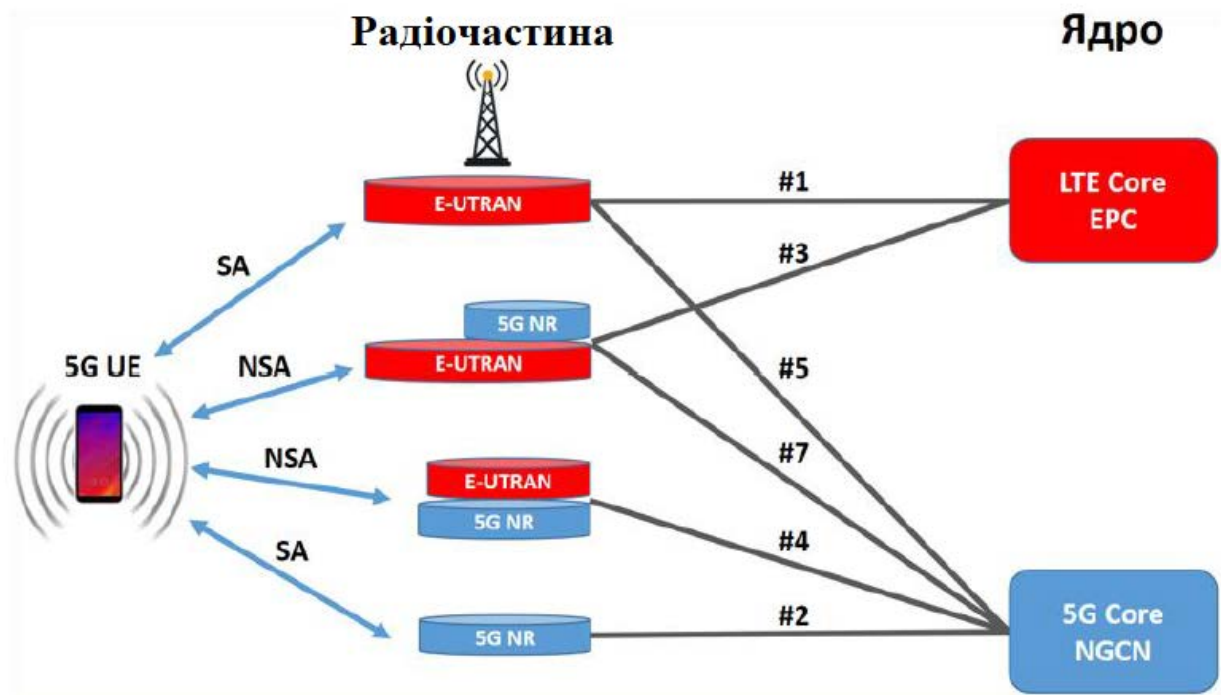


Рисунок 1.1 – Сценарії побудови, початкового та проміжного етапів

Далі, за допомогою комбінованих базових станцій LTE+5G-NR можна здійснити розширення зони покриття 5G за рахунок застосування технології DSS (Dynamic Spectrum Sharing, динамічний поділ спектру), коли нижній діапазон E-UTRAN (<2 ГГц) ділиться динамічно з 5G-NR. До впровадження операторами ядра 5G мережі зможуть працювати таким чином.

Далі від етапу #3, коли оператори стільникового зв'язку інтегрують ядро 5G NGCN, вони можуть переходити до цільового та фінального режиму SA (опції #2 та #5), коли використовується одна технологія радіодоступу – або E-

UTRAN, або 5G-NR. Нижче наведено фінальний вид мережі 5G, здатної надавати послуги URLLC.

Для задоволення зростаючої потреби eMBB можна задіяти середні частоти (2 ГГц–7 ГГц), збільшивши таким чином швидкості передачі даних, у тому числі за рахунок агрегації частот. Нижче частота – більше покриття, але й менше ширина каналу. Однак є спосіб збільшити покриття, зберігаючи високу швидкість вивантаження за допомогою додаткового каналу лінії вгору (SUL, Supplementary Uplink). «Парному» (UL/DL) радіоресурсу середніх частот для UE призначається додатковий непарний канал лінії «вгору» (SUL) з низьких частот. Тоді в одному стільнику UE отримує 1xDL (середні частоти) і 2xUL (низькі та середні частоти) каналу, використання яких контролюватиметься мережею. У цьому випадку, на межі стільника в DL-каналі використовується середньочастотний сигнал з підвищеною потужністю з парного діапазону, а в UL-каналі – низькочастотний сигнал в непарному SUL діапазоні. У результаті базова станція «бачить» UE на більш далеких відстанях, а швидкість скачування зберігається як із застосуванням середніх частот [17].

#### **1.4 Частоти, що використовуються для 5G**

На відміну від попередніх поколінь 3G/4G, які майже повністю зосереджені на моделі домашнього споживання, ми очікуємо на новий набір принципів нових функцій зі стандарту 5G: високу швидкість передачі даних, високу щільність пристроїв на квадратний кілометр і низьку затримку.

Параметри нової мережі дуже серйозні і вимагають вищих частот: для початкового запуску називають частоти 3,6–3,7 ГГц і міліметрові хвилі – 27,5–28,3 ГГц. Щоб забезпечити покриття 5G, яке є загальним та характерним для мереж 3G/4G, необхідно побудувати в 3-5 разів більше базових станцій, не кажучи вже про решту інфраструктури, таку як центри обробки даних, навантаження на яких збільшаться в десятки разів.

## 1.5 Вибір мережевої архітектури Non-Standalone чи Standalone

На початку розгортання 5G, коли оператори вибирають мережеву архітектуру 5G, вони стикаються із вибором між архітектурами NSA чи SA. Крім вивчення самої архітектури мережі, оператори також зацікавлені в тому, чи можуть NSA і термінал SA мати доступ до мережі 5G одночасно. З точки зору мережі мережа радіодоступу визначає повний стандартний інтерфейс до базової мережі 3GPP. Базова станція 5G підтримує архітектури NSA та SA. Одна й та сама базова мережева платформа може підтримувати 4G EPC і 5G Core одночасно. В результаті NSA або SA більше не є дилемою для операторів. Одна й та сама мережа 5G, дві архітектури гармонійно співіснують, і базова станція NSA може бути легко оновлена до базової станції SA за допомогою оновлень програмного забезпечення.

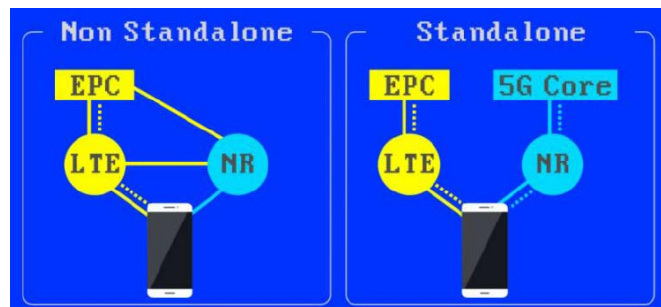


Рисунок 1.2 – Мережеві архітектури

З точки зору операційної ефективності мобільні оператори можуть вважати автономний режим (SA) більш прийнятним для реалізації, оскільки в цьому випадку архітектура виглядає простіше. З іншого боку, незважаючи на недавню позитивну динаміку на користь вибору режиму SA з глобальних операторів, є також кілька операторів, які віддають перевагу режиму NSA. Для деяких операторів це рішення ґрунтується на перевазі часу виходу на ринок та можливості розгортання 5G якнайшвидше. Для інших цей варіант також тісно пов'язаний із вартістю, оскільки за визначенням режим NSA – це радіозв'язок



5G з базовими мережами LTE, який принаймні на початковому етапі економить витрати на побудову базової мережі.

## **1.6 Основні труднощі, пов'язані з розгортанням мереж 5G**

Розглянемо основні труднощі, з якими стикаються оператори зв'язку під час розгортання мереж 5G. До основних проблем можна віднести:

Проблеми з розгортання малих стільників. Політика регулюючих органів та місцевої влади перешкоджає розгортанню малих стільників та накладає невідповідні адміністративні та фінансові зобов'язання на операторів, що ускладнює інвестиції. Ці обмеження включають тривалі процедури дозволів, тривалі процедури закупівель, надмірні збори та застарілі правила, що обмежують доступ. Ці проблеми докладно описані нижче:

- процедури видачі дозволів та планування на місцях.
- тривалі процедури переговорів та організації закупівель.
- високі збори та плата за доступ до вуличного обладнання.
- доступ та права відповідно до кодексу.

Багато з цих місцевих норм і правил перешкоджають швидкому та економічно ефективному розгортанню малих стільників у центральній частині міста, де, як очікується, послуги 5G користуватимуться найбільшим попитом.

Волоконні транзитні лінії. Розгортання транзитних оптичних мереж для малих стільників, що підтримують високі швидкості передачі даних та короткі затримки, є однією з основних проблем, з якими оператори зіткнуться через відсутність таких мереж у багатьох містах.

Основне рішення: для полегшення розгортання мереж 5G державні органи можуть розглянути можливість зниження податкового навантаження з метою зниження інвестиційних витрат, пов'язаних із розгортанням волоконно-оптичних ліній зв'язку.

Спектр. Координація зусиль світової спільноти та регіональних організацій електрозв'язку необхідна для виявлення та розподілу спектра, узгодженого

на глобальному рівні. Гармонізований розподіл має багато переваг, оскільки зводить до мінімуму радіозавади вздовж кордонів, полегшує міжнародний роумінг та знижує вартість обладнання. Така спільна координація є важливою роллю МСЕ-R під час Всесвітніх конференцій по радіозв'язку.

Також слід розглянути можливість ефективнішого спільного використання існуючого спектру. Національні регулятори традиційно надають спектр операторам мобільного зв'язку у виняткових випадках. Однак, враховуючи зростаючий попит на частоти, одним із способів підвищення ефективності використання доступного спектру може бути спільне використання.

Ключове рішення: щоб максимізувати використання доступного спектру, слід розглянути можливість використання спектра, узгодженого на глобальному рівні.

### **1.7 Модернізація обладнання для базової станції**

Традиційний підхід вимагає додавання нових антенних та радіочастотних модулів щоразу, коли з'являються нові смуги. Такий режим часто призводить до великих навантажень на вежі, високої орендної плати та складного технічного обслуговування, не залишаючи місця для додавання смуги, або розгортання 4T4R та Massive MIMO. Альтернативне рішення розроблено, щоб задовольнити вимоги побудови мережі 5G [18].

Вирішення цієї проблеми представила компанія Huawei, що має назву універсальна пасивна антена. Одна антена може підтримувати всі частотні діапазони менше 3 ГГц і високочастотний діапазон 4T4R. Сайт стане простіше, вежі будуть вільні від важких обладнання, і більше місця може бути резервовано для майбутнього доповнення. Коли справа доходить до розгортання 5G, всім операторам для цього потрібно просто додати антени 5G до зарезервованого простору на монтажних опорах.

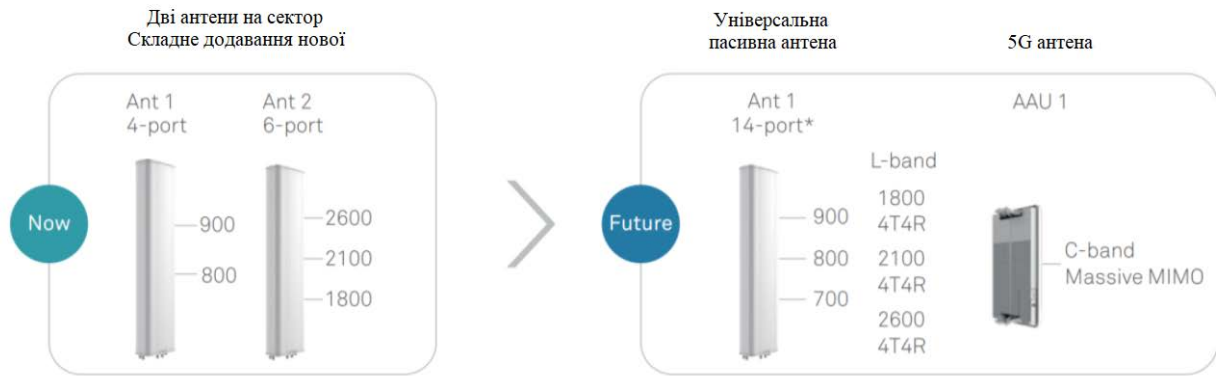


Рисунок 1.3 – Модернізація антени

Після включення передових рішень, таких як 4T4R, 8T8R або Massive MIMO, антени, радіочастотні (RF) модулі та інше 4G обладнання готові до 5G-орієнтованої еволюції. За допомогою декількох простих додаткових кроків стільники будуть повністю 5G сумісними. Цей плавний процес еволюції характеризується низькою потребою у обладнанні, зниженими витратами та скороченням майданчиків операційних витрат (OPEX).

Найновіші багатомодові базові станції Huawei BTS5900/DBS5900 підтримують 5G NR, 4T4R та Massive MIMO. Коли йдеться про розгортання 5G, операторам потрібно просто додати нові плати 5G NR та модернізувати програмне забезпечення, роблячи "one plug-in, all 5G" реальністю.



Рисунок 1.4 – Модернізація сайту та необхідне обладнання

Провідні в галузі радіочастотні модулі серії 5000 оснащені інноваційною радіоплатформою та багатоантенними технологіями, що відрізняються високою продуктивністю та низьким енергоспоживанням. Один із модулів низькочастотного діапазону підтримує частоту нижче 1 ГГц (від 700 до 900 МГц) і має 2T4R як базову конфігурацію. Інший підтримує від 1 до 3 ГГц і підтримує 4T4R конфігурацію (кілька блейд-блоків RRU або багатоканальні модулі). Нова платформа серії 5000 може бути легко розгорнута без жодних труднощів.

### **1.8 Готові моделі стільників**

З швидким розвитком послуг мобільного широкосмугового зв'язку та безперервним розвитком мережі, більше частотних смуг та сайтів зобов'язані надавати послуги та відповідати вимогам повсюдного охоплення та інтенсивного трафіку. Однак традиційний підхід до розгортання додаткового макро-сайту стикається зі складнощами, а саме складними процедурами затвердження та високим OPEX. Це впливає на швидкість розгортання сайту, внаслідок чого не може задовольнити вимоги сервісу, що росте. Наприклад, придбання ділянки в деяких районах може зайняти від двох до шести місяців, при цьому тривалість будівництва сайту становить 12 місяців. Загальні витрати на будівництво, енергію та оренду майданчика можуть становити до 55% від загальної вартості володіння.

Моделі TubeStar, PoleStar та RuralStar реконструюють сукупну вартість володіння стільниками та забезпечують економічне розгортання сайту в різних сценаріях. Ці нові рішення для сайту допомагають операторам знизити складність придбання, знизити витрати на будівництво та оренду та вирішити проблему енергопостачання. Ці рішення ефективно забезпечують базове покриття та користувальницький досвід для збільшення ємності мережі та кількості користувачів [19].

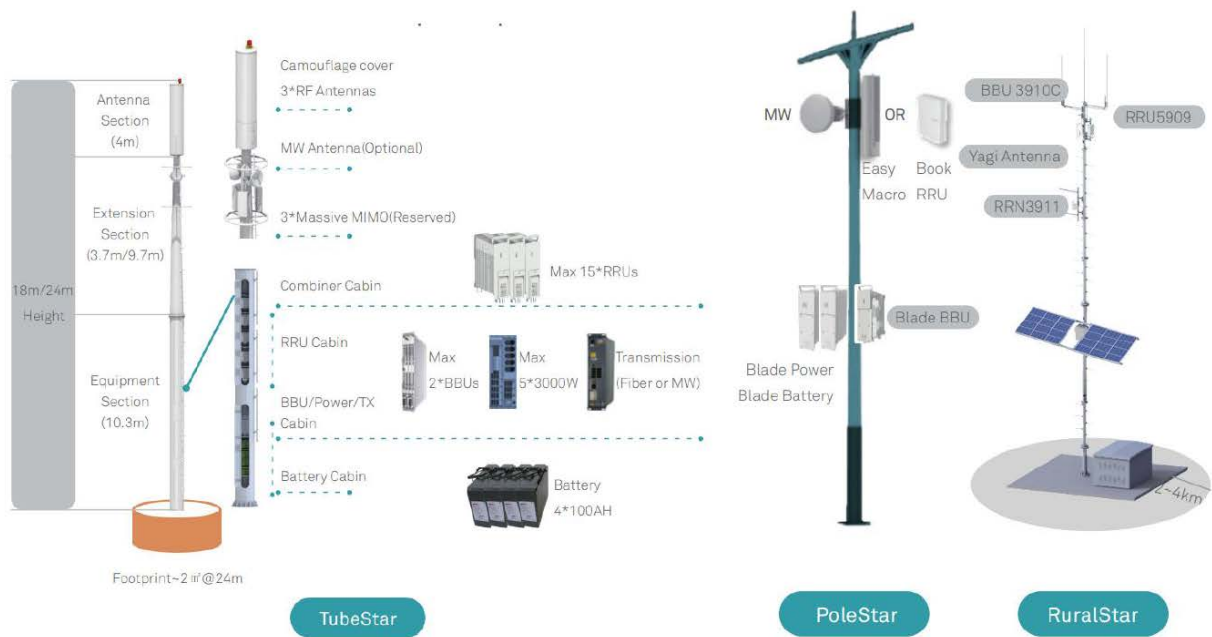


Рисунок 1.5 – TubeStar, PoleStar та RuralStar

TubeStar – це рішення дозволяє інтегрувати трубу з шафою діаметром дна 800 мм і вбудоване основне обладнання. Шафа великої ємності може підтримувати від 5 до 7 смуг частот. Площа будівлі зменшується з 30–100 м<sup>2</sup> до 2 м<sup>2</sup>, а термін придбання ділянки скорочується з шести до двох місяців. 5-річна сукупна вартість володіння може бути зменшена на 30%. Крім того, порти Massive MIMO evolution та kabini розширення 8T8R зарезервовані для подальшої підтримки мережі 5G.

PoleStar – це рішення для монтажу на полюсах застосовується до повторно використовуваних полюсів, нових полюсів та майданчиків агрегації. Це рішення поділяє трафік, покращує глибоке покриття, збільшує покриття у гарячих точках та заповнює дірки у покритті (сукупна вартість володіння знижена на 40%).

RuralStar – це рішення відповідає вимогам для низьких витрат та точного покриття у віддалених сільських районах. Використовує LTE Спектр у сільській місцевості та передачу ретранслятора без прямої видимості (NLOS) для перетворення встановлених на вежі ділянок у майданчики на стовпах, що забезпечують широке та точне охоплення віддалених сіл. TCO може бути зменшено на 30%, ROI отримані протягом трьох років у селі з близько 2000 осіб.

## 1.9 Технологія покриття 5G мережі усередині приміщення

Згідно з дослідженнями, проведеними компанією Ericsson, понад 70 відсотків глобального трафіку мобільного широкопasmового зв'язку (МВВ) відбувається всередині приміщень. Тому автоматизація промислового виробництва зробила заміну провідних з'єднань безпроводними технологіями пріоритетом. У зв'язку з цим створення цифрової мобільної мережі всередині приміщень стає дедалі важливішим із приходом 5G [20]. При побудові 5G мережі з'являється проблема з проникненням зовнішніх макро-радіосигналів усередину будівлі, тому була придумана концепція побудови 5G мережі на основі розподілених антенних систем (DAS), тобто отримання маленьких стільників усередині будівлі. У міру розвитку мереж до 5G невеликі комірки відіграватимуть велику роль у задоволенні попиту на передачу голосу та даних усередині приміщень. Технологія DAS є новою. Вона була успішно застосована в 4G, але з прогресом та збільшенням трафіку дана мережа вже не справляється із забезпеченням потрібної ємності швидкості мережі. На ринку є вже дуже багато пристроїв здатних організувати цю мережу. Лідерами в організації мереж 5G мереж усередині будівлі є компанії Ericsson та Huawei зі своїми технологіями Radio Dot та 5G LampSite відповідно. Вони дозволяють повторно використовувати існуючу інфраструктуру внутрішньої мережі під час переходу з 4G на 5G. Ці технології можна використовувати в різних галузях, таких як інтелектуальне виробництво, інтелектуальні лікарні, інтелектуальні транспортні засоби та інтелектуальні склади. Це допоможе підприємствам прискорити інтелектуальний розвиток та сприяти цифровій трансформації. Наприклад, якщо мережні з'єднання вимагають надійності 99,999% та наднизькою затримкою. Величезна кількість пристроїв в обмеженому просторі потребує одночасного доступу та визначення місцезнаходження у реальному часі. Програми призначені для промислових терміналів, що працюють в основному в приміщеннях підприємств. Забезпечення покриття внутрішньої мережі 5G при одночасному задоволенні різноманітних промислових вимог стало нагальною вимогою. Дані технології забезпечує п'ять

основних функцій 5G: надширококутовий зв'язок усередині приміщень, точне визначення місця розташування всередині приміщень, наднизька затримка промислового рівня, наднадійність усередині приміщень та щільний паралелізм промислового рівня. Це дозволить підприємствам скоротити витрати, пов'язані з розгортанням галузевих додатків, вкладених у підвищення ефективності виробництва та управління.



Рисунок 1.6 – Схема з'єднання мережі Indoor

Ця мережа була успішно протестована в Китаї. Система була розгорнута в одній з будівель Пекіна та підтримує спільне використання мереж між China Unicom Beijing та China Telecom Beijing, забезпечуючи швидкість лінії зв'язку вниз 3,4 Гбіт/с на одну станцію. Модуль 5G LampSite забезпечує надширококутовість 300 МГц між 3,3 та 3,6 ГГц спектром С-діапазону та багатоантенною технологією 4T4R, яка, як стверджується, збільшує пропускну здатність мобільної мережі втричі. Також продукт підтримує спільне використання мережі між операторами, що дозволить швидко побудувати мережу 5G у сценаріях з інтенсивним трафіком

### 1.9.1 Основні переваги технологій Radio Dot та 5G LampSite

Висока продуктивність та величезна ємність. LampSite дозволяє кільком pRRU обслуговувати один стільник, причому кожен стільник індивідуально обслуговується кожним pRRU, що має однаковий фізичний ідентифікатор стільника, що збільшує RSRP і SINR лінії зв'язку вниз. LampSite окремо демодулює сигнали від декількох pRRU, а потім об'єднує сигнали в BBU без збільшення фонового шуму, щоб забезпечити кращу продуктивність та прийом по лінії зв'язку вгору через DAS. E2E O&M – LampSite підтримує керування мережею рівня pRRU, що дозволяє користувачам отримувати точну статистику передачі обслуговування в режимі реального часу, втрати викликів та показники робочого стану NE в мережі. LampSite може спільно використовувати NMS з макромережами для зниження витрат на експлуатацію та обслуговування.

Велика ємність та просте розширення ємності. Внутрішній цифровий LampSite підтримує надвелику ємність та сприяє розширенню ємності комірки за допомогою програмного забезпечення.

Простота розгортання та обслуговування. Проста та зрозуміла архітектура цифрової системи E2E підтримує мережеві кабелі, а також оптичні та електричні композитні кабелі. Вона може бути швидко розгорнутий та підтримує візуалізацію.

Легка еволюція. Цифрове рішення LampSite підтримує систему з кількома RAT і може бути оновлено до 5G C-Band за допомогою оновлення програмного забезпечення.

### 1.9.2 Обладнання для організації мережі всередині приміщення

Для побудови мережі всередині будівлі є два сценарії. Перший сценарій – це рішення для одного оператора, призначене для великомасштабних мережевих сценаріїв з інтенсивним рухом усередині та зовні приміщень. Другий сценарій орієнтований на спільну побудову та спільне використання кількома опе-



раторами для ефективного вирішення проблем доступу та покращення інвестицій. LampSite Sharing також надає можливості оцифрування в приміщеннях для візуалізації O&M та потреб у великій ємності різних бізнес-моделей операторів/власників. Обидва сценарії дуже схожі, але відрізняються лише наявністю у другому випадку блоку DCU та hRRU. Базова станція на основі технологій LampSite та Radio Dot складається з блоку обробки основної смуги частот (BBU), віддаленої радіоголовки Pico RRU (pRRU), блоку конвергенції великих даних RRU HUB (RHUB), мультиоператорського блоку доступу DCU, потужного віддаленого радіоблоку hRRU. Усі блоки з'єднуються між собою за допомогою Ethernet CAT6A та оптичного кабелю [19]. Блок обробки основної смуги частот (BBU) забезпечує централізоване керування експлуатацією та обслуговуванням, а також обробку сигналізації всієї системи базової станції та забезпечує опорний сигнал синхронізації. Віддалена радіоголовка Pico (pRRU) обробляє радіочастотні сигнали. Вона забезпечує такі функції:

- модулює сигнали основної смуги частот у смузі частот передачі, фільтрує та підсилює ці сигнали та відправляє їх на антену для передачі;

- приймає радіочастотні сигнали від антен, фільтрує та підсилює ці сигнали, перетворює сигнали зі зниженням частоти, перетворює їх на цифрові та відправляє їх у BBU для обробки;

- передає дані CPRI через кабелі Ethernet чи оптоволокно. - Використовує внутрішні антени;

- підтримка PoE та DC живлення;

- підтримує гнучку настройку для багаторежимної багатосмугової роботи.

Блок конвергенції великих даних RRU HUB (RHUB) поєднує дані CPRI від віддалених радіочастотних модулів та забезпечує такі функції:

- працює з DCU та pRRU для забезпечення покриття всередині приміщень;

- отримує дані лінії зв'язку вниз від BBU/DCU та перенаправляє дані в pRRU, а також передає дані лінії зв'язку вгору pRRU в BBU/DCU;

- забезпечує живлення для pRRU за допомогою PoE.



Рисунок 1.7 – Устаткування для БС одного оператора

Потужний віддалений радіоблок hRRU поєднує дані CPRI від віддалених радіочастотних модулів та забезпечує такі функції:

- працює з DCU та pRRU для забезпечення покриття всередині приміщень;
- отримує дані лінії зв'язку вниз від BBU/DCU та перенаправляє дані в pRRU, а також передає дані лінії зв'язку вгору pRRU в BBU/DCU;
- забезпечує живлення для pRRU через вбудовані ланки постійного струму та кабелі постійного струму;
- підтримує оптоволоконні з'єднання з pRRU.

Мультиоператорський блок доступу DCU забезпечує доступ до радіочастот та доступ до BBU. Має такі функції:

- надає порти для введення сигналу РЧ;
- перетворює радіочастотні сигнали на цифрові сигнали;
- надає доступ до кількох BBU;
- агрегує дані та надає порти для підключення оптичних волокон до RHUB та hRRU.



Рисунок 1.8 – Устаткування для БС кількох операторів

## 2 ПРОБЛЕМИ ПРИ ПЛАНУВАННІ І ПРОЄКТУВАННІ МЕРЕЖ 5G

Стандарт 5G ставить сміливі цілі. Для надання таких можливостей, як перегляд потокового відео у форматі UHD з роздільною здатністю 4K або 8K та реалізація основних цільових сценаріїв застосування мереж з покращеним мобільним широкопasmовим доступом (eMBB), потрібні швидкості передачі даних до 20 Гбіт/с в низхідному каналі (DL) і 10 Гбіт/с у висхідному каналі (UL).

Збільшити швидкість передачі даних можна різними способами, але основою забезпечення високих швидкостей при використанні мобільного широкопasmового доступу є спектр сигналу. Стандарт 5G New Radio (NR) визначає нові частотні діапазони нижче 6 ГГц і передбачає подальший перехід на частоти міліметрового діапазону довжин хвиль, де доступні ширші та безперервні смуги частот для організації каналів зв'язку з великою пропускнуою спроможністю.

Ширші смуги пропускання обіцяють споживачам підвищення якості передачі даних, а інженерам — нові проблеми, з якими їм доведеться зіткнутися під час виконання всіх вимог до якості сигналів у міліметровому діапазоні. Негативні фактори, боротьба з якими не становила великої проблеми на частотах нижче 6 ГГц, тепер викликають значні труднощі і вимагають вжиття додаткових заходів, а також застосування нових методів вимірювань, здатних забезпечити потрібні показники точності при оцінці характеристик компонентів та пристроїв стандарту 5G.

### 2.1 Частотний спектр стандарту 5G

Для надання повного переліку можливостей для споживачів та покриття по всьому світу потрібно узгоджене застосування частотного спектра у всіх регіонах.

Стандарт 5G NR регламентує використання частот до 52,6 ГГц із загальною займаною смугою радіочастот сигналів (піддіапазонів) близько 10 ГГц.

- Діапазон 1: 400 МГц...6 ГГц додає смугу частот 1,5 ГГц із піддіапазонами 3,3–4,2 ГГц, 3,3–3,8 ГГц, 4,4–5 ГГц.

- Діапазон 2: 24,25–52,6 ГГц додає смугу частот 8,25 ГГц із піддіапазонами 26,5–29,5 ГГц, 24,25–27,5 ГГц, 37–40 ГГц.

У деяких регіонах вже проводились дослідження та випробування на піддіапазонах нижче 6 ГГц, а на частотах сантиметрового та міліметрового діапазонів довжин хвиль вже розгорнуто ділянки мереж та проведені пробні запуски.

- У діапазоні до 1 ГГц є кілька піддіапазонів, які планується віддати для потреб пристроїв «Інтернету речей» (IoT). Це частоти близько 600, 700 та 800 МГц.

- Діапазон 1–6 ГГц використовуватиметься для збільшення зон покриття та пропускної здатності мереж. Основний діапазон для Китаю, Європи, Кореї та Японії — 3,3–3,8 ГГц — може бути задіяний для впровадження різних сервісів зв'язку стандарту 5G. Також у Китаї та Японії розглядається використання діапазону 4,4–4,9 ГГц.

- Діапазон понад 6 ГГц в основному буде задіяний для тих випадків, коли потрібні дуже широкосмугові сигнали. Початкові цільові частоти міліметрового діапазону для Японії та США — 28 та 39 ГГц. Незважаючи на те, що специфікації стандарту 5G NR версії 15 припускають використовувати частоти до 52,6 ГГц, вже проводяться дослідження для впровадження версій стандартів, у яких планується задіяти частотні піддіапазони 64–71 та 71–76 ГГц.

За аналогією зі стандартом LTE для формування широкосмугових сигналів можуть використовуватися багатокомпонентні несучі, причому для діапазону 2 смуга частот може становити до 800 МГц. Обсяги застосування частотного спектра визначаються різними країнами індивідуально. Наразі розроблено стартову версію стандарту 5G NR, і очікується, що з пізнішими версіями будуть продовжені намічені тенденції експлуатації частотного спектру, розширення смуг пропускання та вдосконалення використовуваних сигналів з урахуванням нових завдань та цільових сценаріїв використання.

У діапазоні до 6 ГГц виникає декілька нових проблем, пов'язаних з розробкою пристроїв у нових піддіапазонах 3,4–3,7 та 4,4–4,9 ГГц та обумовлених численними нестандартними вимірювальними завданнями, які потрібно вирішувати при випробуваннях пристроїв, труднощів із сумісністю та контролем якості конструкцій антенних решіток, виконаних за технологією MIMO, методом вимірювань з радіоефіру (over-the air – OTA). Але, особливості діапазону до 6 ГГц є наслідком розширення вже існуючих можливостей стандарту LTE-A, а справжні проблеми починаються з переходом у міліметровий діапазон.

На сьогодні стандарти Wi-Fi IEEE 802.11 вже забезпечують фіксований безпроводний доступ на частотах близько 60 ГГц у режимах «від точки до точки» або «від точки до багатьох точок».

На початковому етапі при реалізації фіксованого безпроводного доступу за стандартами 5G передбачається використання аналогічних конфігурацій MIMO та форм сигналів, а для прив'язки та управління використовуються існуючі мережі 4G eNB, тобто передбачається робота в неавтономному режимі (NSA).

## **2.2 Проблеми, пов'язані з якістю сигналів у міліметровому діапазоні**

На якість сигналу може чинити впливає безліч факторів, включаючи роботу в основній смузі, модуляцію, фільтрацію і перенесення спектра сигналу на більш високі частоти. З поширенням більше широкосмугових каналів проектування пристроїв на модулюючих частотах та на ВЧ може ускладнитися проблемами, пов'язаними з порушеннями форми сигналу, які при перенесенні спектра на більш високі частоти або при розширенні смуги стають ще більшими. При таманні системам зв'язку з OFDM-модуляцією (мультиплексування з ортогональним частотним розділенням каналів) властивості ортогональності перешкоджають взаємному впливу несучих, які перекриваються. Однак, спотворення форми сигналу, пов'язані з IQ-спотвореннями, фазовим шумом, лінійною (AM-AM) та нелінійною (AM-ФМ) компресією, а також частотні зсуви можуть стати

причиною спотворень модульованого сигналу. Фактором, що найчастіше викликає проблеми у системах зв'язку з OFDM-модуляцією міліметрового діапазону, є фазовий шум. Дуже високий рівень фазових шумів у пристрої здатний призвести до того, що піднесучі відчуватимуть взаємний вплив, що погіршує якість демодульованого сигналу.

Подібні проблеми досить важко вирішити, а їх вплив може погіршити загальні характеристики пристрою. Тобто, пристрої повинні проектуватися таким чином, щоб подолати фізичні проблеми, пов'язані з особливостями широкосмугових сигналів міліметрового діапазону, а засоби вимірювань, призначені для контролю характеристик цих пристроїв, — мати ще більш високі характеристики, що забезпечують належну точність при проведенні вимірювань параметрів сигналів та оцінки їх якості, не створюючи при цьому нових проблем.

### **2.3 Оцінка якості сигналів**

Аналіз параметрів модуляції – це один з найкорисніших показників якості сигналів. Помилки, спричинені спотвореннями сигналу, можна виявити при вивченні сигнального сузір'я на комплексній площині. Іншим ключовим показником якості модуляції сигналу служить величина модуля вектора помилки (EVM), за результатами вимірювань якої можна визначити спотворення форми сигналу загалом (рис.2.1).

5G NR регламентує використання сигналів з CP-OFDM-модуляцією (мультиплексування з ортогональним частотним розділенням каналів і циклічним префіксом) – схемою модуляції з множиною несучих. Фазовий шум, а також будь-які відхилення фази або амплітуди, що виникли у вузлах пристрою та виявляються у вигляді спотворень спектру широкосмугового сигналу, позначаються на результатах вимірювань модуля вектора помилки, який являє собою нормалізовану різницю двох векторів на комплексній площині: вектор вимірюваного IQ-сигналу та опорного вектора IQ-сигналу (розрахункова величина). Він

характеризує ступінь відхилення реального сигналу від ідеального (еталонного). Як правило, модуль вектора помилки виражається в дБ або відсотках.

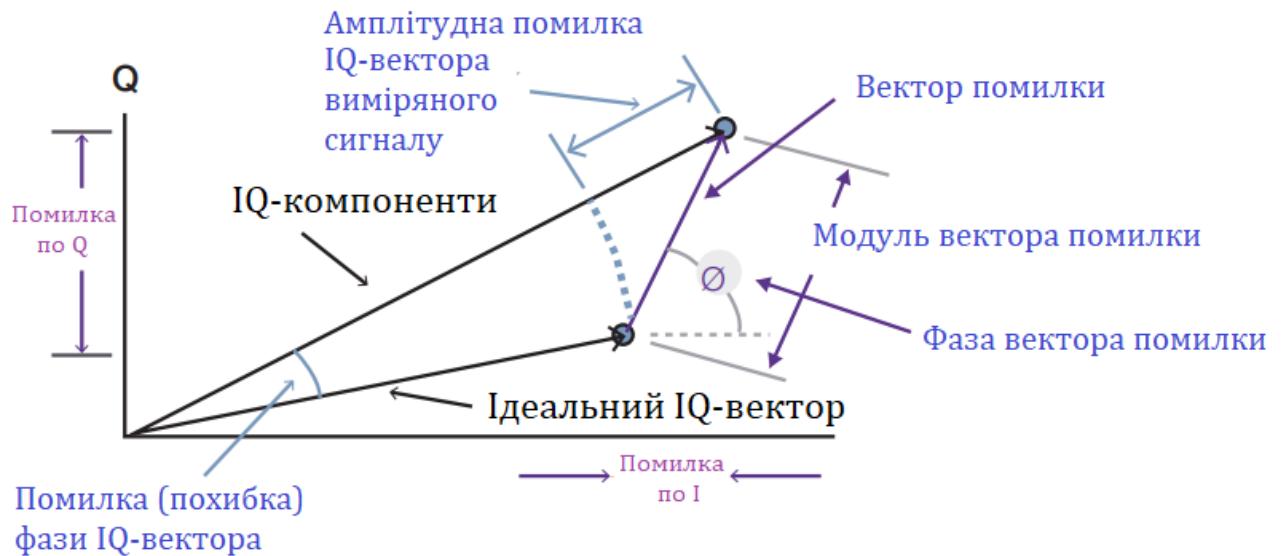


Рисунок 2.1 – Особливості обчислення модуля вектора помилки

По мірі того, як щільність модуляції почне зростати, а у стандарті 5G застосовуються схеми модуляції з високою щільністю (від 256 QAM до 1024 QAM), до компонентів і пристроям пред'являють все більш жорсткі вимоги до модуля вектора помилки. Наприклад, таблиця 2.1 показує, як зростають вимоги щодо модуля вектора помилки (EVM) для абонентських пристроїв (UE) стандарту 3GPP із зростанням щільності модуляції.

Таблиця 2.1 – Вимоги стандарту 3GPP TS 38.101-1 до модуля вектора помилки (EVM) для схем модуляції 5G

Схема модуляції	Вимоги до модуля вектора помилки
QPSK	17,5%
16QAM	12,5%
64QAM	8%
256QAM	3,5%

Крім того, для підтвердження відповідності параметрів спектра сигналів слід провести їх вимірювання. При вимірах параметрів спектра сигналів абонентських пристроїв стандарту 5G контролюються такі показники: передана потужність, ширина зайнятої (спектром сигналу) смуги частот (OBW), проникнення сигналу в суміжний канал (ACPR), відповідність спектральній масці випромінювань (SEM) та рівень паразитних складових спектра.

Для компонентів та пристроїв стандарту 5G необхідно, щоб вимірювальне обладнання володіло характеристиками, достатніми для отримання достовірної оцінки сигнального сузір'я і модуля вектор помилки. Крім цього, у міру розвитку стандартів 5G важливе значення має гнучкість вимірювального обладнання для перенесення вимірювань параметрів спектра у більш високі частоти та широкі смуги пропускання.

## **2.4 Вибір вимірювального рішення**

Для забезпечення високої якості виконуваних вимірювань параметрів широкосмугових пристроїв на частотах міліметрового діапазону потрібне вимірювальне обладнання, модуль вектору помилки якого краще, ніж у досліджуваного пристрою або системи.

Типові вимоги:

- для вимірювання параметрів компонентів – на 10 дБ краще, ніж у системі загалом;
- для вимірювання параметрів системи – на 3 дБ краще, ніж у зразкового джерела радіосигналів.

Типова схема вимірювання параметрів передавача, приймача або інших компонентів у пристроях безпроводної передачі даних (залежно від типу) зазвичай включає джерело сигналів для формування вхідного впливу та досліджуваній пристрій, аналізатор та досліджуваний пристрій, або всі разом.

Вимірювання в основній смузі частот і в діапазоні до 6 ГГц, як правило, виконуються за допомогою кабелів. Вимірювання на частотах сантиметрового



та міліметрового діапазонів, швидше за все, доведеться виконувати більш складними методами через високий рівень інтеграції, очікуваний в антенах та радіочастотних інтегральних схемах, внаслідок якого з'єднувачі в контрольних точках для підключення кабелів можуть просто бути відсутніми.

На рис. 2 показана блок-схема випробувального стенда для формування та аналізу сигналів стандарту 5G (типове рішення). Воно має характеристики, необхідні для оцінки характеристик компонентів та пристроїв стандарту 5G на предмет спотворень сигналів, які можуть створити проблеми на частотах міліметрового діапазону. Для формування сигналу із цифровою модуляцією стандарту 5G NR та подачі на вхід досліджуваного пристрою використовується векторний генератор сигналів. Для захоплення радіочастотного сигналу на виході досліджуваного пристрою, оцифрування та дослідження його параметрів, у тому числі параметрів модуляції, що використовується векторний аналізатор сигналів. Дане рішення має гнучку конфігурації для роботи з вимірювальними задачами при різних комбінаціях частот і піддіапазонів, а також з різним ступенем достовірності, обумовленої характеристиками вимірюваних компонентів та пристроїв стандарту 5G.

Інші джерела похибок із вимірювальної системи можуть знаходитися у самій схемі вимірювання. При побудові схеми вимірювань за умов дуже високих частот та широких смуг пропускання таке допоміжне обладнання, як тестова оснастка, кабельні зборки, переходи, направлені відгалужувачі, фільтри, підсилювачі, розгалужувачі та комутатори між досліджуваним пристроєм та вимірювальними приладами, може надати набагато більш негативний вплив, ніж за вимірах на частотах до 6 ГГц.

Для забезпечення максимальної точності вимірювань вимірювальна система повинна бути відкалібрована у вимірювальній площині, відповідного місця підключення досліджуваного пристрою.

Завдання полягає в тому, щоб отримати характеристики досліджуваного пристрою без урахування негативного впливу тестового устаткування та допоміжного обладнання. Вимірювальна система повинна забезпечувати ще вищі

характеристики, ніж ті, яких прагнули при проектування пристрою. Можливість виконання вимірювань у площині досліджуваного пристрою є запорукою високої точності та повторюваності.

Правильно виконане калібрування вимірювальної системи усуває складові систематичної похибки вимірювань, пов'язані з АЧХ та ФЧХ тестового устаткування, і дуже корисне при роботі з широкосмуговими сигналами. До складу пропонованого вимірювального стенду для випробувань пристроїв стандарту 5G входить програмний засіб для калібрування системи Signal Optimizer. Це ПЗ забезпечує перенесення площини вимірювань на роз'єм досліджуваного пристрою.

## **2.5 Вимірювання параметрів пристроїв стандарту 5G NR у міліметровому діапазоні**

Вибравши оптимальний набір вимірювального обладнання, з'єднувачів, переходів та засобів калібрування вимірювальної системи, можна виконати високоточні вимірювання для достовірної оцінки характеристик компонентів та пристроїв стандарту 5G.

На рис. 2.2 показані результати калібрування вимірювання параметрів антени стандарту 5G, отримані на випробувальному стенді, призначеному для формування та аналізу сигналів стандарту 5G компанії Keysight, що дозволяє з високою точністю досліджувати характеристики пристроїв стандарту 5G NR на ВЧ та частотах міліметрового діапазону при смузі модульованого сигналу до 2 ГГц.



Рисунок 2.2 – Аналіз сигналів стандарту 5G NR з модуляцією 256 QAM та діаграми спрямованості антени

З програмним забезпеченням, адаптованим під стандарт 5G NR, легко формувати та аналізувати сигнали з відповідними параметрами для висхідного та низхідного каналів передачі даних. Крім того, дане програмне забезпечення може використовуватися для випробувань на сумісність стандартів 5G NR та LTE.

## 3 ОСОБЛИВОСТІ ПЛАНУВАННЯ І ПРОЄКТУВАННЯ МЕРЕЖ 5G

### 3.1 Модель мережі

Для забезпечення функціонування мережі мобільного зв'язку при досить високій щільності користувачів потрібно будувати маршрути для трафіку між терміналами користувачів. Приймаємо, що можливість маршрутизації трафіку через термінали користувачів має лише деяка частка цих терміналів. При цьому, є можливість ввести у мережу додаткові вузли – маршрутизатори, вони не виробляють власного трафіку, їх основна функція є транзит трафіку, який вироблений терміналами користувачів. Для спрощення вважаємо, що маршрутизатори не мають необмеженого запасу енергії, що допускає створення додаткової мережевої інфраструктури, котра має можливість за рахунок введення додаткових вузлів розширити можливості мережі. Враховуючи, що функціонально додаткові вузли є аналогічними абонентським терміналів, то їх введення буде достатньо дешевим рішенням для забезпечення функціональних можливостей мережі. В такому випадку, основними задачами є вибір місця розташування і числа маршрутизаторів, тобто транзитних вузлів.

Приймаємо, що в деякій зоні обслуговування, яка представляє собою двовимірну область, розміщено  $n_T$  терміналів користувачів, котрі можуть бути вузлами мережі. У цій самій області можуть бути розміщені  $n_M$  додаткових вузлів – маршрутизаторів. Тоді, загальна кількість вузлів в зоні обслуговування становить  $n = n_T + n_M$ , а частка маршрутизаторів складає  $\eta = n_M/n$ .

У задачі будуть враховуватися такі фактори: відстані між вузлами  $d_{ij}$ , потужність переданих сигналів  $P_i$ , згасання сигналу  $A_{ij}$ , трафік  $a_i$ . Вважаємо, що при передачі сигналів вузли створюють завади іншим вузлам мережі, котрі впливають на якість прийому, що характеризується відношенням сигнал/(завада+шум) – SINR. У випадку, коли потужність завади на вході приймача є більшою за деяку величину, то канал вважається зайнятим, інакше, завада

впливає через величину SINR на якість каналу, що проявляється в зменшенні швидкості передачі даних [13].

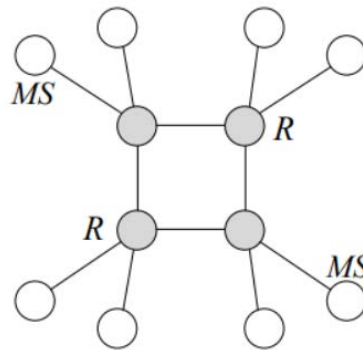


Рисунок 3.1 – Модель мережі

Вважаємо, що всі вузли мережі розміщені в зоні обслуговування випадковим чином, це означає, що вони утворюють пуассоновське поле. Координати цих вузлів  $(x_i, y_i)$  є незалежними випадковими числами, які мають рівномірний розподіл.

### 3.2 Вибір місця розташування транзитних вузлів

Зробимо припущення, що вузли мережі випадково розподілені в зоні обслуговування. Тому, в кожній з точок зони обслуговування буде різний рівень потужності задав, що створюються вузлами мережі

$$P_{\text{int}}(x, y) = \sum_{i=1}^n \rho_i 10^{(P_i^{\text{TX}} - A(d))/10} \quad (3.1)$$

де  $\rho_i$  – доля часу, протом якого якого  $i$ -й вузол передає дані;

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

$A(d)$  – затухання (в дБ) сигналу на відстані  $d$  від передавача;

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

Рівень завад, що створюється сигналами вузлів мережі у кожній точці зони обслуговування, згідно (3.1) подано на рис.3.2.

На рис.3.2а показана структура моделі мережі, а на рис.4.2б наведено розподіл потужності завад. Більш світлий тон відповідає меншій потужності завад.

Будемо вважати, що умови прийому сигналу у точці розташування транзитного вузла визначаються відношенням сигнал/(завада + шум) SINR, приймаючи при цьому, що потужність завад перевищує потужність всіх інших шумів. Це відношення можна визначити для конкретного вузла.

Вибір місця розташування транзитного вузла можна розглядати як задачу вибору множини тих вузлів, для яких він буде транзитним за певним критерієм. Як такий критерію можна використовувати величину SINR.

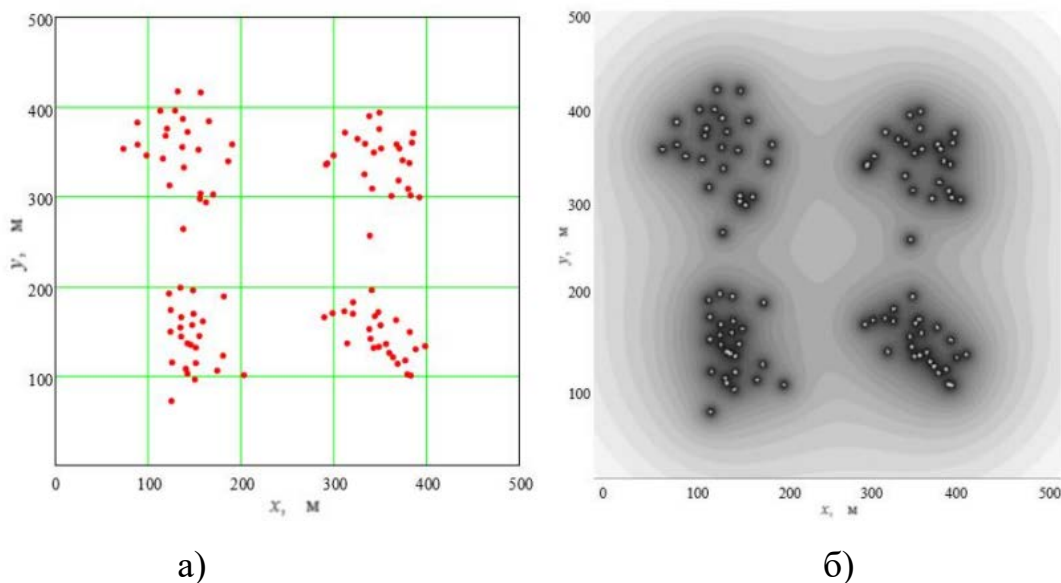


Рисунок 3.2 – Рівень завад, створений сигналами вузлів мережі

Наприклад:

$$SINR(x, y, i) \geq S_0 \quad (3.2)$$

Нехай в цільовій області є множина  $n$  вузлів  $N = \{n_1, n_2, \dots, n_n\}$ , тоді введення  $k$  транзитних вузлів розглядається як розділення цієї множини на  $k$  підмножин  $N_1, N_2, \dots, N_k$ . Для роз'язання подібних задач можна використати методи кластерного аналізу [10].

Розглянемо застосування для розв'язання даної задачі методу FOREL який полягає у почерговому знаходженні центрів кластерів, які можна розглядатися як шукані позиції розташування транзитних вузлів [28]. В класичній інтерпретації цей алгоритм здійснює пошук екстремуму такої цільової функції:

$$\min/\max_{N_j} \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{N_j} d(N_i^{(j)}, C_m^{(j)}) \quad (3.3)$$

$C_m^{(j)}$  – центр  $j$ -го кластера;

$N_i^{(j)}$  –  $i$ -й елемент  $j$ -го кластера;

$N_j$  – кількість елементів в  $j$ -м кластері;

$k$  – кількість кластерів.

Мінімізація або максимізація виразу (3.3) залежить від виду функції  $d(N_i^{(j)}, C_m^{(j)})$ . В даному випадку можна буде записати як

$$\max_{N_j} \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{N_j} SINR(x, y, i) \quad (3.4)$$

Обчислення центру мас кластера

$$C_m^{(x)} = \frac{1}{N \sum_{i=1}^N SINR_i} \sum_{i=1}^N x_i SINR_i \quad (3.5)$$

$$C_m^{(y)} = \frac{1}{N \sum_{i=1}^N SINR_i} \sum_{i=1}^N y_i SINR_i \quad (3.6)$$

У даному випадку  $SINR_i$  – це відношення сигнал/(завада + шум) в точці  $(x, y)$  відносно вузла  $i$ :

$$SINR_i = P_i^{(TX)} - A(i, x, y) - 10 \lg(P_{int}(x, y)/0,001) \quad (3.7)$$

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

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

Алгоритм кластеризації представляємо таким чином.

- 1: Ініціалізувати множину некластеризованих об'єктів:  $U = N$ ;
- 2: обрати випадковим чином довільну точку  $C_m \in U$ ;
- 3: повторювати
- 4: створити кластер з центром в  $C_m$   $N_k := \{n_i \in U \mid SINR(C_m, i) \geq S_0\}$ ;
- 5: помістити центр сфери є центр мас кластера
- 6: доки центр  $C_m$  не стабілізується, повторювати починаючи з 4;
- 7: позначити всі об'єкти  $N_k$  як групові:  $U := U \setminus N_k$
- 8: виключити з подальшого розгляду кластер  $N_k$
- 9: Якщо у вибірці є некластеризовані об'єкти,  $U \neq \emptyset$ , то йти до 2
- 10: Стоп

У загальному випадку розглянута задача (3.3) є задачею неопуклого програмування, тому її розв'язок не дасть глобального оптимуму. У результаті виконання розглянутого алгоритму отримуємо розбиття вихідної множини об'єктів  $N$  на випадкове число підмножин  $N_k$ , котре можна розглядати як таке, що є близьким до оптимального рішення задачі (3.4). Шляхом зміни початкових умов можна отримати різні рішення. На практиці це можна використати для одержання множини рішень, подальшого їхнього аналізу та вибору



найбільш прийняттого рішення за деякими додатковими критеріями, такими як кількість елементів в кластерах, розподілу їх кількості тощо.

На рис. 3.3 подано приклади розв'язку задачі вибору місця розташування для транзитних вузлів при різних значеннях величині  $S_0$ . Зона обслуговування у цій моделі – квадрат розміром 500x500 м. У цій зоні обслуговування випадковим чином розміщено 100 вузлів мережі. Застосовано мультимодальний розподіл із чотирма локальними точками розсіювання. Знайдені рішення відзначені кружками, а вузли мережі точками.

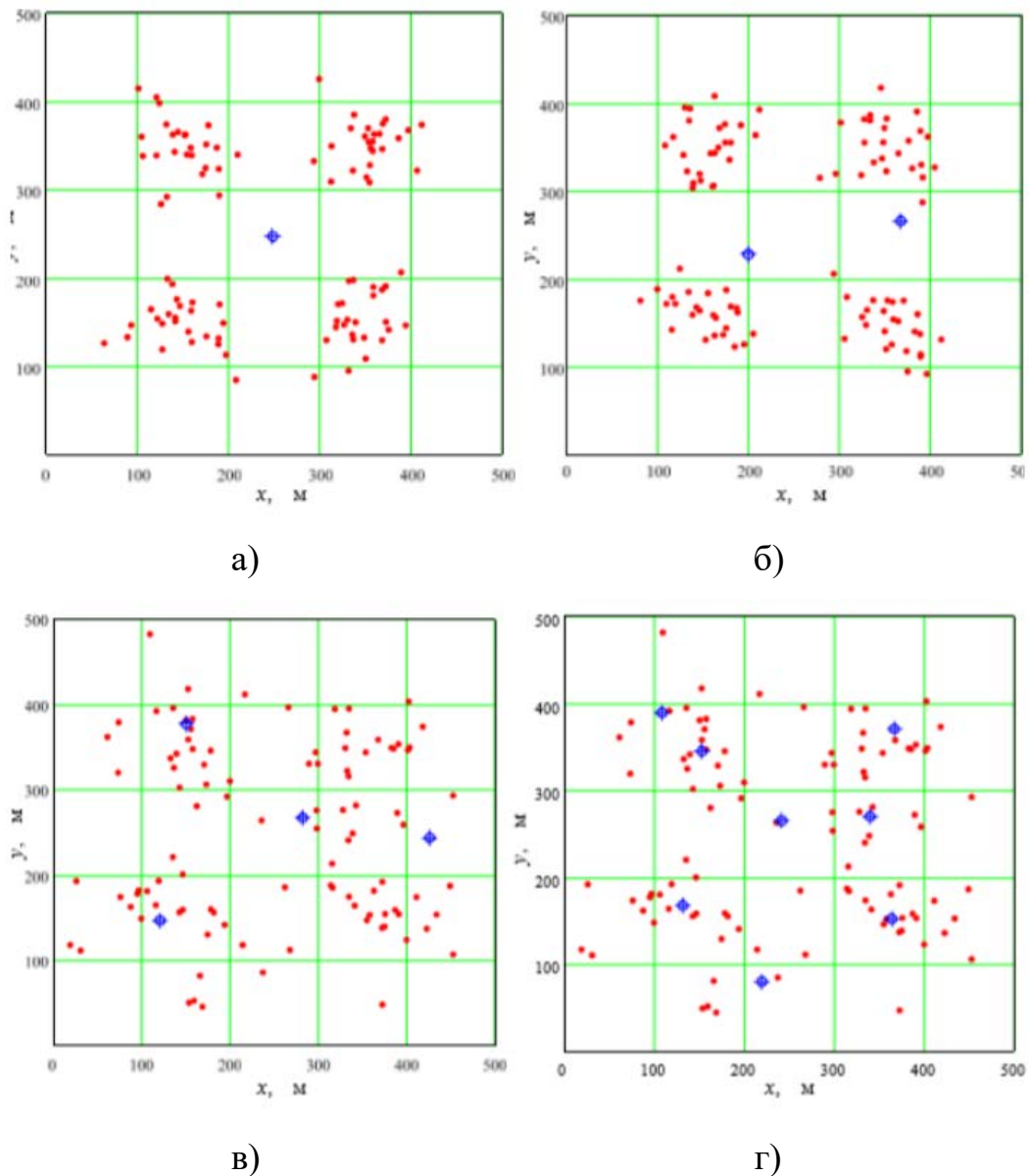


Рисунок 3.3 – Результати розв'язання задачі модифікованим алгоритмом FOREL для різних порогових значень SINR  
(а – 5 дБ, б – 7дБ, в – 8 дБ, г – 10 дБ)

Таким чином, розглянутий приклад підтверджує, що при збільшенні порогового значення SINR збільшується число транзитних вузлів. Цей результат цілком очікуваний, оскільки збільшення цієї величини досягається шляхом приближення транзитного вузла до вузлів мережі, отже, забезпечити виконання умови (3.2) можна лише при великій кількості груп вузлів. Однак, вибір позицій розташування не є очевидним, тому що на нього також впливають завади, які створюються всіма вузлами мережі.

Приклад порівняння вибору позицій транзитних вузлів без врахування завад (за критерієм мінімуму  $RSSI \geq -60$  дБм) і з урахуванням завад (за критерієм  $SINR > 8$  дБ) наведено на рис.3.4.

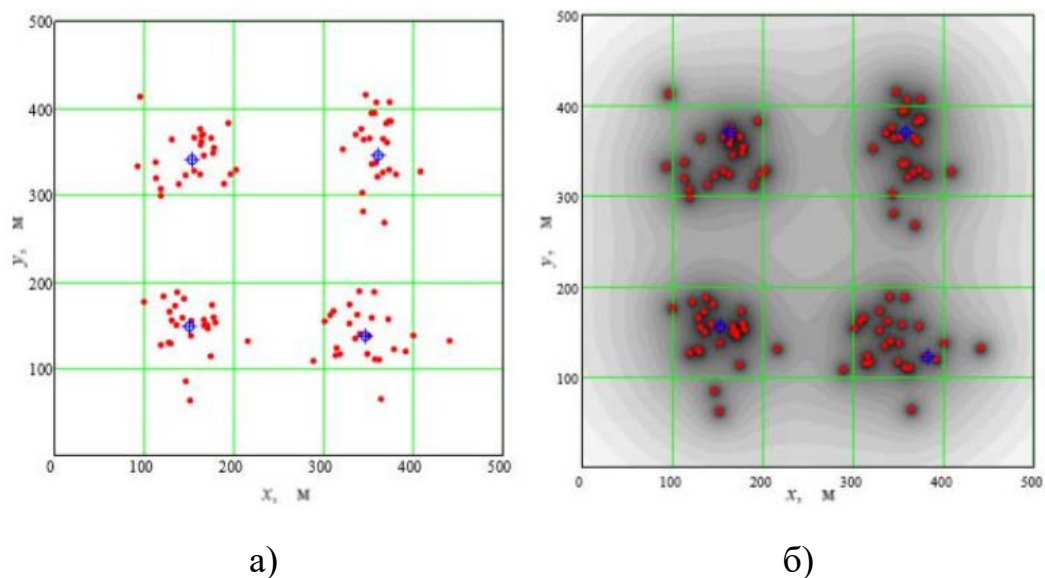


Рисунок 3.4 – Кластеризація а) – без урахування завад,  
б) – з урахуванням завад

Як видно з наведених рисунків, кількість транзитних вузлів є однаковою, але становище точок розміщення транзитних вузлів при врахуванні завад відрізняється. Також відрізняється середня величина SINR в кластері, з урахуванням завад в даному прикладі вона в середньому більшою на 3,8 дБ. У даному випадку забезпечується вища пропускна здатність.

### 3.3 Формування кластерів

На рис.3.5 наведена залежність числа кластерів від порогового рівня SINR при рівномірному розподілі терміналів в зоні обслуговування. Як видно з рис. 3.4, в даному прикладі число транзитних вузлів практично лінійно залежить від граничної величини SINR. Таким чином, при використанні даного методу вибір порогового значення SINR визначає структуру мережі, яка формується транзитними вузлами.

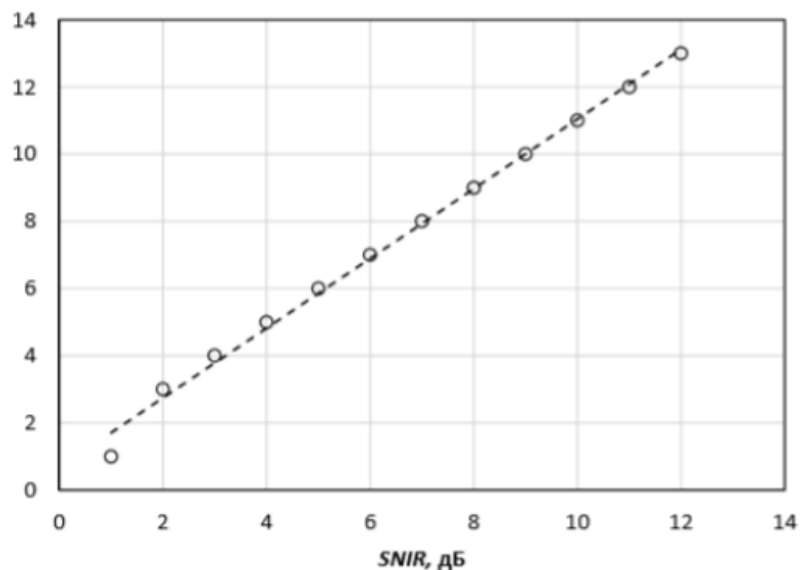


Рисунок 3.5 – Залежність числа транзитних вузлів від порогового значення SINR

При виборі малих значень формуються кластери великого розміру з малою кількістю транзитних вузлів. У такому випадку навантаження на транзитний вузол реалізується вузлами відповідного кластера, а пропускна здатність каналу визначається відповідним значенням SINR [20]. Вибір великого значення SINR призводить до збільшення числа транзитних вузлів, яке може досягти числа терміналів. Вибір малих значень SINR дає можливість спростити структуру мережі, при цьому за рахунок якості обслуговування заощадивши транзитні вузли. Цей варіант має місце у випадку малої інтенсивності трафіку, який

виробляється вузлами мережі. Встановлення високого значення підвищує якість обслуговування за рахунок збільшення числа транзитних вузлів, і, відповідно, їх наближення до вузлів, які є джерелами трафіку.

В той же час, на практиці шукають компроміс рішення між якістю обслуговування та кількістю введених вузлів. Окрім того, досяжна величина SINR обмежується фізичними параметрами мережі: потужністю передавачів, кількістю вузлів, інтенсивністю трафіку, характером розташування вузлів відносно один одного та іншими факторами. При цьому, при виборі порогового значення слід орієнтуватися на область досяжних значень.

На рис.3.6 подано гістограми емпіричних розподілів SINR, які були одержані в результаті кластеризації із пороговою величиною 8 дБ за пропонованим методом (рис.3.6, а) і кластеризацією за величиною RSSI без урахування інтерференції (рис.3.6, б).

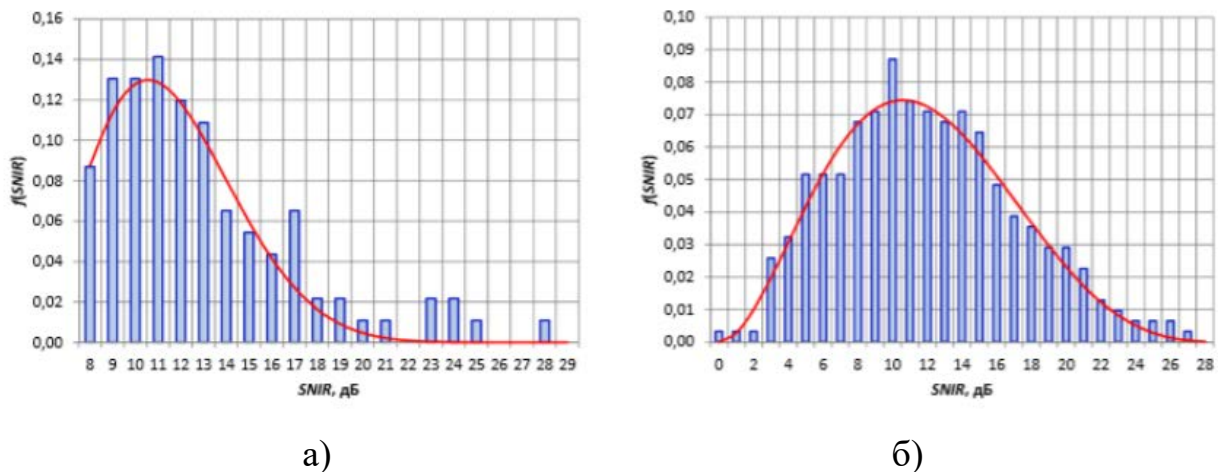


Рисунок 3.6 – а) розподіл величини SINR для вузлів мережі при пороговому значенні 8 дБ, б) розподіл величини SINR для вузлів мережі при кластеризації по RSSI

Отриманий результат обмежений знизу величиною порогового значення, а зверху – величиною максимально досяжного значення, котре визначається параметрами і конфігурацією мережі (в нашому випадку 28 дБ). Середня величина становить 13,70 дБ, а середньоквадратичне відхилення – 4,3 дБ. Отриманий в результаті кластеризації за величиною RSSI розподіл має аналогічний ха-

ракти, єдина відмінність полягає у тому, що його нижня межа визначається параметрами мережі, так само, як і верхня. В другому випадку середня величина SINR становить 11,75 дБ, а середньоквадратичне відхилення – 5,8 дБ. Виграш, який дає розглянутий алгоритм, становить приблизно 2 дБ для середнього значення та 1,5 дБ для середньоквадратичного відхилення. Отже, розв'язок, отриманий розглянутим методом, дозволяє одержати велику пропускну здатність і менший її розкид для вузлів мережі порівняно з методом, що не враховує впливу завад. Окрім того, при кластеризації без урахування завад реальне відношення SINR не перевищує 2 дБ, що відповідає нульовій пропускну здатності, тобто зв'язок відсутній. Одержані емпіричні розподіли достатньо точно можна апроксимувати бета-розподілом з урахуванням відмінностей параметрів [15]. У випадку, коли ефективність введення транзитних вузлів представляється такими параметрами як відношення сигнал/(завада+шум) при врахуванні внутрішньоканальних завад, та величина пропускну здатності, можна вважати, що запропонований метод має більшу ефективність порівняно з подібними методами, котрі не враховують внутрішньоканальних завад. Як порівняльну оцінку ефективності можна використати величину SINR за умови рівної кількості транзитних вузлів.

З метою порівняння ефективності запропонованого методу розглянемо модель із рівномірним розподілом вузлів у зоні обслуговування та оцінимо залежність середньої величини SINR для різного числа транзитних вузлів, обраних як з урахуванням так і без урахування завад.

Отримані залежності наведені на рис.3.7. Як видно з одержаних залежностей, ефективність розглянутого методу є вище, ніж при кластеризації без врахування завад, причому більший виграш буде при малій кількості транзитних вузлів. При збільшенні кількості транзитних вузлів виграш буде знижуватися. Кількість транзитних вузлів визначається граничною величиною SINR, яка залежить від конфігурації мережі.

Окрім того, при рівномірному розподілі користувачів по території кількість транзитних вузлів пов'язана з щільністю користувачів. На рис. 3.8 наведе-

на залежність числа транзитних вузлів від щільності користувачів за умови їх рівномірного розподілу по території, яка буда отримана як результат імітаційного моделювання. Порогова величина SINR для даного прикладу була обрана рівної 5 дБ. Як видно із вищенаведеного прикладу, у випадку, коли щільність терміналів зменшується, число транзитних вузлів також зменшується, це можна пояснити зниженням сумарної потужності завод. Мінімальне число транзитних вузлів залежить від граничної величини SINR та від конфігурації мережі. В той же час, в реальній мережі, яка розгорнута на значній території, після досягнення мінімуму, число транзитних вузлів буде підвищуватися через необхідність забезпечення зв'язності мережі, тобто зростання відстаней між вузлами.

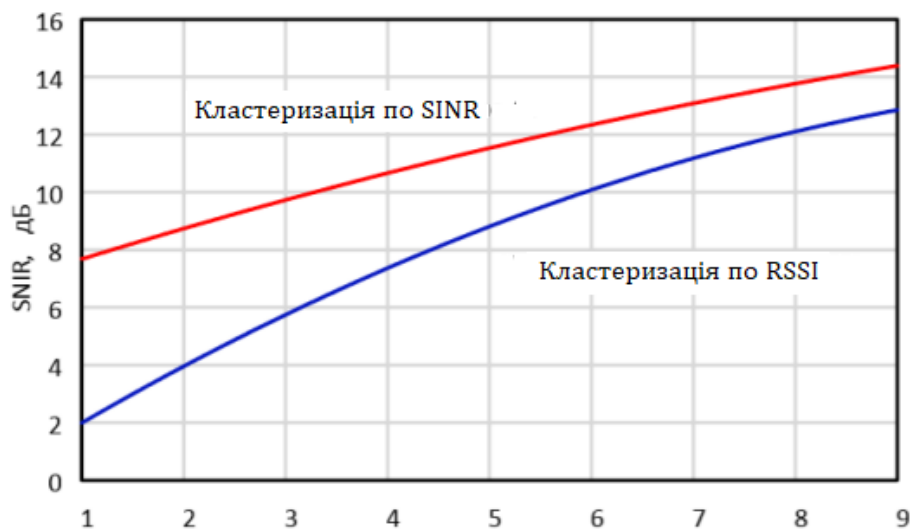


Рисунок 3.7 – Залежність середньої величини SINR від кількості транзитних вузлів

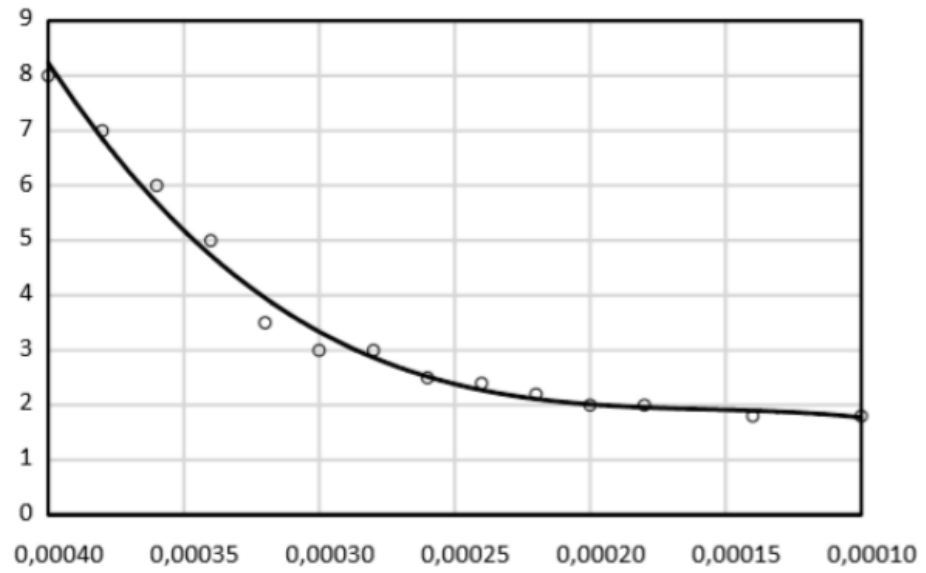


Рисунок 3.8 – Залежність число транзитних вузлів від щільності терміналів у зоні обслуговування

## 4 МОДЕЛЮВАННЯ МЕРЕЖІ ДОСТУПУ 5G

### 4.1 Моделювання середовища

Для зниження вартості і часу впровадження мереж 5G NR, потрібно точно моделювати міське середовище де буде розгорнуто мережу. Це можна пояснити тим, що на сигнали mmWave впливатимуть різні предмети, такі як дерева, рослинність, транспортні засоби, люди тощо [23]. Окрім того, 5G є більш інтегрованим з робочим середовищем. Так, наприклад, SC BS встановлюються під вершинами дахів, антени інтегруються в будівельні конструкції, вузли Інтернету речей вбудовуються у стіни та дороги. Точне моделювання робочих середовищ мережі 5G включає: тривимірні векторні дані міських вулиць з високою роздільною здатністю; тривимірну будівельну структуру та властивості електромагнітних матеріалів для мереж всередині приміщення та безперервна інтеграція зовнішніх геоінформаційних систем (ГІС) і внутрішніх тривимірних будівельних моделей.

#### 4.1.1 Геоінформаційна система

Геоінформаційні системи широко використовується при плануванні мереж зв'язку. Вони забезпечують декілька шарів інформації для планування мереж, включаючи шум, місцевість, векторні дані. Для планування 2G – 4G радіомережі потрібна роздільна здатність ГІС підвищилася з 20м до 5м.

Для планування мережі п'ятого покоління для виявлення таких об'єктів, як дерева, ліхтарні стовпи, будинки, необхідно застосовувати 3D-дані з роздільною здатністю не менше 1м (рис. 4.1).



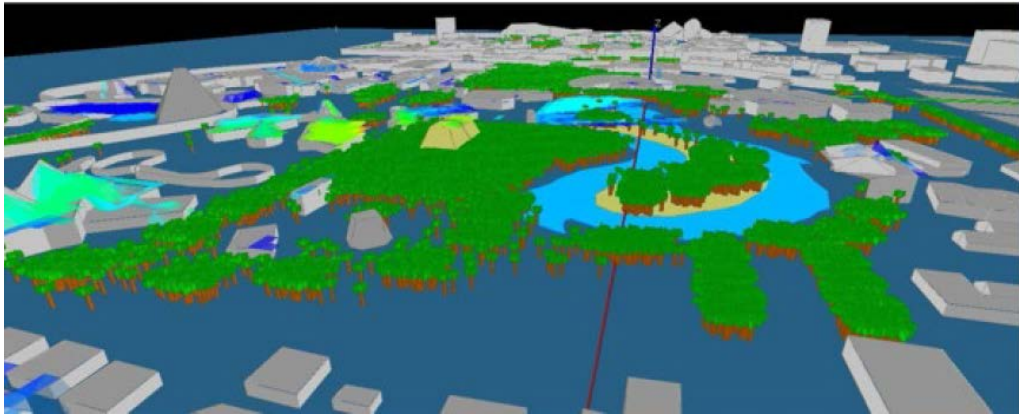


Рисунок 4.1 – Відкрита ГІС із рослинністю

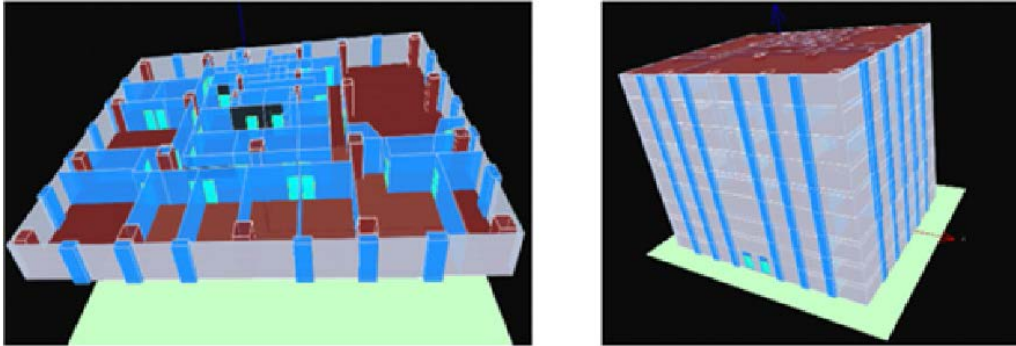
#### 4.1.2 3D-моделі забудови

Наразі більше 80% мобільного трафіку припадає на зв'язок у приміщеннях. При цьому, у наступному десятилітті, експерти прогнозують експоненціальне зростання мобільного трафіку в 1000 разів, яке буде досить нерівномірним для різних географічних районів, зокрема у центральних ділових районах, аеропортах, торгових центрах він буде суттєво вищим, ніж у спальних районах.

У мобільних мережах четвертого покоління більшу частину внутрішнього мобільного трафіку обслуговують зовнішні макроелементи. Але це не є прийнятним для мереж 5G, так як у них використовуються більш високі частоти, що досить погано проникають у будівлі. Згідно прогнозів, більше 80% внутрішнього трафіку буде обслуговуватися мобільними мережами, які встановлюються всередині будинків. Для ефективного розгортання мережі у приміщенні потрібні дуже точні 3D-моделі забудов. Такі 3D моделі повинні мати будівельні конструкції із елементами, дверей, вікон, стін, колон, як показано на рис. 4.2.

Оскільки електромагнітні властивості будівельного матеріалу є різними для різних частот, то їх потрібно вимірювати для того діапазону частот, в якому буде працювати мережа. Вимірювання електромагнітних властивостей будівельного матеріалу для смуги mmWave є досить складними через ефект дифузного відбиття, оскільки шорсткість поверхні матеріалу співрозмірна із довжиною

хвилі. При цьому, електромагнітні властивості будівельного матеріалу мають зберігатися у спеціальній базі даних.



а)

б)

Рисунок 4.2 – 3D модель приміщень

#### 4.1.3 Інтеграція зовнішніх ГІС із внутрішніми 3D будівельними моделями

По мірі збільшення числа внутрішніх мереж досить важливим стає питання взаємодії між внутрішнім та зовнішнім просторами. Для забезпечення безперебійного обслуговування і мінімізування можливих перешкод між внутрішніми і зовнішніми мережами, їх слід планувати паралельно. На рис. 4.3 подано інтегруючу модель. З метою забезпечення ефективного та узгодженого планування необхідно інтегрувати outdoor та indoor моделі. Зокрема, інструмент планування повинен вміти моделювати ті будівлі, які потребують розгортання виділених внутрішніх безпроводних мереж, а також завантажувати і зовнішню і внутрішню конфігурації мереж. Все це означає, що такий інструмент повинен вміти розміщувати внутрішні мережі на будівництві конструкцій, а зовнішні мережі на ГІС. Окрім того, інструмент повинен мати швидко завантажувати обидві мережі. Не менш важливою є сумісність з форматами операторів, а також основний зовнішній формат інструменту планування [24].

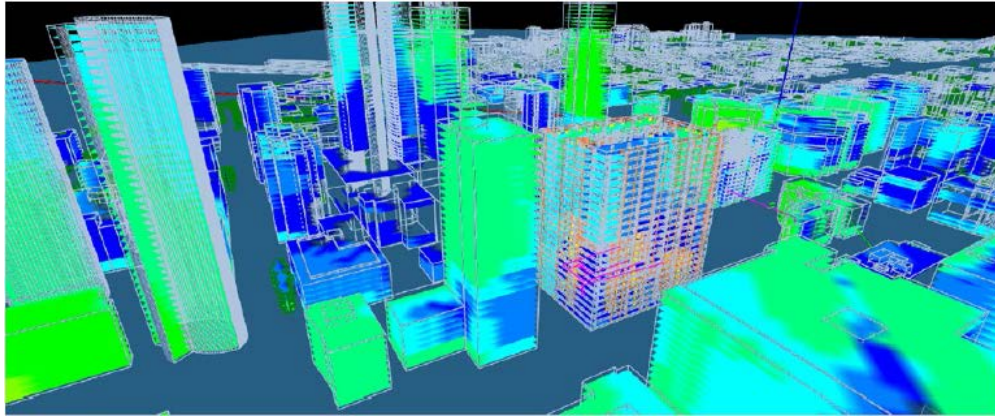


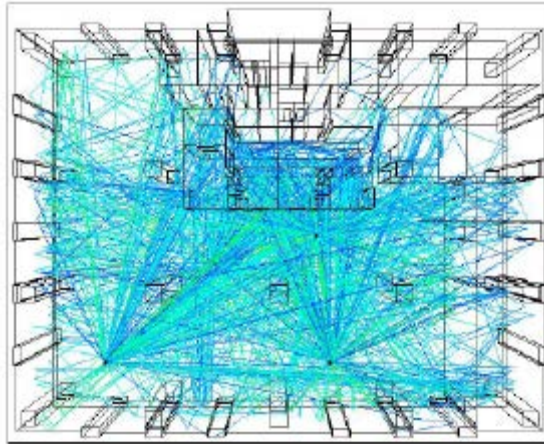
Рисунок 4.3 – Безшовна інтеграція ГІС і 3D будівельної моделі із зовнішнім та внутрішнім радіосигналом

## 4.2 Моделювання поширення радіохвиль

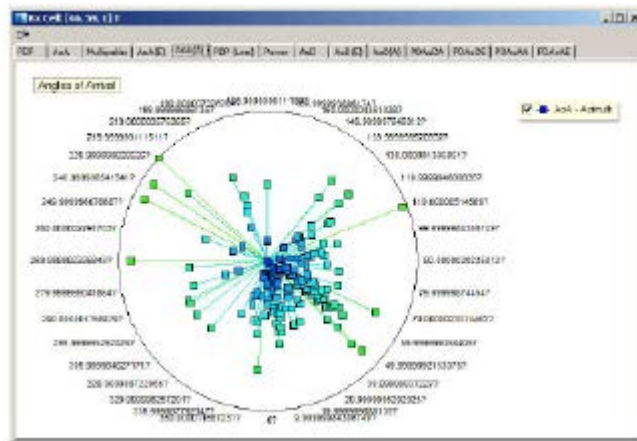
Основні вимоги до стільникових мереж – це покриття та ємність. Покриття – це є мінімальна вимога для мережі. Для планування покриття стільникових мереж важливою є модель поширення радіохвиль. При плануванні макроелементів мереж четвертого покоління на вулиці у міських умовах широко використовуються як модель Hata, так і її розширена версія – COST231-Hata. Перевагами таких емпіричних моделей є їх висока швидкість. По мірі зростання ємностей, що помітно протягом останнього десятиліття, все ширше застосовуються точні детерміновані моделі розповсюдження радіохвиль, що ґрунтуються на відстеженні запуску променів.

Хоча детерміновані моделі розповсюдження радіохвиль на базі променів є точнішими за емпіричні моделі, вони є набагато більше трудомісткими. Для скорочення часу трасування променів просто моделює розрахунок за числом розглянутих променів, враховуючи, наприклад, лише основний напрямок. Але, цей тип моделі не здатен надати вичерпну інформацію для оцінювання продуктивності Massive MIMO. Для мереж 5G вичерпна інформація про багатопроменевий шлях необхідна для формування матриці каналів MIMO, що, в свою чергу, є важливим при оцінюванні продуктивності Massive MIMO. На основі такої матриці каналу і алгоритмів попереднього кодування визначається продуктив-

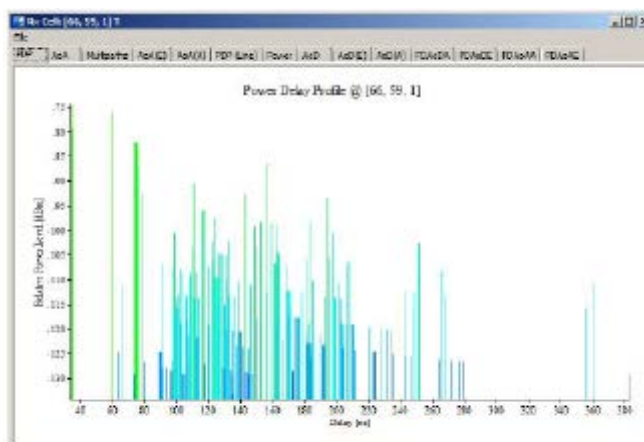
ність MIMO. Тобто, необхідна реальна тривимірна багатопроменева траєкторія просування моделі поширення для Massive MIMO (рис. 4.4).



а) Промені шляху



б) Кути прибуття



в) Затримка по потужності

Рисунок 4.4 – 3D модель багаторазового трасування променів

### 4.3 Моделювання системи п'ятого покоління

При плануванні мережі п'ятого покоління, спочатку потрібно її змодельовані в інструменті планування.

Основні параметри мережі подано у табл. 4.1

Таблиця 4.1 – Параметри мережі 5G

Параметри OFDM	Конфігурація					
Інтервал піднесучої (кГц)	15	30	60	120	240	480
Тривалість символу (мкс)	66.7	33.3	16.6	8.33	4.17	2.08
Номінальний CP (мкс)	4.7	2.41	1.205	0.6	0.3	0.15
Номінальна максимальна BW (МГц)	49.5	99	198	396	397.4	397.4
Максимальний розмір FFT	4096	4096	4096	4096	2048	1024
Мінімальний інтервал планування (мс)	1	0.5	0.25	0.125	0.0625	0.0312

Також, потрібно змодельувати відповідні структури кадрів. Для інтервалу підносійної 120 кГц, 8 слотів/підкадр (1 мс), 80 слотів/кадр (10 мс), 14 символів OFDM/слот (рис. 4.5).

Окрім того, потрібно змодельовані нові схеми модуляції, такі як 256QAM.

### 4.4 Планування Massive MIMO

Як відомо, формування променя широкомовного каналу підтримує формування променів широкомовного каналу на базі техніки "підмітання" – трансляції декількох вузьких променів у обертанні для процесу симулювання формування променів (рис. 4.6). Мережі п'ятого покоління підтримують різні конфі-

гурації Massive MIMO, це дає можливість застосовувати для різних сценаріїв покриття різні промені [15].

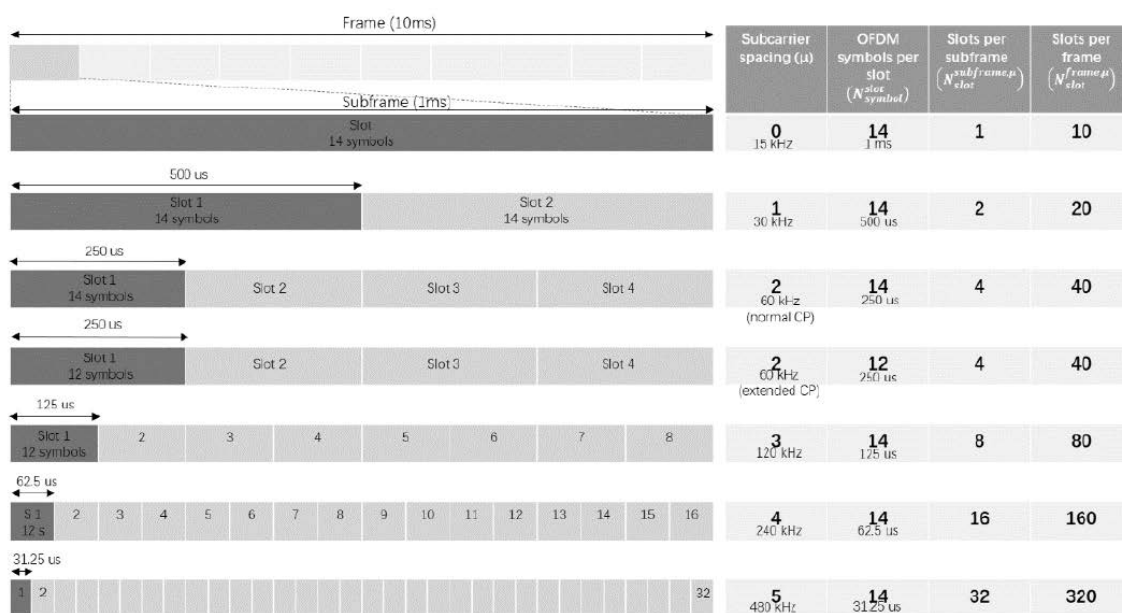


Рисунок 4.5 – Нумерології 5G

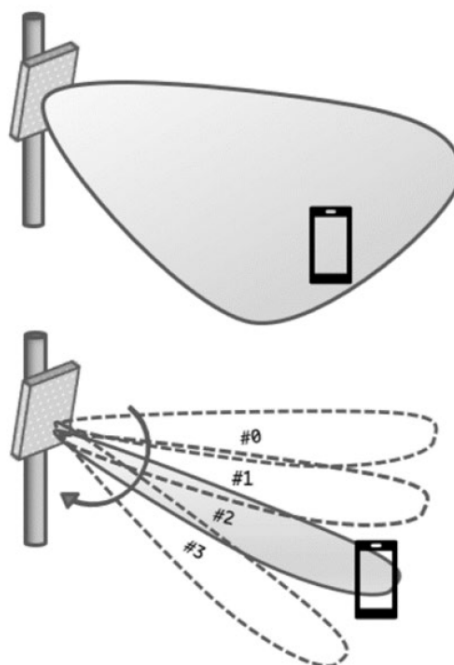


Рисунок 4.6 – Формування променя широкомовного каналу

Програмне забезпечення, яке призначене для моделювання, відстежує користувача автоматично та, відповідно до вбудованого алгоритму, призначає модель. Шляхом диспетчеризації руху створюється карта руху, на її основі здійснюється моделювання.

#### **4.5 Процес планування параметрів комірки**

Оптимізація RF параметрів поділяється на наступні етапи:

- визначення області оптимізації;
- визначення мети оптимізації;
- визначення базових станцій для коригування;
- розрахунки.

Вибір оптимальної діаграми спрямованості для широкомовного каналу здійснюється таким чином:

- за різними діаграмами спрямованості антен для широкомовного каналу та 3D-картою автоматично обираються оптимальні;
- для широкомовного каналу оптимальний вибір діаграми спрямованості пов'язаний з висотою базових станцій, відстанню між базовими станціями, цільовим покриттям, висотою будівель та іншими факторами;
- значно покращити ефект покриття будівель може сканування променем у вертикальній площині.

Системи п'ятого покоління мають 1008 значень фізичних ідентифікаторів стільника (PCI – Physical Layer Cell Identity) від 0 до 1007. Основні вимоги до планування PCI:

- не має бути конфліктів ідентифікаторів, це означає, що ідентифікатори сусідніх стільників не мають бути однаковими;
- значення PCI по модулю 3 на сусідніх стільниках мають відрізнятися;
- стільники з однаковим PCI мають розташовуватися якнайдалі один від одного;

- стільники з однаковими сигналами первинної синхронізації (PSS) мають бути розташовані якнайдалі один від одного;
- зарезервована група PCI.

На рис. 4.7 подано приклад планування PCI.

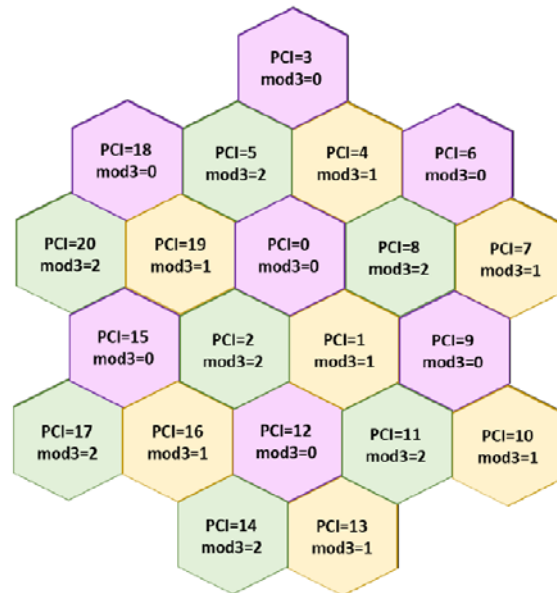


Рисунок 4.8 – Приклад розподілу фізичних ідентифікаторів комірки

Концепції планування каналу випадкового доступу (PRACH – Physical Random Access Channel) в мережах 5G та 4G дуже схожі між собою, але є деякі відмінності.

Всього в мережах п'ятого покоління підтримується 13 типів формату преамбули, котрі поділяють на дві групи:

- формати довгих преамбул 0, 1, 2, 3 довжиною 839;
- формати коротких преамбул A1, A2, A3, B1, B2, B3, B4, C0, C2 з довжиною 139.

Формати довгих преамбул передбачаються більше накладних витрат, але при цьому вони мають більший радіус комірки. Короткі формати характеризуються меншим накладним рівнем, але радіус комірки також буде меншим.

Наприклад, якщо обрано радіус стільника 3 км, то, враховуючи розподіл затримки багатопробеневого шляху у 2 мікросекунди, відповідне йому значен-



ня  $N_{cs}$  2 буде дорівнювати приблизно 45, це відповідає значенню  $N_{cs}$  46. Все це означає, що для формування наступної преамбули коренева послідовність (root sequence) буде мати циклічний зсув 46. Довжина короткої преамбули – 139, тобто число преамбул, які можна сформувати кожною кореневою послідовністю, рівне  $N=139/46=3$ . Так як нам потрібно 64 преамбули на один стільник, то число кореневих послідовностей, потрібне для створення 64 преамбул, рівне  $N_{rs}=64/3=22$ . Тобто, план RACH буде зроблений так, що перший стільник застосовує кореневі послідовності від 0 до 21, а другий стільник – від 22 до 43, тощо. Такий метод можна застосовувати при створенні планів PRACH для різних сценаріїв [16].

Таким чином, при плануванні PRACH узагальнена послідовність дій є такою:

- визначення формату преамбули: формат A3/B4 ...;
- визначення  $N_{cs}$  за радіусом покриття (zeroCorrelationZoneConfig);
- визначення розташування у часовій області;
- визначення у кожній преамбулі числа  $N_{cs}$  та кореневих послідовностей відповідно до  $N_{cs}$  PRACH і сценарію швидкості.

На рис. 4.8 подано приклад планування PRACH.

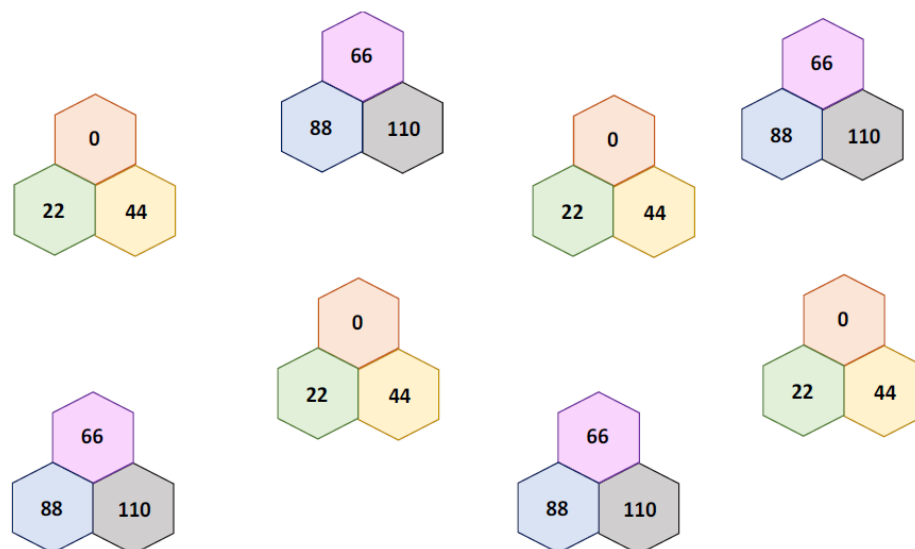


Рисунок 4.8 – Приклад розподілу PRACH Root sequence

Для 5G можливі два типи розгортання мережі: автономний (SA) і неавтономний (NSA). Відношення сусідів можна класифікувати на основі вищезазначених режимів розгортання. Для мереж, котрі розгорнуту в автономному режимі:

- міжсистемне сусідство 5G – 4G при розгортанні мереж 4G та 5G, стільник LTE можна використати як inter-RAT сусід;

- внутрішньосистемне сусідство 5G – 5G, включає внутрішнє і міжчастотне сусідство. Число сусідів приблизно дорівнює 20.

Для мереж, котрі розгорнуті в неавтономному режимі:

- внутрішньосистемне сусідство 4G – 4G, включає внутрішнє та міжчастотне сусідство;

- міжсистемне сусідство 4G – 5G, сусідів планують лише за частотою;

- внутрішньо системне сусідство 5G – 5G, включає внутрішнє і міжчастотне сусідство. Число початкових сусідів має бути рівне 20 [16].

## 5 РОЗРАХУНОК МЕРЕЖІ 5G

### 5.1 Розрахунок максимально допустимих втрат (МДП)

При побудові мережі необхідно провести аналіз мережі, він починається з розрахунку максимально допустимих втрат лінії (МДП). МДП розраховуються, як різниця між еквівалентною ізотропною випромінюваною потужністю (ЕІВП) передавача та мінімальною потужністю сигналу на вході до приймача, при цьому враховуються всі втрати в каналі зв'язку, для забезпечення оптимальної демодуляції сигналу у приймачі.

Візьмемо БС, оснащену приймачем, вихідна потужність передавача складає 100 Вт (50 дБм). Радіочастотний блок встановлюється у безпосередній близькості від антени. Розрахуємо енергетичний бюджет користувача на краю стільника, тобто коли МС приймає сигнали від БС з низьким відношенням сигнал/шум в режимі рознесеної передачі. Як користувальницький пристрої приймаємо модем СРЕ з потужністю передавача 23 дБм.

Розрахунок максимально допустимих втрат провадиться за формулою:

$$L_{MAPL} = P_{EIRP} - S_{RX} + G_{RXA} - L_{RXF} - M_{BUILD} - M_{INT} - M_{SHADE} + G_{HO}$$

де:

$P_{EIRP}$  – ЕІВП передавача, дБм;

$S_{RX}$  – чутливість приймача, дБм;

$G_{RXA}$  – коефіцієнт підсилення антени приймача, дБм;

$L_{RXF}$  – втрати у фідерному тракті приймача, дБ;

$M_{BUILD}$  – запас проникнення сигналу у приміщення, дБ;

$M_{INT}$  – запас на внутрішньосистемні завади, дБ;

$M_{SHADE}$  – запас на затінення, дБ;

$G_{HO}$  – виграш від хендовера, дБ.

Запас на проникнення сигналів у приміщення  $M_{BUILD}$ :

- 22 дБ в умовах щільної міської забудови;
- 17 дБ в умовах середньої міської забудови;
- 12 дБ в умовах передміської забудови;
- 8 дБ у сільській місцевості (на відкритій місцевості в автомобілі).

$M_{SHADE}$  – запас на затінення, дБ приймаємо рівним 8,7 дБ (для необхідної ймовірності покриття дорівнює 95% та середньоквадратичного відхилення втратою на затінення 8дБ)

Розмір запасу для внутрішньосистемних завад  $M_{INT}$  характеризує збільшення потужності шуму на вході приймача. Розрахунок передбачає, що запас для внутрішньосистемних завад у системі дорівнює:

$$M_{INT} = -10 \lg(1 - \eta)$$

$$M_{INT} = -10 \lg(1 - 0,84) = 7,96$$

$$M_{INT} = -10 \lg(1 - 0,65) = 4,56$$

де  $\eta$  – відносне завантаження стільника у висхідній або низхідній лінії.

Запас на внутрішньосистемні завади залежить від навантаження на стільник: чим більше допустиме навантаження на стільник, тим більший запас має бути прийнятий до уваги під час розрахунку. Коли навантаження збільшується до 100%, діапазон завад прагне до нескінченності, а зона покриття стільника падає до нуля. З двох значень TIR, отриманих для UL і DL, вибирається мінімум, відповідно до якого виконується подальший розрахунок радіусу дії базової станції.

Знаходимо шумову смугу приймача за формулою:

$$B = N_{RB} \cdot \Delta f_k,$$

де:

$N_{RB}$  – кількість виділених ресурсних блоків;

$\Delta f_k$  – (радіоканал у мережах 5G визначається як ресурсний блок РБ)

Підставляємо значення:

$$B = 273 \cdot 30 \cdot 10^3 = 8,19 \cdot 10^6$$

$$B = 133 \cdot 30 \cdot 10^3 = 3,99 \cdot 10^6$$

Знаходимо  $P_N$  (потужність теплового шуму приймача, дБм)

$$P_N = 10 \lg(100kTB) \quad (3.4)$$

$$P_N = 10 \lg(100 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 293 \cdot 8,19 \cdot 10^6) = -114,79$$

$$P_N = 10 \lg(100 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 293 \cdot 3,99 \cdot 10^6) = -117,92$$

Чутливість приймача  $S_{RX}$  визначається за формулою:

$$S_{RX} = P_N + M_{SNR} + L_N$$

де:

$M_{SNR}$  – необхідне відношення сигнал/шум приймача, дБ;

$L_N$  – коефіцієнт шуму приймача, дБ.

Підставляємо наше значення:

$$S_{RX} = -114,79 + 7 + 7 = -100,79$$

$$S_{RX} = -117,92 + 2 + 11,5 = -104,42$$

Далі знаходимо ефективну ізотропно випромінювану потужність

$$P_{EIRP} = P_{TX} + G_{TX.DIV} + G_{TXA} - L_{TXF}$$

де:

$P_{TX}$  – вихідна потужність передавача, дБм;

$G_{TX.DIV}$  – виграш від складання потужності передавачів, дБ;

$G_{TXA}$  – коефіцієнт підсилення антени передавача, дБі;

$L_{TXF}$  – втрати у фідерному тракті передавача, дБ.

Підставляємо наше значення:

$$P_{EIRP} = 50 + 3 + 18 - 0,4 = 70,6$$

$$P_{EIRP} = 23 + 0 + 0 - 0 = 23$$

Розраховуємо максимально допустимі втрати для лінії вниз та вверх:

$$L_{MAPL} = 70,6 + 100,79 + 0 - 0 - 22 - 7,96 - 8,7 + 0 = 132,73$$

$$L_{MAPL} = 23 + 104,42 + 18 - 0,4 - 22 - 4,56 - 8,7 + 0 = 109,76$$

З двох значень МДП, отриманих для ліній вниз та вгору вибираємо мінімальне, щоб вести подальші розрахунки дальності зв'язку та радіусу стільника. Обмежувальною лінією за дальністю зв'язку, як правило, є лінія нагору.

## 5.2 Розрахунок зони покриття базової станції за моделлю COST231

Нам відомі допустимі втрати, з них ми можемо знайти радіус покриття нашого стільника. Візьмемо висоту підйому антени мобільних станцій рівною 1,5 м, а висоту базової станції – 30м у міській зоні відповідно.

З формули допустимих втрат виведемо формулу визначення радіуса стільника:

$$L = 45,5 - 13,82 \lg H_{BC} + 35,4 \lg F + (1,1 \lg F - 0,7) H_{MC} + \\ + (44,9 - 6,55 \lg H_{BC}) \lg R$$

Радіус стільника знаходиться за формулою:

$$R = 10^{L - 45,5 + 13,82 \lg H_{BC} - 35,4 \lg F - (1,1 \lg F - 0,7) H_{MC} - (44,9 - 6,55 \lg H_{BC}) \lg R}$$

$$R = 10^{109,76 - 45,5 + 13,82 \lg 30 - 35,4 \lg 1710 - (1,1 \lg 1710 - 0,7) 1,5 - (44,9 - 6,55 \lg 30) \lg R} = 374 (м)$$

### 5.3 Розрахунок швидкості передачі 5G NR

Розрахуємо швидкість передачі даних 5G NR. Розрахуємо швидкість передачі лінії вверх за формулою:

$$R_{5G} = 10^{-6} \cdot \sum_{j=1}^J [V \cdot Q_m \cdot f \cdot R_{\max} \cdot \frac{N_{PRB}^{BW(j)\mu} \cdot 12}{T_s^\mu} \cdot (1 - OH)],$$

де:

$J=1$  – кількість агрегованих компонентних несучих у смузі або комбінації смуг,

$Q_m=6$  – порядок модуляції

$V = 4$  – кількість шарів

$f=1$  – коефіцієнт масштабування

$\mu=1$  – нумерологія 5G NR

OH – додаткові витрати

$T_s$  – середня тривалість символу OFDM у підкадрі, у мікросекундах,

$N_{\text{PRB}}=1333$  – кількість ресурсних блоків,

$R_{\text{max}}=948/1024$  – швидкість передачі.

Розрахуємо  $T_s^\mu$  – середню тривалість символу OFDM у підкадрі для нумерології  $\mu$

$$T_s^\mu = \frac{10^{-3}}{14 \cdot 2^\mu}$$

$$T_s^\mu = \frac{10^{-3}}{14 \cdot 2^1} = 3,57 \cdot 10^{-5}$$

ОН – це додаткові витрати, вони приймають такі значення:

$[0,14]$  → частотний діапазон FR1 для DL

$[0,18]$  → частотний діапазон FR2 для DL

$[0,08]$  → частотний діапазон FR1 для UL

$[0,10]$  → частотний діапазон FR2 для UL

Підставляємо дані у формулу:

$$R_{5G} = 10^{-6} \cdot \sum_{j=1}^J [4 \cdot 6 \cdot 1 \cdot \frac{948}{1014} \cdot \frac{133 \cdot 12}{3,57 \cdot 10^{-5}} \cdot (1 - 0,08)] = 913,49 \text{ (Мбіт/с)}$$



## **6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА**

Виконання науково-дослідної роботи завжди передбачає отримання певних результатів і вимагає відповідних витрат. Результати виконаної роботи завжди дають нам нові знання, які в подальшому можуть бути використані для удосконалення та/або розробки (побудови) нових, більш продуктивних зразків техніки, процесів та програмного забезпечення.

Дослідження на тему «Особливості проектування та впровадження мереж 5G на території України» може бути віднесено до фундаментальних і пошукових наукових досліджень і спрямоване на вирішення наукових проблем, пов'язаних з практичним застосуванням. Основою таких досліджень є науковий ефект, який виражається в отриманні наукових результатів, які збільшують обсяг знань про природу, техніку та суспільство, які розвивають теоретичну базу в тому чи іншому науковому напрямку, що дозволяє виявити нові закономірності, які можуть використовуватися на практиці.

Для цього випадку виконаємо такі етапи робіт:

- 1) здійснимо проведення наукового аудиту досліджень, тобто встановлення їх наукового рівня та значимості;
- 2) проведемо планування витрат на проведення наукових досліджень;
- 3) здійснимо розрахунок рівня важливості наукового дослідження та перспективності, визначимо ефективність наукових досліджень.

### **6.1 Оцінювання наукового ефекту**

Основними ознаками наукового ефекту науково-дослідної роботи є новизна роботи, рівень її теоретичного опрацювання, перспективність, рівень розповсюдження результатів, можливість реалізації. Науковий ефект НДР на тему «Особливості проектування та впровадження мереж 5G на території України» можна охарактеризувати двома показниками: ступенем наукової новизни та рівнем теоретичного опрацювання.

Значення показників ступеня новизни і рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи в балах наведені в табл. 6.1 та 6.2.

Таблиця 6.1 – Показники ступеня новизни науково-дослідної роботи ви-  
ставлені експертами

Ступінь новизни	Характеристика ступеня новизни	Значення ступеня новизни, бали		
		Експерти (ПІБ, посада)		
		1	2	3
Принципово нова	Робота якісно нова за постановкою задачі і ґрунтується на застосуванні оригінальних методів дослідження. Результати дослідження відкривають новий напрям в даній галузі науки і техніки. Отримані принципово нові факти, закономірності; розроблена нова теорія. Створено принципово новий пристрій, спосіб, метод	-	-	-
Нова	Отримана нова інформація, яка суттєво зменшує невизначеність наявних значень (по-новому або вперше пояснені відомі факти, закономірності, впроваджені нові поняття, розкрита структура змісту). Проведено суттєве вдосконалення, доповнення і уточнення раніше досягнутих результатів	60	55	60

Відносно нова	Робота має елементи новизни в постановці задачі і методах дослідження. Результати дослідження систематизують і узагальнюють наявну інформацію, визначають шляхи подальших досліджень; вперше знайдено зв'язок (або знайдено новий зв'язок) між явищами. В принципі відомі положення розповсюджені на велику кількість об'єктів, в результаті чого знайдено ефективне рішення. Розроблені більш прості способи для досягнення відомих результатів. Проведена часткова раціональна модифікація (з ознаками новизни)	-	-	-
Традиційна	Робота виконана за традиційною методикою. Результати дослідження мають інформаційний характер. Підтверджені або поставлені під сумнів відомі факти та твердження, які потребують перевірки. Знайдено новий варіант рішення, який не дає суттєвих переваг в порівнянні з існуючим	-	-	-
Не нова	Отримано результат, який раніше зафіксований в інформаційному полі, та не був відомий авторам	-	-	-
Середнє значення балів експертів		58,3		

Згідно отриманого середнього значення балів експертів ступінь новизни характеризується як нова, тобто отримана нова інформація, яка суттєво зменшує невизначеність наявних знань (по-новому або вперше пояснені відомі факти, закономірності, впроваджені нові поняття, розкрита структура змісту) та

проведено суттєве вдосконалення, доповнення і уточнення раніше досягнутих результатів.

Таблиця 6.2 – Показники рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи виставлені експертами

Характеристика рівня теоретичного опрацювання	Значення показника рівня теоретичного опрацювання, бали		
	Експерт (ПІБ, посада)		
	1	2	3
Відкриття закону, розробка теорії	-	-	-
Глибоке опрацювання проблеми: багатоаспектний аналіз зв'язків, взаємозалежності між фактами з наявністю пояснень, наукової систематизації з побудовою евристичної моделі або комплексного прогнозу	67	65	64
Розробка способу (алгоритму, програми), пристрою, отримання нової речовини	-	-	-
Елементарний аналіз зв'язків між фактами та наявною гіпотезою, класифікація, практичні рекомендації для окремого випадку тощо	-	-	-
Опис окремих елементарних фактів, викладення досвіду, результатів спостережень, вимірювань тощо	-	-	-
Середнє значення балів експертів	65,3		

Згідно отриманого середнього значення балів експертів рівень теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи характеризується як глибоке опрацювання проблеми: багатоаспектний аналіз зв'язків, взаємозалежності між фактами з наявністю пояснень, наукової систематизації з побудовою евристичної моделі або комплексного прогнозу.

Показник, який характеризує рівень наукового ефекту, визначаємо за формулою [26]:

$$E_{\text{нау}} = 0,6 \cdot k_{\text{нов}} + 0,4 \cdot k_{\text{теор}}, \quad (6.1)$$

де  $k_{\text{нов}}$ ,  $k_{\text{теор}}$  - показники ступеня новизни та рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи,  $k_{\text{нов}} = 58,3$ ,  $k_{\text{теор}} = 65,3$  балів;

0,6 та 0,4 – питома вага (значимість) показників ступеня новизни та рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи.

$$E_{\text{нау}} = 0,6 \cdot k_{\text{нов}} + 0,4 \cdot k_{\text{теор}} = 0,6 \cdot 58,3 + 0,4 \cdot 65,33 = 61,13 \text{ балів.}$$

Визначення характеристики показника  $E_{\text{нау}}$  проводиться на основі висновків експертів виходячи з граничних значень, які наведені в табл. 6.3.

Таблиця 6.3 – Граничні значення показника наукового ефекту

Досягнутий рівень показника	Кількість балів
Високий	70...100
Середній	50...69
Достатній	15...49
Низький (помилкові дослідження)	1...14

Відповідно до визначеного рівня наукового ефекту проведеної науково-дослідної роботи на тему «Особливості проектування та впровадження мереж 5G на території України», даний рівень становить 61,13 балів і відповідає статусу - середній рівень. Тобто у даному випадку можна вести мову про потенційну фактичну ефективність науково-дослідної роботи.

## 6.2 Розрахунок витрат на здійснення науково-дослідної роботи

Витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідної роботи на тему «Особливості проектування та впровадження мереж 5G на території України», під час планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідної роботи групуємо за відповідними статтями.

### 6.2.1 Витрати на оплату праці

До статті «Витрати на оплату праці» належать витрати на виплату основної та додаткової заробітної плати керівникам відділів, лабораторій, секторів і груп, науковим, інженерно-технічним працівникам, конструкторам, технологам, креслярам, копіювальникам, лаборантам, робітникам, студентам, аспірантам та іншим працівникам, безпосередньо зайнятим виконанням конкретної теми, обчисленої за посадовими окладами, відрядними розцінками, тарифними ставками згідно з чинними в організаціях системами оплати праці.

#### Основна заробітна плата дослідників

Витрати на основну заробітну плату дослідників ( $Z_o$ ) розраховуємо у відповідності до посадових окладів працівників, за формулою [26]:

$$Z_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p}, \quad (6.2)$$

де  $k$  – кількість посад дослідників залучених до процесу досліджень;

$M_{ni}$  – місячний посадовий оклад конкретного дослідника, грн;

$t_i$  – число днів роботи конкретного дослідника, дн.;

$T_p$  – середнє число робочих днів в місяці,  $T_p=22$  дні.

$$Z_o = 13200,00 \cdot 28 / 22 = 16800,00 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 4.4 – Витрати на заробітну плату дослідників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн
1. Керівник проекту	13200,00	600,00	28	16800,00
2. Ст. науковий співробітник	12850,00	584,09	22	12850,00
3. Науковий співробітник	11550,00	525,00	22	11550,00
4. Інженер-конструктор радіоелектронних систем	11500,00	522,73	20	10454,55
5. Інженер-програміст програмно-конфігурованої мережі	11500,00	522,73	15	7840,91
6. Технік	6950,00	315,91	17	5370,45
Всього				64865,91

Витрати на основну заробітну плату робітників ( $Z_p$ ) за відповідними найменуваннями робіт НДР на тему «Особливості проектування та впровадження мереж 5G на території України» розраховуємо за формулою:

$$Z_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (6.3)$$

де  $C_i$  – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, грн/год;

$t_i$  – час роботи робітника при виконанні визначеної роботи, год.

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду  $C_i$  можна визначити за формулою:

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}}, \quad (6.4)$$

де  $M_M$  – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи, або мінімальної місячної заробітної плати (в залежності від діючого законодавства), прийmemo  $M_M=6700,00$  грн;

$K_i$  – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду (табл. Б.2, додаток Б) [26];

$K_c$  – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати.

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

$t_{зм}$  – тривалість зміни, год.

$$C_1 = 6700,00 \cdot 1,50 \cdot 1,65 / (22 \cdot 8) = 94,22 \text{ грн.}$$

$$З_{р1} = 94,22 \cdot 12,00 = 1130,63 \text{ грн.}$$

Таблиця 6.5 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість роботи, год	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн	Величина оплати на робітника, грн
1. Встановлення допоміжного обладнання	12,00	4	1,50	94,22	1130,63
2. Інсталяція програмного забезпе-	16,00	5	1,70	106,78	1708,50



чення					
3. Встановлення модулів	24,00	5	1,70	106,78	2562,75
4. Монтаж імітаторів мереж	24,00	6	2,00	125,63	3015,00
5. Формування бази даних результатів вимірювань	100,00	4	1,50	94,22	9421,88
6. Підготовка приміщення	8,00	5	1,70	106,78	854,25
Всього					18693,00

Додаткову заробітну плату розраховуємо як 10 ... 12% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$Z_{\text{дод}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{дод}}}{100\%}, \quad (6.5)$$

де  $H_{\text{дод}}$  – норма нарахування додаткової заробітної плати. Прийmemo 10%.

$$Z_{\text{дод}} = (64865,91 + 18693,00) \cdot 10 / 100\% = 8355,89 \text{ грн.}$$

### 6.2.2 Відрахування на соціальні заходи

Нарахування на заробітну плату дослідників та робітників розраховуємо як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати дослідників і робітників за формулою:

$$Z_n = (Z_o + Z_p + Z_{\text{дод}}) \cdot \frac{H_{\text{zn}}}{100\%} \quad (6.6)$$

де  $H_{zn}$  – норма нарахування на заробітну плату. Приймаємо 22%.

$$Z_n = (64865,91 + 18693,00 + 8355,89) \cdot 22 / 100\% = 20221,26 \text{ грн.}$$

### 6.2.3 Сировина та матеріали

До статті «Сировина та матеріали» належать витрати на сировину, основні та допоміжні матеріали, інструменти, пристрої та інші засоби і предмети праці, які придбані у сторонніх підприємств, установ і організацій та витрачені на проведення досліджень за темою «Особливості проектування та впровадження мереж 5G на території України».

Витрати на матеріали на даному етапі проведення досліджень в основному пов'язані з використанням моделей елементів та моделювання роботи і досліджень за допомогою комп'ютерної техніки та створення експериментальних математичних моделей або програмного забезпечення, тому дані витрати формуються на основі витратних матеріалів характерних для офісних робіт.

Витрати на матеріали ( $M$ ), у вартісному вираженні розраховуються окремо по кожному виду матеріалів за формулою:

$$M = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j - \sum_{j=1}^n B_j \cdot C_{ej}, \quad (6.7)$$

де  $H_j$  – норма витрат матеріалу  $j$ -го найменування, кг;

$n$  – кількість видів матеріалів;

$C_j$  – вартість матеріалу  $j$ -го найменування, грн/кг;

$K_j$  – коефіцієнт транспортних витрат, ( $K_j = 1,1 \dots 1,15$ );

$B_j$  – маса відходів  $j$ -го найменування, кг;

$C_{ej}$  – вартість відходів  $j$ -го найменування, грн/кг.

$$M_1 = 4,00 \cdot 296,00 \cdot 1,1 - 0,000 \cdot 0,00 = 1302,40 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 6.6.

Таблиця 6.6 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, грн	Норма витрат, кг	Величина відходів, кг	Ціна відходів, грн/кг	Вартість витраченого матеріалу, грн
Папір офісний А4	296,00	4,00	-	-	1302,40
Папір для записів А5	152,00	4,00	-	-	668,80
Диск оптичний (CD-R)	23,00	4,00	-	-	101,20
Органайзер офісний EGO-100BIC	146,00	4,00	-	-	642,40
Канцелярське приладдя	211,00	4,00	-	-	928,40
Картридж змінний Canon 216AF	802,00	2,00	-	-	1764,40
FLASH-пам'ять Best Gold 64G	665,00	1,00	-	-	731,50
Всього					6139,10

#### 6.2.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі ( $K_e$ ), які використовують при проведенні НДР на тему «Особливості проектування та впровадження мереж 5G на території України», розраховуємо, згідно з їхньою номенклатурою, за формулою:

$$K_{\epsilon} = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j \quad (4.8)$$

де  $H_j$  – кількість комплектуючих  $j$ -го виду, шт.;

$C_j$  – покупна ціна комплектуючих  $j$ -го виду, грн;

$K_j$  – коефіцієнт транспортних витрат, ( $K_j = 1,1 \dots 1,15$ ).

$$K_{\epsilon} = 1 \cdot 5680,00 \cdot 1,1 = 6248,00 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 6.7.

Таблиця 6.7 – Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, грн	Сума, грн
Програмно-конфігуруєма мережа SDN segment	1	5680,00	6248,00
Контроллер Controller HD16qj	1	3250,00	3575,00
Програмований комутатор Programmable switch DC90HrRT3	1	4685,00	5153,50
Маршрутизатор XA16	1	3680,00	4048,00
Імітатор магістральної мережі FITCH	1	4900,00	5390,00
Всього			24414,50

### 6.2.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на виготовлення та придбання спецустаткування необхідного

для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, виготовлення, транспортування, монтаж та встановлення.

Балансову вартість спецустаткування розраховуємо за формулою:

$$B_{\text{спец}} = \sum_{i=1}^k C_i \cdot C_{\text{пр.і}} \cdot K_i, \quad (6.9)$$

де  $C_i$  – ціна придбання одиниці спецустаткування даного виду, марки, грн;

$C_{\text{пр.і}}$  – кількість одиниць устаткування відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

$K_i$  – коефіцієнт, що враховує доставку, монтаж, налагодження устаткування тощо, ( $K_i = 1, 10 \dots 1, 12$ );

$k$  – кількість найменувань устаткування.

$$B_{\text{спец}} = 15200,00 \cdot 1 \cdot 1,11 = 16872,00 \text{ грн.}$$

Отримані результати зведемо до таблиці 6.8:

Таблиця 6.8 – Витрати на придбання спецустаткування по кожному виду

Найменування устаткування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Термінал (імітатор навантаження)	1	15200,00	16872,00
Термінал (імітатор приймача)	1	9800,00	10878,00
Генератор завод BASF53-12ZI	1	8300,00	9213,00
Всього			36963,00

#### 6.2.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на розробку та придбання спеціальних програмних за-

собів і програмного забезпечення, (програм, алгоритмів, баз даних) необхідних для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, формування та встановлення.

Балансову вартість програмного забезпечення розраховуємо за формулою:

$$B_{\text{прог}} = \sum_{i=1}^k C_{\text{прог},i} \cdot C_{\text{прог},i} \cdot K_i, \quad (4.10)$$

де  $C_{\text{прог},i}$  – ціна придбання одиниці програмного засобу даного виду, грн;

$C_{\text{прог},i}$  – кількість одиниць програмного забезпечення відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

$K_i$  – коефіцієнт, що враховує інсталяцію, налагодження програмного засобу тощо, ( $K_i = 1, 10 \dots 1, 12$ );

$k$  – кількість найменувань програмних засобів.

$$B_{\text{прог}} = 8320,00 \cdot 1 \cdot 1,11 = 9235,20 \text{ грн.}$$

Отримані результати зведемо до таблиці 6.9:

Таблиця 6.9 – Витрати на придбання програмних засобів

Найменування програмного засобу	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
ОС Windows	1	8320,00	9235,20
Прикладний пакет Microsoft Office	1	7150,00	7936,50
Пакет Visual System Simulator	1	5320,00	5905,20
Пакет Microwave Office	1	6930,00	7692,30
Пакет Matlab 2020	1	5510,00	6116,10
Всього			36885,30

### 6.2.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень

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

$$A_{обл} = \frac{Ц_{б}}{T_{в}} \cdot \frac{t_{вик}}{12}, \quad (6.11)$$

де  $Ц_{б}$  – балансова вартість обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, які використовувались для проведення досліджень, грн;

$t_{вик}$  – термін використання обладнання, програмних засобів, приміщень під час досліджень, місяців;

$T_{в}$  – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

$$A_{обл} = (23850,00 \cdot 2) / (4 \cdot 12) = 993,75 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 6.10 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн
Комп'ютеризований програмно-аналітичний комплекс	23850,00	4	2	993,75
Метрологічний	11320,00	4	2	471,67

комплекс				
Програмне забезпечення підтримки мереж	15320,00	4	2	638,33
Місце оператора спеціалізоване	9565,00	6	2	265,69
Офісна оргтехніка	12505,00	6	2	347,36
Дослідницька лабораторія	375000,00	25	2	2500,00
Всього				5216,81

### 6.2.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

Витрати на силову електроенергію ( $B_e$ ) розраховуємо за формулою:

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{eni}}{\eta_i}, \quad (6.12)$$

де  $W_{yi}$  – встановлена потужність обладнання на визначеному етапі розробки, кВт;

$t_i$  – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

$C_e$  – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн; (вартість електроенергії визначається за даними енергопостачальної компанії), прийmemo  $C_e = 6,12$  грн;

$K_{eni}$  – коефіцієнт, що враховує використання потужності,  $K_{eni} < 1$ ;

$\eta_i$  – коефіцієнт корисної дії обладнання,  $\eta_i < 1$ .

$$B_e = 0,12 \cdot 100,0 \cdot 6,12 \cdot 0,95 / 0,97 = 73,44 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 6.11.



Таблиця 6.11 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, грн
Програмно-конфігуруєма мережа SDN segment	0,12	100,0	73,44
Контролер Controller HD16qj	0,01	100,0	6,12
Програмований комутатор Programmable switch DC90HrRT3	0,02	100,0	12,24
Маршрутизатор XA16	0,02	100,0	12,24
Імітатор магістральної мережі FITCH	0,02	100,0	12,24
Термінал (імітатор навантаження)	0,05	60,0	18,36
Термінал (імітатор приймача)	0,03	60,0	11,02
Генератор завод BASF53-12ZI	0,12	60,0	44,06
Комп'ютеризований програмно-аналітичний комплекс	0,56	220,0	753,9 8
Метрологічний комплекс	0,42	200,0	514,0 8
Всього			1457, 78

### 6.2.9 Службові відрядження

До статті «Службові відрядження» дослідної роботи на тему «Особливості проектування та впровадження мереж 5G на території України» належать витрати на відрядження штатних працівників, працівників організацій, які працюють за договорами цивільно-правового характеру, аспірантів, зайнятих розробленням досліджень, відрядження, пов'язані з проведенням випробувань ма-

шин та приладів, а також витрати на відрядження на наукові з'їзди, конференції, наради, пов'язані з виконанням конкретних досліджень.

Витрати за статтею «Службові відрядження» розраховуємо як 20...25% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{cv} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cv}}{100\%}, \quad (6.13)$$

де  $H_{cv}$  – норма нарахування за статтею «Службові відрядження», прийmemo  $H_{cv} = 25\%$ .

$$B_{cv} = (64865,91 + 18693,00) \cdot 25 / 100\% = 20889,73 \text{ грн.}$$

6.2.10 Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації

Витрати за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації» розраховуємо як 30...45% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{cn} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cn}}{100\%}, \quad (6.14)$$

де  $H_{cn}$  – норма нарахування за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації», прийmemo  $H_{cn} = 35\%$ .

$$B_{cn} = (64865,91 + 18693,00) \cdot 35 / 100\% = 29245,62 \text{ грн.}$$

### 6.2.11 Інші витрати

До статті «Інші витрати» належать витрати, які не знайшли відображення у зазначених статтях витрат і можуть бути віднесені безпосередньо на собівартість досліджень за прямими ознаками.

Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуємо як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$I_{\text{в}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{ив}}}{100\%}, \quad (6.15)$$

де  $H_{\text{ив}}$  – норма нарахування за статтею «Інші витрати», прийmemo  $H_{\text{ив}} = 90\%$ .

$$I_{\text{в}} = (64865,91 + 18693,00) \cdot 90 / 100\% = 75203,02 \text{ грн.}$$

### 6.2.12 Накладні (загальновиробничі) витрати

До статті «Накладні (загальновиробничі) витрати» належать: витрати, пов'язані з управлінням організацією; витрати на винахідництво та раціоналізацію; витрати на підготовку (перепідготовку) та навчання кадрів; витрати, пов'язані з набором робочої сили; витрати на оплату послуг банків; витрати, пов'язані з освоєнням виробництва продукції; витрати на науково-технічну інформацію та рекламу та ін.

Витрати за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати» розраховуємо як 100...150% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{\text{нзв}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{нзв}}}{100\%}, \quad (6.16)$$

де  $H_{нзв}$  – норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати», прийmemo  $H_{нзв} = 150\%$ .

$$B_{нзв} = (64865,91 + 18693,00) \cdot 150 / 100\% = 125338,36 \text{ грн.}$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Особливості проектування та впровадження мереж 5G на території України» розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою:

$$B_{заг} = Z_o + Z_p + Z_{ood} + Z_n + M + K_v + B_{спец} + B_{прз} + A_{обл} + B_e + B_{св} + B_{сп} + I_v + B_{нзв}. \quad (6.17)$$

$$\begin{aligned} B_{заг} = & 64865,91 + 18693,00 + 8355,89 + 20221,256 + 6139,10 + 24414,50 \\ & + 36963,00 + 36885,30 + 5216,81 + 1457,78 + 20889,73 + 29245,62 + 75203,02 \\ & + 125338,36 = 473889,27 \text{ грн.} \end{aligned}$$

Загальні витрати  $ZB$  на завершення науково-дослідної (науково-технічної) роботи та оформлення її результатів розраховується за формулою:

$$ZB = \frac{B_{заг}}{\eta}, \quad (6.18)$$

де  $\eta$  - коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково-дослідної роботи, прийmemo  $\eta = 0,9$ .

$$ZB = 473889,27 / 0,9 = 526543,64 \text{ грн.}$$

### 6.3 Оцінювання важливості та наукової значимості науково-дослідної роботи

Оцінювання та доведення ефективності виконання науково-дослідної роботи фундаментального чи пошукового характеру є достатньо складним процесом і часто базується на експертних оцінках, тому має вірогідний характер.

Для обґрунтування доцільності виконання науково-дослідної роботи на тему «Особливості проектування та впровадження мереж 5G на території України» використовується спеціальний комплексний показник, що враховує важливість, результативність роботи, можливість впровадження її результатів у виробництво, величину витрат на роботу.

Комплексний показник  $K_p$  рівня науково-дослідної роботи може бути розрахований за формулою:

$$K_p = \frac{I^n \cdot T_c \cdot R}{B \cdot t}, \quad (6.19)$$

де  $I$  – коефіцієнт важливості роботи. Прийmemo  $I = 4$ ;

$n$  – 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.

Прийmemo  $n = 3$ ;

$T_c$  – коефіцієнт складності роботи. Прийmemo  $T_c = 3$ ;

$R$  – 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  $R = 1$ . Прийmemo  $R = 4$ ;

$B$  – вартість науково-дослідної роботи, тис. грн. Прийmemo  $B = 526543,64$  грн;

$t$  – час проведення дослідження. Прийmemo  $t = 0,17$  років, (2 міс.).

Визначення показників  $I$ ,  $n$ ,  $T_C$ ,  $R$ ,  $B$ ,  $t$  здійснюється експертним шляхом або на основі нормативів [15].

$$K_p = \frac{I^n \cdot T_C \cdot R}{B \cdot t} = 4^3 \cdot 3 \cdot 4 / 526,5 \cdot 0,17 = 8,75.$$

Якщо  $K_p > 1$ , то науково-дослідну роботу на тему «Особливості проектування та впровадження мереж 5G на території України» можна вважати ефективною з високим науковим, технічним і економічним рівнем.

#### 6.4 Висновок до розділу

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Особливості проектування та впровадження мереж 5G на території України» складають 526543,64 грн. Відповідно до проведеного аналізу та розрахунків рівень наукового ефекту проведеної науково-дослідної роботи на тему «Особливості проектування та впровадження мереж 5G на території України» є середній, а дослідження актуальними, рівень доцільності виконання науково-дослідної роботи  $K_p > 1$ , що свідчить про потенційну ефективність з високим науковим, технічним і економічним рівнем.

## **7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

Навчання та систематичне підвищення рівня знань працівників з питань охорони праці – один з основних принципів державної політики в галузі охорони праці, фундаментальна основа безпеки праці та необхідна умова удосконалення управління охороною праці.

Основним нормативним актом, що встановлює порядок та види навчання, а також форми перевірки знань з охорони праці є ДНАОП 0.00-4,12-99 «Типове положення про навчання з питань охорони праці». Він спрямований на реалізацію в Україні системи безперервного навчання з питань охорони праці, яка проводиться з працівниками в процесі трудової діяльності, а також з учнями, вихованцями та студентами закладів освіти.

У магістерській кваліфікаційній роботі досліджуються особливості проектування та впровадження мереж 5G на території України. Всі дослідження і експериментальні процеси відбуваються з участю ПК.

На працівників, що проводять дослідження на ПК можуть впливати такі небезпечні та шкідливі фактори, у відповідності з прийнятою класифікацією за ГОСТ 12.0003.-74 [27]:

Фізичні: підвищена та понижена температура повітря робочої зони; підвищена та понижена рухливість повітря робочої зони; недостатня освітленість робочої зони; недостатність природного освітлення; небезпечний рівень напруги в електричному колі, замикання якого може відбутися через тіло людини; підвищена та понижена вологість повітря; підвищений рівень електромагнітного опромінення.

Психофізіологічні: нервово – психічні перевантаження (монотонність праці, емоційні перевантаження, перенапруга аналізаторів).

## 7. 1 Технічні рішення з безпечного виконання робіт

### 7. 1.1 Технічні рішення з організації робочого місця під час проектування

Площа, виділена для одного робочого місця з персональним комп'ютером, повинна складати не менше 6 кв. м, а обсяг – не менше 20 куб. м.

При розміщенні робочих місць з ПК необхідно дотримуватись таких вимог:

– робочі місця з ПК розміщуються на відстані не менше 1 м від стін зі світловими прорізами;

– відстань між бічними поверхнями ПК має бути не меншою за 1,2 м; – відстань між тильною поверхнею одного ПК та екраном іншого не повинна бути меншою 2,5 м;

– прохід між рядами робочих місць має бути не меншим 1 м. Вимоги цього пункту щодо відстані між бічними поверхнями ПК та відстані між тильною поверхнею одного ПК та екраном іншого враховуються також при розміщенні робочих місць з ПК в суміжних приміщеннях, з урахуванням конструктивних особливостей стін та перегородок. Усі працівники, які виконують роботи, пов'язані з експлуатацією, обслуговуванням, налагодженням та ремонтом ПК, підлягають обов'язковому медичному огляду – попередньому під час оформлення на роботу та періодичному протягом трудової діяльності. Посадові особи та спеціалісти, інші працівники підприємств, які організують та виконують роботи, пов'язані з експлуатацією, профілактичним обслуговуванням, налагодженням та ремонтом ПК, проходять підготовку (підвищення кваліфікації), перевірку знань з охорони праці, а також інструктажі.

### 7.1.2 Електробезпека виробничого приміщення

Класифікація приміщень за категоріями електробезпеки залежно від мікроклімату виробничих будівель. Допустимими визнаються умови праці у будівлях, де відносна вологість повітря не перевищує 60%, температура повітря не



перевищує 35 °С, а пи́л та хімічно агресивне середовище – відсутні. За таких умов праці мікроклімат вважається сухим. Вологими називаються умови роботи, де відносна вологість повітря становить від 60% до 75%. Сирі – це такі умови, які характеризуються відносною вологістю повітря в будівлі більшою за 75%. Особливо сирі умови – це умови, із майже стовідсотковою відносною вологістю повітря. Гарячими умовами праці є становище, при якому температура повітря перевищує 35 °С. Запиленими визнаються умови, при яких виділяється велика кількість виробничого пи́лу, внаслідок чого він може залишатись на зовнішніх поверхнях або навіть проникати у середину обладнання чи апаратів. До умов праці з хімічно активним середовищем відносять умови, при яких у повітрі протягом тривалого часу залишаються гази або краплі рідин, які негативно впливають на ізолюючі властивості і струмопровідні елементи електричних інструментів.

Класифікація приміщень за рівнем електробезпеки Відповідно до ПУЕ, усі промислові приміщення (цехи, майстерні, склади) за ступенем ймовірності ураження електричним струмом можна розділити на три категорії: Будівлі з підвищеною небезпекою До цього типу будівель належать споруди, в яких наявний принаймні один із таких факторів: сирі приміщення, відносна вологість в яких протягом тривалого часу перевищує 75%; приміщення, в яких пи́л покриває провідники, забивається всередину машин та обладнання; приміщення зі струмопровідними підлогами (металевими, земляними, цегляними, залізобетонними); приміщення, в яких середня температура повітря зазвичай перевищує +30 °С; приміщення, в яких існує ймовірність одночасного торкання співробітника до зовнішніх елементів електричного устаткування і заземлених металевих конструкцій будівель, технологічного обладнання тощо.

Будівлі з особливо небезпечними умовами Ці будівлі характеризуються як дуже сирі приміщення зі стовідсотковою відносною вологістю. Стеля, стіни, підлога, устаткування у таких приміщеннях постійно вкриті тонким шаром крапель чи пліснявою. Слід бути вкрай обережними, оскільки при виконанні робіт з використанням електричної напруги на відкритому повітрі, всередині посу-

дин, всередині неприсохлих приміщень ймовірність ураження співробітників чи сторонніх осіб електричним струмом дуже висока. До будівель з особливо небезпечними умовами належать також споруди з хімічно активним середовищем, яке завдяки своїм властивостям завдає шкоду ізоляції та електричним матеріалам. Окрім того, будівлі, які мають одночасно дві або більше ознаки приміщень з підвищеною небезпекою так само належать до будівель із особливо небезпечними умовами.

Будівлі без факторів збільшеної небезпеки До цієї категорії належать будівлі, в яких немає жодної з ознак, властивих приміщенням з підвищеною або особливою небезпекою [28].

Для забезпечення безпеки від ураження електричним струмом працівника необхідно дотримуватись оптимальних параметрів мікроклімату приміщення.

## **7.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії**

### **7.2.1 Мікроклімат**

Допустимі мікрокліматичні умови – поєднання параметрів мікроклімату, які при тривалому та систематичному впливі на людину можуть викликати зміни теплового стану організму, що швидко минають і нормалізуються та супроводжуються напруженням механізмів терморегуляції в межах фізіологічної адаптації. При цьому не виникає ушкоджень або порушень стану здоров'я, але можуть спостерігатися дискомфортні тепловідчуття, погіршення самопочуття та зниження працездатності [29].

Категорія робіт – розмежування робіт за важкістю на основі загальних енерговитрат організму [29]. Легкі фізичні роботи (категорія I) охоплюють види діяльності, при яких витрата енергії дорівнює 105–140 Вт (90–120 ккал/год.) – категорія Ia та 141–175 Вт (121–150 ккал/год.) – категорія Ib. До категорії Ia належать роботи, що виконуються сидячи і не потребують фізичного напру-

ження. До категорії Іб належать роботи, що виконуються сидячи, стоячи або пов'язані з ходінням та супроводжуються деяким фізичним напруженням.

Визначаємо наявну категорію робіт, як Іа.

В кабінах, на пультах та місцях керування технологічними процесами, в залах ЕОМ при виконанні робіт операторського типу повинні забезпечуватися такі оптимальні величини температури, відносної вологості та швидкості руху повітря, що зазначені в нормативному акті НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями [30].

Оптимальні параметри мікроклімату наведені в табл.7.1.

Таблиця 7.1 – Оптимальні параметри мікроклімату при виконанні робіт операторського типу на ПК для робіт категорії Іа

Період року	Температура повітря, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху, м\с
Холодний	22-24	60-40	0,1
Теплий	23-25	60-40	0,1

Для створення сприятливих умов праці необхідно дотримуватись наведених параметрів мікроклімату робочого приміщення. Здійснювати провітрювання та вологе прибирання робочого приміщення, провести роботи з утеплення зовнішніх стін, провести заміну вікон.

### 7.2.2 Склад повітря робочої зони

Оточуюче нас повітря (атмосфера) є найважливішим фактором забезпечення нашого життя. Без повітря, що потрапляє через дихальні шляхи в легені, вже через декілька хвилин настає смерть. В природних умовах повітря, як правило, не забруднене отруйними речовинами і життю людини не загрожує. Тільки з того часу, коли людина почала використовувати в своїй діяльності шкідли-

ві для її організму речовини, з'явилася загроза її життю. При цьому з'ясувалось, що наші органи чутливості не дозволяють з достатньою точністю визначати якість повітря і запобігати загрози отруєння.

Існує багато різних способів та заходів, призначених для підтримання чистоти повітря виробничих приміщень у відповідності до вимог санітарних норм. Всі вони зводяться до конкретних заходів:

1. Запобігання проникненню шкідливих речовин у повітря робочої зони за рахунок герметизації обладнання, ущільнення з'єднань, люків та отворів, удосконалення технологічного процесу.

2. Видалення шкідливих речовин, що потрапляють у повітря робочої зони, за рахунок вентиляції, аспірації або очищення і нормалізації повітря за допомогою кондиціонерів.

3. Застосування засобів захисту людини

### 7.2.3 Виробниче освітлення

Відповідно до ДБН В.2.5-28:2018 [31] Система природного освітлення відноситься до бокової. Характеристика зорових робіт – середньої точності.

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО (для III пояса світлового клімату) при природному та сумісному освітленні зазначені у таблиці 7.2.

При експлуатації штучного освітлення здійснюється контроль за рівнем напруги освітлювальної мережі, своєчасна заміна перегорілих ламп, забезпечується чистота повітря у приміщенні.

Аналіз дії світла на організм людини й основних якостей зорового сприймання дозволяє сформувані основні вимоги до виробничих приміщень, які полягають в забезпеченні достатньої освітленості робочих поверхонь, рівномірності розподілення яскравості, відсутності глибоких і різких тіней, постійної освітленості в часі.

Таблиця 7.2 - Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізювання	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, лк		КПО, %			
						Штучне освітлення		Природне освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або верхнє	Бокове	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0	IV	б	середній	середній	200	500	4	1,5	2,4	0,9

#### 7.2.4 Виробничий шум

Основними характеристиками звукових коливань є інтенсивність (сила), частота і форма звукової хвилі. Інтенсивність визначається енергією, що переноситься за 1 с звуковою хвилею через поверхню площею 1 м<sup>2</sup>, яка перпендикулярна напрямку розповсюдження звукової хвилі. Одиниця вимірювання – Вт/м<sup>2</sup>. Інтенсивність звуку можна визначити через звуковий тиск, який являє собою різницю між миттєвим значенням тиску в даній точці середовища при проходженні через неї звукових хвиль і середнім значенням тиску, яке існує в тій же точці при відсутності звуку (Па). Діапазон тисків, що сприймає вухо людини, дуже широкий (10-12 Вт/м<sup>2</sup> – поріг больового відчуття, верхня межа), тому інтенсивність звуку виражають у логарифмічних характеристиках, використовуючи параметр, який називають рівнем звукового тиску. Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є ДСН 3.3.6.037-99 [33].

Гранично-допустимі рівні шумів санітарними нормами встановлені для кожного класу:

- для високочастотних шумів (вище 800 Гц) – 75-85 дБ;
- для середньо частотних шумів (300-800 Гц ) – 85-90 дБ
- для низькочастотних шумів (до 300 Гц) – 90-100 дБ.

Одним з основних технічних заходів є зменшення при експлуатації та на стадії проектування, конструювання обладнання причин шуму і вібрації в самому джерелі утворення. Досягають цього завдяки використанню раціональної конструкції обладнання, заміни ударної дії деталей і машин коливальною, з'єднання елементів гнучкими зв'язками, врівноважування обертових частин механізмів, заміни металевих деталей пластмасовими, забезпечення різних власних частот коливань механізму з частотою збуджуючої сили.

Для захисту від шуму на сьогодні можливі такі рішення:

- Максимальна шумоізоляція приміщення: застосування метало-пластикових вікон, шумоізолювані двері та спеціальний шар шумоізолюючого матеріалу на стінах.
- Засоби захисту для органів слуху у вигляді навушників.
- Використання максимально безшумних технічних засобів в роботі.

#### 7.2.5. Електромагнітні випромінювання

Під час проведення роботи із використанням ПК на розробника діє підвищений рівень електромагнітного поля.

Електромагнітні випромінювання радіочастотного діапазону, що генеруються ВДТ пов'язані перш за все з частотою формування елемента зображення, а також з інтенсивністю електронного променя, що зумовлює яскравість точок на екрані.

Допустимі рівні випромінювань моніторів ПК (за вимогами MPR II 1990:10 Шведського національного комітету з вимірювань та досліджень та нормами ТСО 9295) наведені в таблиці 7.3.

Таблиця 7.3 - Допустимі рівні випромінювань моніторів ПК

Вид поля	ТСО	MPR II
Змінне електричне поле		
5 Гц – 2 кГц	10 В/м	2,5 В/м
2 кГц – 400 кГц	1 В/м на відстані 0,3 м від центра екрана і 0,5 м навколо монітора	2,5 В/м на відстані 0,5 м навколо монітора
Змінне магнітне поле		
5 Гц – 2 кГц	250 нТл 200 мА/м	250 нТл 200 мА/м
2 кГц – 400 кГц	25 нТл 20 мА/м на відстані 0,3 м від центра екрана і 0,5 м навколо монітора	25 нТл 20 мА/м на відстані 0,3 м від центра екрана і 0,5 м навколо монітора

За кордоном застосовують наступний поділ на діапазони НВЧ: L(0,39-1,55 ГГц); S(1,55-5,20 ГГц); R,LS(1,7-2,6 ГГц); H(3,95-5,85 ГГц); C(5,85-8,20 ГГц); X(5,2-11 ГГц); XN(5,40-8,20 ГГц); W, XB(7,02-10,1 ГГц); Ku,Y(12,4-18 ГГц);

Для зменшення впливу електромагнітного випромінювання на працівника слід дотримуватися раціонального режиму роботи та відпочинку.

## 7.2.6 Психофізіологічні фактори

Психофізіологічні фактори небезпеки – чинники, обумовлені особливостями фізіології та психології людини, що можуть завдати їй шкоди за певних обставин.

Психофізіологічні фактори вибираються відповідно з Гігієнічною класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу [34].

Психофізіологічні фактори при роботі з ПК:

- перенапруження зорових аналізаторів;
- монотонність трудового процесу;
- розумове перенапруження;
- нервово-емоційні перевантаження.

Класи умов праці за показниками напруженості праці:

Інтелектуальні навантаження:

Зміст роботи – рішення складних завдань з вибором за алгоритмом;

Сприймання інформації та їх оцінка – сприймання інформації з наступною корекцією дій та операцій;

Розподіл функцій за ступенем складності завдання - обробка, контроль, перевірка завдання.

Сенсорні навантаження:

Зосередження (%за зміну) – до 50%;

Щільність сигналів (звукові за 1 год) – до 150;

Навантаження на слуховий аналізатор (%) – розбірливість слів та сигналів від 50 до 80 %;

Навантаження на голосовий апарат ( протягом тижня) – від 20 до 25%.

Емоційне навантаження:

Ступінь відповідальності за результат своєї діяльності – є відповідальним за функціональну якість основної роботи; Ступінь ризику для власного життя – вірогідний;



Ступінь відповідальності за безпеку інших осіб – є відповідальним за безпеку інших.

Режим праці: Тривалість робочого дня – більше 8 год; Змінність роботи – однозмінна.

### **7.3. Інформування та оповіщення**

Одним із основних заходів захисту населення від надзвичайних ситуацій є його своєчасне оповіщення про небезпеку, обстановку, яка склалася внаслідок її реалізації, а також інформування про порядок і правила поведінки в умовах надзвичайних ситуацій. 8 Інформування у сфері захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру включає відомості про надзвичайні ситуації, які прогножуються або виникли, з визначенням їх класифікації, меж поширення та наслідків, а також способи та методи реагування на них.

Центральні та місцеві органи виконавчої влади, виконавчі органи рад зобов'язані надавати населенню через засоби масової інформації оперативну та достовірну інформацію про стан захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру, методи та способи їх захисту, вжиття заходів щодо забезпечення безпеки.

Процес оповіщення включає доведення в стислий термін сигналів і повідомлень органів ЦЗ про загрозу та виникнення надзвичайних ситуацій до центральних і місцевих органів виконавчої влади, підприємств, установ, організацій і населення.

Система оповіщення та інформування у сфері цивільного захисту містить: оперативне доведення до відома населення інформації про виникнення або можливу загрозу виникнення надзвичайних ситуацій, у тому числі через загальнодержавну, регіональні, локальні та об'єктові автоматизовані системи централізованого оповіщення; завчасне створення та організаційно-технічне поєднання постійнодіючих локальних та об'єктових систем оповіщення та інформування

населення із спеціальними системами спостереженнями та контролю в зонах можливого ураження; централізоване використання мереж зв'язку, радіомовлення, телебачення та інших технічних засобів передачі інформації незалежно від форм власності та їх підпорядкування в разі виникнення надзвичайних ситуацій.

Системи оповіщення мають державний, регіональний, місцевий і об'єктовий рівні. Управління системою оповіщення кожного рівня організовується безпосередньо відповідними органами повсякденного управління системи цивільного захисту. Рішення щодо застосування системи оповіщення приймає відповідний голова державної адміністрації (начальник цивільного захисту). Відповідальність за організацію та практичне здійснення оповіщення покладено на керівників органів виконавчої влади, місцевого самоврядування, підприємств, установ і організацій. Тому керівники всіх рівнів і кожний громадянин повинен знати сигнали цивільної оборони і вміти правильно на них реагувати.

Залежно від масштабів надзвичайної ситуації та даних прогнозу щодо її розвитку черговий диспетчер повинен здійснювати оповіщення за двома варіантами: 1. При ситуаціях, наслідки яких не виходять за межі об'єкта, оповіщаються чергові служби (газорятувальна, протипожежна, медична, тощо), цехи і ділянки, що потрапляють у зону ураження. Оповіщення здійснюється за допомогою об'єктової системи оповіщення, яка складається з приладів, які подають спеціальні звукові сигнали, мовних оповіщувачів та світлових покажчиків, базової апаратури автоматичного оповіщення та мереж зв'язку. 2. При ситуаціях, наслідки яких виходять за межі об'єкта, додатково оповіщається населення, сусідні та інші об'єкти, які потрапляють у зону ураження (у першу чергу, дитячі установи та школи), територіальне управління (відділи) надзвичайних ситуацій, місцеві органи влади. При цьому залучається система раннього виявлення НС та локальна система оповіщення в повному обсязі.

Система раннього виявлення виникнення надзвичайних ситуацій та оповіщення персоналу у разі їх виникнення складається з різних технологічних да-

тчиків, сигналізаторів, тощо, які контролюють небезпечні параметри обладнання і навколишнього середовища та приймально-контрольних приладів. Технологічні датчики та сигналізатори вказаних систем установлюються і використовуються окремо від аналогічних датчиків промислової автоматики. Для здійснення оповіщення в окремих випадках можуть залучатися посильні. При визначенні порядку і черговості оповіщення в ситуаціях, які не перераховано в інструкції з оповіщення, черговий диспетчер повинен діяти виходячи з умов, що час, який витрачається на доведення інформації про загрозу життю виробничого персоналу та населення, завжди повинен бути менше від часу, необхідного на вживання заходів захисту.

## ВИСНОВКИ

У магістерській кваліфікаційній роботі було розглянуто та досліджено основні особливості планування та проєктування мереж стільникового зв'язку п'ятого покоління.

Аналіз проведених досліджень, здійснений у першому розділі кваліфікаційної роботи, дозволив прийти до висновку, що для розгортання 5G в Україні найбільш перспективними діапазонами низькі діапазони 700 МГц і високі діапазони 3,4-3,8 ГГц. Забезпеченню розгортання мережі 5G в Україні сприятиме використання методу динамічного розподілу спектру, особливо поряд з впровадженням технологічної нейтральності на використання частотного ресурсу.

У другому розділі роботи показано, що однією з основних перешкод на шляху впровадження мереж 5G в Україні є проблема розподілу частотного ресурсу і отримання відповідних ліцензій операторами мобільного зв'язку. Зокрема, гальмівним фактором є процес звільнення частот, які наразі займають військові і провайдери супутникового телебачення. Оскільки версія 15 стандарту 5G регламентує застосування міліметрового діапазону на частотах до 52,6 ГГц зі смугами каналів до 800 МГц, необхідно врахувати, що на частотах міліметрового діапазону сигнали стають більш чутливими до вносимих спотворень та порушень структури, що потребує особливої уваги при виборі вимірювального обладнання, кабелів, з'єднувачів та засобів калібрування вимірювальної системи для отримання точних та достовірних результатів.

Аналіз особливостей планування і проєктування мереж 5G був здійснений у третьому розділі. Таким чином, найімовірнішим сценарієм розгортання мережі 5G в Україні на ранній стадії можна вважати сценарій щільної міської багатоповерхової забудови, так як починати встановлювати базові станції доцільно в тих місцях, де 4G мережа перевантажена, тобто у центрах великих міст. В той же час, побудова стільникової мережі із застосуванням D2D технологій при обмеженій функціональності терміналів є можливою при введенні додаткових транзитних вузлів. Основною задачею побудови мережі буде вибір точок

розміщення і числа додаткових транзитних вузлів. Критерієм вибору місця розташування транзитних вузлів є величина відношення сигнал/(завада+шум). Для підтримки балансу покриття та ємності в умовах щільної міської забудови оптимальним рішенням є використання удосконалених антенних систем з можливістю формування променів та МІМО.

Проведене у четвертому розділі моделювання показало, що ефективність технології МІМО в міських умовах залежить від конфігурації антен, особливо якщо розглядати центр комірки та її межі. Тому, при плануванні мереж 5G необхідні враховувати, що з погляду виграшу від просторового мультиплексування мають більші переваги антени з крос-поляризацією при прямої видимості, а за відсутності прямої видимості особливої різниці між конфігураціями немає.

У п'ятому розділі було проведено розрахунок мережі стільникового зв'язку п'ятого покоління згідно заданих даних.

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

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

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Климаш М. М. Методи та моделі побудови гетерогенних мереж мобільного зв'язку 4G/5G [Текст] : монографія / М. М. Климаш, Т. А. Максимюк, М. І. Бешлей ; Нац. ун-т "Львів. політехніка". - Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2020. - 387 с. : рис., табл. - Бібліогр.: с. 360-386. - 300 прим. - ISBN 978-966-941-552-3
2. Г.В. Бешлей, М.О. Селюченко, І.А Берневек, С.І. Пушак, М.І. Бешлей, "Алгоритм кластеризації, агрегації та класифікації М2М пристроїв в гетерогенній мережі 4G/5G," Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Радіoeлектроніка та телекомунікації, № 874, с. 95 – 102, 2017.
3. R. Odarchenko et al., "Enabling Multicast and Broadcast in the 5G Core for Converged Fixed and Mobile Networks," in IEEE Transactions on Broadcasting, vol. 66, no. 2, pp. 428-439, June 2020, doi: 10.1109/TBC.2020.2991548
4. D. Mi, R. Odarchenko et al., "Demonstrating Immersive Media Delivery on 5G Broadcast and Multicast Testing Networks," in IEEE Transactions on Broadcasting, vol. 66, no. 2, pp. 555-570, June 2020, doi: 10.1109/TBC.2020.2977546.
5. Roman Odarchenko, Baruch Altman, Rui Aguiar and Yevgeniya Sulema Multilink Approach for the Content Delivery in 5G Networks 5th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2018 – Conference Proceedings, pp 140-144
6. Odarchenko, R., Gimenez, J., Sulema, Y., Altman, B., Petersen, S. Multilink Solution for 5G: Efficiency Experimental Studies 2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies, AICT 2019 – Proceedings 8847862, с. 336-339
7. Глоба, Л. С. Концепції побудови сучасних мереж / Глоба, Л. С., Скулиш М. А., Тимченко І. О. // Радіoeлектроніка и информатика=Radioelectronics & informatics : научный журнал Харьковского национального университета радиoeлектроніки. – Харьков : ХНУРЭ, 2018. – №1. – С. 25-29.

8. A. Gupta and R. K. Jha, "A Survey of 5G Network: Architecture and Emerging Technologies," in *IEEE Access*, vol. 3, pp. 1206-1232, 2015, doi: 10.1109/ACCESS.2015.2461602.
9. M. Peng, Y. Li, Z. Zhao and C. Wang, "System architecture and key technologies for 5G heterogeneous cloud radio access networks," in *IEEE Network*, vol. 29, no. 2, pp. 6-14, March-April 2015, doi: 10.1109/MNET.2015.7064897.
10. Y. Ni, J. Liang, X. Shi and D. Ban, "Research on Key Technology in 5G Mobile Communication Network," 2019 International Conference on Intelligent Transportation, Big Data & Smart City (ICITBS), 2019, pp. 199-201, doi: 10.1109/ICITBS.2019.00054.
11. M. A. Habibi, M. Nasimi, B. Han and H. D. Schotten, "A Comprehensive Survey of RAN Architectures Toward 5G Mobile Communication System," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 70371-70421, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2919657.
12. M. Femminella, M. Pergolesi and G. Reali, "Simplification of the design, deployment, and testing of 5G vertical services," *NOMS 2020 - 2020 IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium*, 2020, pp. 1-7, doi: 10.1109/NOMS47738.2020.9110401.
13. U. Karneyenka, K. Mohta and M. Moh, "Location and Mobility Aware Resource Management for 5G Cloud Radio Access Networks," 2017 International Conference on High Performance Computing & Simulation (HPCS), 2017, pp. 168-175, doi: 10.1109/HPCS.2017.35.
14. I. Vilà, J. Pérez-Romero, O. Sallent and A. Umbert, "Characterization of Radio Access Network Slicing Scenarios with 5G QoS Provisioning," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 51414-51430, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2980685.
15. B. Brik, K. Boutiba and A. Ksentini, "Deep Learning for B5G Open Radio Access Network: Evolution, Survey, Case Studies, and Challenges," in *IEEE Open Journal of the Communications Society*, vol. 3, pp. 228-250, 2022, doi: 10.1109/OJCOMS.2022.3146618.
16. I. AlQerm and B. Shihada, "Enhanced machine learning scheme for energy efficient resource allocation in 5G heterogeneous cloud radio access networks,"

- 2017 IEEE 28th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC), 2017, pp. 1-7, doi: 10.1109/PIMRC.2017.8292227.
17. M. Fathy, M. S. Abood and M. M. Hamdi, "Optimization of Energy-Efficient Cloud Radio Access Networks for 5G using Neural Networks," 2021 International Conference on Intelligent Technology, System and Service for Internet of Everything (ITSS-IoE), 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/ITSS-IoE53029.2021.9615290.
  18. G. Najafi and S. Ghazi-Maghrebi, "Optimization of Channel Allocation in Heterogeneous 5G Networks Based on Genetic Algorithm and Fuzzy Logic," 2021 International Symposium on Networks, Computers and Communications (ISNCC), 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/ISNCC52172.2021.9615758.
  19. Бак Р.І. Метод балансування абонентського навантаження мережі комірковий зв'язку / Бак Р.І., Чайковський І.Б., Бурачок Р.А. // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Радіоелектроніка та телекомунікації. – 2013. № 766. С. 110-115.
  20. Яремко О.М. Метод адаптивного розподілення потужності в мобільній мережі при варіації абонентського навантаження / О.М. Яремко, Т.А. Максим'юк, Р.І. Бак // Національна академія наук України. Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова. Збірник наукових праць. – Київ, 2012. Вип. 66. – С. 137-143.
  21. Максим'юк Т. А. Підвищення енергетичної та спектральної ефективності гетерогенних мереж мобільного зв'язку п'ятого покоління [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.12.02 / Максим'юк Тарас Андрійович ; Нац. ун-т "Львів. політехніка". - Львів, 2015. - 21 с. : рис.
  22. Одарченко Р.С. Обґрунтування основних вимог до систем безпеки стільникових мереж 5-го покоління. - Безпека інформації. Вип №3 (Том 21) - 2015., С. 229-235
  23. Проектування безпроводових стільникових мереж зв'язку [Електронний ресурс] : навчальний посібник для виконання курсової роботи з дисципліни «Телекомунікаційні довгі системи» для студентів усіх форм навчання за



- напрямом підготовки 6.050903 «Телекомунікації» / НТУУ «КПІ» ; уклад.: В. В. Пілінський, П. В. Попович, С. М. Веретюк. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,52 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2014. – 69 с. – URL: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/21177>
24. Усік П.С., Полігенько О.О., Одарченко Р.С., Терещенко Л.Ю., Смірнов О.А. «Інформаційна технологія та програмне забезпечення для підвищення ефективності планування підсистеми базових станцій стільникового зв'язку». Проблеми телекомунікацій. 2020 № 1(26). С. 83-96.
  25. Усік П.С., Смірнов О.А. Дослідження перспектив використання технологічних рішень в мережах 5g. Кібербезпека та інформаційні технології: монографія. Харків: ДІСА ПЛЮС, 2020. С. 122–135.
  26. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.
  27. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
  28. Правила улаштування електроустановок - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.energiy.com.ua/PUE.html>
  29. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. ДСН 3.3.6.042–99 [Електронний ресурс]. –Режим доступу: <http://www.dnaop.com>.
  30. НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: [http://sop.zp.ua/norm\\_npaop\\_0\\_00-7\\_15-18\\_01\\_ua.php](http://sop.zp.ua/norm_npaop_0_00-7_15-18_01_ua.php)
  31. СНиП 2.04.05-91\*У. Отопление, вентиляция и кондиционирование[Електронний ресурс] - Режим доступу: [https://dnaop.com/html/1671/doc-%D0%A1%D0%9D%D0%B8%D0%9F\\_2.04.05-91\\_%D0%A3](https://dnaop.com/html/1671/doc-%D0%A1%D0%9D%D0%B8%D0%9F_2.04.05-91_%D0%A3)
  32. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення - [Електронний ресурс] - Режим доступу: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=79885](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885)

33. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>
34. Наказ від 08.04.2014 № 248 Про затвердження Державних санітарних норм та правил Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу - [Електронний ресурс] - Режим доступу: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/topiccatalogua/labor-protection/14.\\_nakazy\\_ta\\_rozpor\\_183575/248+58074-detail.html](http://online.budstandart.com/ua/catalog/topiccatalogua/labor-protection/14._nakazy_ta_rozpor_183575/248+58074-detail.html)

## ДОДАТКИ

Додаток А  
(обов'язковий)  
ВНТУ

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Зав.кафедри ІКСТ  
д.т.н., професор  
В.М.Кичак  
“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2022 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ  
на виконання магістерської кваліфікаційної роботи  
ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ  
МЕРЕЖ 5G НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ  
08-34.МКР.003.00.000 ТЗ

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

Виконавець: ст. гр. ТКС-21м  
Дира В.В.

## 1 ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Робота проводиться на підставі наказу ректора по Вінницькому національному технічному університету від “14” 09 2022 року № 203 та індивідуального завдання на магістерську кваліфікаційну роботу.

Дата початку роботи: 01.09.2022 р.

Дата закінчення: 19.12.2022 р.

## 2 МЕТА І ПРИЗНАЧЕННЯ МКР

*Метою* даної магістерської кваліфікаційної роботи є обґрунтування особливостей проєктування мереж стільникового зв'язку п'ятого покоління.

*Об'єкт дослідження* – мережі мобільного зв'язку п'ятого покоління.

*Предмет дослідження* – принципи проєктування мереж мобільного зв'язку п'ятого покоління.

*Основними завданнями роботи є:*

- аналіз основних принципів проєктування мереж стільникового зв'язку п'ятого покоління;
- аналіз проблемних місць при проєктуванні мережі;
- обґрунтування шляхів оптимізації процесу проєктування стільникової мережі п'ятого покоління.

Отримані у ході виконання роботи дані пропонується застосовувати при плануванні мереж стільникового зв'язку для підвищення ефективності їх функціонування.

## 3 ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ МКР

Список використаних джерел розробки:

3.1. Климаш М. М. Методи та моделі побудови гетерогенних мереж мобільного зв'язку 4G/5G [Текст] : монографія / М. М. Климаш, Т. А. Максимюк, М. І. Бешлей ; Нац. ун-т "Львів. політехніка". - Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2020. - 387 с. : рис., табл. - Бібліогр.: с. 360-386. - 300 прим. - ISBN 978-966-941-552-3

3.2. Г.В. Бешлей, М.О. Селюченко, І.А Берневек, С.І. Пушак, М.І. Бешлей, "Алгоритм кластеризації, агрегації та класифікації М2М пристроїв в гетерогенній мережі 4G/5G," Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Радіоелектроніка та телекомунікації, № 874, с. 95 – 102, 2017.

3.3. R. Odarchenko et al., "Enabling Multicast and Broadcast in the 5G Core for Converged Fixed and Mobile Networks," in IEEE Transactions on Broadcasting, vol. 66, no. 2, pp. 428-439, June 2020, doi: 10.1109/TBC.2020.2991548

3.4. D. Mi, R. Odarchenko et al., "Demonstrating Immersive Media Delivery on 5G Broadcast and Multicast Testing Networks," in IEEE Transactions on Broadcasting, vol. 66, no. 2, pp. 555-570, June 2020, doi: 10.1109/TBC.2020.2977546.

3.5. Roman Odarchenko, Baruch Altman, Rui Aguiar and Yevgeniya Sulema Multilink Approach for the Content Delivery in 5G Networks 5th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2018 – Conference Proceedings, pp 140-144

3.6. Odarchenko, R., Gimenez, J., Sulema, Y., Altman, B., Petersen, S. Multilink Solution for 5G: Efficiency Experimental Studies 2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies, AICT 2019 – Proceedings 8847862, с. 336-339

3.7. Глоба, Л. С. Концепції побудови сучасних мереж / Глоба, Л. С., Скулиш М. А., Тимченко І. О. // Радиоелектроника и информатика=Radioelectronics & informatics : научный журнал Харьковского национального университета радиоелектроники. – Харьков : ХНУРЭ, 2018. – №1. – С. 25-29.

3.8. Бак Р.І. Метод балансування абонентського навантаження мережі коміркового зв'язку / Бак Р.І., Чайковський І.Б., Бурачок Р.А. // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Радіоелектроніка та телекомунікації. – 2013. № 766. С. 110-115.

3.9. Яремко О.М. Метод адаптивного розподілення потужності в мобільній мережі при варіації абонентського навантаження / О.М. Яремко, Т.А. Максим'юк, Р.І. Бак // Національна академія наук України. Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова. Збірник наукових праць. – Київ, 2012. Вип. 66. – С. 137-143.

3.10. Проектування безпроводових стільникових мереж зв'язку [Електронний ресурс] : навчальний посібник для виконання курсової роботи з дисципліни «Телекомунікаційні дові системи» для студентів усіх форм навчання за напрямом підготовки 6.050903 «Телекомунікації» / НТУУ «КПІ» ; уклад.: В. В. Пілінський, П. В. Попович, С. М. Веретюк. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,52 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2014. – 69 с. – URL: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/21177>

#### 4 ВИКОНАВЕЦЬ

Вінницький національний технічний університет, кафедра інфокомунікаційних систем і технологій, студент групи ТКС-21м Ди́ра Вади́м Володимирович.

#### 5 ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ МКР

Пропонується виконати обґрунтування шляхів оптимізації процесу проектування мережі стільникового зв'язку п'ятого покоління.

Технічні вимоги, яким повинна відповідати розробка, наступні:

частота радіоканалу – 30 кГц;

висота антени БС – 30м,

висота антени МС – 1,5 м,

вихідна потужність БС – 50 дБм,

вихідна потужність МС – 23 дБм,

запас на затінення – 8,7 дБ,

кількість виділених ресурсних блоків – 133 і 273,

зона – міська.

#### 6 ЕТАПИ МКР І ТЕРМІНИ ЇХ ВИКОНАННЯ

№	Назва та зміст етапу	Термін виконання		Очікувані результати	Звітна документація
		початок	закінчення		
1	2	3	4	5	6

1.	Розробка технічного завдання (ТЗ)	01.09.2022р.	12.09.2022р.	Розроблене ТЗ	Додаток А
2.	Техніко-економічне обґрунтування тематики (ТЕО)	13.09.2022р.	19.09.2022р.	Розроблене ТЕО	Вступ.
3.	Огляд особливостей проектування мережі	20.09.2022р.	07.10.2022р.	Результати досліджень	Розділ 1-3
4.	Моделювання мережі	08.10.2022р.	28.10.2022р.	Результати досліджень	Розділ 4
5.	Розрахунок параметрів мережі	29.10.2022р.	18.11.2022р.	Результати розрахунків	Розділ 5
6.	Аналіз економічної ефективності розробки	19.11.2022р.	25.11.2022р.	Економічна частина	Розділ 8
7.	Аналіз безпеки життєдіяльності (БЖД), цивільний захист (ЦЗ)	26.11.2022р.	02.12.2022р.	Частина БЖД, ЦЗ	Розділ 7
8.	Оформлення пояснювальної записки (ПЗ) та графічної частини	03.12.2022р.	09.12.2022р.	Оформлена документація	ПЗ та графічна частина
9.	Попередній захист та рецензування МКР	12.12.2022р.	14.12.2022р.	Позитивні відзиви	Відзив. Рецензія
10.	Захист МКР ДЕК		19.12.2022р.	Позитивний захист	Протокол ДЕК

## 7 ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОРЯДОК РЕАЛІЗАЦІЇ МКР

В результаті виконання роботи будуть розроблені:

- результати розрахунків;
- рекомендації щодо розгортання мережі 5G на території України;
- економічна частина МКР;
- розділ безпеки життєдіяльності і ЦЗ.

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



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

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

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

## 9 ПОРЯДОК ПРИЙМАННЯ МКР ТА ЇЇ ЕТАПІВ

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

Захист магістерської кваліфікаційної роботи відбувається на відкритому засіданні ЕК.

## 10 ВИМОГИ ДО РОЗРОБЛЮВАНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Документація, що розробляється в процесі виконання досліджень повинна містити:

- результати розрахунків;
- рекомендації щодо розгортання мережі 5G на території України;
- економічну частину та розділ БЖД і ЦЗ;
- рекомендації щодо подальшого використання отриманих результатів.

## 11 ВИМОГИ ЩОДО ТЕХНІЧНОГО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ З ОБМЕЖЕНИМ ДОСТУПОМ

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

**ПРОТОКОЛ  
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ**

а роботи: Особливості проектування та впровадження мереж 5G  
риторії України

роботи: Магістерська кваліфікаційна робота  
(БДР, МКР)

озділ кафедра інфокомунікаційних систем і технологій, факультет  
рмаційних електронних систем  
(кафедра, факультет)

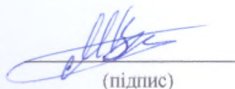
**Показники звіту подібності Unichesk**

гінальність 100 % Схожість 0 %

із звіту подібності (відмітити потрібне):

- 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість  
икає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором.  
ту направити на розгляд експертної комісії кафедри.
- 3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або  
й містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування  
бросовісних запозичень.

іа відповідальна за перевірку

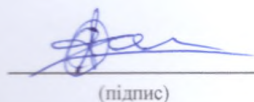
  
(підпис)

Васильківський М.В.

(прізвище, ініціали)

айомлені з повним звітом, який був згенерований системою Unichesk щодо  
оти.

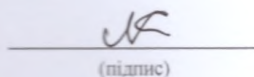
ор роботи

  
(підпис)

Дира В.В.

(прізвище, ініціали)

івник роботи

  
(підпис)

Семенова О.О.

(прізвище, ініціали)

Додаток В  
(обов'язковий)

Загальна архітектура мережі  
Плакат

Додаток Д  
(обов'язковий)

Функції розподілу пропускної здатності  
Плакат

Додаток Е  
(обов'язковий)

Модуль вектора помилки

Плакат

Додаток Ж  
(обов'язковий)

Визначення транзитних вузлів  
Плакат

Додаток И  
(обов'язковий)

Розташування транзитних вузлів  
Плакат

Додаток К  
(обов'язковий)

Моделювання поширення радіохвиль  
Плакат