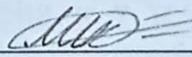


## МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА


на тему:

### «Дослідження особливостей планування топології мережі 5G»


Виконав: студент 2-го курсу,  
групи ТКС-22м  
спеціальності 172 – Телекомунікації та  
радіотехніка

 Шкільнюк М.І.

Керівник: к.т.н., доцент каф. ІКСТ

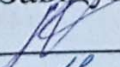
 Семенова О.О.  
« 8 » 12 2023 р.

Опонент: д.т.н., професор каф. ІРТС

 Осадчук В.С.  
« 11 » 12 2023 р.

Допущено до захисту

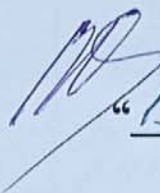
Завідувач кафедри ІКСТ

 д.т.н., проф. Кичак В.М.  
« 11 » 12 2023 р.



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

  
"19" 09 2023 року

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

Шкільнюку Миколі Ігоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження особливостей планування топології мережі 5G

керівник роботи Семенова Олена Олександрівна, к. т. н, доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "18" 09 2023 року № 247

2. Строк подання студентом роботи 08 грудня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи: потужність передачі макро-БС – 46дБм; підсилення антени макро-БС – 18дБі; потужність передачі мікро-БС – 30дБм; підсилення антени мікро-БС – 7дБі; потужність передачі вузла – 30дБм; підсилення антени вузла – 5дБі; підсилення антени користувача – 0дБі; загальні втрати у кабелі – 2дБ; центральна частота – 2,12ГГц.

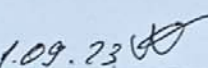
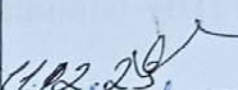
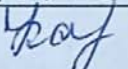
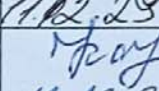

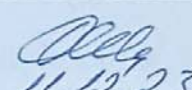
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) вступ; основні принципи планування мереж 5G; проблеми при плануванні мереж п'ятого покоління; планування мережі 5G на базі LTE; розв'язання задач планування мережі за допомогою штучного інтелекту; оптимізація системи зв'язку п'ятого покоління; 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) Архітектура інтеграції LTE-5G. 3) Генетичний алгоритм. 4) Вхідні дані. 5) Розташування станцій. 6) Часові залежності.



## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технічна частина	Семенова О.О., доцент каф. ІКСТ	 1.09.23	 11.12.23
Економічна частина	Кавецький В.В., доцент каф. ЕПВМ	 1.09.23	 11.12.23
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Дембіцька С.В., професор каф. БЖДПБ	 1.09.23	 11.12.23

7. Дата видачі завдання 01 вересня 2023 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розробка технічного завдання	08.09.2023р.	
2.	Техніко-економічне обґрунтування розробки	17.09.2023р.	
3.	Огляд особливостей маршрутизації	06.10.2023р.	
4.	Розроблення алгоритму	27.10.2023р.	
5.	Моделювання	10.11.2023р.	
6.	Аналіз економічної ефективності розробки	17.11.2023р.	
7.	Аналіз безпеки життєдіяльності, цивільний захист	24.11.2023р.	
8.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини	01.12.2023р.	
9.	Нормоконтроль МКР	04.12.2023р.	
10.	Попередній захист МКР, рецензування МКР	08.12.2023р.	
11.	Захист МКР ДЕК	11.12.2023р.	

Студент

  
(підпис)

Шкільнюк М. І.

Керівник роботи

  
(підпис)

Семенова О.О.

## АНОТАЦІЯ

УДК 621.396

Шкільнюк Микола Ігорович. Дослідження особливостей планування топології мережі 5G. Магістерська кваліфікаційна робота. – Вінниця: ВНТУ, 2023. – 115с.

На українській мові. Бібліогр.: 37 назв; Рис.:30; Табл.: 20.

Магістерська робота присвячена аналізу принципів планування безпроводних мереж 5G. Розглянуто основні проблеми та шляхи їх вирішення. Запропоновано методи оптимізації на основі генетичних алгоритмів. Розраховано економічний ефект. Розглянуті питання безпеки життєдіяльності та охорони праці. Отримані результати задовольняють вимогам технічного завдання.

Ключові слова: мережа, безпроводний, планування.

## ABSTRACT

UDK 621.396

Shkilnyuk Mykola Ihorovych. Survey of features of 5G network topology planning. Master thesis. – Vinnytsya: VNTU, 2023. – 115pp.

In Ukrainian language. Refs.: 37 titles; figs.: 30; tables: 20.

The master thesis is dedicated to the analysis of principles of planning 5G wireless networks. The main problems and ways to solve them has been considered. Optimization methods based on genetic algorithms are proposed. The economic gain was calculated. Problems of industrial and occupational safety were considered. The obtained results satisfy preliminary specifications.

Keywords: network, wireless, planning.

## ВСТУП

*Актуальність теми.* Технологія 5G – це новітнє досягнення в безпроводних мережах зв'язку, що забезпечує більш високу швидкість, меншу затримку і поліпшене з'єднання. Вона забезпечує блискавичну швидкість завантаження та вивантаження даних, змінюючи способи потокової передачі даних, ігор та відеодзвінків. Крім того, технологія 5G здатна зробити революцію в таких галузях, як охорона здоров'я, транспорт та "розумні міста", відкривши нову еру можливостей.

В основі роботи технології 5G лежить поєднання нижчих і більш високих частотних діапазонів, що дозволяє подолати труднощі, з якими стикалися попередні покоління. Завдяки використанню міліметрових хвиль, що працюють на більш високих частотах, 5G забезпечує виняткову ємність та швидкість. Завдяки використанню різних частот та технології MIMO (multiple-input and multiple-output) 5G дозволяє одночасно приймати велику кількість пристроїв, зберігаючи при цьому неймовірну швидкість та ефективність.

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

*Аналіз останніх досліджень.* Праці багатьох вчених, як вітчизняних так і закордонних, присвячені дослідженню планування, проектування та розгортання мереж безпроводного зв'язку п'ятого покоління. Серед них можна виділити праці таких вчених як Климаш М.М., Бешлей М.І., Одарченко Р.С., Скулиш М.А [1-7]. У працях [8-11] було досліджено проблеми розгортання мереж 5G. Особливості мереж, які варто враховувати при вирішенні задачі планування розглядаються у [12-14]. Шляхи оптимізації процесів планування та проектування мереж зв'язку п'ятого покоління за рахунок застосування сучасних інтелектуальних технологій у роботах [15-18].

*Мета та задачі дослідження.* Метою даної магістерської кваліфікаційної роботи є покращення ефективності планування мереж безпроводного зв'язку п'ятого покоління.

Для досягнення мети потрібно розв'язати такі задачі:

- аналіз принципів планування мереж безпроводного зв'язку п'ятого покоління;
- аналіз можливих проблемних місць при плануванні мереж;
- розроблення методів оптимізації планування мереж безпроводного зв'язку п'ятого покоління.

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

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

*Методи дослідження.* Методи теорії інформації та передавання сигналів та теорії телетрафіку були застосовані для аналізу принципів планування та функціонування мереж, методи теорії м'яких обчислень та теорії оптимізації були використані для розв'язання задач оптимізації покриття мережі, методи імітаційного моделювання використовувалися для перевірки роботи алгоритму.

*Новизна одержаних результатів* полягає у наступному: шляхом використання теорії м'яких обчислень розроблено метод оптимального розміщення базових станцій, побудований на математичному апараті генетичних алгоритмів, використання якого дозволить підвищити ефективність функціонування системи мобільного зв'язку стандарту LTE.

*Апробація результатів магістерської кваліфікаційної роботи.* Основні ідеї роботи доповідались і обговорювались на ЛІІ науково-технічній конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету у 2023 році.

# 1 ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ПЛАНУВАННЯ МЕРЕЖ 5G

## 1.1 Базові завдання при розгортанні мереж п'ятого покоління

Перед розгортанням мережі зв'язку п'ятого покоління необхідно здійснити широке та ефективне моделювання. Моделювання мережі має на меті вирішення таких основних завдань:

1. частотно-територіальне планування, щоб зменшити кількість міжсистемних завад і максимізувати зону обслуговування, забезпечуючи необхідну якість передачі інформації та ЕМС з існуючим радіообладнанням;
2. перевірка характеристик наявної мережі;
3. оптимізація методів перетворення і передавання інформації по майбутній мережі;
4. оптимізація параметрів пристроїв, що забезпечують передачу інформації.

З метою розв'язання вищезгаданих задач моделювання мережі безпроводного зв'язку необхідними такі початкові дані:

- електронна карта місцевості, яка потрібна для детального опису умов поширення сигналу у розглянутому регіоні при умові, що моделювання виконується за допомогою автоматизованих комп'ютерних системах;

- інформація про розподіл абонентів трафік в розглянутому регіоні, тобто про можливий трафік в мережі, та їх характеристики (наприклад, питома навантаження), така інформація визначається аналітично чи подається у вигляді взаємозамінних картографічних даних;

- технічні характеристики майбутньої мережі безпроводного зв'язку, такі як: технології передавання та оброблення інформації, робочий діапазон частот, потрібне співвідношення сигнал/завада та ін., такі характеристики визначаються уживаною технологією безпроводного зв'язку;



- показники та параметри обладнання, що планується використовувати у мережі;

- технічні характеристики та координати розташування іншого радіобладнання, котре функціонує у розглянутому регіоні, що застосовується для розрахунків показників ЕМС усіх експлуатованих у регіоні мереж зв'язку.

## **1.2 Можливі підходи до планування мереж п'ятого покоління**

Як відомо, проектування мереж п'ятого покоління має свої особливості, що відрізняє його від процедур проектування мереж попередніх стандартів. Зокрема, новітнє обладнання і архітектура мереж п'ятого покоління мають дуже суттєві відмінності від своїх попередників. Мобільні технології п'ятого покоління 5G стали скоріше віртуальними, ніж апаратними. Змінилися усі процеси, навіть процес обробки даних у дата центрі [16].

Створення максимально великої зони покриття при одночасному забезпеченні необхідної ємності мережі зв'язку – це і є базовий підхід до проектування мережі 5G на ранніх стадіях. У більшості випадків, такі задачі суперечать одна одній. Зокрема, приміром у містох з щільною забудовою покриття мережі буде набагато менше за розраховане, але при цьому буде зберігатися достатньо хороша пропускна здатність. В той же час, у приміській зоні все буде навпаки, зона покриття буде більше розрахованої, а пропускна здатність – нижче.

Наразі відомо кілька різних підходів до планування мереж п'ятого покоління:

1. Планування мережі «з нуля»: передбачається розгортання мережі у новій області без опори на вже існуючі мережі попереднього покоління. Такі мережі називаю автономними. У Україні такий підхід вважається недоцільний через її велику територію.

2. Мережа п'ятого покоління будується поступово із максимальним використанням та модернізацією вже існуючих мереж 4G четвертого покоління. У даному випадку доцільним буде встановлення базових станції 5G у тих місцях,

де мережа 4G не справляється в повній мірі з обслуговуванням наявного трафіку. Тобто вирішується не проблема покриття, проблема нарощування ємності. Це оптимальний вибір для України, оскільки такий підхід потребує малих інвестицій.

3. Мережа п'ятого покоління розгортається з використанням інфраструктури мережі третього покоління шляхом заміни базових станцій на нові та зміцнення транспортної інфраструктури шляхом її модернізації. Але таке рішення потребує значних інвестицій.

4. Створення єдиного на всю країну оператора. Його можна реалізувати за підходом 1 чи 2. Всі діючі оператори зможуть перепродавати його. Недоліки:

- відсутнє відповідного законодавства;
- відсутній механізм конкуренції;
- відсутні стимули розвитку.

5. Спільне розгортання мереж п'ятого покоління декількома операторами. При цьому держава має надати ліцензії та частоти призначені для спільного використання цими операторами. Цей метод є досить ймовірним адже при цьому оператори можуть розподілити витрати.

### **1.3 Етапи проєктування мережі**

Проєктування мережі стільникового зв'язку передбачає виконання таких етапів:

1. Підготовчий етап. На цьому етапі виконується збір інформації про мережу, тобто її ємність, зона покриття, готуються ресурси, здійснюють моделювання.

2. Номінальне та детальне планування. Цей етап передбачає налаштування моделі розподілу, визначення порогових значень за наявним ресурсом, створення докладного плану радіомережі на базі цих порогових значень, перевірку швидкості передачі інформації з докладною оцінкою трафіку, налаштування параметрів планування.

3. Останній етап передбачає визначення основних показників ефективності та параметрів планування мережі, такі параметри визначають ефективність головних показників та цілей постачальника обладнання, також тут здійснюється контроль ключових показників ефективності і цілей та оптимізація до та після запуску самої мережі.

#### **1.4 Перспективи модернізації мереж зв'язку до 5G**

Наразі існуючі мережі четвертого покоління не відповідають сучасним вимогам. До того ж, затримки в таких мережах є занадто довгими – близько десятків мілісекунд. Вони визначаються затримками у частині радіозв'язку та у частині інфраструктури. У довгостроковій перспективі мережі п'ятого покоління нової інфраструктура та оновлення мережі радіодоступу. Розгортання мереж п'ятого покоління пропонується спочатку проводити поверх існуючої інфраструктури мереж четвертого покоління. Затримки радіочастини у такій конфігурації скоротяться, але через обмеження, загальний показник затримки буде все одно великий. Основний зміст такої конфігурації полягає у тому, що в радіочастині відбувається значне підвищення пропускну здатності, яке є достатнім для більшості додатків, а також підтримується стабільність з'єднання при великому числі абонентів, підключених на одну базову станцію.

Початкова модель NSA була розроблена із метою покращення якості мобільного широкосмугового Інтернету, що в свою чергу, призведе до підвищення надійності та об'єму даних, котрі передаються при підключенні в режимі EN-DC (E-UTRAN New Radio — Dual Connectivity). Користувальницькі термінали UE, котрі можуть підтримувати EN-DC, здатні підключатися до базових станцій 4G і 5G одночасно, при цьому базова станція 4G буде якірною. Спочатку користувальницький термінал UE реєструється в мережі на низьких частотах через E-UTRAN і починає транслювати в мережу результати вимірювань, котрі були виконані у мережі радіодоступу 5G-NR. Якщо якість радіосигналу буде задовільною, то базова станція 4G ініціює запит до базової станції 5G ви-

ділення мережевих ресурсів користувачькому обладнанню. По завершенню процедури користувачьке обладнаннч підключається одночасно до базових станцій 4G та 5G. При цьому, зона охоплення базової станції 5G буде вже співпадати із 4G, так як високочастотний сигнал міліметрового діапазону характеризується більшим коефіцієнтом згасання.

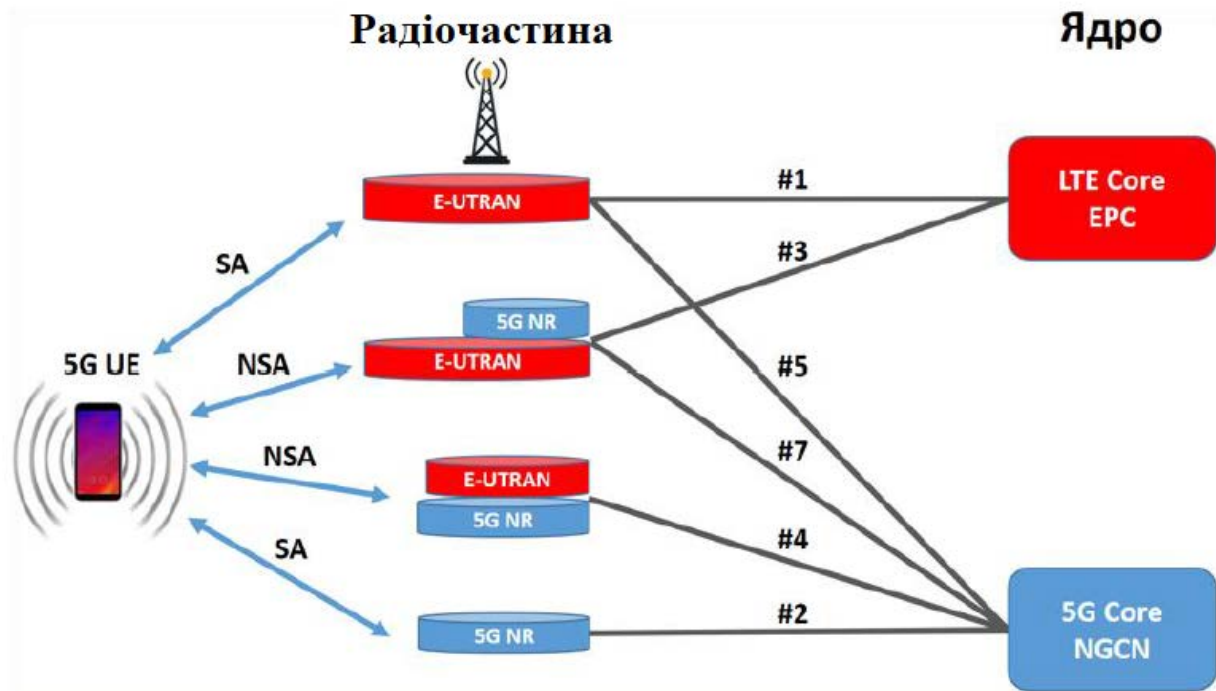


Рисунок 1.1 – Побудова мережі

Розширити зони покриття 5G можливо за допомогою комбінованих базових станцій шляхом застосування технології DSS (Dynamic Spectrum Sharing, динамічний поділ спектру). При цьому, нижній діапазон E-UTRAN, тобто нижче 2 ГГц динамічно ділиться з 5G-NR. Мережі зможуть працювати таким чином до того, як оператори впровадять ядра 5G.

Після інтеграції ядра 5G NGCN оператори стільникового зв'язку можуть переходити до цільового та фінального режиму, коли використовується тільки одна технологія радіодоступу – або E-UTRAN, або 5G-NR.

Для задоволення зростаючих потреб абонентів можливо задіяти середні частоти, це діапазон 2 ГГц–7 ГГц. Це дозволить збільшити швидкість передачі даних. Чим нижчою є частота, тим більше покриття території, але й менша ши-



рина каналу. Існує спосіб збільшити покриття, зберігаючи при цьому високу швидкість вивантаження за допомогою додаткового каналу лінії вгору (SUL, Supplementary Uplink). З цією метою «парному» (UL/DL) радіоресурсу для користувачького обладнання призначається додатковий непарний канал лінії вгору (SUL). Тоді в одній комірці користувачьке обладнання отримує 1xDL і 2xUL канали, а мережею контролюватиме їх використання. Тоді, на межі стільнкоми-ркика в DL-каналі буде уживано середньочастотний сигнал із підвищеною потужністю з парного діапазону, а у UL-каналі буде уживано низькочастотний сигнал в непарному SUL діапазоні. Як результат, базова станція бачить користувачьке обладнання на більш далеких відстанях, а швидкість скачування буде зберігатися такою, як із використанням середніх частот [7].

### **1.5 Частотні діапазони мереж п'ятого покоління**

На відміну від технологій попередніх поколінь майже повністю зосереджених на моделях домашнього споживання, у технології 5G передбачається набір принципово нових функцій, таких як: висока швидкість передачі даних, висока щільність пристроїв на території, низька часова затримка.

Параметри мереж п'ятого покоління є більш складними і потребують більш високих частот: для початкового запуску потрібні частоти 3,6–3,7 ГГц та хвилі діапазону – 27,5– 28,3 ГГц. Покриття території зв'язком стандарту 5G, потребує в 3-5 разів більше базових станцій, невраховуючи іншу інфраструктури, таку як центри оброблення даних, навантаження на котрі підвищиться в десятки разів.

### **1.6 Вибір мережевої архітектури**

На етапі розгортання мережі п'ятого покоління коли оператори вибирають мережеву архітектуру, постає вибір між архітектурами NSA чи SA. Також важливим є питання, чи зможуть NSA і терінал SA мати доступ до мережі од-

ночасно. Базова станція підтримує обидві архітектури. Таким чином, одна й та сама мережа може гармонійно поєднувати дві архітектури, а базову станцію NSA можна буде досить просто оновити до базової станції SA шляхом оновлення програмного забезпечення.

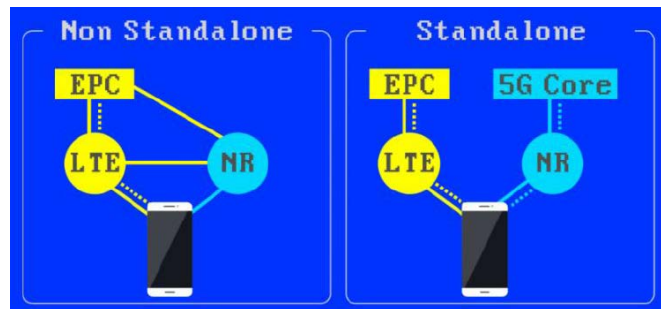


Рисунок 1.2 – Мережеві архітектури

Автономний режим (SA) вважається більш прийнятним для реалізації з погляду операційної ефективності, так як така архітектура виглядає значно простіше. З іншої сторони, хоча глобальні оператори надавали перевагу режиму SA, є і такі, котрі віддають перевагу режиму NSA. Ряд оператор прийняли таке рішення з урахуванням переваги часу виходу на ринок і якнайшвидшої можливості розгортання мережі п'ятого покоління. Окрім того, вказаний варіант тісно пов'язаний із вартістю, так як режим NSA означає радіозв'язок мережі п'ятого покоління з базовими мережами четвертого покоління, який як мінімум на початковому етапі дозволить зекономити витрати на побудову базової мережі.

### 1.7 Труднощі, пов'язані з розгортанням мереж

Перелічимо основні труднощі, з якими повинні боротися стикаються оператори стільникового зв'язку при розгортанні мереж п'ятого покоління. До основних проблем відносять наступні:

Проблеми розгортання малих комірок. Як відомо, часто політика регулюючих органів та місцевої влади ставить перепони розгортанню малих стільників і накладає на операторів невідповідні адміністративні та фінансові зо-

бов'язання, що суттєво ускладнює інвестиції. До подібних обмежень відносяться довготривалі процедури дозволів та закупівель, надмірні збори та морально застарілі правила.

Досить часто такі норми і правила сильно перешкоджають швидкому і економічно ефективному розгортанню малих комірок, особливо у центральній частині міст, де очікується, що послуги мобільного зв'язку користуватимуться найбільшим попитом.

Волоконні транзитні лінії. Однією з основних задач, з якими зіткнуться оператори через відсутність мобільних мереж 5G у багатьох містах є розгортання транзитних оптичних мереж для малих комірок, котрі будуть підтримувати високі швидкості передачі даних та короткі часові затримки.

Основне можливе рішення є таким – для полегшення розгортання мереж 5G державні органи сприйняти зниженню податкового навантаження, що призведе до зниження інвестиційних витрат, котрі потрібні для розгортання волоконно-оптичних ліній зв'язку.

Спектр. Для виявлення та розподілу узгодженого на глобальному рівні спектра необхідною є координація зусиль світової спільноти та регіональних організацій. Саме гармонізований розподіл має переваги, так як при ньому радіозавади вздовж кордонів зводяться до мінімуму, а також полегшує роумінгу у інших країнах та знижує загальну вартість обладнання.

Окрім того, потрібно приділити увагу можливостям більш ефективного спільного використання вже існуючого спектру частот. Традиційно, саме національні регулятори відповідають за надання спектра операторам мобільного зв'язку. В той же час, через постійно зростаючий попит на частоти, одним із шляхів підвищення ефективності використання доступного спектра є його спільне використання.

Ключове рішення є таким: для максимізації використання доступного спектру потрібно розглянути можливість використання узгодженого на глобальному рівні спектра.

## 1.8 Модернізація обладнання для базової станції

Унікальна пасивна антена Huawei дозволяє вирішити цю проблему. Одна антена здатна підтримувати як високочастотний діапазон 4T4R, так і всі частотні діапазони нижчі 3 ГГц. Сайт буде значно простішим, важке обладнання буде видалено з веж і буде більше місця для майбутніх доповнень. Для запуску 5G всі оператори повинні просто встановити антени 5G на монтажних опорах.

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.

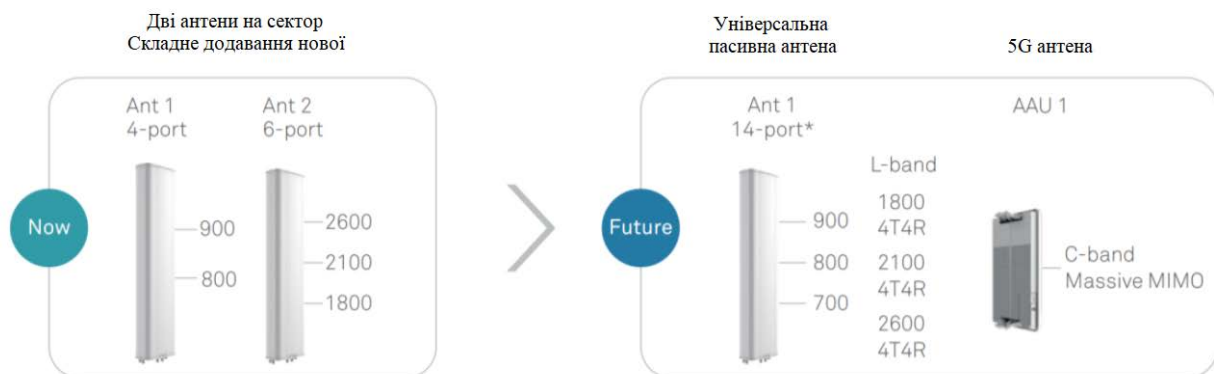


Рисунок 1.3 – Процес модернізації антени

Після впровадження передових рішень 4G – 4T4R, 8T8R, Massive MIMO – радіочастотні (RF) модулі, антени та інше обладнання є повністю готовим до еволюції до 5G. Стільники будуть повністю 5G сумісними за допомогою кількох простих дій. Низька потреба в обладнанні, зниження витрат і скорочення майданчиків операційних витрат (OPEX) сприяють цьому швидкому розвитку.

Підтримуються 5G NR, 4T4R і Massive MIMO на найновіших багатомодових базових станціях Huawei BTS5900/DBS5900. Оператори повинні просто



додати нові плати 5G NR і модернізувати застаріле програмне забезпечення, щоб зробити таку реальність як «одна плата, все 5G».



Рисунок 1.4 – Модернізація сайту і потрібне обладнання

Популярні радіочастотні модулі серії 5000 мають інноваційну радіоплатформу та багатоантенні технології, що робить їх надзвичайно ефективними та не потребують багато електроенергії. Одним із модулів низькочастотного діапазону є 2T4R і він підтримує частоти нижче 1 ГГц (точніше від 700 до 900 МГц). Інший може працювати з частотами від 1 до 3 ГГц і підтримує конфігурацію 4T4R, яка включає декілька блейд-блоків RRU чи багатоканальні модулі. Нову платформу серії 5000 легко запускати.

Інноваційна радіоплатформа та багатоантенні технології популярних радіочастотних модулів серії 5000 роблять їх надзвичайно ефективними та не потребують багато електроенергії. 2T4R є модулем низькочастотного діапазону, який підтримує частоти нижче 1 ГГц (700-900 МГц). Інший має частоту від 1 до 3 ГГц і підтримує конфігурацію 4T4R, яка складається з кількох блейд-блоків RRU або багатоканальних модулів. Нову платформу серії 5000 запускати легко.

## 1.9 Готові моделі комірок

Більша кількість частотних смуг і сайтів мають надавати послуги, а також відповідати вимогам інтенсивного трафіку та охоплення завдяки дуже швидкому розвитку послуг мобільного широкосмугового зв'язку та безперервному розвитку мережі. Тим не менш, традиційний метод розгортання додаткового макро-сайту має низку проблем, включаючи складні процедури затвердження та високий рівень OPEX. Це все впливає на швидкість розгортання сайту, через що він не здатен задовольнити все зростаючі вимоги до сервісу. Приміром, процедура придбання землі може тривати від двох до шести місяців у деяких місцях, а будівництво сайту може зайняти дванадцять місяців. Витрати на будівництво, електроенергію та оренду майданчика можуть скласти до п'ятдесяти п'яти відсотків загальної вартості володіння.

Моделі TubeStar, PoleStar і RuralStar оптимізують сукупну вартість володіння комірками та гарантують економічне розгортання сайту при різних сценаріях. Витрати на будівництво і оренду, а також проблеми з енергопостачанням можна зменшити за допомогою цих нових рішень. Основне покриття та користувальницький досвід забезпечуються цими методами ефективно [19]. Це дозволяє збільшити ємність мережі та кількість користувачів [19].

Рішення TubeStar дозволяє інтегрувати трубу та шафу, що має діаметр дна 800 мм із вбудованим основним обладнанням. Така велика шафа може підтримувати від п'яти до семи смуг частот. Площа будівлі зменшується з величини 30–100 м<sup>2</sup> до 2 м<sup>2</sup>. Крім того, термін придбання землі скорочується, замість шести – два місяці. 5-річна загальна вартість володіння може бути знижена на тридцять відсотків. Окрім того, для подальшої підтримки мережі 5G зарезервовані кабінні розширення 8T8R і порти Massive MIMO evolution.

Для майданчиків агрегації, повторно використовуваних полюсів і нових полюсів PoleStar — це рішення для монтажу на полюсах. Це рішення ділить трафік, удосконалює глибоке покриття, збільшує щільність покриття гарячих

точок і заповнює у ніому дірки. У результаті це знижує загальну вартість володіння на 40%.



Рисунок 1.5 – Моделі TubeStar, PoleStar та RuralStar

Для людей, які проживають у віддалених сільських районах, RuralStar — це рішення, яке має низькі витрати та забезпечує точне покриття. При цьому застосовується LTE спектр у сільській місцевості та передача ретранслятора без прямої видимості (NLOS), а встановлені на вежі ділянки перетворюються на майданчики на стовпах, що забезпечує точне та широке охоплення віддалених сіл. TCO можна зменшити на тридцять відсотків, а ROI можна отримати протягом трьох років у селі з приблизно 2000 людьми.

### 1.10 Технологія покриття мережі 5G усередині приміщення

Понад 70% глобального трафіку мобільного широкосмугового зв'язку (MBB) проходить в приміщеннях, згідно з дослідженнями Ericsson. Отже, пріоритетом стала автоматизація промислового виробництва за допомогою безпроводних технологій замість провідних. Таким чином, з приходом 5G створення цифрових мобільних мереж всередині приміщень стає все більш важливим [20].

Побудова 5G пов'язана з проблемою проникнення зовнішніх макрорадіосигналів усередину будівлі. У відповідь на це було запропоновано використовувати розподілені антенні системи (DAS), тобто використовувати маленькі стільники всередині будівлі.

Невеликі комірки будуть важливими для задоволення попиту на передачу даних і голосу усередині приміщень у міру розвитку мереж до 5G. DAS-технологія є досить новою. Вона добре працює з 4G, але зі збільшенням трафіку ця мережа вже не може забезпечити достатню швидкість. На ринку вже доступні численні пристрої, здатні створювати цю мережу. Ericsson і Huawei, з їхніми технологіями Radio Dot і 5G LampSite, лідери в організації мереж 5G усередині будівлі. Під час переходу з 4G на 5G вони дозволяють повторно застосовувати існуючу інфраструктуру внутрішньої мережі. Інтелектуальне виробництво, інтелектуальні лікарні, інтелектуальні транспортні засоби та інтелектуальні склади є кількома сферами, де ці технології можуть бути використані. Це допоможе компаніям прискорити інтелектуальний розвиток і підтримати цифрову трансформацію, примірок, у випадку коли мережні з'єднання потребують надійності 99,999% та наднизьку затримку.

У обмеженому просторі багато пристроїв потребують одночасного доступу та відстеження їх місцезнаходження. Програми переважно призначені для промислових терміналів, які зазвичай знаходяться в офісах. Необхідно забезпечити покриття внутрішньої мережі 5G, одночасно задовольняючи різноманітні промислові потреби. Такі технології забезпечують п'ять основних функцій мереж 5G: надширококутовий зв'язок у приміщення, точне визначення місця розташування пристрою усередині приміщень, дуже низька часова затримка промислового рівня, висока надійність усередині приміщень, а також щільний паралелізм промислового рівня. Все це дає можливість компаніям зменшити витрати на впровадження галузевих додатків, які покращують ефективність управління та виробництва.





Рисунок 1.6 – Схема з'єднання мережі 5G Indoor

В Китаї ця мережа була успішно протестована. Система розташована в одній з будівель Пекіна і підтримує мережі China Unicom Beijing й China Telecom Beijing. Це дозволяє отримати швидкість лінії зв'язку 3,4 Гбіт/с на одну станцію. Стверджується, що модуль 5G LampSite має багатоантенну технологію 4T4R, яка, як стверджується, збільшує пропускну здатність мобільної мережі втричі, а також надширокосмуговість 300 МГц у діапазоні С від 3,3 до 3,6 ГГц. Крім того, продукт підтримує спільне використання мережі операторами, що дозволяє швидко побудувати мережа 5G у сценаріях з великим трафіком.

#### 1.10.1 Основні переваги технологій Radio Dot і 5G LampSite

Такі технології характеризуються високою продуктивністю і велика ємність зберігання. LampSite дає можливість кільком pRRU обслуговувати один стільник, причому кожен стільник обслуговується окремо кожним pRRU з однаковим фізичним ідентифікатором стільника. Це збільшує лінії зв'язку RSRP і SINR вниз. Щоб покращити продуктивність і прийом по лінії зв'язку вгору через DAS, LampSite демодулює сигнали від кількох pRRU окремо, а потім об'єднує сигнали в BBU без збільшення фонового шуму. E2E O&M — LampSite забезпечує керування мережею рівня pRRU, що дає змогу абонентам одержу-

вати точну статистику передачі обслуговування, втрати викликів і показники робочого стану NE в мережі в режимі реального часу. Для зниження витрат на експлуатацію та обслуговування LampSite може використовувати NMS з макромережами.

Велика ємність і просте розширення. За допомогою програмного забезпечення внутрішній цифровий LampSite підтримує надвеликі ємності.

Розгортання та обслуговування прості. На додаток до мережевих кабелів цифрова система E2E підтримує оптичні та електричні композитні кабелі. Вона підтримує візуалізацію та швидко розгортається.

Проста еволюція. За допомогою оновлення програмного забезпечення цифрове рішення LampSite підтримує систему з кількома RAT і може бути розширено до 5G C-Band.

### 1.10.2 Обладнання для організації мережі всередині приміщення

Є два сценарії для побудови мережі всередині будівлі. Рішення для одного оператора представляє перший сценарій, який призначений для великомасштабних мережевих сценаріїв з інтенсивним рухом усередині і зовні приміщень. В той же час, другий сценарій передбачає, що кілька операторів будуть будувати та використовувати один одного, щоб покращити інвестиції та вирішити проблеми доступу. Крім того, LampSite Sharing надає можливість здійснювати оцифрування в приміщенні для візуалізації O&M і задоволення потреб у різноманітних бізнес-моделях операторів і власників.

Обидва сценарії є схожими, але лише присутність блоку DCU та hRRU у другому сценарії відрізняє його. Базова станція, яка базується на технологіях LampSite та Radio Dot, містить блок обробки основної смуги частот (BBU), потужний віддалений радіоблок hRRU, віддалену радіоголовку Pico RRU (pRRU), мультиоператорський блок доступу DCU, блок конвергенції великих даних RRU HUB (RHUB). Усі вищенаведені блоки з'єднуються оптичним кабелем і Ethernet CAT6A [8]. Блок обробки основної смуги частот (BBU) обробляє сиг-

налізацію всієї системи базової станції, забезпечує опорний сигнал синхронізації та забезпечує централізоване керування експлуатацією та обслуговуванням. Радіочастотні сигнали обробляється віддаленою радіоголовкою Pico (pRRU). Це включає такі функції:

- модуляція сигналів основної смуги частот у смузі частот передачі, фільтрація та підсилення цих сигнали та відправлення їх на антену для передавання;
- прийом радіочастотних сигнали від антен, фільтрація перетворення їх на цифрові, передача їх у BBU для оброблення;
- передача даних CPRI через кабелі Ethernet або оптоволокно.
- підтримка внутрішніх антен;
- забезпечення PoE та DC живлення;
- гнучке налаштування для роботи з кількома режимами та кількома смугами.

Блок конвергенції великих даних RRU HUB (RHUB) виконує таку операцію – віє поєднує дані CPRI від віддалених радіочастотних модулів і виконує наступні функції:

- забезпечує покриття в межах приміщень за допомогою співпраці з DCU та pRRU;
- отримує дані лінії зв'язку вниз від BBU/DCU та перенаправляє їх в pRRU; і
- реалізує живлення pRRU за допомогою PoE.



Рисунок 1.7 – Устаткування для базової станції одного оператора

Потужний віддалений радіоблок hRRU призначений для поєднання даних CPRI від віддалених радіочастотних модулів. Окрім того, він виконує такі функції як: забезпечення покриття в приміщенні за допомогою взаємодії з DCU та

pRRU; одержання дані лінії зв'язку вниз від BBU/DCU і перенаправлення їх в pRRU; живлення для pRRU через вбудовані ланки постійного струму і кабелі постійного струму; підтримка оптоволоконних з'єднань із pRRU.

DCU це мультиопераційний блок доступу, який забезпечує доступ як до радіочастот, так і до BBU. Він оновлює порти для введення сигналу РЧ, перетворює радіочастотні сигнали на цифрові, забезпечує доступ до кількох BBU, акумулює дані та надає порти, призначені для підключення оптичних волокон до RHUB і hRRU.



Рисунок 1.8 – Устаткування для базової станції кількох операторів

## **2 ПРОБЛЕМИ ПРИ ПЛАНУВАННІ МЕРЕЖ П'ЯТОГО ПОКОЛІННЯ**

Стандарт 5G має амбітні цілі. Швидкості передачі даних до 20 Гбіт/с у низхідному каналі (DL) і 10 Гбіт/с у висхідному каналі (UL) необхідні для реалізації таких можливостей, як перегляд потокового відео у форматі UHD з роздільною здатністю 4K або 8K, а також для реалізації основних цільових сценаріїв застосування мереж з покращеним мобільним широкопasmовим доступом (eMBB).

Хоча існує багато методів для підвищення швидкості передачі даних, спектр сигналу є ключовим фактором, який гарантує високі швидкості при використанні мобільного широкопasmового доступу. Стандарт 5G New Radio (NR) передбачає нові діапазони частот нижче 6 ГГц, а потім переходить на частоти міліметрової довжини хвиль. Це дозволяє використовувати більш широкі та безперервні діапазони частот для організації каналів безпроводного зв'язку з великою пропускною спроможністю.

Більш широкі смуги пропускання обіцяють кращу якість передачі даних споживачам, але створюють нові проблеми для інженерів, коли вони дотримуються всіх існуючих вимог, чак і висуваються до якості сигналів у міліметровому діапазонах. Різні негативні фактори, боротьба з якими раніше не була значною проблемою на частотах нижче 6 ГГц, тепер сприскують значні проблеми, які вимагають додаткових заходів, а також вживання нових методів вимірювань, які можуть забезпечити необхідні показники точності при оцінюванні характеристик компонентів і пристроїв, які відповідають стандартам п'ятого покоління.

### **2.1 Частотний спектр стандартів п'ятого покоління**

Узгоджене використання частотного спектра у всіх регіонах забезпечить повний перелік можливостей для споживачів і покриття по всьому світу.

Відповідно до стандарту 5G NR, можна використовувати частоти до 52,6 ГГц із загальною займаною смугою радіочастот сигналів (піддіапазонів) приблизно 10 ГГц [8].

Діапазон 1: 400 МГц...6 ГГц, окрім того додається смуга частот 1,5 ГГц з такими піддіапазонами 3,3–4,2 ГГц, 3,3–3,8 ГГц, 4,4–5 ГГц.

Діапазон 2: 24,25–52,6 ГГц окрім того додається смуга частот 8,25 ГГц із такими піддіапазонами 26,5–29,5 ГГц, 24,25–27,5 ГГц, 37–40 ГГц.

Розгортання ділянок мереж і пробні запуски в діапазонах сантиметрових і міліметрових довжин хвиль вже завершено, а дослідження та випробування вже проводяться в деяких регіонах на піддіапазонах нижче 6 ГГц.

З метою задоволення потреб пристроїв «Інтернету речей» (IoT) планується надати кілька піддіапазонів у діапазоні до 1 ГГц. Це частоти 600, 700 і 800 МГц.

Для збільшення зони покриття та пропускної здатності мереж використовуватиметься діапазон 1–6 ГГц [9]. Діапазон 3,3–3,8 ГГц, який є основним для Китаю, Європи, Кореї та Японії, може бути використаний для впровадження різноманітних сервісів зв'язку стандарту 5G. Японія та Китай також розглядають можливість використання діапазону 4,4–4,9 ГГц.

Випадки, коли потрібні дуже широкосмугові сигнали, в основному потребуватимуть діапазону понад 6 ГГц. Перші цільові частоти міліметрового діапазону для Японії та США становили 28 і 39 ГГц відповідно. Хоча специфікації версії 15 стандарту 5G NR допускають використання частот до 52,6 ГГц, проводяться відповідні дослідження щодо впровадження версій стандартів, у які планують включати частоти 64–71 та 71–76 ГГц.

Для формування широкосмугових сигналів застосовують багатокомпонентні несучі, причому смуга частот може досягати 800 МГц в діапазоні 2, як і в стандарті LTE. Кожна країна визначає, наскільки широко використовується частотний спектр. Наразі розроблено початкову версію стандарту 5G NR. Очікується, що в наступних версіях будуть продовжені тенденції експлуатації частотного спектру, а також розширення смуг пропускання і вдосконалення викорис-



товуваних сигналів, враховуючи як нові завдання так і цільові сценарії використання.

У діапазоні до 6 ГГц є кілька нових проблем, пов'язаних із розробленням пристроїв у більш нових піддіапазонах, таких як 3,4–3,7 та 4,4–4,9 ГГц. Ці проблеми пов'язані з кількома нестандартними вимірювальними завданнями, які необхідно вирішити під час випробування пристроїв, проблемами із сумісністю та контролем якості існуючих конструкцій антенних решіток, які використовуються за технологією MIMO, а також методом вимірювань з радіоефіру. Все це призвело до особливих характеристик діапазону до 6 ГГц, а справжні проблеми починаються з переходом до міліметрового діапазону.

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

Для впровадження фіксованого безпроводного доступу за стандартами 5G спочатку передбачається використання схожих конфігурацій MIMO та форм сигналів, а мережі 4G eNB будуть використані для прив'язки та управління. Це означає, що передбачається робота в неавтономному режимі (NSA).

## **2.2 Проблеми через якість сигналів у міліметровому діапазоні**

Багато факторів, таких як робота в основній смузі, модуляція, фільтрація та перенесення спектра сигналу на більш високі частоти, можуть вплинути на якість сигналу. Проектування пристроїв на модулюючих частотах і ВЧ може допомогти вирішити проблеми з порушеннями форми сигналу, які стають ще більшими при розширенні смуги або підвищенні спектра. Властивості ортогональності в системах зв'язку з OFDM-модуляцією (мультиплексування з ортогональним частотним розділенням каналів) перешкоджають взаємному впливу носійних, які перекриваються. Тим не менш, спотворення модульованого сигналу можуть бути результатом IQ-спотворення, фазового шуму, лінійної (AM-AM) і нелінійної (AM-ФМ) компресії, а також частотних зсувів.

Фазовий шум є найпоширенішою причиною проблем у системах зв'язку з OFDM-модуляцією міліметрового діапазону. Піднесучі здатні відчувати взаємний вплив, а це значно погіршує якість демодульованого сигналу, якщо пристрій має надзвичайно високий рівень фазових шумів.

Подібні проблеми складно вирішити, і їх вплив може суттєво погіршити загальні характеристики і параметри пристрою. Таким чином, пристрої повинні бути проєктовані так, щоб подолати фізичні проблеми, які пов'язані із особливостями широкосмугових сигналів міліметрового діапазону. В той же час, засоби вимірювань, призначені для контролю характеристик таких пристроїв, повинні мати ще більш високі характеристики, щоб забезпечити достатню точність при вимірюванні параметрів сигналів і при оцінюванні їх якості, не створюючи при цьому доданих нових проблем.

### **2.3 Оцінювання якості сигналів**

Одним із найефективніших методів оцінки якості сигналу є аналіз параметрів модуляції. Вивчення сигнального сузір'я на комплексній площині може виявити помилки, спричинені спотвореннями сигналу. Величина модуля вектора помилки (EVM) також є важливим показником якості модуляції сигналу; вимірювання EVM дозволяють визначити загальну форму сигналу (рис.2.1).

Використання сигналів CP-OFDM-модуляції, тобто мультиплексування з ортогональним частотним розділенням каналів і циклічним префіксом, дозволено в 5G NR. Це є схемою модуляції з множиною несучих. Результати вимірювань модуля вектора помилки — це нормалізована різниця двох векторів на комплексній площині: виміряного вектора IQ-сигналу та опорного вектора IQ-сигналу. Вимірювання показують фазовий шум, а також будь-які відхилення фази або амплітуди, які виникають у вузлах пристрою і виявляються у спотвореннях спектру широкосмугового сигналу. Він показує, наскільки реальний сигнал відрізняється від ідеального або стандартного сигналу. Модуль вектора помилки, як правило, виражається в децибелах або відсотках.

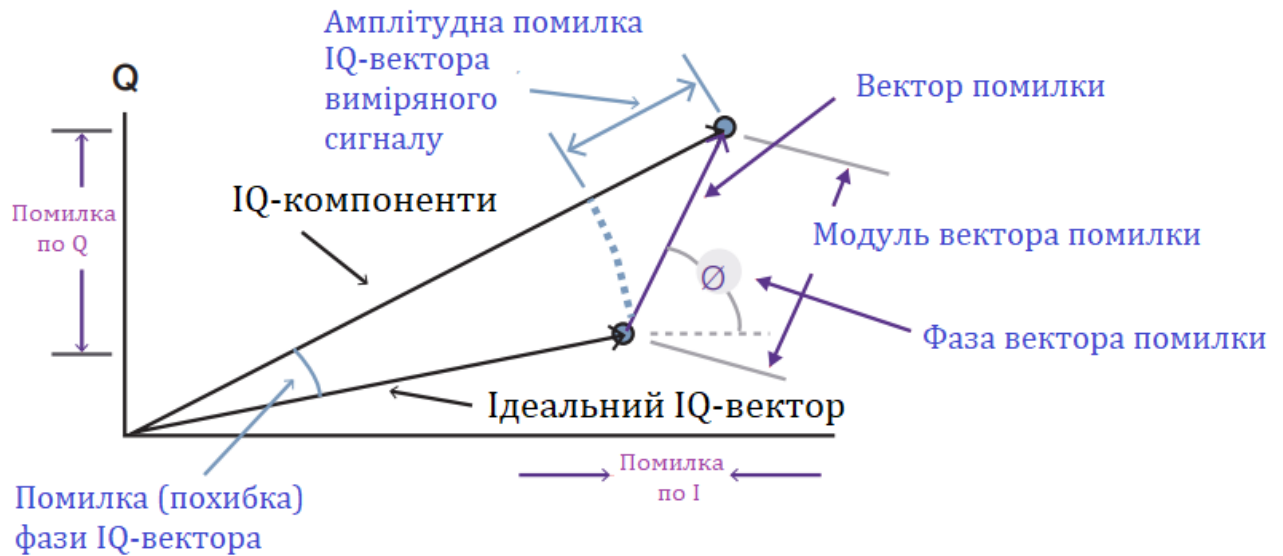


Рисунок 2.1 – Особливості обчислення модуля вектора помилки

Завдяки застосуванню схем модуляції з високою щільністю (від 256 QAM до 1024 QAM) у стандарті 5G компоненти та пристрої повинні мати все більш жорсткі вимоги до модуля вектора помилки. Наприклад, таблиця 2.1 показує, як разом із збільшенням щільності модуляції вимоги до модуля вектора помилки (EVM) для абонентських пристроїв (UE) стандарту 3GPP зростають.

Таблиця 2.1 – Вимоги стандарту 3GPP TS 38.101-1 до модуля вектора помилки (EVM) для схем модуляції 5G [10]

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

Окрім того, слід провести вимірювання з метою підтвердження відповідності параметрів спектра сигналів. Передана потужність, ширина зайнятої смуги частот (OBW), проникнення сигналу в суміжний канал (ACPR), відповід-

ність спектральній масці випромінювань (SEM), а також рівень паразитних складових спектра контролюються під час вимірювання параметрів спектра сигналу абонентських пристроїв стандарту 5G.

Для компонентів і пристроїв стандарту 5G вимірювальне обладнання повинно мати характеристики, достатні для отримання достовірних оцінки сигнального сузір'я та модуля векторної помилки. До того ж, у міру розвитку стандартів 5G гнучкість вимірювального обладнання є життєво важливою для перенесення вимірювань параметрів спектра на ширші смуги пропускання та вищі частоти.

## **2.4 Вибір вимірювального рішення**

Вимірювальне обладнання з більшим модулем вектору помилки, ніж у досліджуваного пристрою чи системи потрібне для забезпечення вимірювань високої якості для параметрів широкосмугових пристроїв на частотах міліметрового діапазону.

Стандартні вимоги включають вимірювання параметрів компонентів на 10 дБ більше, ніж у загальній системі та вимірювання параметрів системи на 3 дБ більше, ніж у зразковому джерелі радіосигналів.

Стандартна схема вимірювання параметрів передавача, приймача чи інших блоків у пристроях безпроводних передачі даних зазвичай включає джерело сигналів для формування вхідного впливу, досліджуваний пристрій, аналізатор і досліджуваний пристрій, або навіть всі разом.

Як правило, кабелі використовуються для виміру основної смуги частот і діапазону частот до 6 ГГц. Через очікуваний високий рівень інтеграції в антенах і радіочастотних інтегральних схемах вимірювання в діапазонах сантиметрів і міліметрів, швидше за все, вимагатимуть більш складних методів. Це може призвести до того, що в контрольних точках підключення кабелів можуть просто бути відсутні з'єднувачі.

Блок-схема тестового стенда для формування та аналізу сигналів стандарту 5G показана на рис. 2. Це є типове рішення і воно має характеристики, потрібні для оцінювання характеристик пристроїв і компонентів стандарту 5G щодо спотворень сигналів, які можуть призвести до проблем у міліметровому діапазоні частот. Векторний генератор сигналів використовується для формування сигналу з цифровою модуляцією стандарту 5G NR і подачі його на вхід досліджуваного пристрою. Векторний аналізатор сигналів застосовується для оцифрування та вивчення параметрів радіочастотного сигналу, який виходить від досліджуваного пристрою. Параметри включають параметри модуляції. Дане рішення має гнучку конфігурацію, яка дозволяє виконувати вимірювальні завдання в різних комбінаціях частот і піддіапазонів. Крім того, завдяки характеристикам вимірювальних пристроїв і компонентів стандарту 5G воно має широкий рівень достовірності.

У самій схемі вимірювання можуть бути інші джерела помилок у системі вимірювання. Додаткове обладнання, таке як тестова оснастка, переходи, кабельні зборки, направлені відгалужувачі, підсилювачі, фільтри, розгалужувачі та комутатори між досліджуваним пристроєм і вимірювальними приладами, може мати набагато більший негативний вплив при створенні схеми вимірювань за умов дуже високих частот і широких смуг пропускання.

Для того, аби забезпечити максимальну точність вимірювань, вимірювальна система має бути відкалібрована у вимірювальній площині, відповідно до місця підключення досліджуваного пристрою.

Задача полягає в тому, щоб одержати характеристики пристрою, який досліджується, без урахування впливу тестового обладнання та допоміжного обладнання. Вимірювальна система має забезпечити ще більші характеристики, ніж ті, які були передбачені під час проєктування пристрою. Висока точність і повторюваність забезпечуються можливістю виконання вимірювань у площині досліджуваного пристрою.

У процесі роботи з широкосмуговими сигналами правильне калібрування вимірювальної системи дуже корисне, оскільки воно усуває основні системати-

чні похибки вимірювань, пов'язані з АЧХ і ФЧХ тестового устаткування. Програмний засіб для калібрування системи Signal Optimizer входить до складу пропонованого вимірювального стенду для випробувань пристроїв стандарту 5G. Перенесення площини вимірювань на роз'єм досліджуваного пристрою здійснюється цим ПЗ.

## 2.5 Вимірювання параметрів пристроїв у міліметровому діапазоні

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

Рис. 2.2 показує результати калібрування вимірювання параметрів антени 5G, які були отримані на випробувальному стенді, розробленому для формування та аналізу сигналів систем 5G компанії Keysight. Це дозволяє з жостатньо високою точністю вивчати характеристики пристроїв стандарту 5G NR на ВЧ і частотах міліметрових діапазонів при смузі модульованого сигналу не вище 2 ГГц.



Рисунок 2.2 – Аналіз сигналів стандарту 5G NR з модуляцією 256 QAM і діаграми спрямованості антен

З адаптованим під стандарт 5G NR програмним забезпеченням легко формувати та аналізувати сигнали. Індексація та параметри для висхідного та низ-



хідного каналів передачі даних відповідають стандарту 5G. Також можна використовувати це програмне забезпечення для випробувань на сумісність систем стандартів 5G NR та LTE.

### 3 ПЛАНУВАННЯ МЕРЕЖІ 5G НА БАЗІ LTE

Зміна застарілих мереж 4G разом із новими революційними технологіями буде основою для впровадження мобільних мереж п'ятого покоління. Тим не менш, оператори зв'язку докладали значних зусиль для створення мереж LTE, розумним буде включити їх до покоління 5G. Так, LTE може забезпечити вищий рівень покриття, а мережі 5G є більш стійкими до відключень і володіють меншою ймовірністю того, що послуги будуть недоступними. Це дві мережі повинні бути тісно інтегровані. Передбачається, що фізичний рівень буде заснований на OFDM з різними нумерологіями, щоб враховувати різні способи використання [14]. Крім того, очікується, що LTE (та його похідні) та 5G об'єднають вищі рівні стеку протоколів мобільної мережі, хоча процедури управління доступом до середовища повинні адаптуватися до нових фізичних вимог [9].

Коли протоколи LTE та 5G стикаються, це називається рівнем інтеграції. Цей рівень має інтерфейс для нижчих рівнів, які використовуються в різних технологіях радіодоступу. Однак послуги цього рівня інтеграції є тими ж самими. Буду відправлятися пакети до різних RAT з верхніх шарів і збиратися трафік з різних нижніх шарів.

Основні переваги та недоліки використання рівнів PHY, MAC, RLC або PDCP як точок інтеграції наступні:

1. Спільний рівень PHY: оскільки очікується, що OFDM або один із його варіантів стане основою фізичного рівня 5G, це рішення може бути життєздатним. 5G, з іншого боку, використовує широкий спектр структур кадрів і нумерології для різних сценаріїв використання. Таким чином, інтеграція LTE та 5G на рівні PHY є надзвичайно складним завданням, і результати будуть обмежені. Крім того, застосування загального шару PHY обмежить можливість зміни стеків верхнього шару, щоб відповідати вимогам 5G. Накінець, щоб запобігти нерозташова-

ному розгортанню eNB для різних RAT, операції на рівні PHY в цьому випадку повинні бути тісно синхронізовані.

2. Спільний рівень MAC: інтеграція на MAC рівні здатна забезпечити достатньо високий рівень координації. Стандартна агрегація несучих для LTE є потенційним варіантом агрегації MAC [9]. Зокрема, на MAC рівні є можливість координації планування ресурсів для різних RAT, здійснення HARQ на різних носіях і відсутня складність передавання контексту між RLC та PDCP. Це пояснюється тим, що для кожного пред'явника є один примірник їх обох. Тим не менш, операції на рівні MAC синхронізуються на рівні PHY, що дозволяє лише запуск спільно розташованих RAT. Крім того, 5G та LTE можуть мати різні рішення дуплексного зв'язку та схеми розподілу частоти та часу. Хоча потенційні переваги є дуже привабливими, інтеграція на рівні MAC обмежує можливості управління доступом 5G на відміну від LTE, що перешкоджає абсолютно новому дизайну, який враховує характеристики mmWave комунікації.
3. Спільний рівень RLC: цей варіант має обмеження, які можуть перешкоджати розгортанню без спільного розміщення. Насправді, рівень RLC отримує дані про можливості передачі від планувальника MAC рівня, тобто кількість байтів, які доступні для передавання протягом наступного інтервалу. Такий зв'язок не може мати додаткових затримок зв'язку MAC-RLC між далековіддаленими місцями розташування. Крім того, сегментація та повторна збірка можливі лише за умови наявності загального планувальника. Також, важливою перевагою інтеграції на RLC рівні є наявність однієї передачі (як і буфера повторної передачі в AM RLC), що покращує координацію між двома RAT;
4. Спільний рівень PDCP: рівень PDCP не висуває жорстких вимог до синхронізації, тому він може бути хорошим кандидатом на рівень інтеграції, коли очікуваний метод не пов'язаний зі спільним розміщенням. Інтеграція на рівні PDCP дає можливість створювати рівні PHY, MAC

і RLC з самого початку, що дозволяє їм адаптуватися до вимог мереж 5G.

### 3.1 Архітектура тісної взаємодії LTE-5G

Для забезпечення мобільного широкосмугового зв'язку (MBB) в уже існуючій мережі 4G EPS, впровадження 5GS значно вплине на всі мережеві домени, починаючи від RAN до ядра пакетної передачі, і на серверні системи, політику та послуги користувача даних. Сьогодні EPS використовується в основному для багатьох варіантів використання MBB. У деяких випадках вже були оновлені розгорнуті EPS, щоб підтримувати 5G за допомогою автономного нового радіо (NR). Багато операторів 4G і NSA NR вже впровадили 5GS відповідно до стандарту 3GPP або розглядають можливість впровадження.

5GS підтримує автономний сценарій NR (SA) [6]. Він також підтримує існуючі варіанти використання MBB, а також кращі та нові.

Протягом міграційного періоду, коли утворюється покриття NR, взаємодія між ядром 5G (5GC) і існуючим ядром Evolved Packet Core (EPC) найкраще підтримує послуги, що вимагають широкого покриття. Так як дані, призначені для користувача, і політики мають підтримувати обидві мережі – EPC і 5GC, взаємодія з EPC робить серверні системи підтримки бізнесу (BSS) залежними від системної інтеграції. Нові пристрої підтримують функції 5GS, але пристрої, які підтримують лише EPS, такі як пристрої вхідного роумінгу, будуть ще довго існувати і потребуватимуть підтримки мережі відповідної. Така довгострокова потреба є важливим аргументом на користь ідеї дворежимності для базової мережі, яке включає функції 5GC і EPC.

Загальна операційна модель EPC і 5GC є ключовою перевагою рішення дворежимної базової мережі, оскільки вона спрощує управління усією системою.

Крім того, вона передбачає більш детальне керування життєвим циклом програмних модулів, відомих як мікросервіси [8]. Це керування ґрунтується на

принципах хмарного розгортання та використання [9]. Узагальнена операційна модель призначена для гнучкого і динамічного масштабування мікросервісів залежно від потреб в ємності, приміром для перебалансування використання ресурсів 5GC і EPC при переході парку пристроїв з 4G на 5G.

Для впровадження 5GS в мережі потрібна комплексна стратегія, що враховує всі мережеві домени, план покриття, ресурси спектра та пристрої, а ще те, де і які саме послуги варто пропонувати. Paketне ядро 5GS, 5GC, включає нові мережеві функції та інтерфейси, а також доповнює системи підтримки операцій 5G і BSS, включаючи системи тарифікації. Крім того, воно включає нові інтерфейси та протоколи як для RAN наступного покоління (NG-RAN так і для пристроїв. Це свідчить про те, що міграція RAN, включно з ресурсами спектра та стратегією пристроїв, необхідно скоординувати разом із впровадженням 5GC.

Будь-який із існуючих планів впровадження 5GC також має враховувати його нову архітектуру, котра базується на сервісах та містить функцію мережевого сховища, призначену для реєстрування та пошуку послуг, а ще нові можливості, наприклад підтримку поділу мережі та її розкриття.

Оператори, які мають доступ до NR і LTE, здатні використовувати для тісної взаємодії з EPS існуючі можливості 5GC. Архітектура 5GS для тісної взаємодії EPC-5GC показана на рисунку 3.1. Архітектура 5GC містить точку прив'язки загальної площині користувача (UP), а також реалізовану функцію управління сеансом, функцію площині управління шлюзом мережі пакетних даних (SMF + PGW-C) і функцію площині користувача PGW (UPF + PGW-U). Це дозволяє забезпечити збереження IP-адреси під час перемикання між доступом 4G і 5G.

Для забезпечення безперервності у обслуговуванні та передаванні обслуговування об'єкт управління мобільністю (MME) і нова функція керування доступом і мобільністю (AMF) безпосередньо взаємодіють через еталонну точку N26, котра призначена для підтримки пристроїв в режимі одиночної реєстрації.

Це означає, що пристрій зареєстрований або у MME, або у AMF, але не одночасно в обох.

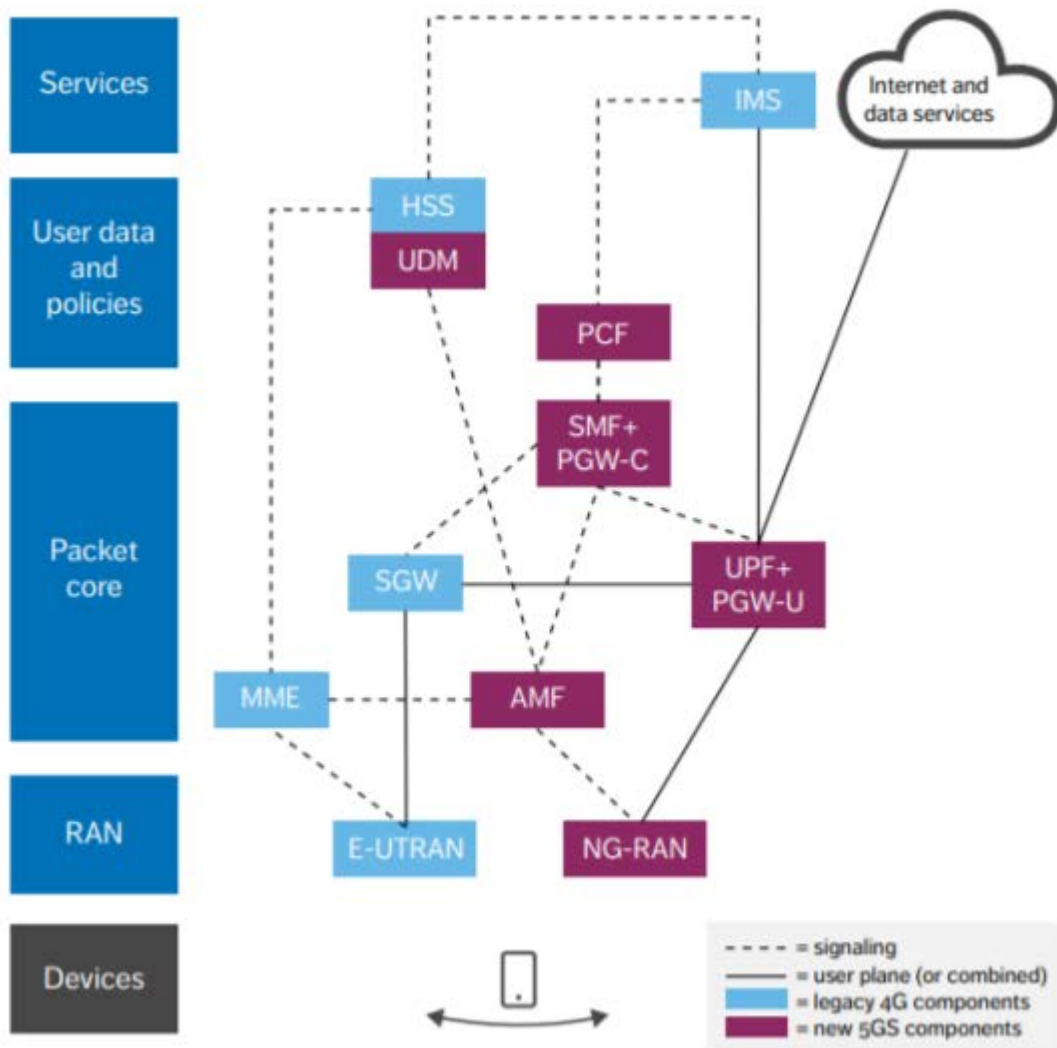


Рисунок 3.1 – Архітектура тісної взаємодії EPC та 5GC

Для мобільності еталонна точка N26 застосовується і в режимі очікування, і в режимі підключення. У режимі очікування пристрій починає мобільність, можливо, запускаючи RAN. У режимі підключення RAN починає мобільність, а пристрою повідомляють про завершення етапу підготовки до передачі обслуговування.



Більш того, тісна взаємодія також стосується того, як зіставити сполуки пакетних даних (PDN) в EPS з сеансами протокольних блоків даних (PDU) в 5GS і навпаки.

Розглянути архітектура взаємодії гарантує те, що нові пристрої з підтримкою 5GC завжди підключатимуться до UPF в 5GC, незалежно від того, підключені вони через доступ 4G чи 5G. Це дає можливість зберегти IP-адресу, коли пристрої переміщуються між доступами. Отже, характеристики послуг зберігаються, так як підключені до UPF додаткові послуги розміщені в одному місці є однаковими, а функція управління політиками (PCF) виористовує політики сеансу для пристрою тоді, коли він підключений через доступ 4G або 5G.

Пристрої, які використовують доступ NR або LTE, повинні мати однакові політики та підписки. Архітектура міжмережевої взаємодії дозволяє також використовувати LTE/EPC для кількох можливостей 5GC, включаючи підтримку поділу мережі. Щоб перейти від існуючого EPC до дворежимного мережевого рішення EPC і 5GC, оператори можуть запровадити нові функції, а також перенести пакетний шлюз, контроль політики, підписку та управління даними.

### **3.2 Подвійне-підключення LTE-5G**

Як правило, обладнання користувача знаходиться в межах досяжності LTE eNB, що, згідно з термінологією 3GPP, відоме як головний стільник. Цей стільник може виконувати функцію координатора для стільників mmWave, корі знаходяться під його покриттям. Однак за умови, що він знаходиться близько до краю, координатор також можна розмістити в іншому місці в базовій мережі. Стільники mmWave виконують функцію вторинних стільників і використовують інтерфейс X2 для передачі даних управління координатору.

Основною функцією цієї архітектури є повідомлення про якість сигналу лінії mmWave координатору, котрий обирає найкращий стільнику mmWave, до якого має підключатися UE. Очікується, що для формування променя UE та

eNB, які підтримують mmWave, будуть використовувати фазові масиви спрямованості. Таким чином, кожен вузол вибирає декілька напрямків або секторів (NUE для MСu та NeNB для BC). Кожна пара напрямків UE-eNB має свою міру якості сигналу, яка, як правило, становить  $NUE \times NeNB$  вимірювань на UE, при цьому враховуються всі mmWave eNB у межах досяжності.

Після цього про ці дії повідомляється координатору в пункті процедури таким чином:

1. При кожній передачі UE змінює сектор. Він також передає опорний сигнал для кожного з напрямків NUE. Для оцінки каналу можна використовувати опорний сигнал, який відомий eNB. При застосуванні аналогового формування променя, кожна mmWave eNB сканує сектори NeNB, а при цифровому формуванні променя, одночасно збирає вимірювання від їх усіх. eNB mmWave створює таблицю звітів (RT), яка містить дисперсії SINR і SINR у кожному напрямку для кожного UE та надсилає її координатору;
2. Координатор здатен сформувати повну таблицю звітів (CRT) для кожного UE. При цьому враховується інформацію, котра прийшла від всіх eNB mmWave. Далі вибирається оптимальний eNB, а також напрямок для кожного UE при цьому для кожної пари (mmWave eNB, напрямок) враховується SINR;
3. Навіть якщо LTE eNB не виконує функцію координатора, він надає звіт UE, яка має з пар (mmWave eNB, напрямок) характеризується найкращими показниками. UE може не отримати найкраще посилення mmWave, якщо воно не налаштоване належним чином, тому використовує канал керування LTE. Окрім того, ланка управління LTE забезпечує більшу надійність і стабільність.

Для збору всіх вимірювань для UE є необхідна затримка [12].

Після отримання звітів UE повинен отримати доступ до mmWave eNB або виконати передачу обслуговування до нового mmWave eNB.

Зокрема, що модуль NYU mmWave не передає звуковий опорний сигнал. Однак, коли ви запитуєте радіоресурси, він враховує генровані накладні витрати. Гнучкість, яку надає той факт, що NS-3 є симулятором, а не реальною реалізацією, дозволяє обчислити SINR в mmWave eNB.

### 3.3 Реалізація подвійного підключення

В даному випадку рівнем інтеграції обираємо рівень PDCP, виходячи з таких міркувань:

1. Розгортання не відбувається в одному місці. Можливо розгортати стек, не розташований в одному місці, оскільки синхронізація не потрібна. Щільність стільників mmWave перевершуватиме щільність стільників LTE, які вже встановлені, оскільки їхній радіус покриття не повинен перевищувати 200 м [15]. Буде дорогим встановлювати LTE та mmWave eNB на кожному новому місці. Крім того, через високу щільність LTE, eNB забезпечить меншу площу покриття, що запобігає міжстільниковим завадам. Макростільник LTE може забезпечити значний рівень покриття, що є однією з основних характеристик міцної інтеграції LTE-5G. У випадку, якщо площа кожного стільника LTE зменшиться до такої ж, як у стільників mmWave, покриття не буде працювати.

Крім того, рівень PDCP може бути розгорнутий у макро LTE eNB або переміщений у базову мережу. У цьому випадку новий вузол координатора може виконувати функцію шлюзу для груп LTE eNB та eNB mmWave під їх покриттям.

2. Відсутність обмежень дизайну для шарів 5G RHY для RLC.Стек протоколу mmWave 5G також може бути розроблений від рівня RHY до рівня RLC без обмежень, які передбачені стандартизованими протоколами LTE. ЦЦк забезпечує чіткий підхід, що дозволяє задовольнити вимоги до продуктивності мережі 5G, а також вирішити проблеми mmWave. Прикладом, оскільки схема TDD зменшує затримки радіодоступу, її можна ви-

користувувати на рівнях PHY та MAC [12]. Якщо інтеграція відбувається на рівнях MAC або PHY, то дуплекс для LTE та mmWave 5G повинен бути однаковим, і більшість розгорнутих LTE-мереж уживають FDD.

3. Просте та швидке рішення. Рішення подвійного підключення на рівні PDCP є простим й економічним. Коли інтеграція реалізується на RLC рівні, то процес повторної збірки на приймачі буде затягнутий. Це пов'язано з тим, що відправка фрагментів по повітряному LTE інтерфейсу має вищу затримку, ніж у mmWave. В результаті останній має лишитися в буфері і чекати LTE RLC PDU з фрагментами, які відсутні. А от фрагментація та повторне збирання не виконуються на PDCP рівні. Тим не менш, через тайм-аут PDCP рівень може відкидати пакети. Для усунення цієї проблеми необхідно встановити досить високий тайм-аут.

Блок-схема запропонованої архітектури показана на рис. 3.2.

Клас McUeNetDevice є ядром реалізації подвійного підключення. Він належить до підкласу NS-3 NetDevice, тобто базового класу, що абстрагує мережеві пристрої та дозволяє забезпечити інтерфейс між своїми нижніми рівнями та верхніми шарами стеку TCP/IP. Цей клас розширюється модулем LTE за допомогою LteUeNetDevice та LteEnbNetDevice, як це робиться в модулі mmWave. У NetDevice є покажчики для власних класів нижнього рівня та метод Send, що відправляє пакети до стека TCP/IP. Як у модулі LTE, в mmWave вказаний метод відповідає зворотньому виклику у DoRecvData класу EpcUeNas. Стандарт LTE визначає його як зв'язок між стеком LTE протоколів та стеком TCP/IP.

McUeNetDevice – це UE з однією EpcUeNas, але із подвійним стеком від цього рівня вниз. Як показано на рис. 3.3, базова діаграма UML містить рівні mmWave PHY, MAC і RRC, а також LTE PHY, MAC і RRC. Рівень EpcUeNas

У поєднанні з LTE можна виконувати управління користувацької площини (наприклад, налаштовувати радіоканали даних або перемикатися), що є ще однією перевагою рішення з подвійним зв'язком.

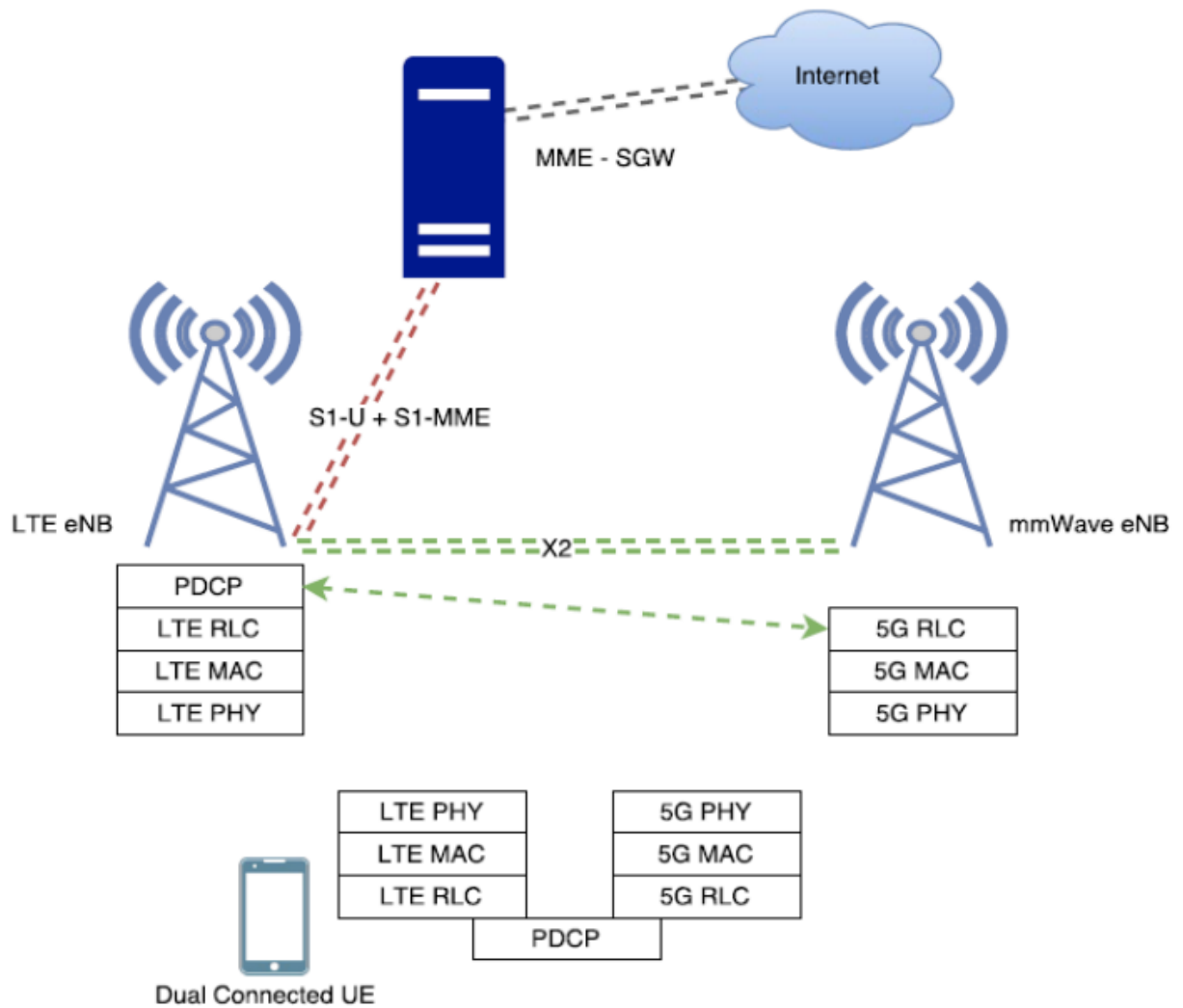


Рисунок 3.2 – Архітектура тісної інтеграції LTE-5G

Однак при використанні рішення з швидкою комутацією загальний RRC-трафік може бути меншим, а трафік LTE eNB може збільшитися. Крім того, LTE eNB використовується для трафіку площині користувача лише тоді, коли показник SINR всіх mmWave eNB є меншим, ніж  $\Delta_{LTE}$ . Таким чином, у UE mmWave eNB використовують більшу частину часу. Це дає можливість LTE eNB обробляти трафік від більшої кількості UE, ніж він міг би обробляти, якби площина користувача LTE завжди використовувалася.

eNB LTE повинен зібрати таблиці звітів і знайти оптимальну асоціацію mmWave для кожного UE, а також він повинен кодувати і відправляти повідомлення RRC на UE. Більш того, якщо координатор розташований в одному місці і оскільки PDCP шифрує PDU, які він приймає з більш високих рівнів, LTE eNB повинен шифрувати весь трафік UE з подвійним підключенням, що знаходяться під його покриттям. Отже, при розгортанні мереж 5G наступ-

ного покоління необхідно буде враховувати, чи оновлення обчислювальних елементів в eNB LTE.

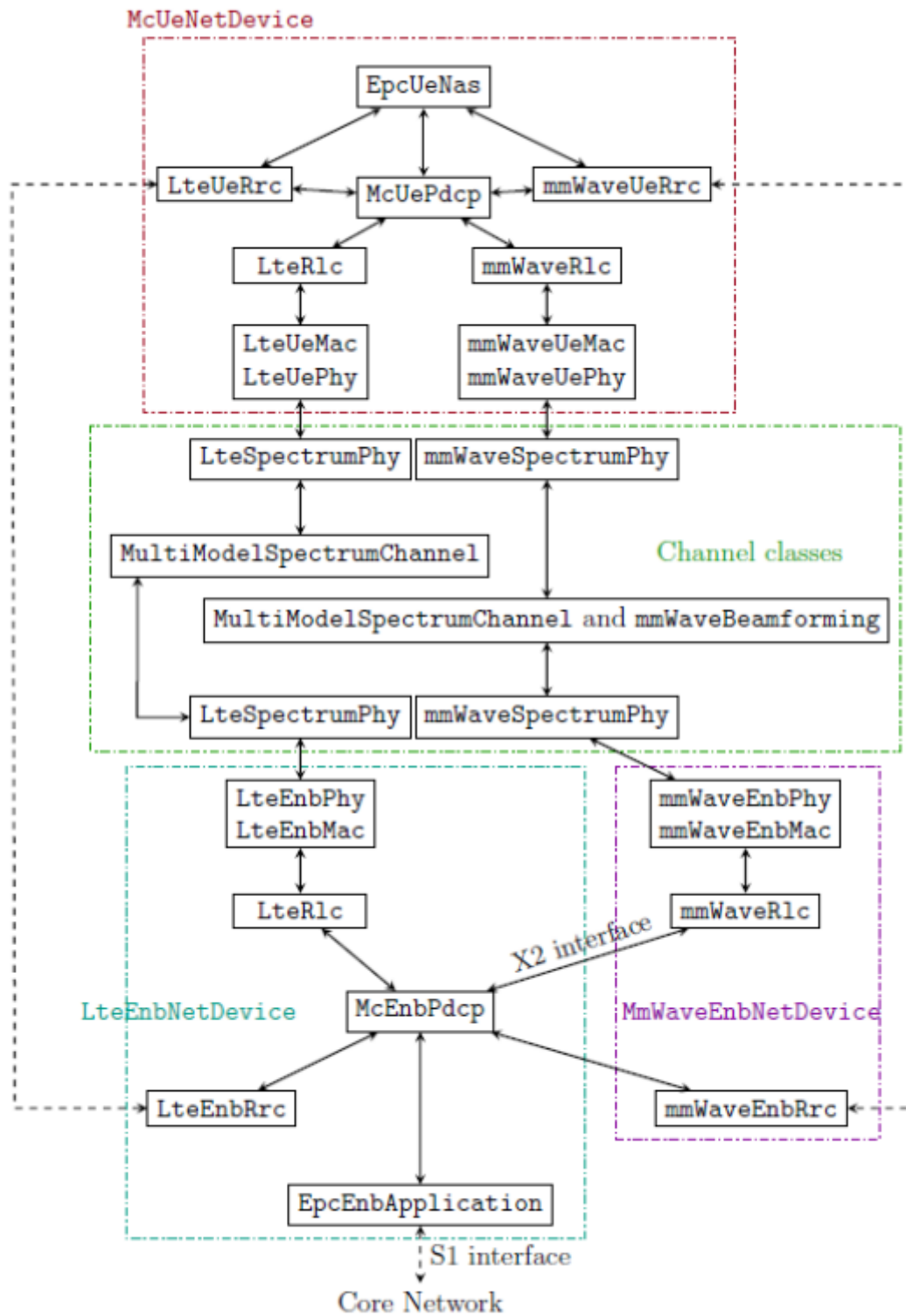


Рисунок 3.3 – Блок-схема багатозв'язного пристрою, LTE eNB і mmWave eNB



Тим не менш, очікується збільшення обчислювального навантаження на LTE eNB, особливо якщо координатор суміщений з LTE eNB. eNB LTE повинен зібрати звіти та визначити найкращі асоціації mmWave для кожного UE. Крім того, він повинен кодувати та надсилати повідомлення RRC до всіх UE. Якщо координатор розташовано в одному місці та PDCP шифрує PDU, які він приймає з вищих рівнів, то LTE eNB повинен шифрувати увесь трафік від UE з подвійним підключенням, котрі знаходяться під його покриттям. Таким чином, при розгортанні мереж 5G необхідно враховувати, чи було виконано оновлення обчислювальних елементів eNB LTE.

Недолік рішення для розглянутої швидкої комутації з подвійним підключенням – сильне навантаження каналів X2,. Необхідно ретельно спланувати розгортання цього рішення з урахуванням даних каналів X2, в противному випадку вони можуть бути вузьким місцем системи.

## 4 РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ ПЛАНУВАННЯ МЕРЕЖІ ЗА ДОПОМОГОЮ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

### 4.1 Загальні відомості про генетичні алгоритми

У реальних практичних задачах прийняття рішень усічастіше доводиться стикатися з проблемою вибору при великому числі альтернатив, при цьому якість альтернатив оцінюється за багатьма критеріями. І для вибору найкращої альтернативи необхідно досягти компромісу між оцінками за різними критеріями. Часто в умовах задачі відсутня інформація, яка дає змогу знайти такий компроміс [10–23]. Таким чином, «формально задача вибору зводиться до задачі параметричної оптимізації деякого функціоналу, де незалежні змінні визначають альтернативи, а значення функціоналу – оцінку якості вибору» [13].

У загальному вигляді задача умовної багатокритеріальної оптимізації включає набір з  $N$  змінних, безліч  $K$  цільових функцій цих змінних, оптимум яких потрібно визначити. На змінні функцій накладається набір обмежень у вигляді систем рівностей та (або) нерівностей – безліч  $M$ . Знайдений оптимум має задовольняти всім заданим обмеженням.

Теорія багатокритеріальної оптимізації закладає основу для розробки методів підтримки прийняття рішень, що використовуються при аналізі багатокритеріальних завдань. Такі методи покликані надавати допомогу особі, яка приймає рішення, у виборі найкращого (парето-ефективного) результату. Але при використанні традиційних методів, як правило, потрібно виконання певних обмежень, накладаються, наприклад, на цільові функції ( $f_i(x)$  повинні бути вогнуті) або кількість одночасно зондованих точок.

Генетичні алгоритми застосовуються для вирішення оптимізаційних задач з допомогою методу еволюції, тобто шляхом відбору з безлічі рішень найбільш відповідного. Відмінність генетичних алгоритмів від класичних методів оптимізації полягає в наступному [5]: генетичні алгоритми працюють не з самими значеннями параметрів задачі, а з їхньою закодованою формою; здійс-

нують пошук рішення не для однієї точки області допустимих рішень, а для кількох одночасно; використовують тільки інформацію про саму цільову функцію та область допустимих значень; алгоритми є стохастичними.

Введемо деякі визначення [6]: код (хромосома, особина) – точка простору пошуку; генотип - це сам код та його структура; фенотип - інтерпретація генотипу з погляду розв'язуваної задачі; популяція – сукупність точок пошуку (набір особин); розмір популяції – кількість особин у популяції.

Механізм кожного генетичного алгоритму складається з трьох основних операторів:

- Репродукція – процес, в якому хромосоми копіюються згідно їх цільової функції. Біологи називають цю функцію «придатність» або «корисність», відому у багатьох публікаціях як «fitness». Вибираються хромосоми з «найкращим» значенням цільової функції. Оператор репродукції є штучною версією натуральної селекції, тобто виживанням найсильніших згідно з теорією Ч. Дарвіна.

- Кросовер (crossover - іноді званий рекомбінацією) – схрещування батьківських пар; генерація нащадків.

- Мутація – дія випадкових впливів.

Загальна схема роботи генетичного алгоритму представлена на рис. 4.1.

Розглянемо схему функціонування стандартного генетичного алгоритму, який зазвичай використовується в оптимізаційних задачах:

- 1) Перш за все, в даному алгоритмі для організації початку розрахунків створюється довільне вихідне сімейство.

- 2) Далі алгоритм виробляє якусь послідовність нових сімейств чи поколінь. На кожному окремому кроці алгоритм використовує певні індивідууми з поточного покоління, для того, щоб створити наступне покоління. При формуванні нового покоління в алгоритмі проводяться такі дії:

- Зазначається кожен член поточного сімейства за допомогою обчислення відповідного значення придатності;

- Здійснюється масштабування отриманого ряду значень функції придатності, що дозволяє побудувати діапазон значень більше зручний для подальшого використання;
- Вибираються батьківські значення на основі їх значень придатності;
- Частина індивідумів із батьківського покоління має більше менші значення функції придатності і які надалі вибираються як елітні значення. Ці елітні значення передаються далі вже в наступне покоління;
- Дочірні значення утворюються або шляхом деяких випадкових змін окремого одного з батьків – мутація – або шляхом комбінації векторних компонентів певної пари батьків – кросовер;
- Заміна поточного сімейства на дочірнє з метою формування наступного покоління.

3) Зупинення алгоритму провадиться тоді, коли виконується якийсь критерій зупинки.

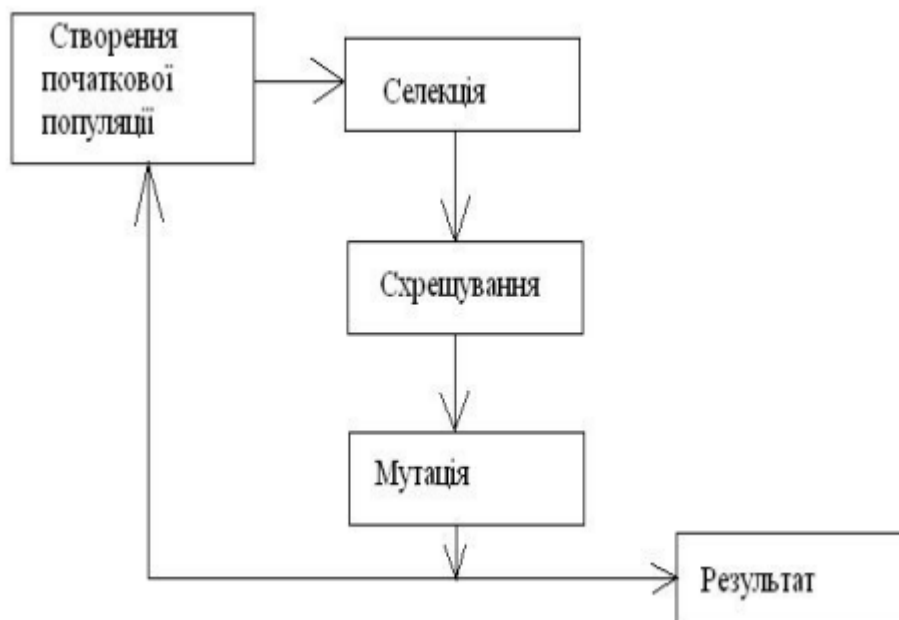


Рисунок 4.1 – Схема функціонування генетичного алгоритма

## 4.2 Подання дійсних розв'язків у двох форматах

На наступному прикладі ми узагальнимо ГА на випадок дійсних чисел, в якому для функції

$$f(x) = (1,85 - x) \cdot \cos(3,5x - 0,5) ,$$

поданої на рис.3.4 треба знайти  $x \in [-10, +10]$ , котре максимізує  $f$ , тобто таке  $x_0$ , для котрого  $f(x_0) \geq f(x)$  для усіх  $x \in [-10, +10]$ .

Для вирішення цього завдання ГА не потрібно будувати. Будемо використовувати двійковий вектор, який використовується в класичному простому ГА, щоб знайти дійсне рішення (хромосому)  $x$  [17]. Його довжина залежить від необхідної точності рішення, яку в цьому конкретному випадку визначаємо за допомогою трьох знаків після коми.

Відрізок  $[a, c] = [-10, +10]$  повинен бути розбитий на рівні частини, тобто маленькі відрізки, щоб досягти заданої точності, оскільки відрізок області рішення має довжину 20, і кількість частин повине остановити не менше  $20 \times 1000$ .

Використовуємо двійковий код номера відрізка як двійкове представлення. Якщо відомі межі області рішення, цей код дозволяє знайти відповідне йому дійсне число. Оскільки  $16384 = 2^{14} < 20000 \leq 2^{15} = 32768$ . Це означає, що для кодування рішення двійковий вектор повинен мати 15 біт.

Це дозволяє отримати необхідну точність, розбиваючи відрізок  $[-10, +10]$  на 32768 частин. У два кроки виконується відображення з двійкового подання  $(b_{14}b_{13}...b_0)$  ( $b_i \in \{0,1\}$ ) у дійсне число з відрізка  $[a, c] = [-10, +10]$ .

1) Переведення двійкового числа у десяткове:

$$(< b_{14} b_{13} \dots b_0 >)_2 = \left( \sum_{i=0}^{14} b_i 2^i \right)_{10} = X' .$$

2) Обчислення дійсного числа  $x$ :

$$x = a + x' \cdot \frac{(c - a)}{2^{15} - 1} = -10 + x' \cdot \frac{20}{2^{15} - 1},$$

де  $-10$  – ціліва межа області рішення.

Хромосоми (0000000000000000) та (1111111111111111) – це межі відрізка  $-10$  і  $+10$  відповідно.

Очевидно, що класичний простий ГА можна використовувати при двійковому поданні дійсних чисел. На рис. 3.4–3.7 показано розташування особин, потенційних рішень, на різних етапах процесу пошуку рішення ГА. Початкова популяція потенційних рішень розподілена рівномірно в області пошуку рішення, як показано на рис. 4.2. Далі чітко показано, як особини поступово «конденсуються» в околицях екстремумів зі збільшенням кількості поколінь, щоб отримати найкраще рішення.

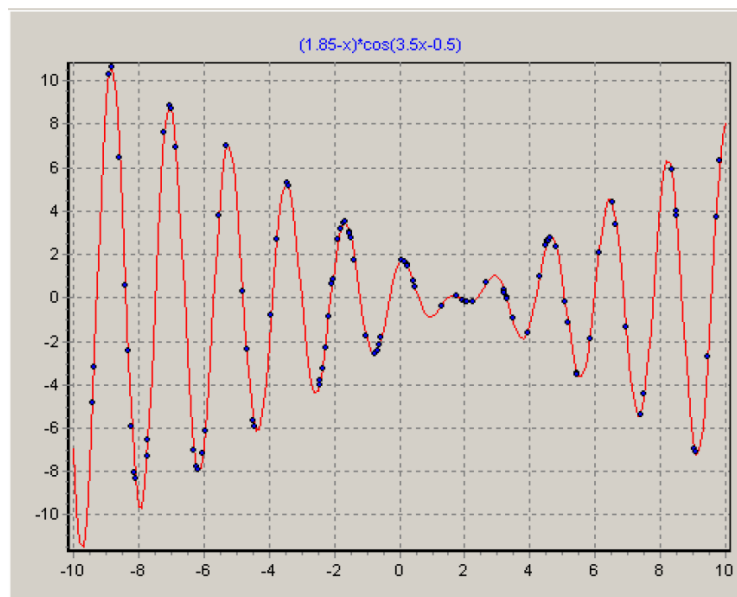


Рисунок 4.2 – Приклад функції з популяцією особин на початку еволюції

Наступні характеристики відрізняють ГА від інших методів оптимізації та пошуку:

1) Вони працюють із закодованим набором параметрів, а не з окремими параметрами.

2) Пошук здійснюється з популяції точок, а не з однієї точки.

3) Використовує цільову функцію безпосередньо замість її збільшення.

4) Використовуються ймовірнісні, а не детерміновані правила пошуку рішень.

5) Кожна нова популяція складається з хромосом.

6) Кожна нова популяція є кращою за свою цільову функцію.

7) У процесі еволюції наступна популяція залежить лише від попередньої популяції.

Мета ГА є двоякою:

1) пояснити адаптаційні процеси в природних системах як абстрактно, так і формально.

2) проєктувати механізми, які використовуються в природних системах, для створення штучних програмних і технічних систем.

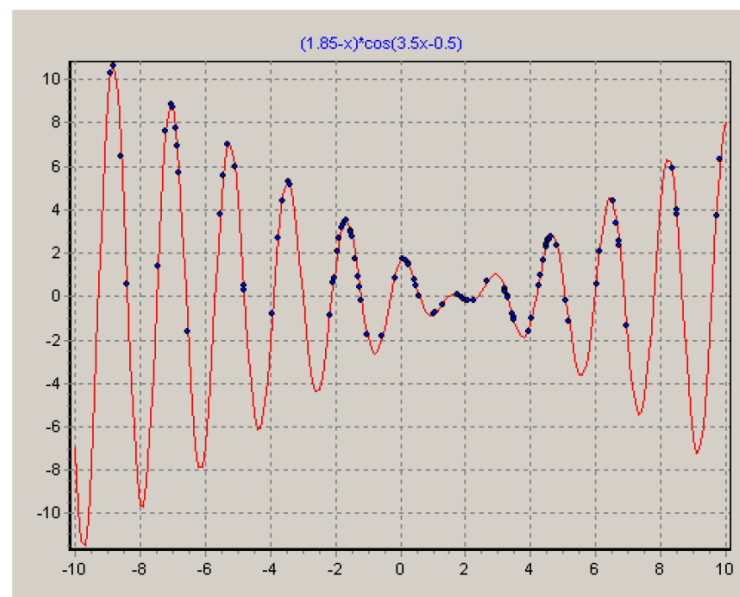


Рисунок 4.3 – Початкова «конденсація» особин в околицях екстремумів

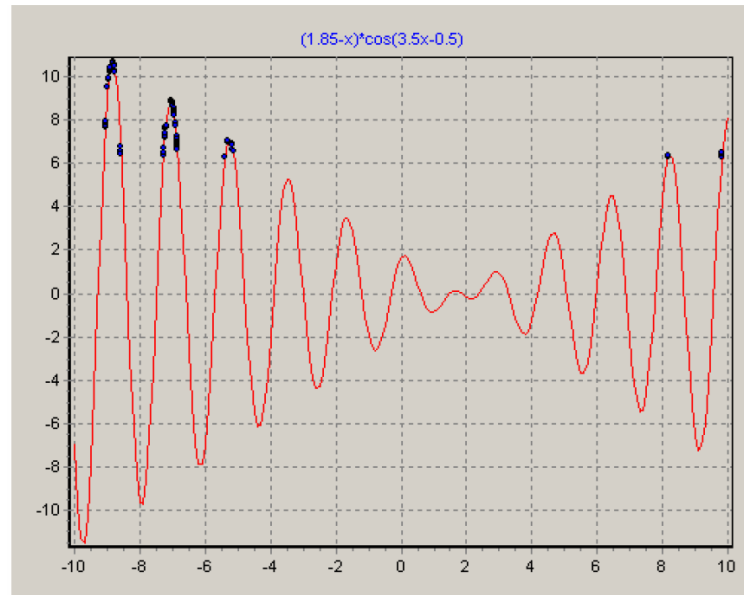


Рисунок 4.4 – «Конденсація» особин в околицях екстремумів

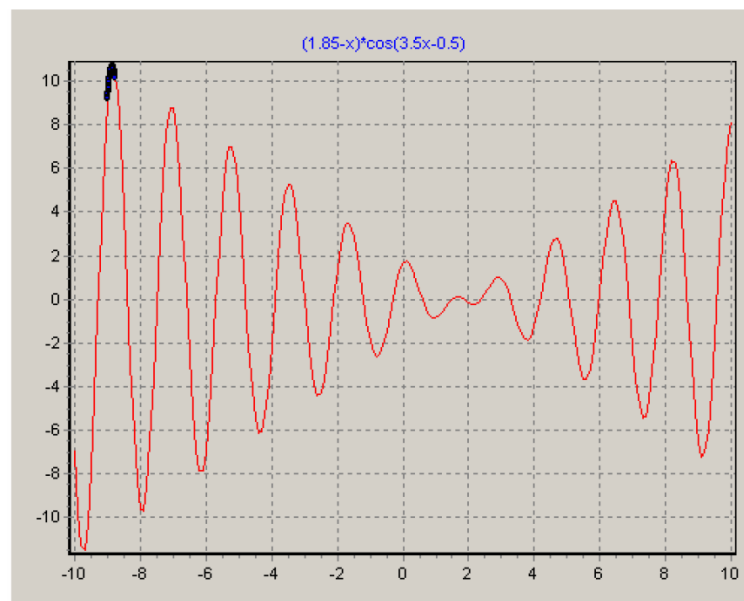


Рисунок 4.5 – Положення особин популяції в кінці еволюції

#### 4.2.1 Використання коду Грея

Двійкове подання дійсних чисел має значний недолік. Відстань між реальними числами на числовій осі часто не відповідає відстані між їхніми двійковими уявленнями (по Хеммінгу). Отже, двійкове подання було б найкращим, якби близькі відстані між хромосомами (двійкові уявлення) відповідали близьким відстаням у проблемній області, тобто відстаням на числовій осі.



Це можна зробити за допомогою коду Грея. Зауважте, що сусідні виконавчі слова в коді Грея відрізняються на один біт, тобто відстань по Хеммінгу дорівнює 1.

Розглянемо алгоритми, які можна використовувати для перетворення двійкового числа в код Грея та навпаки.

У цьому випадку розрядність двійкового числа визначається параметром  $m$ . Існує додаткова матрична (еквівалентна) техніка перетворення в код Грея.

```
Procedure Binary-to-Gray()
```

```
{
    g1=b1
    for k=2 to m do
        gk=bk-1 xor bk
    }
```

```
Procedure Gray-to-Binary
```

```
{
    value=g1
    b1=value
    for k=2 to m do
        begin
            if gk=1 then value=NOTvalue
            bk=value
        }
    end
```

Рисунок 3.8 – Перетворення у код Грея

Так, для  $m = 4$  матриці

$$A = \begin{bmatrix} 1000 \\ 1100 \\ 0110 \\ 0011 \end{bmatrix} \quad \text{і} \quad A^{-1} = \begin{bmatrix} 1000 \\ 1100 \\ 1110 \\ 1111 \end{bmatrix}$$

можна здійснити такі перетворення:

$$\bar{g} = A \cdot \bar{b} \quad \text{і} \quad \bar{b} = A^{-1} \bar{g} ,$$

тут множення матриць здійснюється за модулем два.

Відзначимо, що код Грея застосовується насамперед при використанні операторів мутації.

#### 4.2.2 Логарифмічне кодування

Цей тип кодування використовується для зменшення довжини хромосом. У цьому випадку перший біт (a) кодової послідовності служить знаком показникової функції, другий біт (b) — знаком ступеня функції, а біти (str) представляють значення самого ступеня. У результаті двійковий код <a b str> дає дійсне число  $(-1)^b e^{(-1)^a [\text{str}]_{10}}$ . У цьому випадку  $[\text{str}]_{10}$  є двійковим кодом str, який кодує десяткове число. Наприклад, дійсне число  $r = (-1)^0 e^{(-1)^1 [110]_{10}} = -e^6 = 0,002478752$  можна представити двійковим кодом <10110>.

#### 4.3 Задача оптимального розміщення базових станцій

Розглянемо задачу визначення найкращого місця для базових станцій (БС) системи мобільного зв'язку 5G в зоні обслуговування, що має довільну форми. Забезпечення певного рівня точності в кожній точці зони обслуговування є основою для розробки положення БС. Це враховує відбиття від земної поверхні та об'єктів урбаністичної забудови. При проектуванні систем мобільного зв'язку 5G важливим завданням є оптимізація місця розташування БС в зо-

ні обслуговування. У найкращому випадку заданий рівень якості сигналу забезпечується в будь-якій точці зони обслуговування при найменшому числі БС:

$$\min_{x, y \in G} P(x, y) \geq P_0 ,$$

де  $P_0$  – це мінімально допустима потужність сигналу, який приймає рухома станція (UE);

$G$  – це покриття мережі

Запишемо умова мінімізації кількості БС

$$\min \sum_i C_i \cdot K_i ,$$

де  $C_i$  – це вартість (ціна)  $i$ -ї станції;

$K_i$  – це число станцій  $i$ -го типу.

Коли земну поверхню можна апроксимована площиною та критерій Релея використовується для об'єктів забудови, то це є найпростіший спосіб вирішити таку задачу [1].

У такому випадку сигнал можна подати як суму прямого сигналу та сигналу, який відбито від земної поверхні. Параметри електрофізичної поверхні Землі в точці відображення визначають його рівень. Висота антен БС і МС визначає положення точки відображення. Визначення сигналу в точці прийому в умовах урбаністичної забудови значно ускладнюється, оскільки необхідно враховувати додаткові сигнали, які перевідбиваються від об'єктів забудови [12]. Таким чином, досліджується питання оптимізації розташування БС у зоні обслуговування в умовах штучних і природних перешкод і завад.

Зона обслуговування ділиться на мікрокомірки, щоб визначити умови прийому сигналів у різних точках. У цих мікрокомірках рівень сигналу БС вимірюється з урахуванням всіх можливих відображень від природних і штучних завад і перешкод. Перешкоди включають поодинокі споруди, природні перепа-

ди висоти та ділянки поверхні, які демонструють різкі зміни електрофізичних параметрів. При вирішенні задачі будинки різного типу використовуються як паралелограми, габаритні розміри яких відповідають їх розмірам, а граничні умови на їх поверхні відтворюють процеси відбиття від реальних об'єктів. Не враховується наявність віконних прорізів. Оскільки рівень сигналу в точці прийому настільки малий, що ним можна і знехтувати, при визначенні умов прийому в кожній мікрокомірці будуть враховуватися лише ті промені, які зазнають не більше двох відбиттів.

Коли МС знаходиться поза зоною прямої видимості антени БС, сигнал вважається визначеним дифракцією пласкої електромагнітної хвилі, створеної антеною БС на краях дахів. Вплив природних та штучних перешкод створює тіньові зони в зоні обслуговування, що суттєво погіршує роботу системи зв'язку. Для оцінки рівня сигналу в точці прийому використовується метод фізичної оптики. Проблема вирішується в два етапи.

На першому етапі методами еволюційного чи генетичного пошуку визначається стан БС у зоні обслуговування з мінімальною площею тіньових зон [14]. Такі методи пошуку точок розміщення значно скорочують час, потрібний для вирішення проблеми. Структура пошуку описана у [13, 14]. На другому етапі виконується пошук тіньових зон, які виникають через інтерференцію основного сигналу з відбитими від поверхні та об'єктів забудови міста сигналами. Після визначення найбільших розмірів тіньових зон і їх впливу на погодні умови визначається найкраще розташування додаткових пасивних ретрансляторів, для того щоб забезпечити у тіньових зонах оптимальний рівень сигналу приймально-передавальних станцій.

На першому етапі хромосоми випадково формують декілька варіантів рішення проблеми. На наступному етапі над цими хромосомами виконуються генетичні процедури схрещування (рис. 4.6, 4.7) і мутації (рис. 4.8).

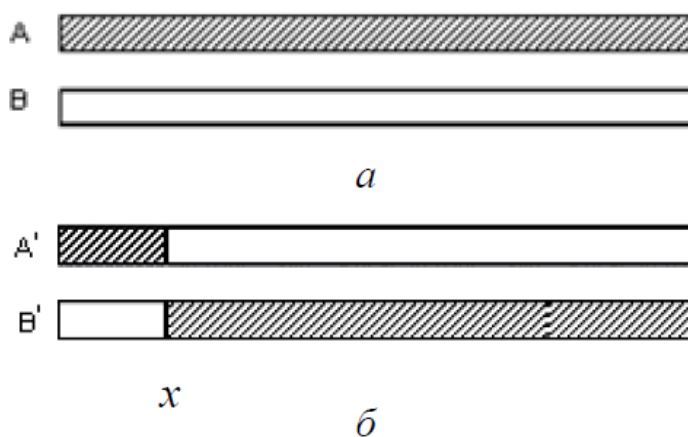


Рисунок 4.6 – Схема схрещування: а - до схрещування;  
б - після схрещування; х - точка розриву

На третьому етапі аналізується виживання хромосом. Потім кращі методи вирішення проблеми визначаються за допомогою цільової функції. Виконуємо другі та треті етапи пошуку, перш ніж знайти рішення проблеми.

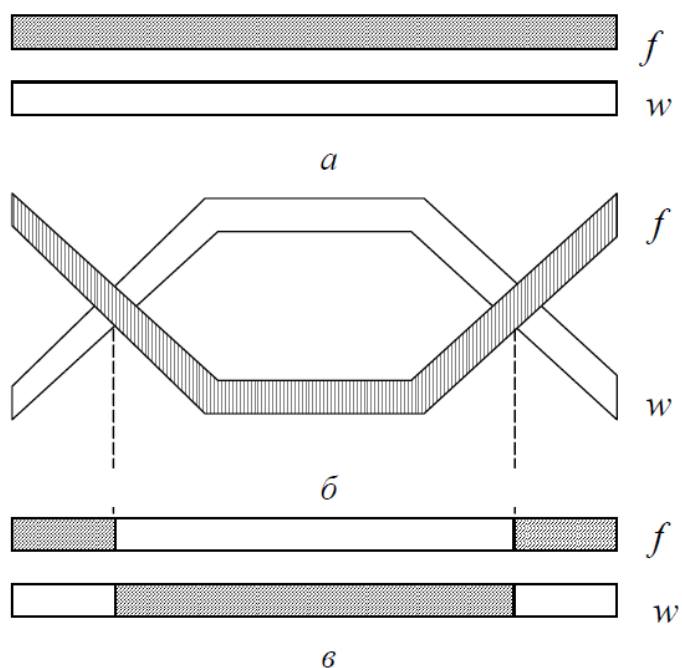


Рисунок 4.7 – Схема подвійного схрещування: а - до схрещування;  
б - під час схрещування; в - після схрещування

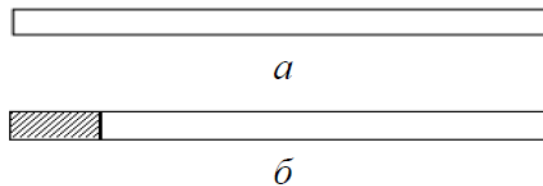


Рисунок 4.8 – Схема мутації: а - до мутації; б - після мутації

#### 4.4 Задача планування системи мобільного зв'язку 5G

Проектувальники стикаються з наступною проблемою під час планування систем мобільного зв'язку в міських умовах: необхідно визначити положення базових станцій, щоб забезпечити надійний зв'язок у будь-якій точці зони відповідно до заданої форми, географічних характеристик й робочого діапазону частот. Необхідно мінімізувати кількість базових станцій і враховувати вплив об'єктів забудови на поширення хвиль.

Об'єкти адміністративної та житлової забудови розглядають як пасивні ретранслятори та напівпрозорі екрани, які перешкоджають прямолінійному поширенню сигналів. Як наслідок цього, у деяких районах забудови утворюються «області тіні», де прийом сигналу від базової станції стає неможливим. Вони мають різну форму та площу, що залежить від розташування об'єктів забудови, розмірів, властивостей матеріалів і довжини хвилі. Зазвичай проводяться експерименти, щоб визначити положення цих зон тіні. Зверніть увагу, що воно не є постійним. Умови погоди можуть значно змінити форму та розміри зони тіні. Умови виникнення цих зон є різноманітними.

У першому випадку тіньові зони є інтерференційними, коли поверхня Землі в зоні обслуговування є приблизно рівною та виконується критерій Релея. Це пояснюється з тим, що суму двох сигналів можна представити в точці прийому так як сигнал, який прийшов до точки прийому, і сигнал, який відбився від поверхні Землі в зоні обслуговування. В цьому випадку рівень сигналу в точці прийому може збільшуватися чи зменшуватися відповідно до фазових спів-

відношень між прямим і відбитим сигналами. Величина ослаблення визначається поляризацією, яку використовують, і електрофізичними властивостями поверхні в зоні обслуговування. Якщо антена БС не має спрямованих властивостей у горизонтальній площині, тіньові зони мають форму концентричних кіл зі збільшеним радіусом. Їх кількість залежить від висоти підвісу антени БС. Під час радіального переміщення користувача такі зони призводять до виникнення ефекту швидких завмирань в зоні обслуговування.

У другому випадку критерій Релея не виконується в зоні обслуговування, тому виникають зони прямого затінення, які знаходяться поруч із зонами інтерференційних мінімумів і визначаються габаритами штучних чи природних перешкод у зоні обслуговування. Зокрема, в такому випадку форма зон інтерференційних мінімумів не буде кільцевою і залежить від місця та розміру цих перешкод. У такому випадку сигнал у точці прийому буде складатися з більшої кількості компонентів, а не з двох, і це буде визначено законами розподілу перешкод у цій зоні обслуговування та електрофізичними властивостями їх поверхні. Це означає, що якість сигналу, який отримує мобільний пристрій, залежить від двох факторів: положення антени в просторі та напрямку переміщення користувача в зоні обслуговування.

На додаток до вищезазначених причин, це явище може бути пояснено утворенням стоячих хвиль між окремими об'єктами міської забудови. На такі процеси також впливають погодні умови, так як вони здатні значно змінювати електрофізичні параметри поверхні, а також коефіцієнти відбиття від поверхні будівлі та від неї. Анізотропне поширення радіохвиль також може вплинути у містах. Відкритий хвилевід може виникнути під час поширення хвиль уздовж вулиці, що значно змінює умови поширення електромагнітних хвиль як уздовж, так і поперек вулиці. З цієї причини існує додаткова можливість, що якість прийому сигналу зміниться, якщо користувач переміщується в межах міста.

Необхідно встановити додаткові активні чи пасивні мініпетранслятори, щоб забезпечити зв'язок у тіньових зонах. Ці мініпетранслятори передають сигнали базових станцій у зону тіні та приймають сигнали, створені мобільними

станціями в зоні тіні, і передають їх на БС. В цьому випадку проводиться експеримент, щоб визначити кількість допоміжних антен і де саме вони розташовані. Таким чином, просто число мініретрансляторів та їх розташування в міській забудові у більшості випадків виявляються недостатніми.

Перед запуском системи зв'язку необхідно оцінити умови поширення радіохвиль у зоні обслуговування, щоб зменшити вплив розглянутих ефектів на якість прийому сигналів. Це включає оптимізацію частотного діапазону, положення антен базових станцій, форму та розмір зони обслуговування, а також кількість і найбільш вірогідне положення затінених зон.

Розглянемо таку постановку задачі. Задайте форму зони обслуговування, а також її електрофізичні і географічні параметри. Тип приймача та передавача, який використовується в базових станціях, частотний діапазон приймача, чутливість приймача та вихідна потужність передавача є заздалегідь відомими. Більш того, чутливість приймача та потужність передавача мобільної станції вважаються заданими. Необхідно визначити кількість базових станцій і те, де вони розташовані в зоні обслуговування.

До того як приступити до вирішення проблеми розміщення базових станцій, потрібно спочатку визначити характеристики приймально-передавальних антен БС. Такі антени, як правило, не повинні мати орієнтацію в горизонтальній площині. Таким чином, вони можуть використовуватися як вертикальні решітки, так і поодинокі штирові антени. Зокрема, вертикальна решітка не завжди є оптимальною. Це пов'язано з тим, що коли коефіцієнт підсилення (КП) антени збільшується через звуження головної пелюстки у вертикальній площині, це може спричинити збільшення діаметра зони, в якій прийом є неможливим через низький рівень сигналу. Тип використовуваної антени та її КП можна визначити шляхом встановлення радіусу зони, яка обслуговується однією БС [10]:

$$P_{rec} = P_{trans} \frac{D_{rec} D_{trans}}{(4\pi R_{max})^2} \lambda^2, \quad (4.1)$$



де  $P_{rec}$  – це чутливість приймача;

$P_{trans}$  – це потужність передавача, що підводиться до передавальної антени;

$D_{rec}$  – це ККД прийомної антени;

$D_{trans}$  – це ККД передавальної антени;

$R_{max}$  – це відстань між приймальною і передавальною антенами;

$\lambda$  – це робоча довжина хвилі передавача.

Оскільки втрати фідерних ліній, ефективність антени, погодні умови та вплив урбаністичної забудови на умови поширення радіохвиль не враховуються, отримана оцінка радіуса зони, обслуговуваної базовою станцією, виявляється досить завищеною. Це можна врахувати шляхом зміни ступеня  $R_{max}^n$  в знаменнику (4.1). Як показано в [7], врахування згасання в стінах міських будівель збільшує  $n$  з 2 до 3,5-4. Таким чином, для розрахунків доцільно розраховувати радіус зони обслуговування базової станції таким чином:

$$R_{об} = 0,6R_{max}.$$

За радіусом зони обслуговування однієї станції, можна обрахувати її площу і оцінити потрібне число базових станцій за формулою:

$$N = INT(1,2 \times S_{об} / S_{об1}),$$

де  $S_{об}$  – це повна площа зони обслуговування;

$S_{об1} = \pi R_{об}^2$  – це площа зони, що обслуговується однією БС.

Це означає, що антена базової станції має форму кола та не має спрямованих властивостей у горизонтальній площині. Для врахування неминучого перекриття зон обслуговування використано коефіцієнт 1,2. Це необхідно для формування цільової функції, яка призначена для визначення найкращого розташування базових станцій. Потім можна перейти до вирішення питання про те, де вони будуть розташовані в зоні обслуговування. Генетичні алгоритми вико-

ристовуються для оптимізації розміщення [12]. Нові методи проектування антен були створені завдяки застосуванню методів еволюційного моделювання [4-6].

На першому етапі рішення використовується генератор випадкових чисел для створення початкової популяції рішень. Це дозволяє визначити положення  $N$  точок розміщення базових станцій відповідно до форми та площі зони обслуговування. Після цього неприйнятні рішення виключаються з набору рішень, щоб скоротити час розрахунків. Такі рішення застосовуються, коли більше 50% отриманих точок розміщення знаходяться на відстані не більше  $0,3 R_{об}$  від межі зони обслуговування. Ця умова виникає через необхідність підвищити ефективність планованої системи зв'язку. Неможливо забезпечити відсутність сигналу за межами загальної зони обслуговування завдяки круговій формі зони обслуговування окремої базової станції та довільній формі зони обслуговування всієї системи, що проектується. Після цього формують хромосоми, які потрібні генетичним алгоритмам для роботи.

Це досягається шляхом вибору ознак для формування генів, які відображають стану точки базової станції в зоні обслуговування. Такі координати це  $X_i$  і  $Y_i$  в прямокутній системі координат. Хоча висота точки розміщення базової станції над рівнем моря є важливою для роботи базової станції, її не можна змінити, коли використовується устаткування, випущене серійно. Тому інформація про висоту антени не включається в хромосому, а використовується для обчислення цільової функції. Після цього метод генетичних алгоритмів можна використовувати для вирішення проблеми. На рис. 4.9 показано алгоритм розв'язання задачі. У цьому випадку максимальна кількість поколінь називається  $I_{max}$ .

Формування цільової функції є важливою частиною вирішення поставленої задачі. Найпростіший спосіб вибрати її наступний:

$$O(S) = aS_{покр} - bS_{пер} - cS_{неос} - dS_{вих}, \quad (4.2)$$

де  $S_{\text{покp}}$  – це площа, котру покривають базові станції;

$S_{\text{пер}}$  – це площа взаємних перекриттів;

$S_{\text{неос}}$  – це неосвітлена площа;

$S_{\text{вих}}$  – це освітлена поверхня за межами зони обслуговування;

a, b, c, d – це вагові коефіцієнти.

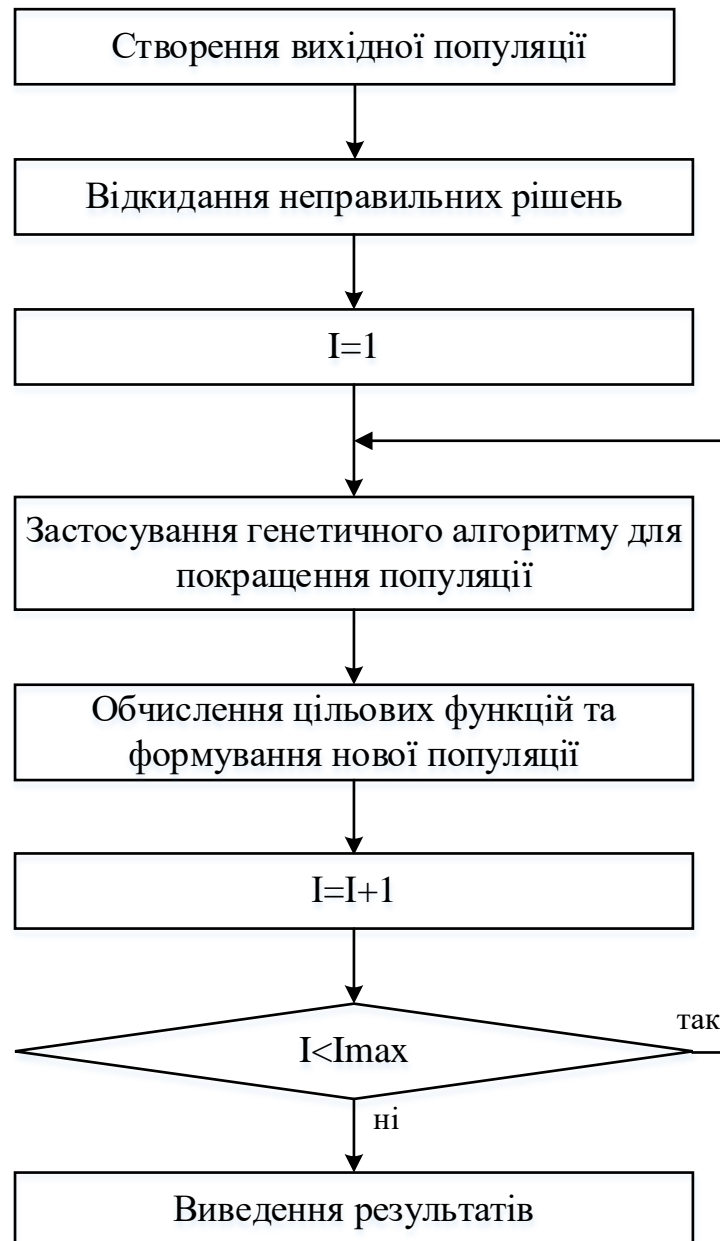


Рисунок 4.9 – Блок-схема генетичного алгоритму

Сенс зазначених величин розкривається на рис. 4.10.

Значення коефіцієнтів  $a$ ,  $b$ ,  $c$  і  $d$  можна змінити, щоб вплинути на розміщення базових станцій у зоні обслуговування. Коефіцієнт  $c$  повинен бути достатньо великим, щоб зменшити кількість додаткових мініретрансляторів. Збільшення площі перекриття між зонами обслуговування базових станцій при цьому не є значним. Крім того, важливо пам'ятати, що при круговій формі зони обслуговування однієї базової станції неможливо такого явища як уникнути перекриття зони, що призводить до нульового  $S_{пер}$ . Таким чином, наступна формула була запропонована для обчислення коефіцієнта  $c$ :

$$c = \begin{cases} 0, & S_{пер} / S_{покр} < 0,2; \\ 0,3 & S_{пер} / S_{покр} > 0,2. \end{cases} \quad (4.3)$$

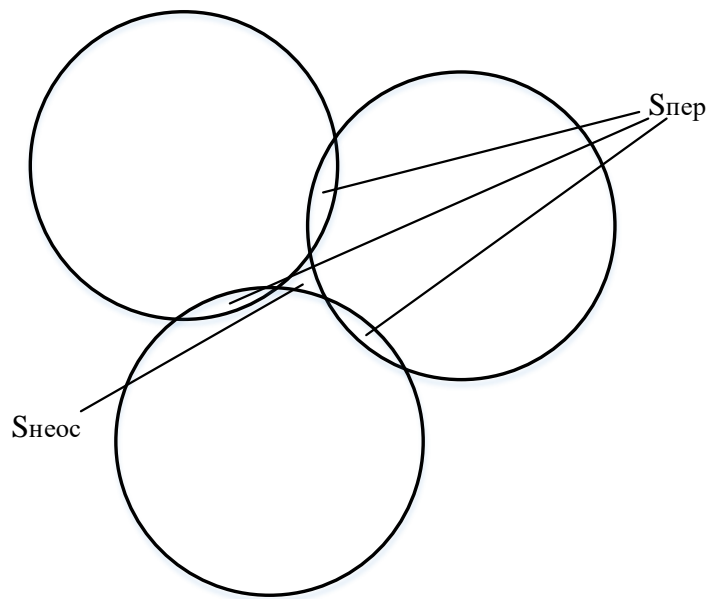


Рисунок 4.10 – Зони комірки системи мобільного зв'язку

Для обчислення коефіцієнта  $d$  також використовується аналогічна формула. Таку розрахункову формулу можна обґрунтувати тим, що будь-яка сервісна зона системи зв'язку, навіть якщо вона гексагональна, не може забезпечити нульову величину  $S_{вих}$  при кінцевому числі базових станцій.

В той же час, зауважимо, що прийняте рішення може використовуватися лише як попереднє. Завдяки використанню щогли та умовам прийому в точках

зони обслуговування можливість зміни висоти підвісу антени була прихована під час створення хромосоми. Врахування такої умови спричинить збільшення довжини хромосоми та часу розрахунку. Обчислення цільової функції значно ускладнюється, коли враховується наступна умова. Хоча її структура залишається незмінною, обчислення стають складнішими. Враховуючи географічні умови та структуру міської забудови, форма зони обслуговування базової станції відрізняється від кругової. Це ускладнить форму неосвітлених ділянок і зон взаємного перекриття, що збільшить час розрахунків. Врахування погодних умов збільшує об'єм обчислень. Радіус зони обслуговування з урахуванням тільки поверхні і погодних умов обчислюється так:

$$\begin{aligned} \dot{E}(P_n) &= \left[ \dot{E}^{n2} + \dot{E}^{e2} + 2\dot{E}^n \dot{E}^e \cos\beta \right]^{1/2} = \\ &= \frac{\sqrt{60P_\Sigma D_\Sigma}}{R_n} F(\theta) e^{-i\Phi} \times \end{aligned} \quad (4.4)$$

$$\times \left[ 1 + \left( \frac{R_1 \sin \theta_2}{R_2 \sin \theta_1} |R_B(\theta_0)| \right)^2 e^{-2i(\Phi'' - \Phi')} + \left( 2 \frac{R_1 \sin \theta_2}{R_2 \sin \theta_1} |R_B(\theta_0)| \right)^2 \cos \beta e^{-i(\Phi'' - \Phi')} \right]^{1/2},$$

де  $R_1$  і  $R_2$  – це відстані до точки спостереження поля,

$R_B$  – коефіцієнт відбиття електромагнітної хвилі від земної поверхні.

Розрахунки за формулою (4.2) статистичні та значно складніші, ніж за формулою (4.1). Але використання складних формул і уточнення положень базових станцій значно скорочує обсяг експериментальних робіт, необхідних для налаштування системи зв'язку з мобільними об'єктами.

## 5 ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ П'ЯТОГО ПОКОЛІННЯ

Впровадження системи стільникового зв'язку в міських умовах є досить складним завданням, яке повинно бути вирішено за декілька етапів.

Спочатку треба врахувати, що радіосигнал згасає та зазнає багаторазового перевідбиття. У місті буде багато базових станцій, і потрібно відслідковувати поширення радіохвиль від кожної з них у різних точках. У цьому випадку розглядається модель прямокутної міської забудови з головними горизонтальними вулицями та перпендикулярними їм провулками. Оптимізація, заснована на генетичному алгоритмі, використовується для визначення зони покриття як мінімум двох БС. Пропонується метод вирішення проблеми оптимального розташування БС мережі 5G на основі генетичного алгоритму.

Генетичний алгоритм, розроблений для вирішення проблеми знаходження оптимального положення БС, складається з наступних етапів:

1. Ініціалізація початкових параметрів.
2. Оцінка пристосованості хромосом у популяції (відстань до найближчої БС не повинна бути менше  $L_{\min}$  і перевищувати  $L_{\max}$ ).
3. Перевірка на межі дотику зон покриття умови достатнього рівня сигналу для прийому.
4. Селекція хромосом (вибір двох ближніх БС і побудова третьої, що відповідає перерахованим вище параметрам).
5. Приймаємо як батьківські БС та одну з її прабатьків, якщо її координати підійшли.

Використовуємо багатовимірну інтерполяцію, параметрами були координати «Х» першої та другої базових станцій, а також координати «У» мобільної станції.

Запропонований метод дозволяє використовувати уже декілька БС для пошуку оптимального розташування БС і розрахунку сигналу за оптимізованим алгоритмом.

У процесі розроблення генетичного алгоритму необхідно вирішити такі питання:

1. Визначити метод кодування даних у хромосоми.
2. Обґрунтувати такий метод створення початкової популяції генетичного алгоритму, котрий буде враховувати розподіл прогнозованого послаблення сигналу від кожної базової станції. У цьому випадку при формуванні хромосом БС поступово включається до конфігурації. На кожному етапі вірогідність включення до конфігурації окремої БС визначається за допомогою такої залежності:

$$p_r = \frac{c-1}{c^n-1} c^{n-r}; \quad r \in \{1, \dots, n\}$$

де  $r$  – номер базової станції,

$c$  – коефіцієнт ( $0 < c < 1$ ), котрий визначає ступінь стохастичності формування.

Коли  $c \rightarrow 0$ , дана процедура є евристикою, а коли  $c \rightarrow 1$ , це випадковий метод формування. Результати дослідження показали, що розроблений метод формування початкової популяції скорочує час пошуку рішення на 12% порівняно з «випадковим» методом формування.

Як правило, усі можливі місця устаткування БС вже визначені заздалегідь. Вони утворюють множину можливих місць установки БС з розміром  $l$  –  $S_{BC} = \{s_1, s_2, \dots, s_l\}$ .

Розбивши всю територію, де необхідно забезпечити задану якість зв'язку, на малі елементарні ділянки, отримаємо множину точок необхідного покриття (ТНП) розміром  $k$  –  $D_{ТНП} = \{d_1, d_2, \dots, d_k\}$ .

У матриці покриття  $C_{ij}$  число рядків  $l$  дорівнює числу можливих місць встановлення БС, а кількість стовпців  $k$  – числу точок покриття. Елемент матриці  $c_{ij}$  дорівнює "1" у випадку, коли можливо організувати радіоканалу від  $j$ -тої БС до  $i$ -тої ТНП з наперед заданою якістю і "0" – інакше.

Можливі варіанти розміщення БС подаються як вектор  $C_r = \{G_1, G_2, \dots, G_l\}$ , де елемент  $G_j = 1$  у випадку, якщо в потенційному місці установки  $s_j$  буде встановлена БС, і  $G_j = 0$  – якщо у потенційному місці установки  $s_j$  БС не буде встановлена.

Вектор  $K_{Cr}$ , відображає кількість БС з можливістю організації каналу до кожної  $i$ -тої ТНП і визначається так:

$$K_{Cr} = \{k_1, \dots, k_k\} = \left\{ \sum_{i_1=1}^l [Cv(i_1, 1) \cdot G_{i_1}], \dots, \sum_{i_k=1}^l [Cv(i_k, 1) \cdot G_{i_k}] \right\}. \quad (5.1)$$

Вибір методу формування початкової популяції має вирішальне значення для розробки генетичного алгоритму для визначення оптимальних місць розташування БС, оскільки це значно впливає на ефективність роботи ГА [10].

Відомі методи формування початкової популяції двійкових рядків  $C_r$ , котрі кодують рішення, є евристичними та випадковими. При випадковому методі хромосомні елементи  $C_r$  випадковим чином отримують значення із заданого алфавіту. Евристичні методи використовують евристику, щоб створити рядки, використовуючи наявну апріорну інформацію про тип задачі, що розглядається.

Особливістю цієї задачі є необхідність виконання такої умови для кожної згенерованої хромосоми:

$$k_m \geq a_{min}, \quad m = 1, \dots, k, \quad (5.2)$$

де  $a_{min}$  – це параметр, що відображає необхідний ступінь резервування радіоканалу.

В цьому випадку планування початкової популяції випадковим методом буде виглядати таким чином: окрема БС вводиться в конфігурацію із деякою заданою ймовірністю  $p_{BC}$ , від якої залежить математичне очікування кількості БС, тобто  $n_{bc} = l/p_{BC}$ . Після цього проводиться перевірка умови (5.2) для отри-



маної конфігурації. Якщо вона виконується, влі хромосома поміщається в початкову популяцію, інакше – вона відкидається. Доки не буде створена популяція  $R$  потрібного розміру процес триває. Цей метод займає час, необхідний для формування популяції:

$$t_R = R \cdot n_z (t_{Cr} + t_a) , \quad (5.3)$$

де  $t_{Cr}$  – це час генерування однієї хромосоми;

$t_a$  – це час, необхідний для перевірки умови ;

$n_z$  – це середня кількість генерацій для отримання хромосоми, що задовольняє умові .

Величина  $n_z$  знаходиться за формулою:

$$n_z = \frac{1}{P_K} , \quad (5.4)$$

де  $P_K$  – це ймовірність виконання умови.

Нехай для всіх БС ймовірність  $p_{tmp}$  організації радіоканалу до випадково вибраної ТНП буде постійною. Тоді ймовірність настання події  $k_m = a_{\min}$  визначається за формулою

$$P_{(k_m = a_{\min})} = \frac{n_{\delta c}!}{a_{\min}!(n_{\delta c} - a_{\min})!} \cdot p_{tmp}^{a_{\min}} (1 - p_{tmp})^{n_{\delta c} - a_{\min}} , \quad (5.5)$$

а ймовірність, що  $x_K \geq a_{\min}$  за формулою :

$$P_{(k_m \geq a_{\min})} = \sum_{i=a_{\min}}^{n_{\delta c}} \left( \frac{n_{\delta c}!}{i!(n_{\delta c} - i)!} \cdot p_{tmp}^i (1 - p_{tmp})^{n_{\delta c} - i} \right) . \quad (5.6)$$

Ймовірність виконання умови  $k_m \geq a_{\min}$  у всіх ТНП одночасно визначається за формулою:

$$P_K = [P_{(k_m \geq a_{\min})}]^k = \left[ \sum_{i=a_{\min}}^{n_{bc}} \left( \frac{n_{bc}!}{i!(n_{bc}-i)!} \cdot p_{tmp}^i (1-p_{tmp})^{n_{bc}-i} \right) \right]^k. \quad (5.7)$$

Нехай є задача розміщення базових станцій з розмірністю  $N_{tp} \times N_{ps} \times N_{types}$ , де  $N_{tp}$  – це число користувачів, кожного з яких треба підключити до БС,  $N_{ps}$  – це число місць, де можна установити БС,  $N_{types}$  – це число типів базових станцій, котрі відрізняються за своїми параметрами. Задача буде розв’язуватися деяким методом, яким визначається набором змінних керуючих параметрів  $\{\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_{npar}\}$ . Кожен із цих параметрів є елементом кінцевого набору:  $\chi_1 \in A_1$ ,  $\chi_2 \in A_2, \dots, \chi_{npar} \in A_{npar}$ .

$A_1, A_2, \dots, A_{npar}$  – це набір можливих значень параметрів, із яких здійснюється вибір.

Для конкретного алгоритма набір параметрів подається як хромосома (рис. 5.1).

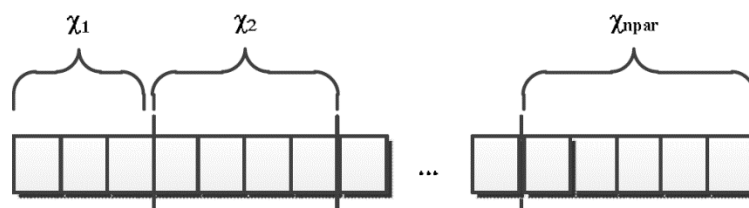


Рисунок 5.1 – Зображення алгоритму у вигляді хромосоми

Кожен біт на рис. 5.1 має значення 0 або 1. Хромосома складається із генів. У даному випадку генами будуть не окремі біти, а ділянки хромосом (на рис. 5.1 вони розділені вертикальними рисками). Тоді, кожен ген буде кодувати один з параметрів генетичного алгоритму. Таким чином, ген є деякою двійковою послідовністю біт. Позначимо ці числа як:  $z_1, z_2, \dots, z_{npar}$ . Оскільки кожна з

множин  $A_1, A_2, \dots, A_{npar}$  буде кінцевою, то будь-яку з цих множин можна розглядаємо як одномірний масив. Гени  $z_1, z_2, \dots, z_{npar}$  будуть кодувати позиції параметрів  $\{\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_{npar}\}$  у масивах  $A_1, A_2, \dots, A_{npar}$ .

Розглянемо конкретний приклад. Нехай хромосома має вигляд, поданий рис. 5.2.

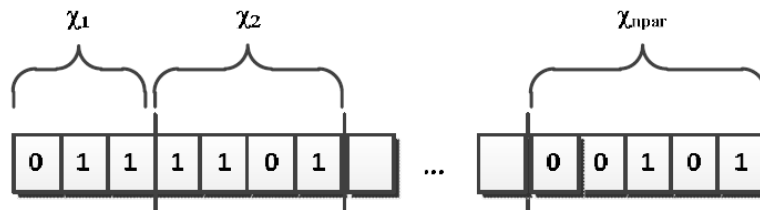


Рисунок 5.2 – Приклад хромосоми

Тоді маємо  $z_1 = 0112$ ,  $z_2 = 11012, \dots$ ,  $z_{npar} = 001012$ .

Ці числа переводяться в десяткову систему числення:  $z_1 = 3$ ,  $z_2 = 13$ , ...,  $z_{npar} = 5$ . Тобто, що наведена на рис. 5.2 хромосома відображає, що параметр  $\chi_1$  – це 4-й елемент масиву  $A_1$ , параметр  $\chi_2$  – це 14-й елемент вектора  $A_2$ , параметр  $\chi_{npar}$  – це 6-м елемент вектора  $A_{npar}$ .

Блок-схема пропонованого генетичного алгоритму подана на рис. 5.3.

Вхідні дані наведені у табл.5.1.

Таблиця 5.1 – Параметри поширення

Потужність передачі макро-БС	46дБм
Підсилення антени макро-БС	18дБі
Потужність передачі мікро-БС	30дБм
Підсилення антени мікро-БС	7дБі
Потужність передачі вузла	30дБм
Підсилення антени вузла	5дБі
Підсилення антени користувача	0дБі
Загальні втрати у кабелі	2дБ
Центральна частота	2,12ГГц



Рисунок 5.3 Блок-схема розробленого генетичного алгоритму

Досліджувана територія зображена на рис. 5.4. Червоні точки – можливе місце розташування макроБС, зелені точки – можливе місце розташування мікроБС, чорні точки – розташування контрольних вузлів, рожеві точки – розташування хотспотів. На рис. 5.5 зображено розташування базових станцій в результаті застосування генетичного алгоритму.

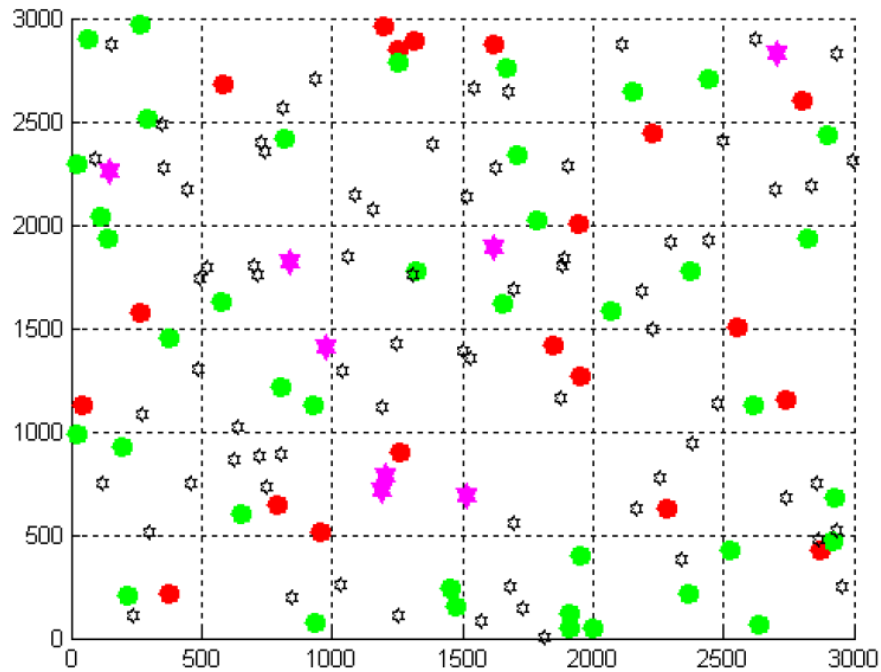


Рисунок 5.4 – Досліджувана територія

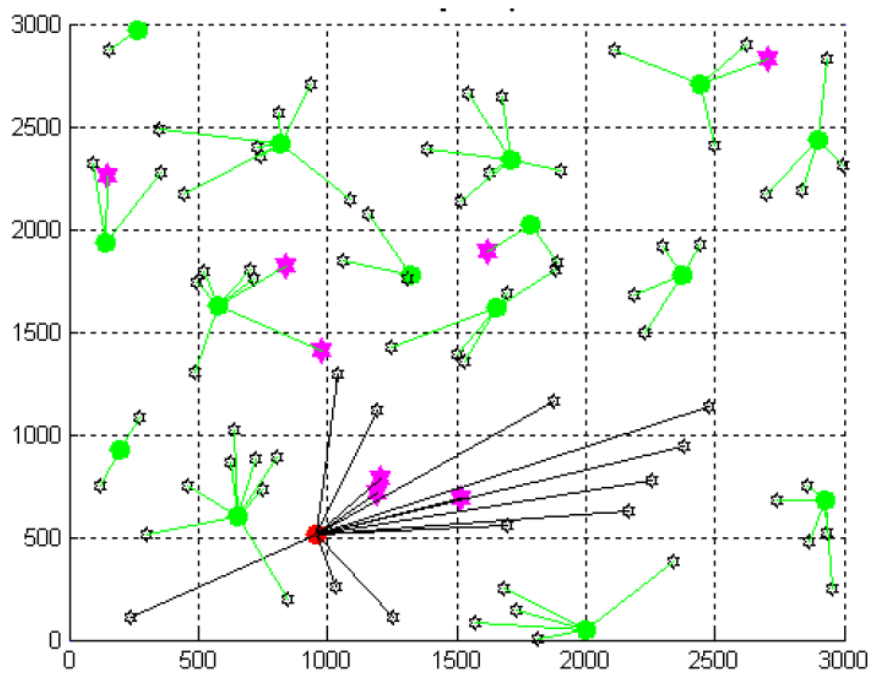


Рисунок 5.5. – Розташування базових станцій після використання генетичного алгоритму

На рис. 5.6, 5.7 представлені характеристики мережі при використанні генетичного алгоритму

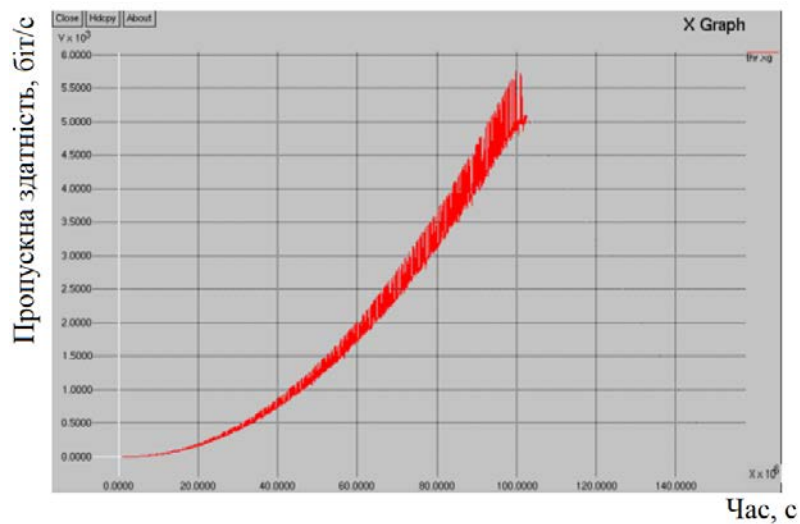


Рисунок 5.6 – Часова залежність пропускної здатності

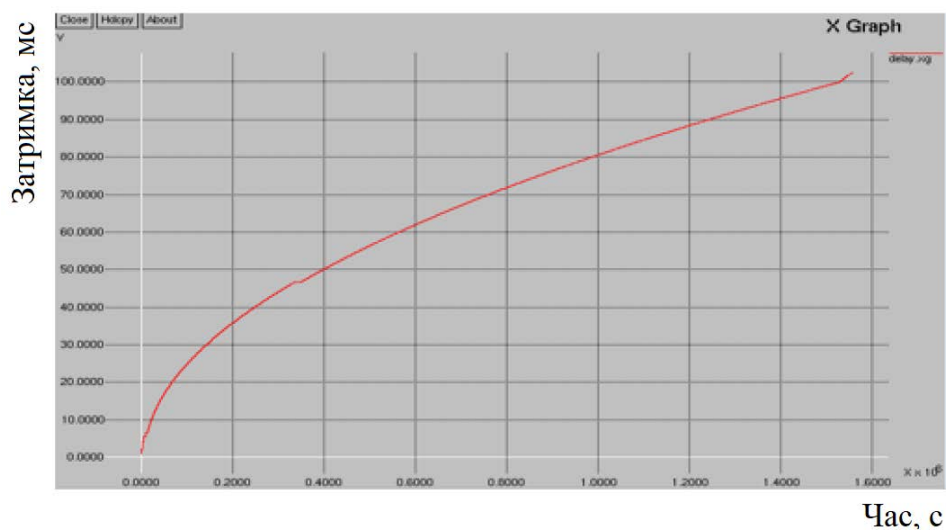


Рисунок 5.7 – Часова залежність затримки

## 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 «Дослідження особливостей планування топології мережі 5G» 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 «Дослідження особливостей планування топології мережі 5G» 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 (ПБ, 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	0	0	0
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	45	45	50
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)	0	0	0



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	0	0	0
Не нова	Отримано результат, який раніше зафіксований в інформаційному полі, та не був відомий авторам	0	0	0
Середнє значення балів експертів		46,7		

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	0	0	0
Глибоке опрацювання проблеми: багатоаспектний аналіз зв'язків, взаємозалежності між фактами з наявністю пояснень, наукової систематизації з побудовою евристичної моделі або комплексного прогнозу	66	64	65
Розробка способу (алгоритму, програми), пристрою, отримання нової речовини	0	0	0
Елементарний аналіз зв'язків між фактами та наявною гіпотезою, класифікація, практичні рекомендації для окремого випадку тощо	0	0	0
Опис окремих елементарних фактів, викладення досвіду, результатів спостережень, вимірювань тощо	0	0	0
Середнє значення балів експертів	65,0		

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 [28]:

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

де  $k_{\text{нов}}$ ,  $k_{\text{теор}}$  – показники ступеня новизни та рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи,  $k_{\text{нов}} = 46,7$ ,  $k_{\text{теор}} = 65,0$  балів;

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

$$E_{\text{нау}} = 0,6 \cdot k_{\text{нов}} + 0,4 \cdot k_{\text{теор}} = 0,6 \cdot 46,7 + 0,4 \cdot 65,00 = 54,00 \text{ балів.}$$

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 «Дослідження особливостей планування топології ме-

режі 5G», даний рівень становить 54,00 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 «Дослідження особливостей планування топології мережі 5G», 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 [28]:

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

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,  $T_p=21$  дні.

$$Z_o = 16110,00 \cdot 26 / 21 = 19945,71 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 6.4 – Витрати на заробітну плату дослідників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн
Керівник проекту	16110,00	767,14	26	19945,71
Науковий співробітник (фахівець дослідження топології мереж 5G)	15700,00	747,62	26	19438,10
Інженер-розробник телекомунікаційних систем і мереж	15650,00	745,24	26	19376,19
Всього				58760,00

#### Основна заробітна плата робітників

Витрати на основну заробітну плату робітників ( $Z_p$ ) за відповідними найменуваннями робіт НДР на тему «Дослідження особливостей планування топології мережі 5G» 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:

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

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) [28];

$K_c$  – 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  $T_p = 21$  дн;

$t_{zm}$  – тривалість зміни, год.

$$C_I = 6700,00 \cdot 1,10 \cdot 1,35 / (21 \cdot 8) = 59,22 \text{ грн.}$$

$$З_{pl} = 59,22 \cdot 6,00 = 355,34 \text{ грн.}$$

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
Встановлення допоміжного обладнання	6,00	2	1,10	59,22	355,34
Інсталяція програмного забезпечення	8,00	5	1,70	91,53	732,21
Встановлення мо-	4,00	5	1,70	91,53	366,11

дулів					
Монтаж імітаторів мереж	3,00	6	2,00	107,68	323,04
Формування бази даних результатів вимірювань	12,00	3	1,35	72,68	872,20
Підготовка приміщення	8,00	2	1,10	59,22	473,79
Всього					3122,68

Додаткова заробітна плата дослідників та робітників

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

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

де  $H_{\text{доп}}$  – норма нарахування додаткової заробітної плати. Прийmemo 12%.

$$Z_{\text{доп}} = (58760,00 + 3122,68) \cdot 12 / 100\% = 7425,92 \text{ грн.}$$

### 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:

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

де  $H_{\text{зн}}$  – норма нарахування на заробітну плату. Приймаємо 22%.

$$Z_n = (58760,00 + 3122,68 + 7425,92) \cdot 22 / 100\% = 15247,89 \text{ грн.}$$

### 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 «Дослідження особливостей планування топології мережі 5G».

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.

$$M_1 = 4,0 \cdot 164,00 \cdot 1,1 - 0 \cdot 0 = 721,60 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

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	164,00	4,0	0	0	721,60
Папір для записів А5	106,00	4,0	0	0	466,40
Диск оптичний (CD-R)	23,00	4,0	0	0	101,20
Органайзер офісний EGO-100BIC	155,00	4,0	0	0	682,00
Канцелярське приладдя	205,00	4,0	0	0	902,00
Картридж змінний Canon 216AF	931,00	2,0	0	0	2048,20
FLASH-пам'ять 64G	209,00	1,0	0	0	229,90
Всього					5151,30

#### 6.2.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі ( $K_e$ ), які використовують при проведенні НДР на тему «Дослідження особливостей планування топології мережі 5G», розраховуємо, згідно з їхньою номенклатурою, за формулою:

$$K_e = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j \quad (6.8)$$

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

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

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

$$K_e = 1 \cdot 5390,00 \cdot 1,1 = 3263,40 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.



Таблиця 6.7 – Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, грн	Сума, грн
Програмно-конфігуруєма мережа	1	5390,00	3263,40
Контролер Controller HD	1	3840,00	4224,00
Програмований комутатор Programmable switch DC90HrRT3	1	4205,00	4625,50
Маршрутизатор	1	4019,00	4420,90
Імітатор магістральної мережі	1	4699,00	5168,90
Всього			21702,70

### 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.

$$B_{\text{спец}} = 6800,00 \cdot 1 \cdot 1,05 = 7140,00 \text{ грн.}$$

Отримані результати зведемо до таблиці:

Таблиця 6.8 – Витрати на придбання спецустаткування по кожному виду

Найменування устаткування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Термінал (імітатор навантаження)	1	6800,00	7140,00
Термінал (імітатор приймача)	1	4250,00	4462,50
Всього			11602,50

### 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 засобів 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:

$$B_{\text{прог}} = \sum_{i=1}^k C_{\text{прог}} \cdot C_{\text{прог.}i} \cdot K_i, \quad (6.10)$$

де  $C_{\text{прог}}$  – 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.

$$B_{\text{прог}} = 5320,00 \cdot 1 \cdot 1,05 = 5586,00 \text{ грн.}$$

Отримані результати зведемо до таблиці:

Таблиця 6.9 – Витрати на придбання програмних засобів по кожному виду

Найменування програмного засобу	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Пакет Visual System Simulator	1	5320,00	5586,00
Пакет Microwave Office	1	6930,00	7276,50
Пакет Matlab 2020	1	5510,00	5785,50
Всього			18648,00

### 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.

$$A_{обл} = (37699,00 \cdot 2) / (4 \cdot 12) = 1570,79 \text{ грн.}$$

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'ютеризовані й програмно-аналітичний комплекс	37699,00	4	2	1570,79
Метрологічний комплекс	19260,00	4	2	802,50
Програмне забезпечення підтримки мереж	9600,00	4	2	400,00
Місце оператора спеціалізоване	7890,00	6	2	219,17
Офісна оргтехніка	8599,00	6	2	238,86
Дослідницька лабораторія	380000,00	25	2	2533,33
Всього				5764,65

### 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  $C_e = 7,50$  грн;

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

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

$$B_e = 0,12 \cdot 100,0 \cdot 7,50 \cdot 0,95 / 0,97 = 90,00 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

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	90,00
Контроллер Controller HD	0,01	100,0	7,50
Програмований комутатор Programmable switch DC90HrRT3	0,02	100,0	15,00
Маршрутизатор	0,02	100,0	15,00
Імітатор магістральної мережі	0,02	100,0	15,00
Термінал (імітатор навантаження)	0,05	60,0	22,50
Термінал (імітатор приймача)	0,03	60,0	13,50
Комп'ютеризований програмно-аналітичний комплекс	0,56	220,0	924,00
Метрологічний комплекс	0,42	200,0	630,00
Всього			1732,50

### 6.2.9 Службові відрядження

До статті «Службові відрядження» дослідної роботи на тему «Дослідження особливостей планування топології мережі 5G» 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 машин та приладів, а також витрати на відрядження на наукові з'їзди, конференції, наради, пов'язані з виконанням конкретних досліджень.

Витрати за статтею «Службові відрядження» відсутні.

### 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» відсутні.

### 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:

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

де  $H_{ig}$  – норма нарахування за статтею «Інші витрати», приймемо  $H_{ig} = 50\%$ .

$$I_g = (58760,00 + 3122,68) \cdot 50 / 100\% = 30941,34 \text{ грн.}$$

### 6.2.12 Накладні (загально виробничі) витрати

До статті «Накладні (загально виробничі) 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 (загально виробничі) витрати» розраховуємо як 100...150% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

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

де  $H_{нзв}$  – норма нарахування за статтею «Накладні (загально виробничі) витрати», прийmemo  $H_{нзв} = 100\%$ .

$$B_{нзв} = (58760,00 + 3122,68) \cdot 100 / 100\% = 61882,68 \text{ грн.}$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Дослідження особливостей планування топології мережі 5G» розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою:

$$B_{заг} = Z_o + Z_p + Z_{доп} + Z_n + M + K_v + B_{спец} + B_{прз} + A_{обл} + B_e + B_{св} + B_{сп} + I_v + B_{нзв}. \quad (6.15)$$

$$B_{заг} = 58760,00 + 3122,68 + 7425,92 + 15247,89 + 5151,30 + 21702,70 + 11602,50 + 18648,00 + 5764,65 + 1732,50 + 0,00 + 0,00 + 30941,34 + 61882,68 = 241982,16 \text{ грн.}$$

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

$$ZB = \frac{B_{заг}}{\eta}, \quad (6.16)$$

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

$$ZB = 241982,16 / 0,9 = 268869,07 \text{ грн.}$$

### **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 «Дослідження особливостей планування топології мережі 5G» 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:

$$K_p = \frac{I^n \cdot T_c \cdot R}{B \cdot t}, \quad (6.17)$$

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



$n$  – 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  $n=2$ ;

$T_C$  – коефіцієнт складності роботи. Прийmemo  $T_C = 2$ ;

$R$  – 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  $R = 3$ ;

$B$  – вартість науково-дослідної роботи, тис. грн. Прийmemo  $B = 268869,07$  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 [28].

$$K_p = \frac{I^n \cdot T_C \cdot R}{B \cdot t} = 4^2 \cdot 2 \cdot 3 / 268,9 \cdot 0,17 = 2,14.$$

Якщо  $K_p > 1$ , то науково-дослідну роботу на тему «Дослідження особливостей планування топології мережі 5G» можна вважати ефективною з високим науковим, технічним і економічним рівнем.

#### 6.4 Висновок до розділу 4

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Дослідження особливостей планування топології мережі 5G» складають 268869,07 грн. Відповідно до проведеного аналізу та розрахунків рівень наукового ефекту проведеної науково-дослідної роботи на тему «Дослідження особливостей планування топології мережі 5G» є середній, а дослідження актуальними, рівень доціль-

ності 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**

Постійний розвиток, удосконалення виробництва, новації – все це великий крок на шляху до розвинутої держави. На сьогодні постає необхідність покращення стану охорони праці в Україні шляхом вдосконалення і поліпшення умов праці, знищення виробничого травматизму, удосконалення управління працею, покращення нагляду та контролю за дотриманням законодавства про працю України. Це все дуже важливо, враховуючи те, що покращення стану здоров'я, поліпшення умов праці – це запорука активності та професійного розвитку, а це в свою чергу – розвиток суспільства.

Охорона праці має за мету забезпечити здоров'я працівників від виробничого впливу негативних факторів і небезпеки. Здорові умови праці зберігають сили працівників, сприяють високій продуктивності праці. Разом із тим здорові умови праці убезпечують працівників від перевтоми, що сприяє їх активному способу життя і соціальній активності.

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори [29] мали вплив на працівника під час дослідження особливостей планування топології мережі 5G активного типу наступні:

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

Відповідно до визначених факторів формуємо рекомендації щодо безпечних умов праці під час виконання роботи.

## 7.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

При організації робочого місця під час Дослідження особливостей планування топології мережі 5G повинні бути дотримані наступні основні умови:

- оптимальне розміщення обладнання, що входить до складу робочого місця;
- достатній робочий простір, що дозволяє здійснювати всі необхідні рухи і переміщення;
- необхідно природне і штучне освітлення для виконання поставлених завдань;
- рівень акустичного шуму не повинен перевищувати допустимого значення [30].

Площа приміщень, у яких розміщуються ПК, визначається відповідно до діючих нормативних документів з розрахунку на одне робоче місце, обладнане ПК: площа - не менш  $6,0 \text{ м}^2$ , об'єм – не менш  $20,0 \text{ м}^3$ , з урахуванням максимальної кількості осіб, що одночасно працюють у зміні [31].

При проектуванні письмового столу варто враховувати наступне:

- висота столу повинна бути вибрана з урахуванням можливості сидіти вільно, у зручній позі, при необхідності спираючись на підлокітники;
- нижня частина столу повинна бути сконструйована так, щоб проектувальник міг зручно сидіти, не був змушений підтискати ноги;
- поверхня столу повинна мати властивості, що виключають появу відблисків у полі зору працівника;
- конструкція столу повинна передбачати наявність висувних ящиків (не менше 3 для зберігання документації, канцелярського приладдя, особистих речей).

Параметри робочого місця вибираються відповідно до антропометричними характеристиками. При роботі в положенні сидячи рекомендуються такі параметри робочого простору:

- ширина не менше 700 мм;

- глибина не менше 400 мм;
- висота робочої поверхні столу над статтю 700-750 мм.

Оптимальними розмірами столу є:

- висота 710 мм;
- довжина столу 1300 мм;
- ширина столу 650 мм.

Під робочою поверхнею повинно бути передбачено простір для ніг:

- висота не менше 600 мм;
- ширина не менше 500 мм;
- глибина не менше 400 мм.

Необхідно передбачати при проектуванні можливість різного розміщення документів: збоку від ПК, між монітором і клавіатурою і т.п. Крім того, у випадках, коли ПК має низьку якість зображення, наприклад помітні мигтіння, відстань від очей до екрану роблять більше (біля 700мм), ніж відстань від ока до документа (300-450мм). Взагалі при високій якості зображення на ПК відстань від очей користувача до екрану, документа і клавіатури може бути рівним.

Створення сприятливих умов праці і правильне естетичне оформлення робочих місць на виробництві має велике значення як для полегшення праці, так і для підвищення його привабливості, позитивно впливає на продуктивність праці. Фарбування приміщень і меблів повинна сприяти створенню сприятливих умов для зорового сприйняття, гарного настрою. У службових приміщеннях, у яких виконується одноманітна розумова робота, що потребує значної нервової напруги і великого зосередження, фарбування повинна бути спокійних тонів - малонасичених відтінків холодного зеленого або блакитного кольорів.

Нехтування елементарними правилами організації робочого місця оператора ПК призводить до значної напруги зорового аналізатора та появу скарг на незадоволеність роботою, головного болю, дратівливості, порушення сну, втомлюваності та больового відчуття в області поясниці, шиї, рук, порушенні тону судин, дистонії.

В приміщенні, де виконувалася робота використовується чотири провідна трифазна електромережа з заземленим нульовим проводом. Величина напруги цієї мережі становить 380 х 220В (фазна напруга (фаза – «0») – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В).

Категорія умов з небезпеки електротравматизму – без підвищеної небезпеки, оскільки чинники підвищеної небезпеки та особливої небезпеки відсутні [32].

Захисні заходи, які використовують в електроустановках умовно можна поділити на дві групи: ті, що забезпечують безпеку при нормальному режимі роботи електроустановок і ті, що забезпечують безпеку при аварійному режимі роботи.

Для запобігання електротравмам у приміщенні здійснюються:

- 1) ізоляція нормально струмоведучих елементів електроустановки відповідно з вимогами нормативів;
- 2) захисне заземлення із використанням природних заземлювачів;
- 3) систематичне проведення інструктажу з електробезпеки;
- 4) суворе дотримання правил електробезпеки на робочому місці.

Обслуговування, ремонт і налагодження ПК, вузлів і блоків ПК повинні виконуватися в окремому приміщенні (майстерні). Підлога всієї зони обслуговування, ремонту й налагодження ПК, вузлів і блоків ПК повинна бути покрита діелектричними килимками, строк використання яких після їхнього випробування на електричну міцність не минув, або ізолюючими підстилками (шириною не менш 0,75-0,8м) для ніг.

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

### **7.2.1 Мікроклімат**

Мікроклімат виробничих приміщень – це клімат внутрішнього середовища цих приміщень, який визначається діючими організм людини поєднання-

ми температури, вологості і швидкості руху повітря, а також температури навколишніх поверхонь.

Метеорологічні умови робочої середовища (мікроклімат) впливають на процес теплообміну і характер роботи. Тривалий вплив на людину несприятливих метеорологічних умов різко погіршує його самопочуття, знижує продуктивність праці і призводить до захворювань.

Висока температура повітря сприяє швидкій стомлюваності працюючого, може призвести до перегрівання організму, теплового удару. Низька температура повітря може викликати місцеве або загальне охолодження організму, може стати причиною простудного захворювання або обмороження.

За енерговитратами робота проектувальника, згідно Гігієнічної класифікація праці [5] відноситься до категорії I б. Нормовані значення параметрів мікроклімату для цієї категорії наведені в табл.7.2.1

Таблиця 7.2.1 - Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні з категорією робіт I б

Період року	Допустимі		
	t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	22-28	40-60	0,1-0,3
Холодний	20-24	75	0,2

Для забезпечення допустимого значення параметрів необхідно надати можливість індивідуального регулювання роздачі повітря в приміщеннях шляхом встановлення кондиціонерів. Крім того, в приміщенні встановлена загальна система опалення та систематично здійснюється вологе прибирання.

### 7.2.2 Склад повітря робочої зони

У виробництві природні (фонові) параметри повітря додатково забруднюються викидами різних технологічних процесів (в основному при спалюванні палива, термічній і механічній обробці матеріалів, хімічних процесах). Запи-

леність повітря не повинна перевищувати вимог, викладених у ДСН 3.3.6.042-99 [34]. Джерелами запиленості повітря в приміщенні є одяг людей і пил, що проникає з вулиці. ГДК шкідливих речовин, які знаходяться в приміщенні, наведені в таблиці 7.2.2.

В процесі роботи ПК змінюється концентрація іонів у повітрі робочої зони. Допустимі рівні іонізації повітря наведені в таблиці 7.2.3.

Таблиця 7.2.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі

Назва речовини	ГДК, мг/м <sup>3</sup>		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4
Озон	0,16	0,03	4

Таблиця 7.2.3 – Рівні іонізації повітря приміщень при роботі на ПК

Рівні	Кількість іонів в 1 см <sup>3</sup>	
	n+	n-
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально необхідні	50000	50000

Нормалізуючий вплив на аероіонний склад повітря робочої зони забезпечують: вентиляція, систематичне провітрювання приміщення та застосування іонізаторів.

### 7.2.3 Виробниче освітлення

Приміщення, в яких встановлені персональні комп'ютери, повинні мати природне та штучне освітлення відповідно до вимог.

Природне освітлення має здійснюватись через світлові прорізи, орієнтовані переважно на північ чи північний схід і забезпечувати коефіцієнт природною освітленості (КПО) не нижче ніж 1,5%.



Штучне освітлення в приміщеннях з робочими місцями має здійснюватися системою загального рівномірного освітлення. У разі переважної роботи з документами, допускається застосування системи комбінованого освітлення (крім системи загального освітлення додатково встановлюються світильники місцевого освітлення).

Як джерела світла в разі штучного освітлення мають застосовуватись переважно люмінесцентні лампи типу ЛБ. Допускається застосування ламп розжарювання у світильниках місцевого освітлення. Система загального освітлення має становити суцільні або переривчасті лінії світильників, розташовані збоку від робочих місць (переважно ліворуч), паралельно лінії зору працюючих.

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО (для III пояса світлового клімату) при природному та сумісному освітленні під час автоматизації побудови тезарусу зазначені у таблиці 7.2.4:

Таблиця 7.2.4 - Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, ЛК		КПО, $e_n$ , %			
						Штучне освітлення		Природне освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове
Дуже високої точності	Від 0,15 до 0,3	II	г	великий	світлий	1000	300	7	2,5	4,2	1,5

Природне освітлення в приміщенні забезпечується через вікна, орієнтовані на схід, які оснащені регульовальними жалюзіями.

#### 7.2.4 Виробничий шум

Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є ДСН 3.3.6.037-99 [35]. допустимі рівні шуму на робочому місці проектувальника наведені в таблиці 7.2.5.

Таблиця 7.2.5 - Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Будівельно-акустичні методи захисту від шуму передбачені будівельними нормами і правилами це:

- ущільнення по периметру отворів вікон і дверей;
- використання звукопоглинаючого облицювання.

Устаткування, що становить джерело шуму, слід розташовувати поза приміщеннями, де знаходяться робочі місця. Для забезпечення допустимих рівнів шуму на робочих місцях слід застосовувати засоби звукопоглинання, вибір яких має обґрунтовуватись спеціальними інженерно-акустичними розрахунками

#### 7.2.6 Виробничі випромінювання

Електромагнітні поля негативно впливають на організм людини, яка безпосередньо працює з джерелом випромінювання, а також на населення, яке мешкає поблизу джерел випромінювання. У результаті дії ЕМП на людину можливі гострі та хронічні форми порушення фізіологічних функцій організму. Ці

порушення виникають в результаті дії електричної складової ЕМП на нервову систему, а також на структуру кори головного та спинного мозку, серцево-судинної системи.

Джерелом електромагнітних випромінювань на робочому місці проєктувальника є ПК. Допустимі рівні випромінювань моніторів ПК дослідника [36] наведені в таблиці 7.2.6.

Таблиця 7.2.6 - Допустимі рівні випромінювань моніторів ПК

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

Для захисту працівника від електромагнітних випромінювань доцільно використовувати тільки техніку, яка має сертифікат якості та дотримуватися встановленого режиму роботи за ПК.

### 7.3 Пожежна безпека

Пожежі в приміщеннях з оргтехнікою становлять особливу небезпеку, бо поєднані з великими матеріальними збитками. Пожежа може виникнути при взаємодії горючих речовин і джерел запалювання. Горючими речовинами є будівельні та опоряджувальні матеріали, пластмасові корпуси техніки, шнури тощо. Джерелами запалювання можуть бути електронні схеми комп'ютерів, принтерів, пристроїв електроживлення, де внаслідок різних порушень виникає пере-

грівання елементів, утворюються електричні іскри та дуги, здатні спричинити займання горючих матеріалів.

Приміщення, у якому відбувається дослідження особливостей планування топології мережі 5G [37] відноситься до категорії В, класу П-Па по пожежонебезпеці. До цієї зони відносяться приміщення, у яких використовуються тверді чи волокнисті речовини, нездатні переходити в зважений стан. У приміщенні є пальні речовини: волокнисті (папір), тверді (дерево) пластмаси.

#### **7.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях. Дослідження безпеки роботи в умовах дії загрозливих факторів надзвичайних ситуацій**

##### **7.4.1 Дія вогню на будівлі виробничих приміщень під час пожежі.**

Пожежа на підприємствах являє собою серйозну небезпеку та вважається важливою причиною нещасних випадків, спричиняє величезний матеріальний збиток.

Пожежа являє собою неконтрольований процес горіння, що супроводжується знищенням матеріальних цінностей та створює небезпеку для життя людей.

Небезпечними факторами при пожежі є: відкритий вогонь та іскри; підвищена температура повітря, предметів і т.п.; дим; обвал та ушкодження будинків, споруд; вибухи.

Аналіз пожеж показує, що рівень гранично допустимих чинників пожежі виникає через 5-10 хв з початку пожежі, несучу здатність будівельні металеві конструкції втрачають через 10-15 хв, а середній час початку ефективних дій пожежних підрозділів становить 20-25 хв.

Пожежну небезпеку посилює зростання концентрації горючих речовин і матеріальних цінностей, що припадає на одиницю площі будівель (пожежне навантаження), що призводить до дуже високого рівня їх пожежної небезпеки.

Тяжкість наслідків від пожеж значною мірою зумовлена недостатньою захищеністю будівель та споруд системами автоматичного протипожежного захисту та їх некваліфікованим обслуговуванням.

Причиною зростання кількості жертв та матеріальних збитків на пожежах стає те, що технічна оснащеність пожежної охорони значно відстає від сучасних вимог і недостатньо укомплектована засобами рятування людей та засобами пожежогасіння.

Втрати від пожеж визначаються сукупністю видів збитків від них. Втрати на пожежах пов'язані з прямими, побічними, соціальними та екологічними збитками [37].

#### 7.4.2 Розрахункове обґрунтування визначення категорії вибухупожежної небезпеки приміщення

Вихідні дані: розміри приміщення (м):  $15 \times 11 \times 3,5$ . Об'єм розлитої легкозаймистої рідини  $F_B = 14$  л. Тривалість надходження легкозаймистих рідин в об'єм приміщення  $T = 3600$  с.

Знайдемо масу парів легкозаймистої рідини, які можуть потрапити у приміщення у результаті аварії

$$m = WF_B T \text{ [кг]}, \quad (7.1)$$

де  $W$  – інтенсивність випаровування,  $\text{кг/с}\cdot\text{м}^2$  ( $W = 0,14 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}\cdot\text{м}^2$ );

$F_B$  – об'єм розлитої легкозаймистої рідини, л;

$T$  – тривалість надходження легкозаймистих рідин в об'єм приміщення, с.

Визначаємо можливий надлишковий тиск вибуху

$$\Delta p = (p_{\max} - p_0) \frac{mz}{V_{\text{вн}} \rho_{\text{Г.П}}} \cdot \frac{100}{C_{\text{СТ}}} \cdot \frac{1}{K_H} \text{ [кПа]}, \quad (7.2)$$

де  $p_{max}$  – максимальний тиск вибуху, кПа ( $p_{max} = 900$  кПа);

$p_0$  – початковий тиск, кПа ( $p_0 = 101$  кПа);

$z$  – коефіцієнт, що характеризує ступінь участі речовини в утворенні вибухонебезпечної суміші ( $z = 0,3$  для легкозаймистих рідин, що нагріті до температури спалаху і вище);

$V_{вил}$  – вільний об'єм приміщення, м<sup>3</sup>;

$\rho_{г.п}$  – густина пари або газу, кг/м<sup>3</sup> ( $\rho_{г.п} = 1,6$  кг/м<sup>3</sup> для етилового спирту);

$C_{ст}$  – стехіометрична концентрація парів, % ( $C_{ст} = 6,44$  %);

$K_n$  – коефіцієнт, що враховує негерметичність приміщення і недіабатичність процесу горіння ( $K_n = 3$ ).

Вільний об'єм приміщення можна визначити так

$$V_{вил} = 0,8V \text{ [м}^3\text{]}, \quad (7.3)$$

де  $V$  – загальний об'єм приміщення, м<sup>3</sup>.

Загальний об'єм приміщення знайдемо за формулою

$$V = abh \text{ [м}^3\text{]}, \quad (7.4)$$

де  $a, b, h$  – довжина, ширина та висота приміщення відповідно, м.

Після підстановки відомих значень у формули (7.1, 7.4, 7.3, 7.2) отримаємо:

$$m = 0,14 \cdot 10^{-3} \cdot 14 \cdot 3600 = 7,056 \text{ (кг)};$$

$$V = 15 \cdot 11 \cdot 3,5 = 577,5 \text{ (м}^3\text{)};$$

$$V_{вил} = 0,8 \cdot 577,5 = 462 \text{ (м}^3\text{)};$$

$$\Delta p = (900 - 101) \frac{7,056 \cdot 0,3}{462 \cdot 1,6} \cdot \frac{100}{6,44} \cdot \frac{1}{3} = 11,8429 \text{ (кПа)}.$$

Оскільки можливий надлишковий тиск вибуху парів легкозаймистої рідини  $\Delta p > 5$  кПа, а температура спалаху  $t_{cn} < 28$  °С, то за вибухопожежною небезпекою приміщення належить до категорії А.

Таким чином, було визначено, що за вибухопожежною небезпекою приміщення належить до категорії А.

## ВИСНОВКИ

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

Згідно з аналізом досліджень, низькі діапазони 700 МГц і високі діапазони 3,4-3,8 ГГц є найбільш перспективними для впровадження 5G в Україні. Розгортання мережі 5G в Україні варто здійснювати разом із методом динамічного розподілу спектру, особливо в поєднанні з використанням технології нейтральності частотного ресурсу.

Також у роботі показано, що розподіл частотного ресурсу та отримання ліцензій операторами мобільного зв'язку є двома основними перешкодами на шляху впровадження мереж 5G в Україні. Зокрема, процес звільнення частот, який наразі виконують військові та провайдери супутникового телебачення, є важливим фактором. Так як версія 15 стандарту 5G передбачає використання на частотах до 52,6 ГГц міліметрового діапазону зі смугами каналів до 800 МГц, важливо пам'ятати, що сигнали на цих частотах стають більш чутливими до внесених спотворень, що вимагає особливої уваги при виборі обладнання.

Проаналізовано характеристики планування мереж 5G. Таким чином, найбільш прийнятним сценарієм початкового розгортання мережі 5G в Україні буде сценарій щільної міської багатоповерхової забудови. Це пов'язано з тим, що встановлення базових передавальних станцій варто починати в місцях, де мережа 4G вже перевантажена, наприклад, в центрах великих міст.

У роботі розглянуто метод оптимального розміщення базових станцій. Цей метод підходить для задач великої розмірності, при цьому враховуються втрати при поширенні сигналу в каналі зв'язку. Генетичні алгоритми були обрані як технологія оптимізації, оскільки вони демонструють хороший баланс між точністю та часом рішення для подібних завдань розміщення.



Згідно запропонованого рішення використовується генератор випадкових чисел для створення початкової популяції можливих розв'язків задачі. Це дозволяє визначити положення точок розміщення базових передавальних станцій відповідно до форми та площі зони обслуговування. Після цього неприйнятні рішення виключаються з набору рішень, щоб скоротити час обчислення. Ця умова вводиться, щоб підвищити ефективність планованої системи зв'язку. Після цього слід сформувані хромосоми, які потрібні генетичним алгоритмам для роботи. Це досягається шляхом вибору ознак для формування генів, які відповідають стану точки розміщення базової станції у зоні обслуговування. Після цього можна використовувати метод генетичних алгоритмів для вирішення проблеми.

У порівнянні з використанням алгоритмів зі значеннями параметрів «за замовчуванням» використання запропонованого методу для вирішення задачі планування безпроводної мережі дозволяє значно поліпшити результати.

В економічній частині роботи були розраховані витрати на проведення досліджень та проведена оцінка важливості та наукової значимості роботи

В розділі "Безпека життєдіяльності" проаналізовані умови праці в лабораторії для досліджень, виконано організаційно-технічні та санітарно-гігієнічні 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". Радіоелектроніка 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. // Радиоелектроника и информатика=Radioelectronics & informatics : научный журнал Харьковского национального университета радиоелектроники. – 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 Mo-

- 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. Скобцов Ю.О. Основи еволюційних обчислень.- Навчальний посібник.- Донецьк: ДонНТУ, 2008.-326с.
27. Калініна І. В. Використання генетичних алгоритмів в задачах оптимізації / І. В. Калініна, О. І. Лісовиченко // Адаптивні системи автоматичного управління. - 2015. - № 1. - С. 48-61.
28. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.
29. ДСТУ OHSAS 18002:2015. Системи управління гігієною та безпекою праці. Основні принципи виконання вимог OHSAS 18001:2007 (OHSAS 18002:2008, IDT). К. : ГП «УкрНИУЦ», 2016. 21 с
30. ДСТУ ISO 9241-3-2001 Ергономічні вимоги до роботи з відеотерміналами в офісі. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: [http://www.dnaop.com/html/3075/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3\\_ISO\\_9241-3-2001](http://www.dnaop.com/html/3075/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3_ISO_9241-3-2001)
31. НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. URL: [http://sop.zp.ua/norm\\_praop\\_0\\_00-7\\_15-18\\_01\\_ua.php](http://sop.zp.ua/norm_praop_0_00-7_15-18_01_ua.php).
32. Правила улаштування електроустановок. URL: <http://www.energiy.com.ua/PUE.html>. 34

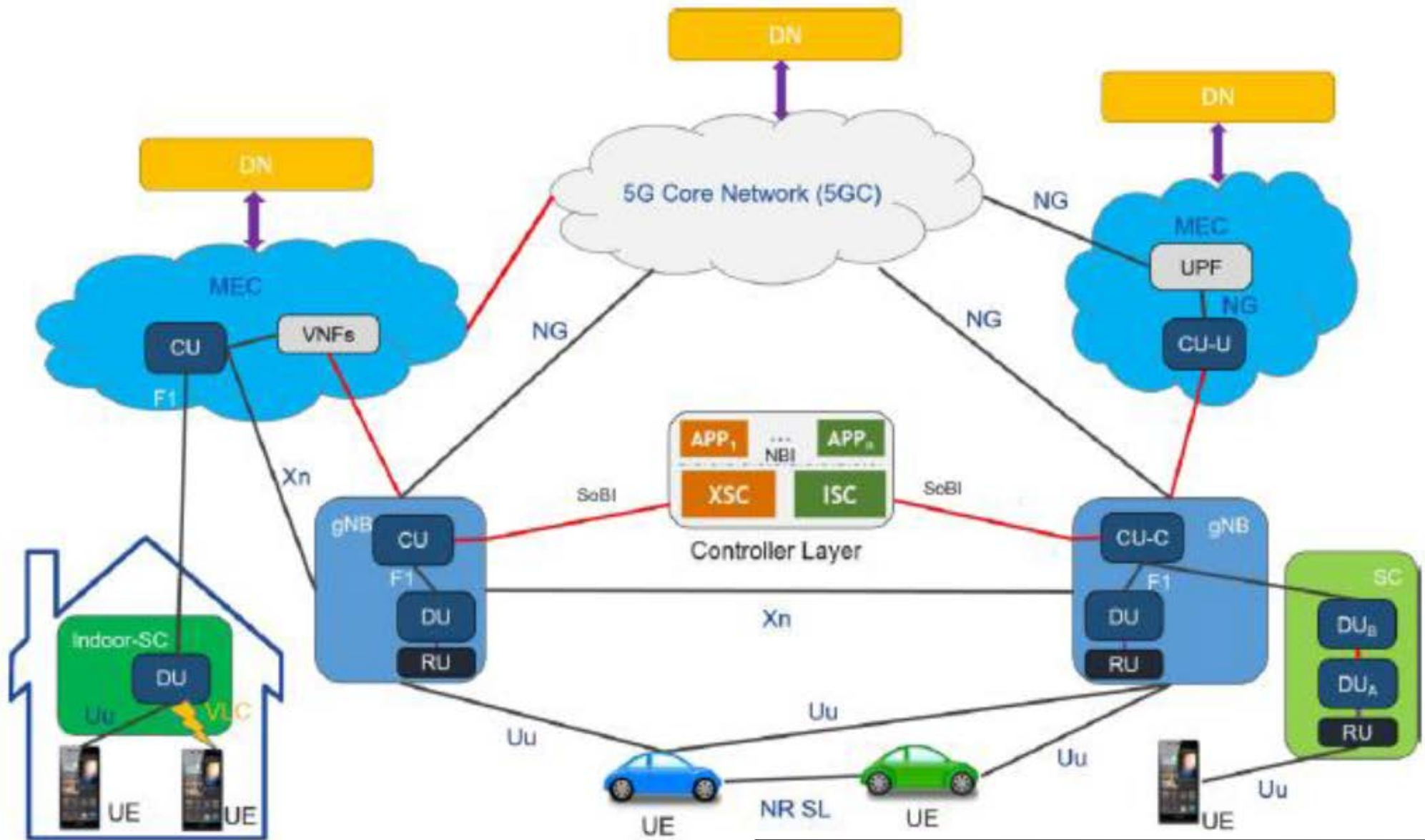
33. Гігієнічна класифікація праці (за показниками шкідливості і небезпеки факторів виробничого середовища від 12.08.1986 № 4137-86. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/v4137400-86>
34. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>
35. 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>
36. Про мінімальні вимоги безпеки при роботі з дисплейним обладнанням: 90/270/ЕЭС. Брюссель : Рада Європейських співтовариств, 1990. URL: <http://docs.pravo.ru/document/view/32704903/>
37. Методичні вказівки до самостійної та індивідуальної роботи з дисципліни "Цивільний захист та охорона праці в галузі. Частина 1. Цивільний захист" / Уклад. О. В. Поліщук, О. В. Березюк, М. С. Лемешев. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 32 с.

## ДОДАТКИ

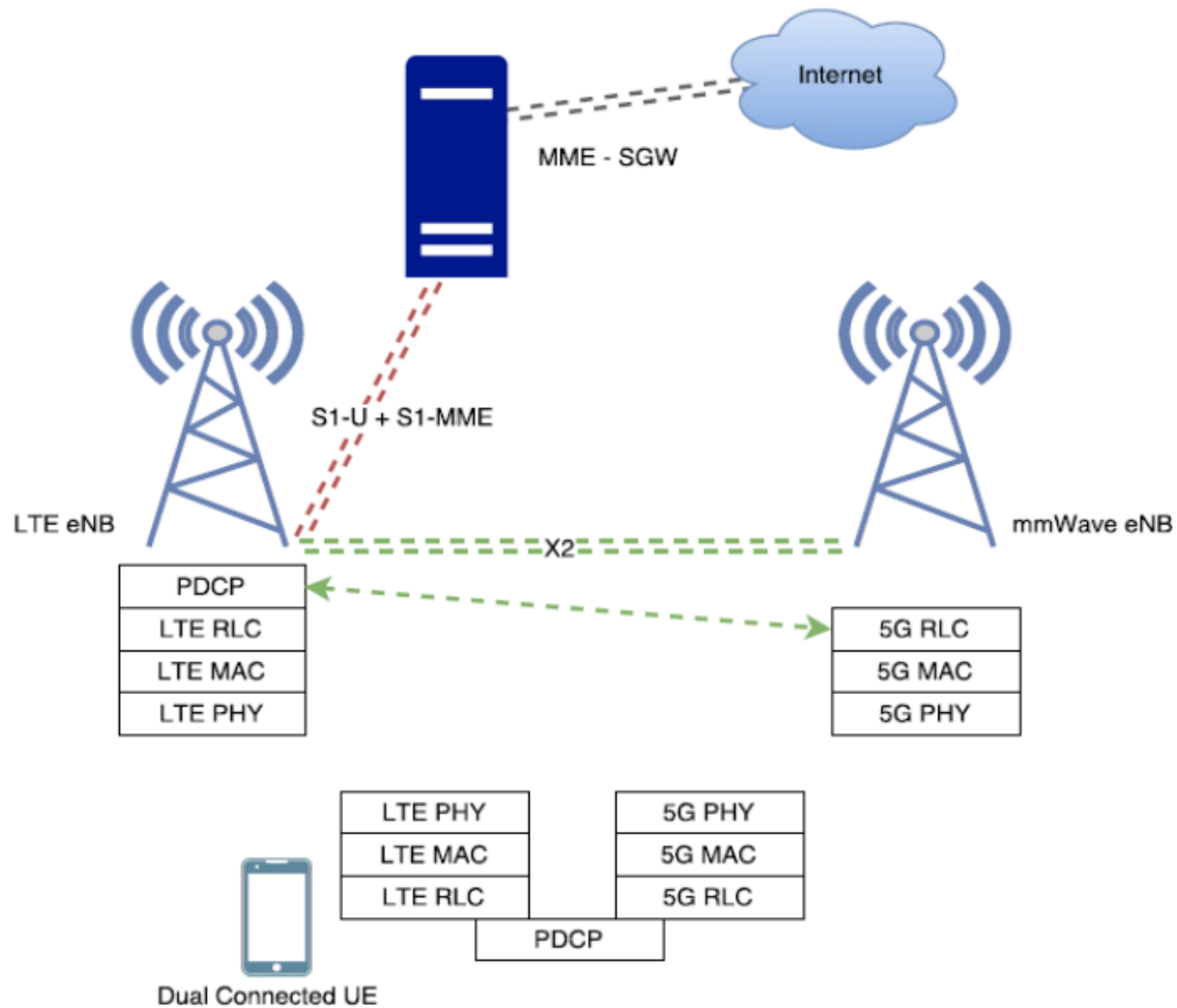
Додаток А  
(обов'язковий)

**ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА**  
**ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПЛАНУВАННЯ**  
**ТОПОЛОГІЇ МЕРЕЖІ 5G**  
назва магістерської кваліфікаційної роботи





						08-34.МКР.023.00.001 Е8		
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Загальна архітектура мережі Плакат	Літ.	Маса	Масштаб
	Розроб.	Шкільнюк						
	Перевір.	Семенова О.О.						
	Т.Контр.							
	Реценз.	Осадчук В.С.				Арк. 1	Аркушів 1	
	Н.Контр.	Семенова О.О.						
	Затверд.	Кичак В.М.			ВНТУ, ТКС-22М			



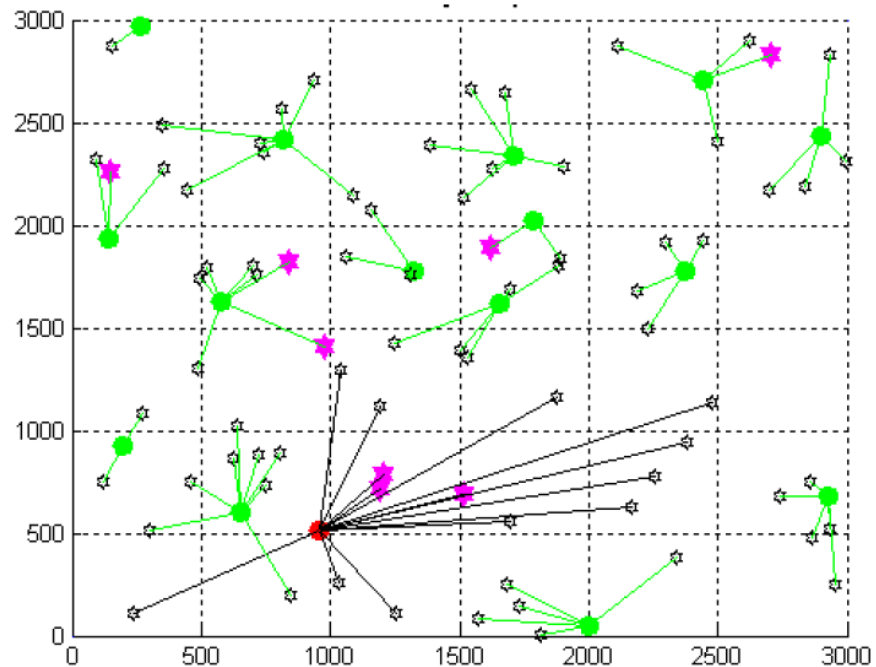
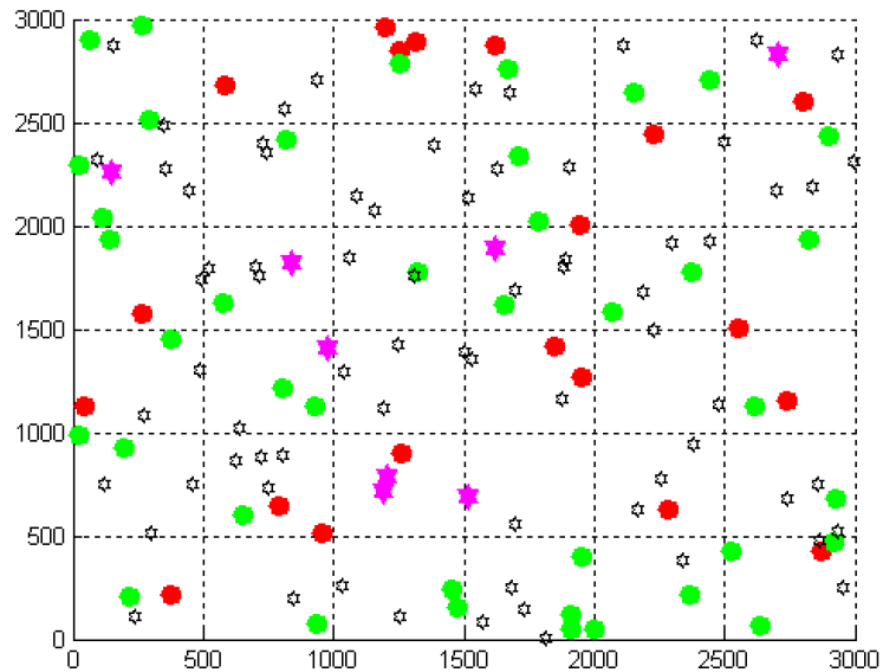
						08-34.МКР.023.00.002 Е8		
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Архітектура інтеграції LTE-5G Плакат	Літ.	Маса	Масштаб
Розроб.		Шкільнюк						
Перевір.		Семенова О.О.						
Т.Контр.								
Реценз.		Осадчук В.С.				Арк. 1	Аркушів 1	
Н.Контр.		Семенова О.О.			ВНТУ, ТКС-22М			
Затверд.		Кичак В.М.						



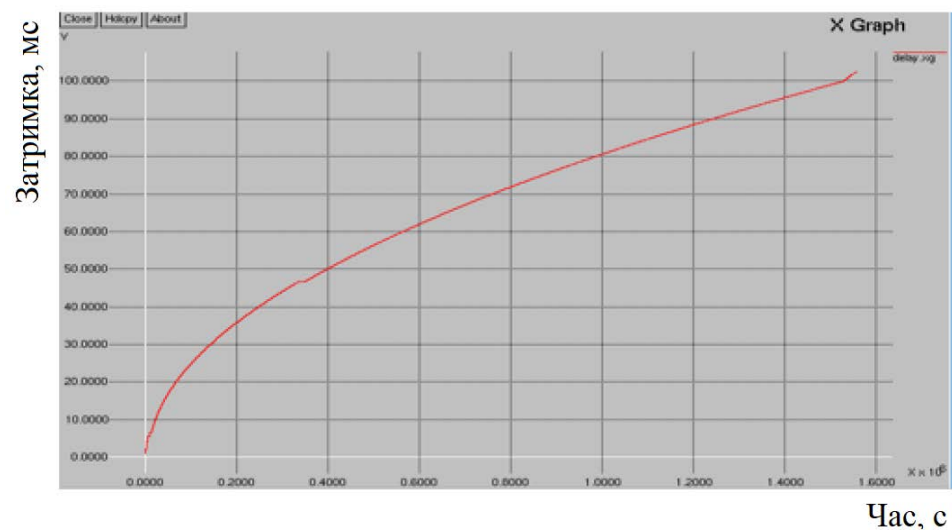
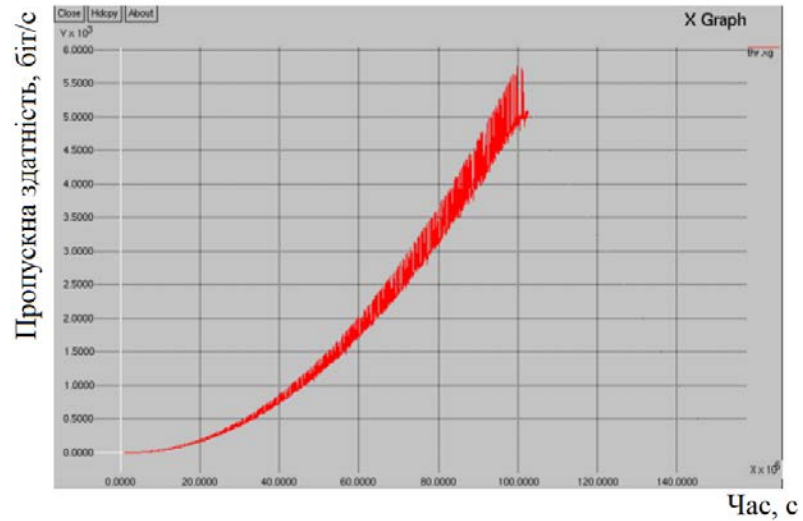
						08-34.МКР.023.00.003 Е8		
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Генетичний алгоритм Плакат	Літ.	Маса	Масштаб
Розроб.		Шкільнюк						
Перевір.		Семенова						
Т.Контр.								
Реценз.		Осадчук В.С.				Арк. 1	Аркушів 1	
Н.Контр.		Семенова			ВНТУ, ТКС-22М			
Затверд.		Кичак						

Потужність передачі макро-БС	46дБм
Підсилення антени макро-БС	18дБі
Потужність передачі мікро-БС	30дБм
Підсилення антени мікро-БС	7дБі
Потужність передачі вузла	30дБм
Підсилення антени вузла	5дБі
Підсилення антени користувача	0дБі
Загальні втрати у кабелі	2дБ
Центральна частота	2,12ГГц

						08-34.МКР.023.00.004 Е8		
Змін	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Вхідні дані Плакат	Літ.	Маса	Масштаб
Розроб.		Шкільнюк						
Перевір.		Семенова						
Т.Контр.								
Реценз.		Осадчук В.С.				Арк. 1	Аркушів 1	
Н.Контр.		Семенова			ВНТУ, ТКС-22М			
Затверд.		Кичак						



					08-34.МКР.023.00.005 Е8				
Змін Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Розташування станцій Плакат			Літ.	Маса	Масштаб
Розроб.	Шкільнюк								
Перевір.	Семенова								
Т.Контр.									
Реценз.	Осадчук В.С.						Арк. 1	Аркушів 1	
Н.Контр.	Семенова						ВНТУ, ТКС-22М		
Затверд.	Кичак								



					08-34.МКР.023.00.006 Е8		
Змін Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Часові залежності Плакат	Літ.	Маса	Масштаб
Розроб.	Шкільнюк						
Перевір.	Семенова						
Т.Контр.							
Реценз.	Осадчук В.С.				Арк. 1	Аркушів 1	
Н.Контр.	Семенова			ВНТУ, ТКС-22М			
Затверд.	Кичак						

Додаток Б  
(обов'язковий)

Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень  
Плакат



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

Назва роботи: Дослідження особливостей планування топології мережі 5G

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота  
(БДР, МКР)

Підрозділ кафедра інфокомунікаційних систем і технологій, факультет  
інформаційних електронних систем  
(кафедра, факультет)

**Показники звіту подібності Unicheck**

Оригінальність 91,46 % Схожість 8,54 %

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

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

Особа відповідальна за перевірку

  
(підпис)

Васильківський М.В.  
(прізвище, ініціали)

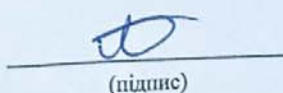
Ознайомлені з повним звітом, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи

  
(підпис)

Шкільнюк М.І.  
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи

  
(підпис)

Семенова О.О.  
(прізвище, ініціали)