

Вінницький національний технічний університет
Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем
Кафедра телекомунікаційних систем та телебачення

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Вибір розміру антенної решітки МІМО для підвищення ефективності систем 5G»

Виконав: студент 2-го курсу,
групи ТКС-20м
спеціальності 172 – Телекомунікації та
радіотехніка

_____ Кушнір В.Ю

Керівник: к.т.н., доцент каф. ТКСТБ
_____ Семенова О.О.
« ____ » _____ 2021 р.

Опонент: д.т.н., професор каф. РТ
_____ Осадчук В.С.
« ____ » _____ 2021 р.

Допущено до захисту
Завідувач кафедри ТКСТБ
_____ д.т.н., проф. Кичак В.М.
« ____ » _____ 2021 р.

Вінницький національний технічний університет
Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем
Кафедра телекомунікаційних систем та телебачення
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань - 17 – Електроніка та телекомунікації
(шифр і назва)
Спеціальність - 172 – Телекомунікації та радіотехніка
(шифр і назва)
Освітньо-професійна програма - Телекомунікаційні системи та мережі

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ТКСТБ
д.т.н., професор В.М. Кичак
“ ___ ” _____ 2021 року

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

Кушнір Валентини Юріївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Вибір розміру антенної решітки MIMO для підвищення ефективності систем 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 “24” 09 2021 року № 277

2. Строк подання студентом роботи 01 грудня 2021 року

3. Вихідні дані до роботи: Швидкість передачі даних до 10 Гбіт / с -> 10 до 100, Затримка 1 мілісекунда, 1000x пропускна здатність на одиницю площі, До 100 - кратної кількості підключених пристроїв на одиницю площі, 99,999% доступності, 100% покриття, Зниження споживання електроенергії мережею на 90%.

4. Зміст текстової частини: техніко-економічне обґрунтування, аналіз технології 5G, загальні положення про технологію MIMO, архітектура мережі 5G, економічна частина, охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Рисунок Б.1 - Структурна система MIMO, рисунок В.1 – SISO, рисунок Г.1 – Просторове ущільнення, рисунок Д.1 – MU-MIMO, рисунок Е.1 – Архітектура мережі 5G. Взаємодія мережевих функцій, рисунок Ж.1 – Архітектура мережі 5G. Мережеві інтерфейси

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|---|---|----------------|------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| Спеціальна частина | Семенова О.О., доцент кафедри ТКСТБ | | |
| Економічна частина | | | |
| Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях | | | |

7. Дата видачі завдання 01 вересня 2021 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|---|-------------------------------|----------|
| 1. | Розробка технічного завдання | 10.09.2021р. | |
| 2. | Техніко-економічне обґрунтування | 17.09.2021р. | |
| 3. | Аналіз технології 5G | 01.10.2021р. | |
| 4. | Загальні положення про технологію МІМО | 29.10.2021р. | |
| 5. | Архітектура мережі 5g | 19.11.2021р. | |
| 6. | Аналіз економічної ефективності розробки | 30.11.2021р. | |
| 7. | Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях | 06.12.2021р. | |
| 8. | Оформлення пояснювальної записки та графічної частини | 13.12.2021р. | |
| 9. | Нормоконтроль МКР | 14.12.2021р. | |
| 10. | Попередній захист МКР, опонування МКР | 17.12.2021р. | |
| 11. | Захист МКР ЕК | 20.12.2021р. | |

Студент

(підпис)

Кушнір В.Ю.

Керівник роботи

(підпис)

Семенова О.О.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.396

Кушнір Валентина Юріївна. Вибір розміру антенної решітки МІМО для підвищення ефективності систем 5G. Магістерська кваліфікаційна робота. – Вінниця: ВНТУ, 2021 – 131с.

На українській мові. Біліограф.: 21 назв.; Рис.: 8; Табл. 15.

Магістерська робота присвячена аналізу та вибору розміру антенної решітки МІМО для підвищення ефективності системи 5G. В даній дипломній роботі було проведено аналіз вибору розміру антенної решітки МІМО для підвищення ефективності системи 5G. В роботі було проаналізовано мережі п'ятого покоління, розглянуто побудова мереж 5G на основі масивних МІМО та аналіз архітектури мережі 5G. Здійснено економічні розрахунки. Розглянуто питання безпеки життєдіяльності та охорони праці. Результати які були отримані в ході виконання даної магістерської кваліфікаційної роботи задовольняють вимогам технічного завдання.

Ключові слова: Мережі 5 – го покоління; антена; МІМО; архітектура мережі.

ANNOTATION

UDC 621.396

Kushnir Valentina Yuriyivna. Choose the size of the MIMO antenna array to increase the efficiency of 5G systems. Master's thesis. - Vinnytsia: VNTU, 2021 - 131p.

In Ukrainian. Bibliogr : 21 titles; Fig.: 8; Table 15.

The master's thesis is devoted to the analysis and selection of the size of the MIMO antenna array to increase the efficiency of the 5G system. In this thesis, an analysis of the choice of the size of the antenna array MIMO to increase the efficiency of the 5G system. The paper analyzes the fifth generation networks, considers the construction of 5G networks based on massive MIMOs and analyzes the architecture of the 5G network. Economic calculations have been made. The issues of life safety and labor protection are considered. The results obtained during the implementation of this master's thesis meet the requirements of the technical task.

Key words: 5th generation networks; antenna; MIMO; network architecture

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| ВСТУП..... | 9 |
| 1. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ..... | 10 |
| 2. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ 5G..... | 15 |
| 2.1 Загальні відомості..... | 15 |
| 2.2 Відмінності між мережами п'ятого і попередніх поколінь..... | 18 |
| 2.3 Вимоги до бездротової мережі..... | 21 |
| 2.4 Проектування 5G..... | 23 |
| 2.5 Планування та розгортання мережі 5G..... | 24 |
| 2.6 Переваги та недоліки технології 5G..... | 25 |
| 2.7 Можливості застосування технології 5G..... | 27 |
| Висновки до розділу..... | 29 |
| 3. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ПРО ТЕХНОЛОГІЮ МІМО..... | 30 |
| 3.1 Загальні відомості..... | 30 |
| 3.2 Розвиток МІМО..... | 32 |
| 3.3 Основи МІМО..... | 33 |
| 3.4 Класифікація систем МІМО..... | 36 |
| 3.5 Кількості користувачів..... | 41 |
| 3.6 Масивні МІМО..... | 44 |
| 3.7 Формування променів антени МІМО..... | 47 |
| 3.8 Побудова мереж 5G на основі використанні масивних МІМО... | 48 |
| 3.9 Проблеми масивних МІМО у розгортанні мережі 5G..... | 50 |
| 3.10 Формування променів масивних МІМО..... | 51 |
| Висновки до розділу..... | 53 |
| 4. АРХІТЕКТУРА МЕРЕЖІ 5G..... | 54 |
| 4.1 Принципи архітектури мережі 5G..... | 55 |
| 4.2 Мережеві функції мережі 5G..... | 58 |
| 4.3 Сесії PDU..... | 64 |
| 4.4 Різниця між архітектурою мережі 4G та 5G..... | 66 |

| | |
|---|-----|
| Висновки до розділу..... | 68 |
| 5. АНАЛІЗ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБКИ..... | 69 |
| 5.1 Оцінювання наукового ефекту..... | 69 |
| 5.2 Розрахунок витрат на здійснення науково-дослідної роботи..... | 72 |
| 5.3 Оцінювання важливості та наукової значимості науково-дослідної роботи..... | 85 |
| Висновки до розділу..... | 87 |
| 6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ..... | 88 |
| 6.1 Технічні рішення з безпечного виконання робіт..... | 88 |
| 6.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії..... | 93 |
| 6.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи систем зв'язку 5G в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій..... | 99 |
| Висновки до розділу..... | 108 |
| ВИСНОВКИ..... | 109 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... | 110 |
| Додаток А (обов'язковий) Технічне завдання | 113 |
| Додаток Б (обов'язковий) Структурна схема MIMO | 120 |
| Додаток В (обов'язковий) Структурна схема SISO | 122 |
| Додаток Г (обов'язковий) Просторове ущільнення | 124 |
| Додаток Д (обов'язковий) Структурна схема MU-MIMO | 126 |
| Додаток Е (обов'язковий) Архітектура мережі 5G. Взаємодія мережевих функцій | 128 |
| Додаток Ж (обов'язковий) Архітектура мережі 5G. Мережеві інтерфейси | 130 |

ВСТУП

Актуальність теми. Дослідження технології мереж бездротового зв'язку є в наш час дуже важливим питанням. Оскільки використання високоякісного та високошвидкісного зв'язку в сучасних умовах є необхідністю.

Хоча потенціал 5G величезний, важливо знати, що галузь все ще знаходиться на ранній стадії впровадження. Процес розгортання мережі 5G розпочався багато років тому і включав створення нової інфраструктури, більшість якої фінансується основними операторами бездротового зв'язку.

Аналіз останніх досліджень. Показав що такі науковці як Налина Джаякоди, Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Коваль В.А. та інші в таких працях як: «Автоматизация и информационные технологии», «Сети мобильной связи 5G: технологии, архитектура и услуги», присвятили різним аспектам дослідження мереж 5G багато уваги в тому числі і розгортанні мереж 5G на основі масивних МІМО.

Мета і завдання роботи є визначення та дослідження основних можливостей технології МІМО під час планування бездротової мережі 5G.

Задачами магістерської кваліфікаційної роботи є

- визначити основні параметри та характеристики бездротової технології 5G;
- визначити основні характеристики та можливості технології МІМО
- визначити можливості побудови технології на основі мережі 5G
- зробити висновок щодо побудови та використання даної технології у мережі 5G.

Об'єкт дослідження - безпроводна мережа 5G.

Предмет дослідження - передача сигналів у безпроводній мережі 5G.

Новизна одержаних результатів:

- а. запропоновано модель мережі для побудови 5G

б. отримано основні критерії і параметрів вибору антенної решітки для забезпечення ефективності функціонування мережі 5G.

Апробація результатів магістерської кваліфікаційної роботи. Основні ідеї роботи доповідались і обговорювались на І науково-технічній конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету у 2021 році.

ФІРЕН

ТКСТБ

ВНТУ

1 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Зростання чисельності клієнтів, постійно зростаючий попит на послуги та складність послуг є рушійними факторами для операторів мобільного зв'язку для зміни парадигми в їхніх основних технологіях та мережах радіо доступу.

Мобільна мережа 5G є результатом цієї зміни парадигми і зараз розгортається в багатьох розвинених країнах, таких як Сполучені Штати, Велика Британія, Південна Корея, Японія та Китай. Однак більшість найменш розвинених країн (НРС) зовсім нещодавно впровадили мобільні мережі 4G, для яких загальна фаза виходу з них ще не завершена.

У майбутньому 5G стане основним каналом зв'язку для передачі великих даних відео та аудіо.

Бездротова технологія 5G призначена для забезпечення вищої пікової швидкості передачі даних у декілька Гбіт/с, наднизької затримки, більшої надійності, величезної пропускної здатності мережі, підвищеної доступності та більш уніфікованого користування для більшої кількості користувачів. Вища продуктивність і покращена ефективність розширюють можливості нового користувача та об'єднують нові галузі.

Ці функції, якщо їх вигідно використовувати, зможуть вплинути або навіть змінити багато аспектів людської діяльності, від бізнесу до розваг, завдяки покращенню вже доступних послуг і введенню абсолютно нових.

Впровадження 5G також в значній мірі вплине на світову економіку.

5G стимулює глобальне зростання:

- 13,1 трильйона доларів глобального економічного виробництва
- 22,8 мільйонів доларів створено нових робочих місць
- 265 мільярдів доларів глобальних капіталовкладень та досліджень і розробок щорічно протягом наступних 15 років

Завдяки знаковому дослідженню 5G Economy ми виявили, що повний економічний ефект 5G, ймовірно, буде реалізований у всьому світі до 2035 року — підтримуючи широкий спектр галузей і потенційно забезпечуючи товари та послуги на суму до 13,1 трильйона доларів.

Цей вплив набагато більший, ніж попередні покоління мереж. Вимоги до розробки нової мережі 5G також виходять за межі традиційних гравців мобільних мереж до таких галузей, як автомобільна промисловість.

Дослідження також показало, що ланцюг створення вартості 5G (включаючи OEM-виробників, операторів, творців контенту, розробників додатків і споживачів) може підтримувати до 22,8 мільйонів робочих місць або більше однієї роботи на кожну людину в Пекіні, Китай. І є багато нових і нових додатків, які все ще будуть визначені в майбутньому. Лише час покаже, яким буде повний «ефект 5G» на економіку.

5G важливий не лише тому, що він має потенціал для підтримки мільйонів пристроїв на надшвидкісних швидкостях, а й тому, що має потенціал змінити життя людей у всьому світі.

Покращення доступності

Удосконалення технології 5G можуть допомогти покращити життя. Наприклад, значний прогрес у технології автономних транспортних засобів можливий завдяки 5G, створюючи потенціал для людей на новий рівень особистої та професійної свободи. Підключені прилади можуть допомогти автоматизувати завдання по дому, що може не тільки покращити особисту зручність, але й допомогти тим, хто потребує допомоги у повсякденних завданнях.

Розширення охоплення мобільного широкопasmового зв'язку

5G може розширити технологію набагато вище того, що дозволяє поточна мобільна технологія. Завдяки своїй швидкості та пропускну здатності 5G обіцяє значно покращити тривимірні голограми, віртуальну реальність та доповнену реальність, створюючи можливості для з'єднання людей далеко за межі того, що дозволяють нинішні технології стільникового зв'язку.

Покращення безпеки, здоров'я та безпеки

Доступ до технології 5G обіцяє покращити критично важливі послуги, які сьогодні впливають на безпеку та безпеку послуг. Можливості включають розумні міста з 5G у громадських місцях, потенціал для дистанційної хірургії, кращий контроль руху та багато інших додатків, які залежать від майже миттєвого часу реакції.

Хоча очікується, що багато додатків для 5G безпосередньо впливатимуть на те, як працюють підприємства, наслідки для доступності, охоплення мобільного широкосмугового доступу та покращення безпеки, здоров'я та безпеки суспільства можуть мати все більший потенціал. Технологія 5G важлива як для споживачів, так і для бізнесу, оскільки ми переходимо до Четвертої промислової революції та досліджуємо все, що може запропонувати 5G, включаючи те, про що ми, ймовірно, ще не думали.

Технологія 5G може допомогти виробничим операціям у обробній промисловості стати більш гнучкими та ефективними, одночасно підвищуючи безпеку. Це дозволить виробникам будувати «розумні фабрики», які покладаються на автоматизацію, доповнену реальність та Інтернет речей. А завдяки 5G, який забезпечує живлення великої кількості пристроїв і датчиків Інтернету речей на заводі, штучний інтелект можна глибше інтегрувати в операції. (Для отримання додаткової інформації ознайомтеся з нашим дослідженням про те, як AI можна використовувати для покращення процесів від обслуговування та безпеки до виробництва та збирання до проектування продукту.)

Основні переваги 5G у сфері промислової автоматизації — це гнучкість бездротового зв'язку, зниження витрат і життєздатність додатків, які неможливі з нинішніми бездротовими технологіями.

Автономні транспортні засоби є одним з найбільш очікуваних додатків 5G. Технологія транспортних засобів швидко розвивається, щоб підтримати майбутнє автономних транспортних засобів. Бортові комп'ютерні системи розвиваються з

рівнями обчислювальної потужності, які раніше були лише в центрах обробки даних.

5G може привести до інноваційних рішень у виробництві, передачі, розподілі та використанні енергії. Також очікується, що він розв'яже наступну хвилю функцій та ефективності інтелектуальних мереж.

Завдяки більшій кількості підключених розумних мереж управління енергією стане більш ефективним, зменшуючи піки електроенергії та загальні витрати на електроенергію.

Більш висока швидкість з'єднання може призвести до ефективнішого управління енергетичними мережами, що, у свою чергу, може призвести до меншого простою. Наприклад, у разі відключення електроенергії, розумні електромережі, обладнані 5G, можуть швидко надати уявлення про проблему за допомогою даних і датчиків.

Ця технологія також може призвести до більш стабільного постачання енергії, оскільки постачальники будуть обладнані для прийняття більш обґрунтованих рішень щодо розподілу електроенергії на основі величезної кількості даних із розумних датчиків із підтримкою 5G. Приклад розумної мережі 5G можна побачити на Гаваях, де система, створена у співпраці з Verizon, аналізує відключення та контролює лічильники. (Для отримання додаткової інформації перегляньте нашу карту ринку з понад 40 компаніями, які оцифровують та оптимізують управління енергією.)

5G може надавати фермерам дані в режимі реального часу для моніторингу, відстеження та автоматизації своїх сільськогосподарських систем, що призведе до підвищення прибутковості, ефективності та безпеки. У галузі з високим ризиком, як-от сільське господарство, це збільшення виробництва та точності є життєво важливими, особливо оскільки зміна клімату створює нові загрози для фермерів у всьому світі.

Технологія 5G готова пришвидшити зусилля фінансових установ з оцифровки та рухається до подвоєння мобільного зв'язку.

Підключення 5G також може дозволити мобільним пристроям обмінюватися біометричними даними з фінансовими службами, щоб миттєво й точно підтвердити автентифікацію користувача. Це скоротить час, необхідний для залучення нових клієнтів, схвалення кредитів тощо.

Швидша передача даних у фінансових послугах означає більш безпроблемні операції та обробку, будь то перевірка кредитоспроможності, обробка платежу, розміщення угоди чи переказ коштів.

Життя зміниться з 5G та передбачуваними додатками, які він дозволить, але не повсюдно. Буде зростати поділ мережевого підключення та послуг між міськими та сільськими районами, оскільки недоцільно розгортати 5G скрізь одразу.

Фундаментальна ідея 5G — це єдина мережа, яка достатньо гнучка, щоб обробляти різноманітні випадки використання. Щоб забезпечити обіцянку 5G, оператори мобільних мереж (MNO) повинні побудувати щільну мережу з величезною кількістю мережевих вузлів, які сформуєть інфраструктуру 5G.

Кожен вузол коштує грошей, і MNO будуть інвестувати в 5G шляхом модернізації мережі та ущільнення спершу в містах, де вони можуть охопити багатьох клієнтів, які платять, і отримувати швидше віддачу від своїх інвестицій. У сільській місцевості впровадження 5G відбуватиметься повільніше.

2 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ 5G

2.1 Загальні відомості

5G - це мобільна мережа 5 -го покоління. Це новий глобальний стандарт бездротової мережі після мереж 1G, 2G, 3G та 4G. 5G забезпечує новий тип мережі, яка призначена для з'єднання практично всіх і всього разом, включаючи машини, об'єкти та пристрої.

Бездротова технологія 5G призначена для того, щоб забезпечити більш високу пікову швидкість передачі даних у багато Гбіт / с, наднизьку затримку, більшу надійність, велику пропускну здатність мережі, підвищену доступність та більш рівномірний досвід користування для більшої кількості користувачів. Більш висока продуктивність та підвищена ефективність розширюють можливості нового користувацького досвіду та підключають нові галузі промисловості.

5G є уніфікованим, більш зручним повітряним інтерфейсом. Він був розроблений з розширеною потужністю, щоб забезпечити користувачам наступне покоління, розширити можливості нових моделей розгортання та надавати нові послуги.

Завдяки високій швидкості, чудовій надійності та незначній затримці 5G розширить мобільну екосистему в нові сфери. 5G вплине на будь -яку галузь, зробивши реальністю безпечніші перевезення, віддалену охорону здоров'я, точне сільське господарство, оцифровану логістику – тощо [1].

Загалом, 5G використовується в трьох основних типах підключених послуг, включаючи розширений ширококутовий мобільний зв'язок, критично важливий зв'язок та масовий Інтернет речей. Визначальною можливістю 5G є те, що вона розроблена для сумісності вперед - можливість гнучко підтримувати майбутні послуги, які невідомі на сьогодні.

На додаток до покращення наших смартфонів, мобільна технологія 5G може відкрити нові захоплюючі можливості, такі як VR та AR, з більш швидкими,

рівномірними швидкістю передачі даних, меншою затримкою та нижчою ціною за біт.

5G може надавати нові послуги, які можуть трансформувати галузі за допомогою надзвичайно надійних, доступних посилань з низькою затримкою, таких як дистанційне управління критичною інфраструктурою, транспортними засобами та медичними процедурами.

5G призначена для безперебійного з'єднання величезної кількості вбудованих датчиків практично у всьому завдяки здатності зменшувати швидкість передачі даних, потужність та мобільність-забезпечуючи надзвичайно економні та недорогі рішення для підключення.

З розробкою мережі 5G тісно пов'язані чотири основні потенційні технологічні можливості, такі як MIMO, перехід в сантиметровий і міліметровий діапазони, мультитехнологічність та D2D.

Технологія MIMO означає використання декількох антен на приймач. Технологія, успішно застосовується в мережах четвертого покоління, стане у пригоді і в мережах 5G. При цьому якщо в 2014 році в мережах використовується MIMO 2x2, то в майбутньому число антен має збільшитися. Ця технологія має відразу два вагомні аргументи для застосування: швидкість передачі даних зростає практично пропорційно кількості антен, при цьому якість сигналу поліпшується за рахунок прийому сигналу відразу декількома антенами. На даний момент мережі LTE працюють в частотних діапазонах нижче 3 ГГц і вважається, що перехід в більш високі діапазони буде здійснений лише в стандарті 5G. При підвищенні частоти, на якій передається інформація, зменшується дальність зв'язку. Це закон фізики, обійти його можна лише підвищуючи потужність передавача, яка обмежена санітарними нормами [1].

Однак вважається, що базові станції мереж п'ятого покоління будуть розташовуватися щільніше, ніж зараз, що викликано необхідністю створити набагато більшу ємність мережі. Перевагою діапазонів десятків ГГц є наявність великої кількості вільного спектру. Для забезпечення високоякісного

обслуговування в мережах 5G необхідна підтримка як вже існуючих стандартів, таких як UMTS, GSM, LTE, так і інших, наприклад, Wi-Fi. Базові станції, що працюють за технологією Wi-Fi можуть використовуватися для розвантаження трафіку в особливо завантажених місцях. Технологія device-to-device дозволяє пристроям, що знаходяться неподалік один від одного, обмінюватися даними безпосередньо, без участі мережі 5G, через ядро якої буде проходити лише сигнальний трафік. Перевагою такої технології є можливість перенесення передачі даних в неліцензованому частині спектра, що дозволить додатково розвантажувати мережу.

5G розроблена для доставки пікових швидкостей передачі даних до 20 Гбіт/с відповідно до вимог IMT-2020. Флагманські рішення 5G компанії Qualcomm Technologies, Qualcomm Snapdragon™ X65 розроблені для досягнення максимальної швидкості передачі даних до 10 Гбіт / с.

Але 5G - це більше, ніж просто швидкість. На додаток до вищих пікових швидкостей передачі даних, 5G розроблена для забезпечення набагато більшої пропускної здатності мережі шляхом розширення у новий спектр, наприклад mmWave.

5G також може забезпечити набагато меншу затримку для більш швидкого реагування і може забезпечити загальний більш рівномірний досвід користувача, так що швидкість передачі даних залишається незмінно високою - навіть коли користувачі рухаються. А нову мобільну мережу 5G NR підтримує фонд покриття Gigabit LTE, який може забезпечити повсюдне підключення класу гігабіт [1].

На сьогоднішній день 5G розгорнуто в більш ніж 60 країнах світу. Зараз спостерігається набагато швидше впровадження у порівнянні з впровадженням 4G. Споживачі дуже в захваті від високих швидкостей і малих затримок. Але 5G виходить за рамки цих переваг, надаючи також можливості для критично важливих послуг, покращеного мобільного широкопasmового доступу та масового Інтернету речей. Хоча важко передбачити, коли всі матимуть доступ до 5G, вже помітно

великий потік запуску 5G у перший рік, і очікується, що більшість країн запуснуть свої мережі 5G [5].

Технологія 5G обумовлена 8 вимогами до специфікації:

- Швидкість передачі даних до 10 Гбіт / с -> 10 до 100 -кратне збільшення швидкості в мережах 4G та 4,5G
- Затримка 1 мілісекунда
- 1000x пропускна здатність на одиницю площі
- До 100 - кратної кількості підключених пристроїв на одиницю площі (порівняно з 4G LTE)
- 99,999% доступності
- 100% покриття
- Зниження споживання електроенергії мережею на 90%
- Термін служби акумулятора до 10 років для пристроїв IoT з низькою потужністю

Основна еволюція порівняно з сучасними 4G та 4.5G полягає в тому, що, крім покращення швидкості передачі даних, нові варіанти використання IoT та критичних комунікацій потребують нового рівня підвищення продуктивності.

На відміну від поточних сервісів IoT, які роблять компроміс між продуктивністю, щоб отримати найкращі переваги від сучасних бездротових технологій (3G, 4G, Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee тощо), мережі 5G будуть розроблені таким чином, щоб забезпечити рівень продуктивності, необхідний для масового IoT.

2.2 Відмінності між мережами п'ятого і попередніх поколінь

5G являє собою фундаментальну трансформацію ролі бездротових мережевих технологій у суспільстві, яка, природно, розвивається з мереж 4G і пропонує передові технологічні функції, такі як збільшення швидкості передачі даних, менші затримки та спектральна ефективність. Оператори можуть

використовувати більш високі продуктивні можливості (5G) та надавати нові продукти та рішення для всіх своїх клієнтів у традиційних та нетрадиційних сегментах ринку, створюючи нові потоки доходу та прибуток.

Мережі першого покоління (1G) впровадили аналогові мобільні голосові послуги та встановили безперебійне бездротове з'єднання за допомогою ліцензування спектру (встановлення базових станцій, які забезпечували абонентам доступ до мобільних мереж за рахунок ексклюзивного використання радіочастотного спектру) та повторного використання частоти (декілька веб-сайтів стільникового зв'язку, що дозволяє здійснювати пряме з'єднання передаються між клітинками під час голосового дзвінка, без перешкод). Хоча 1G був революційним, аналогові передачі мали обмеження пропускної здатності з точки зору ефективності використання спектра, а також обмежену масштабованість за допомогою аналогових пристроїв (велика, дорога, неефективна потужність) [2].

Далі з'явився стандарт GSM (2G), що переходить від аналогової до цифрової передачі та забезпечує подальшу ємність за допомогою методів TDMA, а також підтримує роумінг між різними мережами. GSM надала мережеву платформу для надання нових послуг мобільного зв'язку (SMS, MMS, обмін повідомленнями із зображеннями) та покращення якості та чіткості голосу за допомогою цифрового кодування. Масштабованість покращилася за допомогою цифрових пристроїв, оскільки вони дешевші та легші (споживачі цифрових сигналів споживають менше енергії акумулятора), ніж аналогові пристрої [4]. Пізніше GPRS (2.5G) був представлений для підтримки технології пакетної комутації, яка в кінцевому підсумку надавала послуги передачі даних, включаючи WAP, електронну пошту та доступ до Інтернету зі швидкістю передачі даних 56 кбіт/с - 144 кбіт/с.

Після початку нового тисячоліття ми побачили зростання попиту на послуги мобільного передавання даних (ігри, відеоконференції, великі електронні листи, потокове передавання відео) разом із збільшенням кількості мобільних підписок, а отже, мереж третього покоління (3G) (впровадження UMTS) відкрила нову еру високошвидкісного доступу до Інтернету зі швидкістю передачі 2 Мбіт/с, більшою

пропускною здатністю та покращеним мобільним широкосмуговим доступом. У міру зростання негатовного попиту на більш високу швидкість Інтернету, у 2010 році були введені мережі четвертого покоління (4G), спрямовані на забезпечення більш швидкого та кращого мобільного широкосмугового доступу з більшою ємністю даних [5].

Переваги полягали в простому збільшенні пропускної спроможності та пропозиції послуг від 3G, одночасно з підвищенням ефективності за рахунок зниження ціни за біт у мережі.

Переваги 4G досягаються технологічно шляхом впровадження OFDMA, підтримка широких каналів та використання схем кодування сигналу та мультиплексування для забезпечення більшої швидкості передачі даних (до 100 Мбіт/с) багатьом користувачам.

Ключовим відмінником 4G від 3G є реалізація всієї IP-мережі, відмова від інфраструктури комутації каналів. Голосові послуги разом з даними передаються через мережу з пакетною комутацією (голосові дзвінки замінені на IP-телефонію, тобто VoLTE).

Новий стандарт 5G використовує як нові технологічні, а й програмні функції. По-перше, в 5G використовується кілька антен на прийомо-передавачі, тому зростає швидкість і якість сигналу. Сигнал 5G займає більш високі частоти - це означає, що перешкод буде менше, але передавачі повинні бути потужнішими, а станції - ближче.

По-друге, у 5G використовується network slicing (нарізка мережі) — це означає, що в майбутньому можуть з'явитися логічно ізольовані мережі для певних завдань: наприклад, окрема для інтернету речей, а інша для відео трансляцій.

Під кожен задачу виділяються необхідні ресурси та технології. Так можна буде уникнути перевантажень та затримок передачі сигналу. Саме тому 5G — це насамперед не споживчий тренд (принаймні поки що), а бізнесовий.

Ключовим аспектом технології поряд із параметрами потужності мережі є продуктивний підхід. Частотні діапазони, конструктивні особливості станцій та

програмні компоненти будуть адаптовані до потреб різних категорій споживачів – від користувачів гаджетів до промислових підприємств та міської інфраструктури.

Раніше кожне покоління мобільного зв'язку випереджало попереднє, головним чином, за фізичними характеристиками [7].

5G розширює контекст, пропонуючи нове розуміння технології: інноваційна платформа, на основі якої додатковий імпульс до розвитку отримують одразу багато галузей. Це означає поява нових сервісів, бізнес-моделей, типів взаємодії між пристроями, виробничих ланцюжків та інфраструктури.

2.3 Вимоги до бездротової мережі

Золотим трикутником вимог до технології 5G є затримка, щільність з'єднання та пропускна здатність. Для досягнення рівнів затримки нижче 10 мс буде поставлено під сумнів закони фізики та топології розташування мережі. Низька затримка є основоположною вимогою для бізнес-випадків, які вимагають миттєвого та надвірного зв'язку, наприклад віддалених хірургічних процедур та само автоматизованого водіння.

Перехід на щільність з'єднань - мережі 5G можуть забезпечити до мільйона з'єднань на квадратний кілометр (підтримуючи масову кількість одночасних підключень до мережі) у порівнянні з 4G, яка має типову щільність з'єднання 2000 з'єднань на квадратний кілометр. Зі збільшенням популярності додатків Інтернету речей висока щільність з'єднання 5G є життєво важливою можливістю, яка дозволить використовувати варіанти масової комунікації за часом (M-MTC) та задовольнити запити цифрового суспільства [2].

Найбільшою перевагою, яку можемо побачити при переході від 3G до 4G, це більша пропускна спроможність, і просування вперед з 5G також стане важливим фактором. Прагнення 5G - забезпечити пропускну здатність 10 Гбіт/с, що дозволить використовувати варіанти використання розширеного мобільного

широкопasmового зв'язку (eMBB), забезпечуючи інфраструктурну платформу для нових послуг, таких як VR, AR та UHD.

Впровадження та реалізація лише на основі золотого трикутника, описаного вище, просто не зріже його, коли справа доходить до забезпечення чудового досвіду для користувача та абсолютно нових рішень, які обіцяє 5G. Існують певні дії, методи та бізнес -моделі, які оператори повинні прийняти, це включає Спектральну ефективність- спектр на більш високих частотах з більшою пропускну здатністю буде потрібно для забезпечення необхідної потужності для підтримки дуже великої кількості підключених пристроїв та для забезпечення більш високої швидкості для одночасно підключених пристроїв.

Спектральна ефективність є обов'язковою, коли оператори починають вичерпувати можливості у своїх мережах. 5G буде впроваджено у вищих діапазонах частот, і багато операторів очікують розгортання своїх систем 5G на діапазоні частот мВт. Радіочастотний (РЧ) спектр - це обмежений природний ресурс, що підтримує безперервний розвиток бездротових технологій, систем та послуг. Оскільки наявна кількість радіочастотного спектру стає насиченою у середовищах з високою щільністю, необхідно враховувати нові методи ефективності використання спектра. Масова технологія MIMO використовує декілька антен для одночасної передачі несучих сигналів.

5G приходить до нас поспіхом, проте ця мережа наступного покоління буде відрізнятися від тієї, що була в минулому. Йдеться не просто про використання вдосконалених технологічних функцій для забезпечення більшої пропускну здатності споживачів. Це повинно змінити традиційний метод роботи для провайдерів зв'язку, дозволивши їм запровадити абсолютно нові екосистеми для нових випадків використання 5G для життя, а ті, хто прийме цю зміну, можуть стати ключовими зацікавленими сторонами у ланцюжку створення вартості та будуть справжні переможці в епоху 5G.

2.4 Проектування 5G

Проектування архітектури мережі 5G, яка підтримує дуже вимогливі додатки, є складним. Наприклад, не існує універсального підходу; діапазон додатків вимагає даних для пересування на відстані, великих обсягів даних або певної комбінації. Таким чином, архітектура 5G повинна підтримувати низький, середній і високий діапазон частот – з ліцензованих, спільних і приватних джерел – для забезпечення повного бачення 5G.

З цієї причини 5G розроблено для роботи на радіочастотах від нижче 1 ГГц до надзвичайно високих частот, які називаються «міліметровою хвилею» (або mmWave). Чим нижче частота, тим далі може поширюватися сигнал. Чим вище частота, тим більше даних він може перенести.

В основі мереж 5G є три діапазони частот:

Високочастотний діапазон 5G (mmWave) забезпечує найвищі частоти 5G. Вони варіюються від 24 ГГц до приблизно 100 ГГц. Оскільки високі частоти не можуть легко переміщатися через перешкоди, високосмуговий 5G за своєю природою є коротким. Крім того, покриття mmWave обмежене і вимагає більшої кількості стільникової інфраструктури.

Середній діапазон 5G працює в діапазоні 2-6 ГГц і забезпечує рівень пропускної здатності для міських і приміських районів. Цей діапазон частот має пікову швидкість у сотні Мбіт/с [1].

Низький діапазон 5G працює на частотах нижче 2 ГГц і забезпечує широке покриття. Цей діапазон використовує спектр, який доступний і використовується сьогодні для 4G LTE, по суті, забезпечує архітектуру LTE 5g для пристроїв 5G, які вже готові. Таким чином, продуктивність низькосмугового 5G подібна до 4G LTE і підтримує використання пристроїв 5G на сьогоднішньому ринку.

На додаток до доступності спектру та вимог до застосування щодо відстаней та пропускної здатності, оператори повинні враховувати вимоги до потужності 5G,

оскільки типова конструкція базової станції 5G вимагає вдвічі більшої потужності, ніж базова станція 4G.

2.5 Планування та розгортання мережі 5G

Програми, оптимізовані для mmWave, не працюватимуть належним чином у будівлях і коли потрібний розширений діапазон. Оптимальні варіанти використання включають стільниковий зв'язок 5G в діапазонах від 24 до 39 ГГц, поліцейський радар у діапазоні 33,4-36,0 ГГц, сканери для безпеки в аеропортах, радари малої дальності у військових транспортних засобах і автоматичну зброю на флоті. кораблі для виявлення та знищення ракет.

Для автономних транспортних засобів та додатків інтелектуальних транспортних систем (ITS) пристрої та підключення мають бути оптимізовані для швидкості. Зв'язок майже в реальному часі – вимірюється мільйонними частками секунди – є критичним для транспортних засобів і пристроїв, щоб «приймати рішення» щодо повороту, прискорення та гальмування, а мінімальна можлива затримка є критичною для цих додатків [6].

Навпаки, програми для відео та віртуальної реальності мають бути оптимізовані для пропускну здатності. Відео додатки, такі як медичні зображення, можуть в кінцевому підсумку використовувати всі переваги величезних обсягів даних, які можуть підтримувати мережі 5G.

Щоб 5G реалізував своє повне бачення, мережева інфраструктура також повинна розвиватися [2].

Найперші види використання технології 5G не будуть виключно 5G, але з'являться в програмах, де підключення використовується спільно з існуючим 4G LTE в так званому неавтономному (NSA) режимі. Під час роботи в цьому режимі пристрій спочатку підключається до мережі 4G LTE, і якщо 5G доступний, пристрій зможе використовувати її для додаткової пропускну здатності. Наприклад, пристрій, який підключається в режимі 5G NSA, може отримати 200

Мбіт/с низхідної лінії зв'язку через 4G LTE і ще 600 Мбіт/с через 5G одночасно із сумарною швидкістю 800 Мбіт/с.

Оскільки протягом наступних кількох років все більше і більше мережевої інфраструктури 5G буде працювати в режимі онлайн, вона буде розвиватися, щоб увімкнути автономний режим (SA) лише для 5G. Це забезпечить низьку затримку та можливість підключення до величезної кількості пристроїв IoT, які є одними з основних переваг 5G [5].

2.6 Переваги та недоліки технології 5G

Переваги технології 5G

- Вища швидкість завантаження. Мережа 5G матиме можливість збільшити швидкість завантаження до 20 разів (з 200 Мбіт/с (4G) до 10 Гбіт/с (5G)) та зменшити затримку (час відповіді між пристроями). Ці швидкості максимізуватимуть перегляд, полегшуючи процеси, які, хоча й можливі сьогодні, все ще викликають труднощі.
- Гіперзв'язність. Мережа 5G обіцяє можливість мати гіперпов'язане середовище, щоб досягти такої точки, щоб мати настільки бажані «розумні міста». Правильна продуктивність цієї нової динаміки буде залежати від пропускної здатності 5G та Інтернету речей (IoT).
- Оптимізація процесу. Очікується також, що це революціонізує такі галузі, як медицина (наприклад, дистанційні операції), керування транспортним засобом та автономні транспортні засоби, а також його впровадження в будівельному секторі для оптимізації ресурсів та зниження ризиків.
- Розмір антени менший на вищих частотах. Це призводить до використання масивної концепції MIMO для досягнення більш високої швидкості передачі даних.
- Динамічне формування променя використовується для подолання втрат в тракті на більш високих частотах.

- Завдяки вдосконаленій архітектурі мережі 5G передача обслуговування відбувається плавно і, отже, не впливає на передачу даних, коли мобільний користувач змінює клітинки.

- Як правило, 5G пропонує 10-кратну пропускну здатність, 10-кратне зменшення затримки, 10-кратну щільність з'єднання, 3-кратну ефективність використання спектру, 100-кратну пропускну здатність і 100-кратну ефективність мережі.

Недоліки технології 5G

- Негайне старіння. Для переходу на мережу 5G знадобляться пристрої, які можуть її підтримувати; поточні пристрої 4G не мають такої можливості і відразу застаріють.

- Для встановлення та обслуговування мережі 5G потрібні кваліфіковані інженери. Крім того, обладнання 5G коштує дорого. Це збільшує вартість фаз розгортання та обслуговування 5G [4].

- Технологічне виключення. Реалізація мережі 5G також передбачає відсутність негайного доступу для середньої кишені в поєднанні із затримкою її впровадження через відсутність засобів для її використання.

- Недостатня інфраструктура. Щоб мережа 5G функціонувала належним чином, знадобляться цілі амбітні інвестиції в інфраструктуру для збільшення пропускну здатності та розширення покриття, а це недешево. Ця ситуація обов'язково призведе до затримок у його впровадженні через високі витрати, які урядам доведеться покрити для належного функціонування 5G.

- Ризики безпеки та належної обробки даних. Все це вимагає оптимального управління даними, і саме в цьому криється найбільш суперечлива частина переваг і недоліків. І справа в тому, що в управлінні всією цією інформацією, як від компаній, так і від окремих осіб, і навіть від уряду, до її вивчення залучаються не тільки такі питання, як методи великих даних.

- Технологія все ще знаходиться на стадії розробки, і потрібен час, перш ніж вона повністю запрацює без будь-яких проблем.

- Відстань покриття до 2 метрів (в приміщенні) і 300 метрів (на вулиці) може бути досягнуто завдяки вищим втратам на високих частотах (наприклад, міліметрові хвилі). 5G страждає від багатьох таких втрат (втрата проникнення, ослаблення через дощ, втрата листя тощо) [5].

2.7 Можливості застосування технології 5G

Можливості застосування технологій 5G доволі широкий, тому перерахувати всі можливості в рамках одного матеріалу складно. Тому виділимо основні напрямки.

Завдяки 5G пацієнту, якому потрібна оперативна допомога, більше не потрібно буде їхати до поліклініки чи лікарні. Нові технології дозволяють передавати величезний обсяг даних без затримок і потрібні в педіатрії, психотерапії, дерматології, неврології і навіть в реаніматології: якщо хворого не можна перевезти в іншу клініку, терміновий відео дзвінок компетентному фахівцеві може врятувати життя. Висококваліфікований хірург через відео сеанс 5G може дистанційно спостерігати за подіями під час операції та коригувати дії колег, або керувати допоміжними приладами [1].

Бездротова мережа нового покоління допоможе розвитку безпілотного транспорту завдяки високій швидкості передачі даних. За прогнозом PwC, повністю безпілотний транспорт у найбільших містах планети з'явиться до 2040 року. 5G дасть автономним автомобілям можливість взаємодіяти з дорогами, світлофорами, вуличними покажчиками та стоянками.

Всі дані з підключених автомобілів та датчиків інтернету речей передаватимуться у хмарне сховище та оброблятимуться. На основі цього в режимі реального часу моніторитиметься транспортний потік, оптимізуватимуться маршрути міського транспорту, забезпечуватиметься пріоритет спецтранспорту (швидкої допомоги, МНС, ДІБДР, МВС, дорожніх та ремонтних служб), фіксуватимуться правопорушення. 5G відіграє важливу роль у питаннях безпеки

безпілотних автомобілів завдяки низькій затримці сигналу: у разі потреби диспетчер може взяти екстрене керування машиною на себе.

Якщо говорити про побут, то 5G насамперед асоціюється з інтернетом речей (IoT) та «розумним» будинком. Число пристроїв, які можуть бути підключені до IoT, постійно зростає: це «розумні» лампочки, розетки, колонки, камери, замки та багато іншого. Щоб велика кількість речей оперативної та без збоїв «спілкувалася» один з одним, потрібний зв'язок, що забезпечує високу швидкість передачі даних.

Технологія 5G може вирішити ці проблеми, до того ж підвищивши безпеку будинку і заощадивши енергію. Наприклад, існують системи відеоспостереження, які передають сигнал із затримкою всього кілька мілісекунд. Система на базі інтернету речей також може включати «розумні» лічильники, які самі передають свідчення в керуючі компанії, термостати, які регулюють енергію, і газові лічильники, які можуть виявити витік [4].

Розгортання покоління 5G, безсумнівно, являє собою технологічну революцію, яка дозволить запускати від найпростіших до найскладніших завдань; наприклад, від сигналізації, пральної машини чи холодильника до виконання хірургічних втручань, координації сільськогосподарських робіт та управління парками автономних транспортних засобів, і все це за допомогою пристроїв, керованих дистанційно.

Очікується, що завдяки 5G світова індустрія розваг збільшить прибуток більш ніж на \$1 трлн. Високі швидкості передачі даних і невеликий час затримки призведуть до прориву в області хмарних ігор. Суть у тому, що обробку складної 3D-графіки бере на себе спеціальний сервер, а зображення, що отримується по мережі 5G з мінімальними затримками, передається на звичайнісінький ноутбук. В результаті гра йде з такою ж швидкістю, як і на потужному ігровому комп'ютері, який тепер купувати зовсім не обов'язково. 5G також дасть можливість завантажувати повнометражний фільм за лічені секунди, а не хвилини та отримувати доступ до потокового мультимедіа практично миттєво.

Висновки до розділу

В даному розділі був проведений аналіз мереж 5-го покоління 5G. Аналіз складався з таких пунктів:

- Загальні відомості про технологію 5G
- Вимоги для бездротових мереж
- Планування та розгортання мереж 5G
- Переваги та недоліки технології 5G
- Можливості застосування мереж п'ятого покоління

Стандарт мобільного зв'язку п'ятого покоління (5G) – це новий етап розвитку технологій. Завдання, які покликана вирішити технологія 5G:

- зростання мобільного трафіку
- збільшення кількості пристроїв, що підключаються до мережі
- скорочення затримок для реалізації нових послуг
- нестача частотного спектра.

Очевидно, що в майбутньому до мережі буде підключено набагато більше пристроїв, більшість з яких працюватимуть за принципом "завжди онлайн". При цьому дуже важливим параметром буде їхнє низьке енергоспоживання.

3 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ПРО ТЕХНОЛОГІЮ МІМО

3.1 Загальні відомості

МІМО (множинний вхід, множинний вихідний) - це антенна технологія бездротового зв'язку, в якій кілька антен використовуються як у джерелі (передавач), так і в пункті призначення (приймач). Антени на кожному кінці ланцюга зв'язку поєднуються для мінімізації помилок, оптимізації швидкості передачі даних та покращення пропускної здатності радіопередач, дозволяючи передавати дані по багатьох шляхах сигналу одночасно. Проект партнерства третього покоління (3GPP) додав МІМО з випуском 8 стандарту мобільного широкосмугового доступу [3].

Технологія МІМО це метод просторового кодування сигналу. Метод дозволяє збільшувати смугу пропускання каналу, в якому здійснюються передача даних та отримання даних за рахунок системи з декількох антен. Антени приймальні та передавальні розносяться таким чином, щоб кореляція між сусідніми антенами була досить слабкою.

Застосування технології МІМО вирішує два важливих застосування:

1. Підвищення швидкості передачі при застосуванні просторового мультиплексування
2. Збільшення якості зв'язку за рахунок просторового частотного/тимчасового кодування.

При різних реалізаціях технології МІМО йдеться мова саме про одночасну передачу кількох незалежних повідомлень в одному фізичному каналі. В МІМО застосовують багатоантенні системи з метою реалізації дії.

В загальному структура систем МІМО має в своєму складі N_t передавачів (передавальних антен), та N_r приймачів на приймальній стороні приймальних(рисунок 3.1).

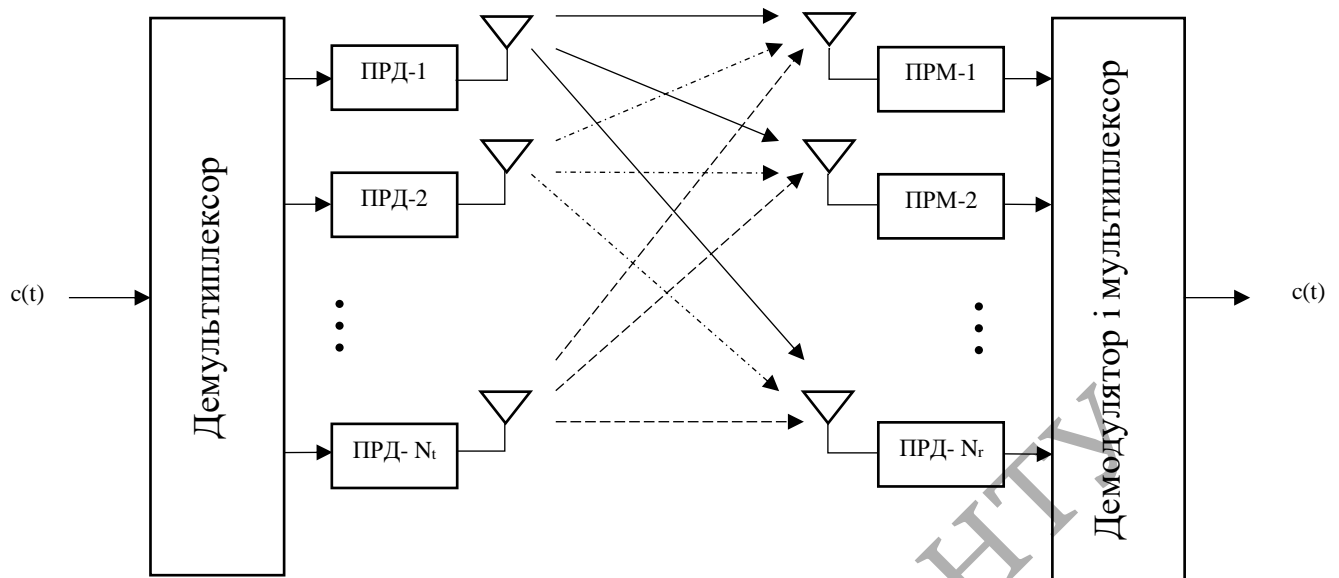


Рисунок 3.1 – Структурна схема систем MIMO

Технологія MIMO використовується для мереж Wi-Fi і стільникового зв'язку четвертого покоління (4G) Long-Term Evolution (LTE) і п'ятого покоління (5G технологія) в широкому діапазоні ринків, в тому числі правоохоронних органів, виробництва телевізійного мовлення і уряду. Він також може використовуватися в бездротових локальних мережах (WLAN) і підтримується усіма бездротовими продуктами з 802.11n.

MIMO часто використовується для зв'язку з високою пропускнуою здатністю, де важливо не мати перешкод від мікрохвильових або радіочастотних систем. Наприклад, ним часто користуються оператори швидкої допомоги, які не завжди можуть покладатися на стільникові мережі під час катастрофи або відключення електроенергії, або коли мережа стільникового зв'язку перевантажена [3].

MIMO є однією з найпоширеніших форм бездротового зв'язку, і вона зіграла ключову роль у розгортанні LTE та стандарті бездротової широкосмугової технології у всьому світі за сумісності з мікрохвильовим доступом (WiMAX>). LTE використовує MIMO та ортогональне мультиплексування з частотним поділом (OFDM) для збільшення швидкості до 100 мегабіт на секунду (мбіт / с) і далі. Ці тарифи подвоюються порівняно з попередніми стандартами Wi-Fi 802.11a. LTE використовує MIMO для передачі різноманітності, просторового

мультиплексування (для передачі просторово розділених незалежних каналів), а також для однокористувацьких та багатокористувацьких систем.

MIMO в LTE забезпечує більш надійну передачу даних, а також збільшує швидкість передачі даних. Він розділяє дані на окремі потоки перед передачею. Під час передачі дані та опорні сигнали передаються по повітрю до приймача, який уже знайомий з цими сигналами, що допомагає приймачу оцінити канал.

MIMO продовжує оновлюватися та зростати за рахунок використання у масових нових додатках, оскільки індустрія бездротового зв'язку працює для розміщення більшої кількості антен, мереж та пристроїв. Одним з найбільш яскравих прикладів цього є розгортання технології 5G.

Ці величезні системи MIMO 5G використовують численні невеликі антени для збільшення пропускної спроможності користувачів-а не тільки швидкості передачі, як у технологіях третього покоління (3G) та 4G-та підтримки більшої кількості користувачів на антену. На відміну від 4G MIMO, який використовує систему дуплексного розподілу частот (FDD) для підтримки декількох пристроїв, 5M масивна MIMO використовує іншу установку, яка називається дуплексним розподілом часу (TDD).

3.2 Розвиток MIMO

Технологія MIMO розроблялася протягом багатьох років. Необхідно було не тільки сформулювати базові концепції MIMO, а й розробити нові технології, що дозволяють повністю реалізувати MIMO. Необхідні нові рівні обробки, щоб реалізувати деякі функції просторового мультиплексування, а також використовувати деякі переваги просторового рознесення.

Аж до 1990-х років просторове рознесення часто обмежувалося системами, які переключалися між двома антенами або об'єднували сигнали для забезпечення найкращого сигналу. Також були реалізовані різні форми перемикування променів,

але з урахуванням рівнів задіяної обробки і ступеня доступною обробки системи, як правило, були відносно обмеженими [3].

Однак з появою додаткових рівнів обчислювальної потужності стало можливим використовувати як просторове рознесення, так і повне просторове мультиплексування.

Перша робота над системами МІМО була зосереджена на базовому просторовому розмаїтті - тут система МІМО використовувалася для обмеження погіршення якості, викликаного багатопроменевим поширенням. Однак це був лише перший крок, оскільки потім система почала використовувати багатопроменеве поширення з вигодою, перетворивши додаткові шляхи сигналу в те, що можна було б ефективно розглядати як додаткові канали для перенесення додаткових даних.

Два дослідники: Арогьясвами Паулраджд і Томас Кайлат були першими, хто запропонував використовувати просторове мультиплексування з використанням МІМО в 1993 році, а в наступному році їх патент був виданий в США.

Однак саме Bell Labs в 1998 році першою продемонструвала лабораторний прототип просторового мультиплексування.

3.3 Основи МІМО

На канал може вплинути завмирання, і це вплине на ставлення сигнал / шум. У свою чергу, це вплине на частоту помилок, якщо будуть передані цифрові дані. Принцип рознесення полягає в тому, щоб надати приймача кілька версій одного і того ж сигналу.

Якщо тракт проходження сигналу може вплинути на них по-різному, ймовірність того, що всі вони будуть порушені одночасно, значно знизиться. Відповідно, рознесення допомагає стабілізувати канал і підвищує продуктивність, знижуючи частоту помилок.

Доступні кілька різних режимів рознесення, які забезпечують ряд переваг:

Рознесення за часом: Використовуючи рознесення за часом, повідомлення може передаватися в різний час, наприклад, з використанням різних часових інтервалів і канального кодування.

Частотне рознесення: ця форма рознесення використовує різні частоти. Це може бути у формі використання різних каналів або таких технологій, як розширений спектр / OFDM.

MIMO - по суті, технологія радіоантен, оскільки вона використовує кілька антен на передавачі і приймачі, щоб забезпечити передачу даних з різних трактах сигналу, вибираючи окремі тракти для кожної антени, щоб можна було використовувати кілька трактів сигналу.

Одна з основних ідей, що лежать в основі просторово-часової обробки сигналів бездротових систем MIMO, в якій час (природне вимір даних цифрового зв'язку) доповнюється просторовим виміром, властивим використання декількох просторово розподілених антен, тобто використанням декількох антен, розташованих в різні точки. Відповідно, бездротові системи MIMO можна розглядати як логічне продовження інтелектуальних антен, які використовувалися протягом багатьох років для поліпшення бездротового зв'язку.

Він знаходиться між передавачем і приймачем, сигнал може проходити по багатьом шляхам. Крім того, при переміщенні антен навіть на невелику відстань змінюються використовувані шляхи. Різноманітність доступних шляхів виникає в результаті кількості об'єктів, які з'являються збоку або навіть на прямому шляху між передавачем і приймачем [3].

Раніше ці множинні шляхи служили тільки для створення перешкод. Використовуючи MIMO, ці додаткові шляхи можуть бути використані з користю. Їх можна використовувати для забезпечення додаткової стійкості радіолінії за рахунок поліпшення відносини сигнал / шум або збільшення пропускної здатності каналу передачі даних.

Нижче наведені два основні формати MIMO:

Просторове рознесення: просторове рознесення, що використовується в цьому вужчому сенсі, часто відноситься до рознесенню передачі і прийому. Ці дві методології використовуються для поліпшення відносини сигнал / шум, і вони характеризуються підвищенням надійності системи по відношенню до різних форм завмирання.

Просторове мультиплексування: ця форма MIMO використовується для забезпечення додаткової ємності даних за рахунок використання різних шляхів для перенесення додаткового трафіку, тобто збільшення пропускної здатності даних.

Однією з ключових переваг просторового мультиплексування MIMO є той факт, що воно здатне забезпечити додаткову ємність даних. Просторове мультиплексування MIMO досягає цього за рахунок використання кількох шляхів та ефективного використання їх як додаткових «каналів» для передачі даних.

В результаті використання декількох антен бездротова технологія MIMO здатна значно збільшити пропускну здатність даного каналу. Збільшуючи кількість прийомних і передавальних антен, можна лінійно збільшити пропускну здатність каналу з кожною парою антен, доданих в систему.

Щоб скористатися перевагами додаткової пропускної здатності, MIMO використовує кілька наборів антен. У багатьох системах MIMO використовуються лише дві, але немає причин, чому не можна використовувати додаткові антени, і це збільшує пропускну здатність. У будь-якому випадку для просторового мультиплексування MIMO кількість приймальних антен має дорівнювати чи перевищувати кількість антен передачі [3].

Це робить бездротову технологію MIMO однією з найважливіших бездротових технологій, які будуть використовуватися в останні роки. Оскільки спектральна смуга пропускання стає все більш цінним товаром для систем радіозв'язку, необхідні методи для більш ефективного використання доступної смуги пропускання. Бездротова технологія MIMO - одна з таких технологій.

3.4 Класифікація систем MIMO

Різні форми антенної технології відносяться до одного або декількох входів і виходів. Вони пов'язані з радіозв'язком. Таким чином, входом є передавач, оскільки він передає на канал або шлях сигналу, а вихід — приймач. Він знаходиться на виході бездротового зв'язку.

Форми одинарних/кілька антенних каналів визначені нижче:

SISO – Single Input Single Output

SIMO – Single Input Multiple Output

MISO – Multiple Input Single Output

MIMO – Multiple Input Multiple Output

3.4.1 Класична система – SISO

Найпростіша форма радіозв'язку може бути визначена в термінах MIMO як SISO - Single Input Single Output. Фактично це стандартний радіоканал - цей передавач працює з однією антеною, як і приймач. Немає різноманітності та додаткової обробки (рисунку 3.2).

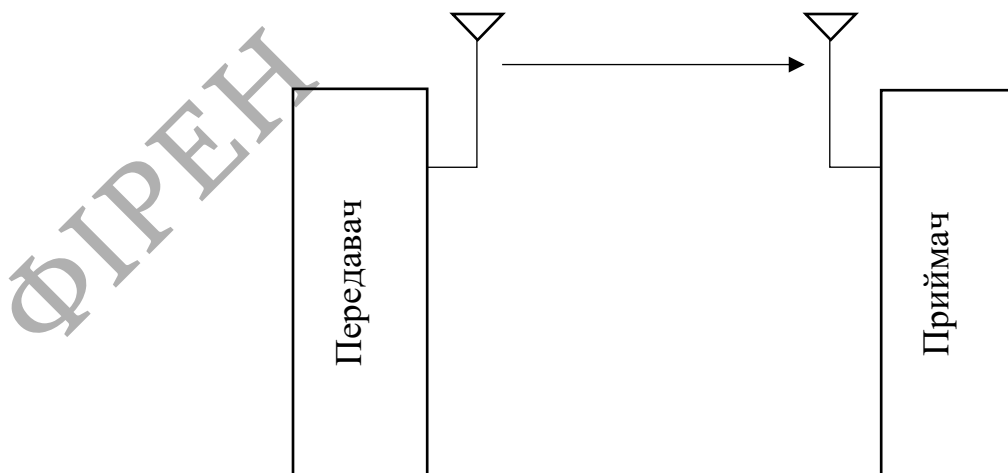


Рисунок 3.2 – SISO - Single Input Single Output

Перевагою системи SISO є її простота. SISO не вимагає обробки з точки зору різних форм різноманітності, які можуть бути використані. Однак канал SISO обмежений у своїй продуктивності.

Перешкоди та згасання впливатимуть на систему більше, ніж на систему MIMO, яка використовує певну форму рознесення, а пропускна здатність каналу обмежена законом Шеннона – пропускна здатність залежить від пропускної здатності каналу та співвідношення сигнал/шум.

3.4.2 Рознесений прийом – SIMO

SIMO або версія MIMO з одним входом і багатьма виходами зустрічається, коли передавач має одну антену, а приймач має кілька антен. Це також відомо як різноманітність прийому. Він часто використовується, щоб увімкнути систему приймача, яка отримує сигнали від ряду незалежних джерел, щоб боротися з наслідками завмирання. Він використовувався протягом багатьох років із короткохвильовими станціями прослуховування/приймання для боротьби з наслідками іоносферного згасання та перешкод (рисунок 3.3)

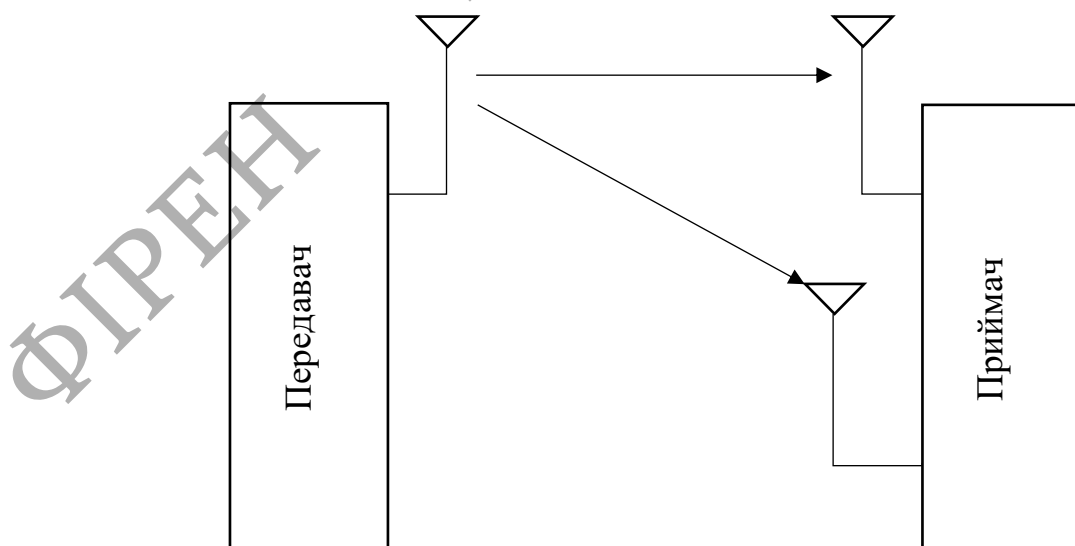


Рисунок 3.3 – SIMO – Рознесений прийом

Представлений варіант не вимагає спеціальної підготовки сигналу при передачі, тому його досить просто реалізувати на практиці. При використанні рознесеного прийому збільшення пропускнує спроможності не відбувається. Однак, підвищується надійність передачі [4].

У випадку з зображеної вище системою на приймальній стороні буде два сигнали, і існують різні способи їх обробки. Наприклад, може вибиратися сигнал з найкращим співвідношенням сигнал / шум. Такий метод називається switched diversity. Або сигнали можуть складатися, що дозволяє підвищити співвідношення сигнал / шум. І такий метод називається MRC - Maximum Ratio Combining.

SIMO має перевагу в тому, що його відносно легко реалізувати, хоча він має деякі недоліки в тому, що обробка потрібна в приймачі. Використання SIMO може бути цілком прийнятним у багатьох програмах, але якщо приймач розташований у мобільному пристрої, такому як телефонна трубка, рівень обробки може бути обмежений розміром, вартістю та розрядженням акумулятора.

Є дві форми SIMO, які можна використовувати:

SIMO з комутаційним рознесенням: ця форма SIMO шукає найсильніший сигнал і перемикається на цю антену.

Максимальний коефіцієнт комбінування SIMO: ця форма SIMO приймає обидва сигнали та підсумовує їх, щоб отримати комбінацію. Таким чином, сигнали від обох антен вносять внесок у загальний сигнал.

3.4.3 Рознесена передача – MISO

MISO також називають рознесенням передачі. У цьому випадку одні й ті ж дані передаються з надлишковим значенням від двох антен передавача. Тоді приймач може отримувати оптимальний сигнал, який потім може використовувати для отримання необхідних даних (рисунок 3.4).

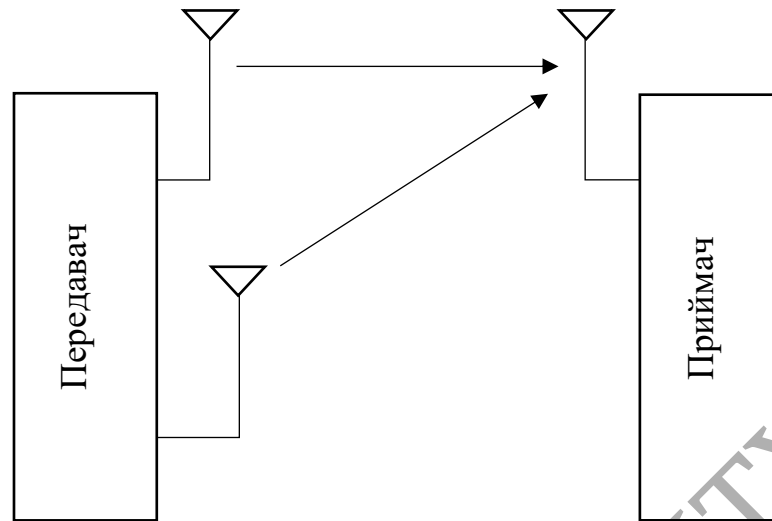


Рисунок 3.4 – MISO – Рознесена передача

Як і SIMO, MISO не дозволяє збільшити пропускну здатність каналу, але підвищує надійність передачі. У той же час, використання MISO дозволяє перенести необхідну додаткову обробку сигналу з приймальної сторони (мобільної станції) на передавальну (базову станцію).

Для формування надійного сигналу використовується просторово-часове кодування. У цьому випадку копія сигналу передається не тільки з іншої антени, але і в інший час. Також може використовуватися просторово-частотне кодування [3].

Перевага використання MISO полягає в тому, що безліч антен і кодування/обробка надмірності переміщуються від приймача до передавача. У таких випадках, як UE стільникового телефону, це може бути значною перевагою з точки зору простору для антен і зниження рівня обробки, необхідної в приймачі для кодування надмірності. Це позитивно впливає на розмір, вартість і термін служби акумулятора, оскільки нижчий рівень обробки вимагає менше споживання батареї.

3.4.4 Просторове ущільнення – MIMO

Просторове ущільнення (Spatial Multiplexing) - це випадок використання декількох антен на передавальній стороні і декількох антен на приймальній. На

відміну від попередніх варіантів - MISO і SIMO, описаних вище, даний варіант спрямований не на підвищення надійності передачі, а на збільшення швидкості передачі. Тому MIMO використовується для передачі даних мобільним станціям, які знаходяться в хороших радіо - умовах.

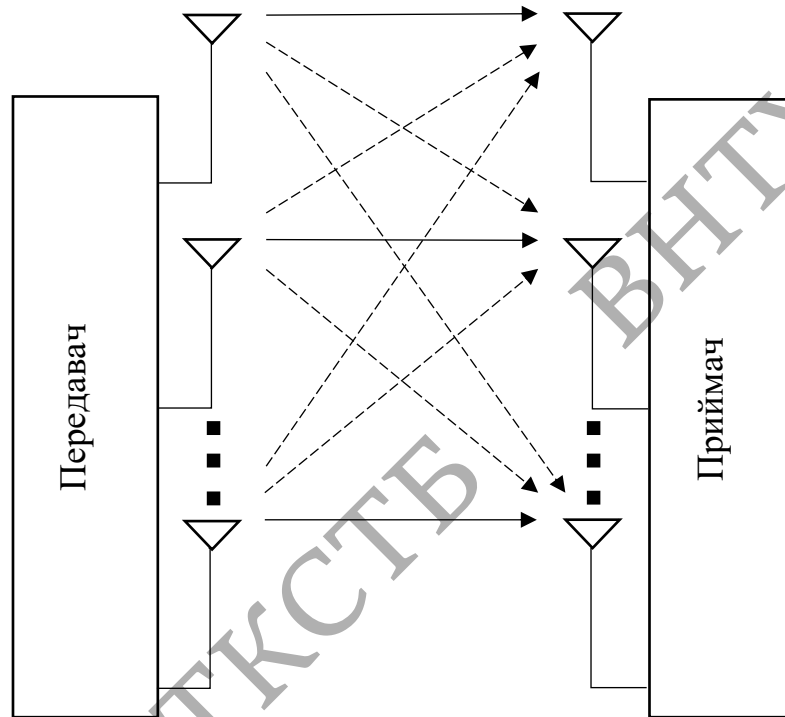


Рисунок 3.5 – MIMO – Просторове ущільнення

У той час, як варіанти MISO і SIMO використовуються для передачі даних мобільним станціям, які знаходяться в більш поганих радіо умовах. Для того, щоб підвищити швидкість передачі даних у випадку з MIMO вхідний потік даних розбивають на декілька потоків, кожен з яких незалежно передається з окремою антеною. На малюнку нижче наводиться загальна схема системи MIMO з m передавальними антенами і з n приймальними антенами.

Через те, що використовується загальний канал, кожна антена на приймачі отримує сигнал не тільки призначений для неї (суцільні лінії на малюнку), а й всі сигнали призначені іншим антен (переривчасті лінії на малюнку). Якщо відома матриця передачі, то вплив сигналів, призначених для інших антен, можна обчислити і мінімізувати.

Кількість незалежних потоків даних, які можуть одночасно передаватися, залежить від кількості використовуваних антен. Якщо кількість передавальних і приймальних антен однаково, то кількість незалежних потоків даних одно або менше кількості антен. Наприклад, в разі MIMO 4x4 кількість незалежних потоків даних може бути 4 або менше. Якщо ж кількість передавальних і приймальних антен не однаково, то кількість незалежних потоків даних одно мінімальній кількості антен або менше. Наприклад в разі MIMO 4x2 кількість незалежних потоків даних може бути 2 або менше [5].

Для того, щоб отримати повну вигоду від MIMO, необхідно мати можливість використовувати кодування на каналах для відокремлення даних від різних шляхів. Це вимагає обробки, але забезпечує додаткову надійність каналу/пропускну здатність даних [3].

Існує багато форматів MIMO, які можна використовувати від SISO, через SIMO і MISO до повних систем MIMO. Усе це може забезпечити значне покращення продуктивності, але загалом за рахунок додаткової обробки та кількості використовуваних антен. Вибираючи правильний варіант, необхідно врахувати співвідношення між продуктивністю та вартістю, розміром, доступною обробкою та терміном служби акумулятора.

3.5 Кількості користувачів

Single User MIMO (SU-MIMO) - коли технологія MIMO використовується для передачі даних одному користувачеві, тобто всі потоки даних адресовані одному і тому ж користувачеві.

Основна особливість в тому що базова станція спілкується лише з одним користувачем. SU-MIMO забезпечує підвищену швидкість передачі даних для одного користувача. Забезпечує більш високу пропускну здатність при низькому відношенні сигнал/шум. Основна перевага це зменшення перешкод

Multi User MIMO (MU-MIMO) це розширена форма технології MIMO, яка набуває все більшого поширення. MU-MIMO, багатокористувацька MIMO дає можливість кільком незалежним радіо терміналам отримати доступ до системи, що покращує комунікаційні можливості кожного окремого терміналу. Відповідно, його часто розглядають як розширення множинного доступу з космічним розподілом, SDMA.

MU-MIMO використовує максимальну потужність системи, плануючи кільком користувачам можливість одночасного доступу до одного каналу, використовуючи просторові ступені свободи, які пропонує MIMO.

Для використання MU-MIMO існує кілька підходів, які можна застосувати, а також ряд доступних програм/версій.

MU-MIMO забезпечує методологію, за допомогою якої можна досягти просторового спільного використання каналів. Цього можна досягти за рахунок додаткового обладнання - фільтрів та антен - але включення не відбувається за рахунок додаткової пропускну здатності, як у випадку, коли використовуються такі технології, як FDMA, TDMA або CDMA [3].

При використанні просторового мультиплексування, MU-MIMO, перешкоди між різними користувачами на одному каналі усуваються за рахунок використання додаткових антен і додаткової обробки, коли дозволяється просторове розділення різних користувачів.

Існують два сценарії, пов'язані з MU-MIMO, багатокористувацьким MIMO:

- Uplink – множинний канал доступу, MAC: Розробка MIMO-MAC базується на відомих концепціях MIMO для одного користувача, розширених для врахування кількох користувачів.

- Downlink – Broadcast Channel, BC : MIMO-BC є більш складним сценарієм. Оптимальна стратегія передбачає прийоми попереднього усунення перешкод, відомі як «Dirty Paper Coding», DPC – див. нижче. Це доповнюється неявним плануванням користувача та алгоритмом завантаження електроенергії

MU-MIMO, багатокористувацька MIMO пропонує деякі значні переваги перед іншими методами:

Системи MU-MIMO дозволяють отримати рівень прямого посилення в множинному доступі, що впливає з схем багатокористувацького мультиплексування. Це пропорційно кількості використаних антен базової станції.

На MU-MIMO, здається, менше впливають деякі проблеми поширення, які впливають на одно користувацькі системи MIMO. Вони включають втрату рангу каналу та кореляцію антени - хоча кореляція каналу все ще впливає на різноманіття для кожного користувача, це не є серйозною проблемою для багатокористувацького рознесення.

MU-MIMO дозволяє досягти просторового мультиплексування на базовій станції без необхідності використання кількох антен на UE. Це дозволяє виготовляти дешеві віддалені термінали - інтелект і вартість включені в базову станцію.

Переваги використання багатокористувацьких MIMO, MU-MIMO обумовлені вартістю додаткового обладнання - антен і обробки - а також отримання інформації про стан каналу, що вимагає використання доступної пропускної здатності.

MIMO-MAC використовується для каналу множинного доступу, отже, MIMO і використовується в сценаріях висхідної лінії зв'язку.

Для MIMO-MAC приймач виконує більшу частину обробки - тут приймач повинен знати стан каналу і використовує інформацію про стан каналу в приймачі, CSIR. Визначення CSIR, як правило, легше, ніж визначення CSIT, але для передачі виділених пілотів від кожного користувача потрібні значні рівні пропускної здатності висхідної лінії зв'язку. Однак системи MIMO MAC перевершують MIMO від точки до точки, особливо якщо кількість приймальних антен більше, ніж кількість передаючих антен у кожного користувача.

MIMO-BC використовується для широкомовних каналів MIMO, тобто низхідної лінії зв'язку. З двох каналів, BC і MAC, саме канал мовлення є найбільш складним у MU-MIMO [8].

Для цього необхідна обробка передачі, яка зазвичай виконується у формі попереднього кодування та планування користувача низхідної лінії зв'язку SDMA, множинного доступу з космічним розподілом. Для цього передавач повинен знати інформацію про стан каналу на передавачі, CSIT. Це дозволяє значно покращити пропускну здатність у порівнянні зі звичайними системами MIMO «точка-точка», особливо коли кількість передаючих антен перевищує кількість антен на кожному приймачі (рисунок 3.6).

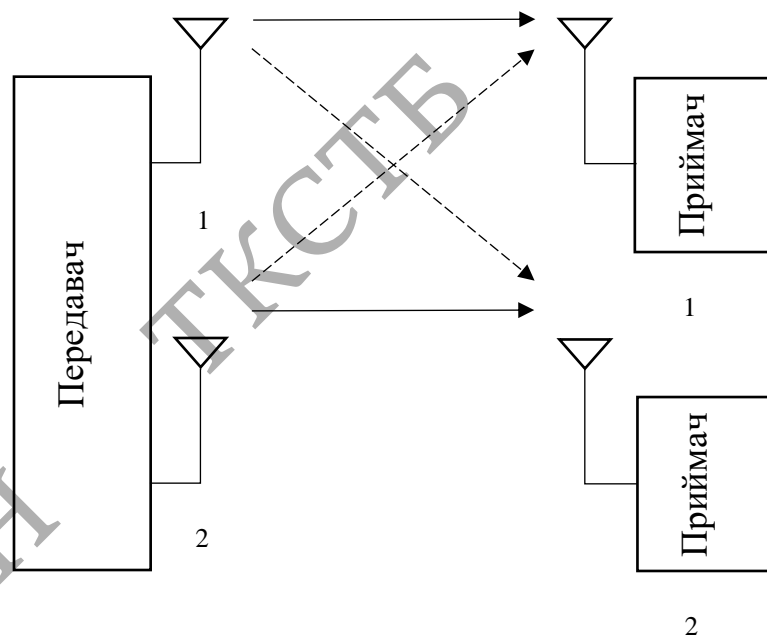


Рисунок 3.6 – MU-MIMO

3.6. Масивні MIMO

Великі системи MIMO, які часто називають масивними системами MIMO, можна визначити як системи, які використовують десятки або сотні антен у терміналах зв'язку.

Традиційні системи MIMO можуть мати дві або чотири, деякі можуть мати навіть вісім антен, але це було обмеження для ранніх систем, які прийняли MIMO.

Концепція масивних систем MIMO або великих систем MIMO входить у багато сфер розвитку, оскільки може запропонувати деякі чіткі переваги.

Однією з ключових вимог до великої системи MIMO є велика різноманітність шляхів сигналу між передавачем і приймачем. Це зазвичай присутня в типових приміщеннях і більшості міських середовищ. Інші середовища, де є менше шляхів, не зможуть забезпечити ті ж переваги з MIMO, не кажучи вже про велику систему MIMO, оскільки буде доступно менше шляхів [4].

Недостатній відстань між антенами значить, що вони мають тенденцію до більшої кореляції, і переваги систем MIMO не можуть бути реалізовані.

Ще одна ситуація, яка може виникнути навіть у середовищі з багатим розсіюванням, — це коли всі шляхи проходять через точку перетискання. Це може призвести до того, що буде менше незалежних просторових розмірів, і відповідно продуктивність буде знижена.

3.6.1 Переваги масивних MIMO

Використання великої технології MIMO має багато переваг. Використання більшої кількості антен в системі MIMO створює більше ступенів свободи в просторовій області, а отже це дозволяє досягти більшого покращення продуктивності:

- Збільшення швидкості передачі даних: збільшення кількості антен дозволяє використовувати більшу кількість шляхів і, отже, набагато більший рівень даних, які будуть передані протягом певного часу.

- Збільшення відношення сигнал/шум основного каналу: Однією з основних переваг використання систем MIMO є те, що їх можна використовувати для покращення співвідношення сигнал/шум у всій системі. Використання великого MIMO або масивного MIMO дозволяє підняти це на більший рівень. У

результаті великого різноманіття також спостерігається збільшення загартування проти навмисного заклинювання.

- Зміцнення каналу: Значне збільшення кількості антен для створення масивної системи MIMO означає, що система стає менш чутливою до фактичних записів матриці каналів. У свою чергу, це має додаткові переваги в області обробки сигналів. Лінійним детекторам необхідно виконувати інверсії матриці, і це можна зробити легше в процесі обробки, оскільки ця здатність збільшується з розвитком технологій.

3.6.2 Розміщення антени

Однією з ключових проблем будь-якої системи MIMO є розміщення антен. Для багатьох систем, що використовують фізично невеликі пристрої, розміщення антени може викликати певні проблеми.

Для того, щоб система MIMO могла працювати задовільно, кореляція між антенами повинна бути невеликою. Як правило, відстань $s \geq \lambda/2$ (де λ — довжина хвилі сигналу) вважається необхідним для забезпечення майже відсутності кореляції між антенами.

Для цього можна використовувати різноманітні підходи.

Використовуйте високі частоти: щоб мати можливість пристосувати більші номери антен, необхідні для великих систем MIMO, використання вищих частот скорочує довжину хвилі сигналів, тим самим дозволяючи розмістити антени з точки зору довжин хвиль у межах даного фізичного простору. Багато систем розглядають можливість використання частот вище 10 ГГц, поширюючи навіть до 60 ГГц і далі.

Використовуйте об'ємний, а не лінійний інтервал: можна використовувати три виміри в елементі, щоб забезпечити відстань у трьох вимірах, а не лише у двох вимірах, як у лінійній формі. Хоча багато предметів, включаючи мобільні телефони, часто тонкі, і тому цей підхід може бути непридатним, у деяких випадках куб зможе вмістити більше антен, використовуючи тривимірний інтервал [3].

Використання просторової модуляції: кількість радіочастотних ланцюгів, необхідних для масивної системи MIMO, можна зменшити без шкоди для спектральної ефективності за допомогою просторової модуляції. Просторова модуляція – це форма модуляції, яка вимагає використання лише одного транзитного ланцюга для кількох антен. Фактично він використовує одну антену з решітки за раз для передачі.

Просторова модуляція використовує простий, але ефективний механізм кодування, який встановлює відображення один на один між блоками переданих інформаційних бітів і просторовими положеннями антени передавача в загальній антенній решітці.

3.7 Формування променя антени MIMO

Використовувані технології антени MIMO є ключовими для загальної продуктивності MIMO. Крім того, на перший план виходить опція MIMO beamforming.

Оскільки різні форми технології вдосконалюються, технологія антени MIMO може бути просунута далі, дозволяючи розглянути такі методи, як формування променя MIMO [3].

Протягом багатьох років антенна технологія використовувалася для підвищення продуктивності систем. Напрямні антени використовуються протягом багатьох років для підвищення рівня сигналу та зменшення перешкод.

Наприклад, директивні антенні системи використовувалися для підвищення пропускної здатності систем стільникового зв'язку. Розділивши стільникову мережу на сектори, де кожна антена освітлює 60° або 120° , ємність можна значно збільшити – потроїти при використанні 120° антен.

З розвитком більш адаптивних систем і більших рівнів обчислювальної потужності, можна використовувати методи формування променя антени з такими системами, як MIMO.

Методи формування променя можна використовувати з будь-якою антенною системою - не тільки в системах МІМО. Вони використовуються для створення певної необхідної діаграми спрямованості антени, щоб забезпечити необхідну продуктивність у даних умовах.

Зазвичай використовуються розумні антени - це антени, якими можна керувати автоматично відповідно до необхідної продуктивності та переважних умов.

Розумні антени можна розділити на дві групи:

- Системи фазованих решіток: Системи фазованих решіток перемикаються і мають ряд попередньо визначених шаблонів - необхідний перемикається відповідно до потрібного напрямку.
- Системи адаптивної решітки (AAS): цей тип антен використовує так звану адаптивне формування променя, і вона має нескінченну кількість шаблонів і може бути налаштована відповідно до вимог у режимі реального часу.

Формування променя МІМО з використанням систем фазованих решіток вимагає, щоб загальна система визначала напрямок надходження вхідного сигналу, а потім переключала найбільш підходящий промінь. Це щось на кшталт компромісу, оскільки фіксований промінь навряд чи точно відповідатиме потрібному напрямку [3].

Системи адаптивних решіток здатні спрямовувати промінь у потрібному напрямку, а також переміщувати промінь у режимі реального часу — це особлива перевага для рухомих систем — фактор, який часто трапляється з мобільними телекомунікаціями. Однак вартість вимагає значної додаткової складності.

3.8 Побудова мереж 5G на основі використанні масивних МІМО

Масивні МІМО є основною технологією 5-го покоління мобільний зв'язок.

Однією з найбільших речей нашої часу є те, що 5G допомагає реалізувати інтелектуальний Інтернет всього (ІоЕ), внесення великих змін до життя людей,

багатьох вертикальних галузей і всього суспільства, створюючи світ а краще підключений і цифровий. Масивний MIMO, як одна з основних технологій 5G, є ключем до досягнення високого рівня вимоги до продуктивності та нові вимоги до обслуговування цієї дивовижної нової ери. Незважаючи на те, що масивні MIMO дійсно пропонує великі перспективи для високопродуктивного 5G з ширшою пропускну здатністю, більшою кількістю з'єднань, менша затримка та краща надійність, реалізація її повного потенціалу вимагає ефективних відповідей на виклики покриття мережі, користувацький досвід і можливості мережі, що актуально для всіх операторів мобільних мережі постачальників систем [4].

Масивні MIMO, це антенна технологія, що є основною технологією 5G, яка може покращити покриття мережі, можливості мережі. У той час як традиційні радіопристрої часто мають лише два, чотири або максимум вісім каналів TRX, радіопристрої на основі технології масивний MIMO може мати 32 або 64 канали TRX, з до 512 або навіть більше антенних елементів, що може призвести до значно більшого збільшення потужності, ніж традиційне обладнання. Крім того, в той час як традиційні пристрої більше зосереджуються на охопленні в горизонтальному вимірі, масивні MIMO також пропонує набагато кращу гнучкість у вертикальному вимірі.

Масивні MIMO можуть значною мірою використовувати ресурси космічного виміру та увімкнути користувачі на одній базовій станції використовувати однакові тимчасові та частотні ресурси, що значно покращує пропускну здатність мережі без більш щільних базових станцій і ширшої смуги частот.

Технологія Масивні MIMO вперше була введена в мобільні мережі в епоху Pre5G [4]. З розгортанням 5G в усьому світі зараз він широко поширений у великих масштабах.

Масивні основні технології MIMO підтримують вимоги до розробки кожного аспекту програми мережі 5G:

Покриття мережі: керування кількома променями та формування променів закладають основу для кращого покриття.

Взаємодія з користувачами: SU-MIMO та розширений алгоритм на основі сценаріїв забезпечують найкращий досвід користувача в будь-який час і в будь-якому місці.

Можливості мережі: MU-MIMO та алгоритм спарювання кількох користувачів/багаторівневих ключів максимізують значення повного виміру, такі як потужність системи, досвід і енергоспоживання.

Для вирішення цих проблем можна використовувати технології масивних MIMO з розширеним керуванням променями алгоритми та інші інноваційні рішення

3.9 Проблеми Масивних MIMO у розгортанні мережі 5G

Масивна технологія MIMO може значно покращити якість системи, але все ще існує багато проблем можна подолати під час розгортання реальних мереж. Ці проблеми пов'язані в основному з трьома ключовими аспектами розгортання 5G мережі, користувацький досвід і можливості мережі.

Наведені вище три аспекти отримають значну користь від типових технічних характеристик і переваг Масивні MIMO, і одночасно будуть вирішені відповідні технічні труднощі.

Взявши сигнал синхронізації та конфігурацію блоку PBCH (SSB) як приклад, SSB визначає основне покриття продуктивності мережі. Канал мовлення 4G надсилається з фіксованим широким променем, і його покриття не змінюється в більшості випадків. Більше променів SSB забезпечує гнучку конфігурацію, тобто декілька горизонтальних променів можна налаштувати, або комбінацію горизонтальних і вертикальних балок можна налаштувати. Промені можуть бути різноманітної конфігурації з різною шириною та висотою, так що конфігурація променів 5G SSB може підтримувати велику кількість сценаріїв та точно відповідають вимогам диференційованого покриття. Однак збільшення гнучкості також приносить значне збільшення складності конфігурації. Існує більше десятків

тисяч комбінацій антен конфігурація параметрів для променів 5G SSB. Тут виникає величезна технічна проблема, як швидко і точно знайти серед десятків тисяч параметрів антени конфігурацію, яка найбільше підходить для поточного сценарію, і ефективно узгоджувати конфігурацію зі зміною сценаріїв і режимів поведінки користувачів [7].

На основі квазі - ортогональних характеристик багатокористувацьких каналів, масивних MIMO може значно покращити пропускну здатність мережі через SDMA. Через складність поширення бездротового каналу і випадковість розповсюдження користувачів і послуг, проект базової станції вимагає добре виконаного алгоритму низхідного зв'язку передача та прийом по вихідній лінії для отримання стабільного багатокористувацького підсилення SDMA та продуктивності захисту від перешкод.

За умови заданої кількості антен, складність алгоритму масивних MIMO швидко зростає з збільшення кількості користувачів і максимальної кількості рівнів мультиплексування MU-MIMO, що стає одним із ключових технічних труднощів, що впливають на потужність системи.

3.10 Формування променів масивних MIMO

Передача каналу керування трансляцією та покриття 4G – як у випадку 2G та 3G, – здійснюється через широкий промінь. В 5G впроваджується технологія великомасштабної антенної решітки. Як і канал обслуговування PDSCH, завдяки співпраці всіх антенні елементи та радіочастотні канали передачі в антенній решітці, система 5G забезпечує вузьке формування променя SSB.

Кілька вузьких променів SSB можна сканувати та передавати у часовій та просторовій областях. Таким чином, SSB не може досягти тільки така ж продуктивність покриття, що й сервісний канал, але також тривимірний гнучкий режим покриття в горизонтальному та вертикальні розміри.

5G, з іншого боку, використовує технології формування променя на основі масиву антенних елементів і радіочастотної передачі канали для передачі кількох вузьких променів SSB як у часовій, так і в просторовій областях, таким же способом PDSCH. Це допомагає досягти однакового покриття SSB і сервісних каналів і дуже гнучкого покриття в тривимірному просторі

П'яти вимірні параметри антени технології масивні MIMO включають ширину горизонтального променя, ширину вертикального променя, горизонтальний азимут, вертикальний нахил і кількість пучків SSB [4].

Існує п'ять ключових параметрів, що визначають конфігурацію масивних MIMO SSB:

1. ширина горизонтального променя,
2. ширина вертикального променя,
3. горизонтальний азимут,
4. вертикальний нахил
5. кількість пучків SSB.

Це допомагає досягти великої гнучкості у задоволенні різних вимог до покриття.

Висновки до розділу

В цьому розділі було проаналізовано технологію MIMO.

Аналіз складався з наступних пунктів:

Загальні відомості про технологію MIMO

Можливості побудови мереж п'ятого покоління на основі використання масивних MIMO

Проблеми масивних MIMO у розгортанні мереж 5G

Формування променів масивних MIMO

Основною ідеєю технології MIMO є розбиття потоку даних які передаються між незалежними передавально - приймальними пристроями. Саме це забезпечує надійний зв'язок для одного і того ж абонента на одній і тій самій частоті.

Перевагами MIMO є:

- одночасна роздача кількох потоків інформації єдиним каналом
- можливість покращення пропускної здатності не розширюючи при цьому смугу
- швидкість передачі даних та якість переданого сигналу стають кращими через те, що технологія спочатку кодує дані, а потім відновлює їх на приймальній стороні

4 АРХІТЕКТУРА МЕРЕЖІ 5G

Стандарти 3GPP, що стоять за архітектурою мережі 5G, були введені Проектом партнерства третього покоління (3GPP), організацією, яка розробляє міжнародні стандарти для всього мобільного зв'язку. Міжнародний союз електрозв'язку (ITU) та його партнери визначають вимоги та терміни для систем мобільного зв'язку, визначаючи нове покоління приблизно кожні десять років. 3GPP розробляє специфікації для цих вимог у серії випусків.

«G» в 5G означає «покоління». Архітектура технології 5G представляє значний прогрес за межами технології 4G LTE (довготривала еволюція), яка йде на п'ятах 3G і 2G.

Розробка та розгортання нових мережевих технологій займає величезну кількість часу, інвестицій та співпраці основних організацій і операторів.

Архітектура мережі мобільних технологій 5g значно покращується в порівнянні з попередніми архітектурами. Великі мережі з щільністю осередків забезпечують значні стрибки в продуктивності. Крім того, архітектура мереж 5G пропонує кращу безпеку в порівнянні з сучасними мережами 4G LTE [6].

Основними характеристиками мережі мобільного зв'язку п'ятого покоління, являються:

- Над широкосмуговий мобільний доступ (enhanced Mobile Broadband, eMBB),
- Ультра надійний зв'язок із низькими затримками (Ultra-Reliable and Low Latency Communications, URLLC),
- Масове підключення різних датчиків та пристроїв зі світу "Інтернету речей" (massive Machine Type Communications, mMTC).

Рекомендація 3GPP TR 38.913 визначає такі ключові показники мереж 5G:

- пікова швидкість передачі на лінії вниз (Downlink) 20 Гбіт/с (спектральна ефективність 30 біт/с/Гц);

- пікова швидкість передачі на лінії вгору (Uplink) 10 Гбіт/с (спектральна ефективність 15 біт/с/Гц);
- мінімальна затримка у підсистемі радіодоступу для сервісів URLLC – 0,5 мс, для сервісів eMBB – 4 мс;
- максимальна щільність підключених до мережі в міських умовах пристроїв зі світу Інтернету речей - 1 000 000 пристроїв/км²;
- автономна робота пристроїв зі світу "Інтернету речей" без заряджання акумулятора протягом 10 років;
- підтримка мобільності за максимальної швидкості пересування об'єктів 500 км/год.

Ці показники є часом несумісними і навіть взаємовиключними. Тому різним пристроям у різні часи будуть доступні лише певні сервіси з певними показниками (в рамках концепції Network Slicing).

4.1 Принципи архітектури мережі 5G

Ключові принципи архітектури мережі 5G полягають у наступному:

Поділ мережних вузлів на елементи, що забезпечують роботу протоколів «площини користувача» (UP - User Plane) та елементи, що забезпечують роботу протоколів «площини управління» (CP - Control Plane), що значно збільшує гнучкість у частині масштабування та розгортання (допускаючи централізоване та децентралізоване) розміщення окремих складових мережних вузлів).

Поділ мережних елементів на мережні шари (Network Slicing), ґрунтуючись на послугах, що надаються конкретним групам кінцевих користувачів [5].

Реалізація мережних елементів у вигляді віртуальних мереж функцій - VNF (Virtual Network Functions).

Підтримка одночасного доступу до централізованих та локальних служб, що дозволяє реалізовувати концепції хмарних (fog computing) та прикордонних (edge computing) обчислень.

Визначення конвергентної архітектури, що об'єднує різні типи мереж доступу (AN – Access Network) – 3GPP (New Radio – NR) і не 3GPP (WiFi та ін.) з єдиною опорною мережею (CN – Core Network).

Підтримка єдиних алгоритмів та процедур аутентифікації (не залежно від типу мережі доступу).

Підтримка мережевих функцій без збереження стану (stateless), де обчислювальний ресурс відокремлений від зберігання.

Підтримка роумінгу з маршрутизацією трафіку як через домашню мережу (Home routed), так і з локальним приземленням (Local breakout) у гостьовій мережі (VPLMN).

В архітектурі 5G взаємодія між мережевими функціями представлена двома способами:

- сервіс-орієнтоване, коли одні мережеві функції (наприклад, AMF) дозволяють іншим авторизованим мережевим функціям отримувати доступ до сервісів.

- інтерфейсне, яке показує, яка взаємодія існує між сервісами мережевих функцій, описаних як взаємодія точка-точка (наприклад, інтерфейс N11) між будь-якими двома мережевими функціями (наприклад, AMF та SMF).

Мережеві функції на площині управління 5G повинні використовувати лише сервіс-орієнтовані інтерфейси для їхньої взаємодії.

Мережа 5G включає наступні основні програмні модулі та мережеві функції (NF):

- функція управління доступом та мобільністю (AMF - Access and Mobility Management Function);

- функція управління сесіями (SMF – Session Management Function);

- функція передачі даних користувачів (UPF – User Plane Function);

- модуль керування даними користувачів (UDM – Unified Data Management);

- уніфікована база даних (UDR – Unified Data Repository);

- система зберігання неструктурованих даних (UDSF – Unstructured Data Storage Function);
- функція вибору мережного шару (NSSF – Network Slice Selection Function);
- функція управління політиками (PCF – Policy Control Function);
- функція забезпечення взаємодії із зовнішніми програмами (NEF - Network Exposure Function);
- сховище мережеских функцій (NRF – NF Repository Function);
- прикладна функція (AF – Application Function);
- функція підтримки обміну короткими текстовими повідомленнями через протокол NAS (SMSF - SMS Function);
- функція взаємодії з не-3GPP мережею доступу (N3IWF – Non-3GPP InterWorking Function);

На рисунку 4.1 зображено архітектуру мережі 5G взаємодії різних мережеских функцій

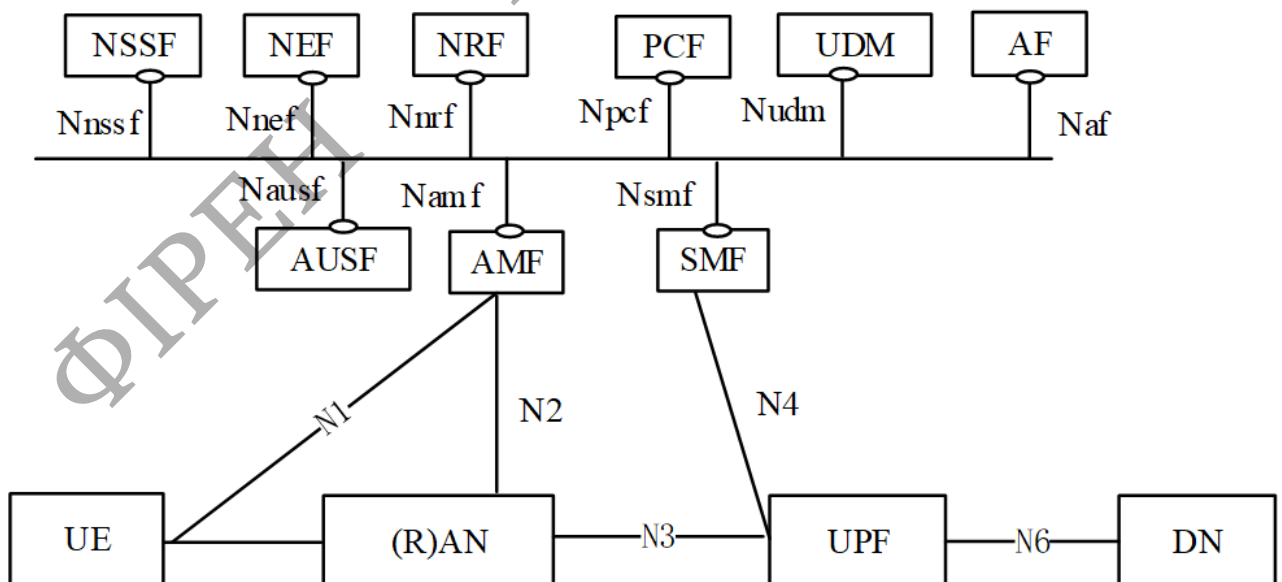


Рисунок 4.1. – Архітектура мережі 5G. Взаємодія мережеских функцій

На рисунку 4.2 зображено архітектуру мережі 5G із зазначенням мережевих інтерфейсів. На схемі не показані мережеві функції UDSF, SDSF, NEF та NRF, а також не показаний UDR для спрощення схеми [7].

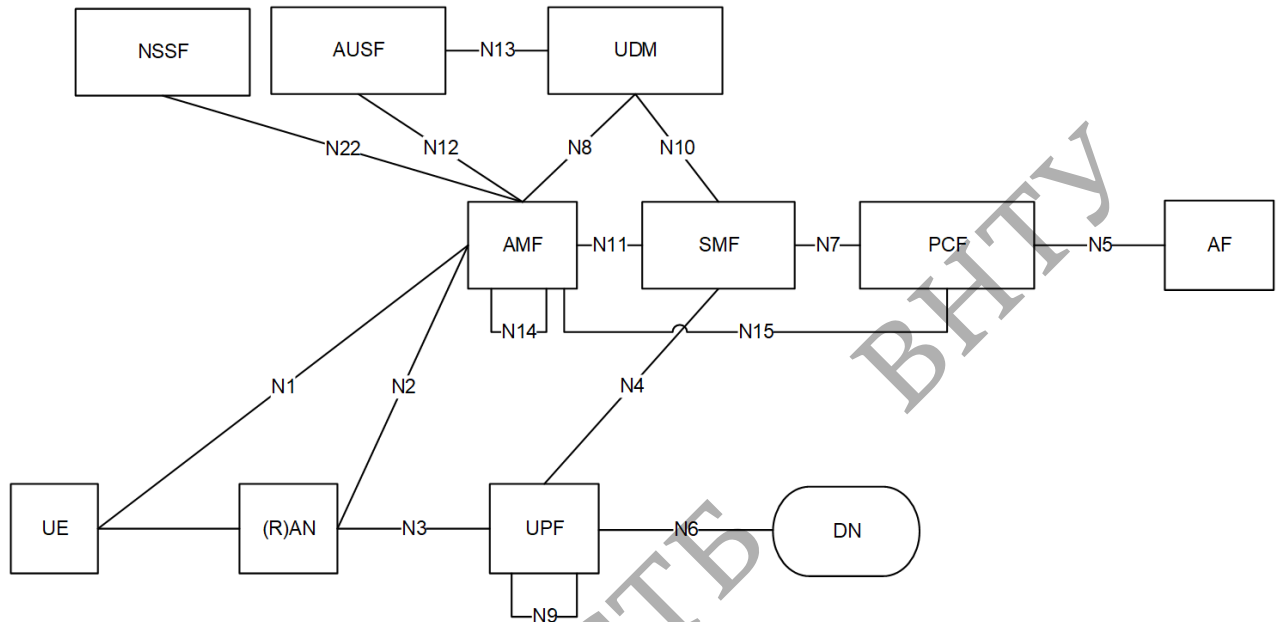


Рисунок 4.2. – Архітектура мережі 5G. Мережеві інтерфейси

4.2 Мережеві функції мережі 5G

4.2.1 Функція управління доступом та мобільністю (AMF - Access and Mobility Management Function)

Функція управління доступом та мобільності (AMF) забезпечує:

- організацію інтерфейсів площини керування N1, N2;
- організацію обміном сигналізації NAS через інтерфейс N1, шифрування та захист цілісності сигналізації NAS;
- управління реєстрацією терміналу (UE) в мережі та контроль можливих станів реєстрації (RM-DEREGISTERED, RM-REGISTERED);
- управління з'єднанням терміналу користувача (UE) з мережею і контроль можливих станів з'єднання (CM-IDLE, CM-CONNECTED);

- управління доступністю терміналу користувача (UE) в мережі в стані CM-IDLE;
- управління мобільністю терміналу (UE) в мережі в стані CM-CONNECTED;
- передачу коротких повідомлень між обладнанням користувача (UE) та SMF;
- управління службами позиціонування;
- передачу повідомлень між UE та функцією управління місцезнаходженням LMF (Location Management Function), а також між RAN та LMF;
- виділення ідентифікатора потоку даних EPS (Evolved Packet System) взаємодії з EPS;
- взаємодія з невизначеними стандартами 3GPP мережами доступу за допомогою модуля взаємодії N3IWF (Non-3GPP InterWorking Function).

Також AMF може включати підфункції управління безпекою, в т.ч. якірну функцію безпеки (SEAF), функцію управління контекстом безпеки (SCMF) та функцію управління політикою безпеки (SPCF).

Незалежно від кількості мережевих функцій у мережі доступу 5G є лише один екземпляр інтерфейсу сигналізації NAS між користувальницьким обладнанням та мережею, який термінується на одній із мережевих функцій, яка у свою чергу реалізує щонайменше захист сигналізації NAS та управління мобільністю [6].

4.2.2 Функція управління сесіями (SMF - Session Management Function)

Функція управління сесіями зв'язку (SMF) забезпечує:

- управління сесіями зв'язку, тобто. створення, зміна та звільнення сесії, включаючи підтримку тунелю між мережею доступу (AN) та UPF;
- розподіл та управління IP-адресами терміналів користувачів (UE);
- вибір використовуваного шлюзу UPF;

- організацію взаємодії із функцією управління політиками (PCF);
- управління роботою шлюзу UPF, у тому числі управління застосуванням політик якості QoS;
- динамічне настроювання терміналів користувача за допомогою протоколів DHCPv4 (сервер та клієнт) та DHCPv6 (сервер та клієнт);
- контроль збору тарифікаційних даних та організація інтерфейсу із системою білінгу;
- не розривність надання послуг SSC (Session and Service Continuity);
- взаємодія з гостьовими мережами у рамках процедур роумінгу.

4.2.3 Функція передачі даних користувачів (UPF - User Plane Function)

Функція передачі даних користувачів (UPF) забезпечує:

- інтерфейс підключення до зовнішніх мереж передачі даних, зокрема до глобальної мережі Інтернет;
- маршрутизацію та передачу пакетів даних користувачів;
- буферизація пакетів та ініціацію повідомлення терміналів користувачів (UE) про наявність даних для передачі лінії вниз (DL);
- маркування пакетів даних відповідно до необхідних параметрів QoS;
- діагностику пакетів інформації (наприклад, виявлення додатків на основі шаблону потоку даних) та застосування мережевих політик відповідно до вказівок, сформованих PCRF;
- надання звітів щодо використання трафіку;
- проксинг ARP (Address Resolution Protocol) запитів, як зазначено в IETF RFC 1027 та/або в IETF RFC 4861 для Ethernet кадрів.

Також UPF є якірною точкою для підтримки мобільності як усередині однієї, так і між різними технологіями радіо доступу (якщо застосовується) [5].

4.2.4 Модуль керування даними користувачів (UDM - Unified Data Management)

Модуль управління даними користувачів (UDM) забезпечує:

- керування даними профілів користувачів, включаючи зберігання та модифікацію переліку доступних користувачам послуг та відповідних параметрів;
- керування ідентифікаторами користувачів (SUPI);
- генерацію облікових даних аутентифікації 3GPP АКА;
- авторизацію доступу на основі даних профілю користувача (наприклад, обмеження роумінгу);
- управління реєстрацією користувача (тобто зберігання обслуговуючого AMF);
- підтримку безперервності обслуговування/сеансу зв'язку, тобто. зберігання призначених SMF/DNN для поточних сеансів зв'язку;
- керування доставкою SMS повідомлень.

При цьому кілька різних UDM можуть обслуговувати одного й того ж користувача для різних транзакцій [15].

4.2.5 Уніфікована база даних (UDR - Unified Data Repository)

UDR здійснює зберігання різних абонентських даних та має прикладні інтерфейси Nudr з прикордонними елементами доступу UDM FE, PCF FE, NEF FE.

4.2.6. Система зберігання неструктурованих даних (UDSF - Unstructured Data Storage Function)

Концепція побудови на опорній мережі 5GC передбачає поділ мережевих функцій NF (Network Function) та систем зберігання даних, що породжуються та оброблюються цими функціями (Storage). У цьому визначено системи зберігання та обробки як структурованих, і неструктурованих даних (UDSF - Unstructured Data Storage Function), тобто. даних, які або не мають чітко визначеної структури, або

даних, структура яких не відома сховищу. Мережеві функції NF взаємодіють із системами зберігання даних USDF – через інтерфейс N18 [5].

Найбільш типовою реалізацією є суміщення на одній фізичній платформі системи зберігання неструктурованих даних (UDSF) та уніфікованої бази даних (UDR).

4.2.7 Функція забезпечення взаємодії із зовнішніми програмами (NEF - Network Exposure Function)

NEF дозволяє організувати безпечну взаємодію зовнішніх платформ та додатків із опорною мережею 5GC. Для вирішення цього завдання NEF:

Дозволяє платформам і програмам підписуватися на певні події, що генеруються різними елементами мережі, і отримувати повідомлення про виникнення таких подій.

Для взаємодії з різними елементами, платформами та додатками (або мережевими функціями NFs) NEF може підтримувати безліч прикладних програмних інтерфейсів API. Безпека взаємодії забезпечується за допомогою реалізованих NEF механізмів безпеки, включаючи автентифікацію та авторизацію відповідних платформ та додатків. Таким чином, функція забезпечення взаємодії із зовнішніми програмами є логічним продовженням елемента SCEF архітектури вузько смугового інтернету речей (NB-IoT), анонсованого в релізі 13 3GPP [5].

NEF може зберігати інформацію, отриману від NFs, у вигляді структурованих даних UDR, використовуючи стандартний інтерфейс Nudr, і надалі використовувати її для трансляції іншим NFs, або з метою аналізу.

4.2.8 Сховище мережевих функцій (NRF – NF Repository Function)

Сховище мережевих функцій (NRF) є еволюційний розвиток сервера доменних імен DNS. Забезпечує зберігання профілів всіх розгорнутих на мережі екземплярів мережевих функцій та вибір одного або декількох екземплярів у рамках процедури NF Discovery Request процесу управління абонентськими

сесіями. При цьому кожна мережева функція при включенні повинна "прописати" в NRF свій статус, а також свої функціональні можливості та опції, що підтримуються.

Профіль екземпляра NF, що підтримується NRF, включає таку інформацію:

- ідентифікатор примірника мережевої функції;
- тип мережевої функції;
- ідентифікатор PLMN;
- ідентифікатор (и), пов'язані з мережним шаром, наприклад S-NSSAI, NSI ID;
- FQDN або IP-адреса мережевої функції;
- інформація про ємність мережевої функції;
- інформація про дозволені сервіси;
- імена сервісів, що підтримуються;
- інформація про точки обміну інформацією для кожної підтримуваної служби;
- ідентифікація збережених даних/інформації;
- інші параметри сервісів, наприклад DNN (Data Network Name), параметри інтерфейсів для повідомлень;
- рівень PLMN (NRF налаштований для роботи на всій PLMN);
- рівень мережевих шарів спільного використання (NRF налаштований таким чином, що він належить кільком мережевим шарам);
- рівень мережевих шарів певного використання (NRF налаштований з належністю до S-NSSAI);

4.2.9 Прикладна функція (AF - Application Function)

Прикладна функція (AF) мережі 5G взаємодіє з опорною мережею і, як приклад, може вирішувати такі завдання:

- керування маршрутизацією трафіку;

- надання доступу до модуля забезпечення взаємодії з елементами мережі (NEF);
- взаємодію Космосу з функцією управління політиками.
- Залежно від конкретного впровадження мережі оператора зв'язку, окремим зовнішнім платформам і програм може бути дозволено прямий (безпосередній) доступ до мережевими функціями 5GC. Інші системи будуть здійснювати доступ до мережеских функцій 5GC через прикладні програмні інтерфейси API, що надаються модулем забезпечення взаємодії мережеских функцій [5].

4.2.10 Функція аналітики мережеских даних (NWDAF - Network Data Analytics Function)

NWDAF забезпечує функцію аналітики мережі. Забезпечує збір інформації з мережеских функцій 5GC, підписку користувачів на послуги NWDAF та надання користувачам метаданих, включаючи статистичні дані про події, що мали місце прогнозу аналітику. Користувачами цієї інформації виступають PCF, NSSF, AMF, SMF, NEF, UDM, AF, OAM.

- У 5GC можуть бути декілька екземплярів NWDAF, спеціалізовані на різних типах аналітики. Дана інформація про спеціалізацію (у вигляді списку ідентифікаторів Analytics ID) зберігається в профілях NRF NWDAF.
- NWDAF є виключно внутрішньо мережевою функцією. Він не має інформації про логіку функціонування мережеских функцій, але збирає дані виключно у статистичних та аналітичних цілях.

4.3 Сесії PDU

В архітектурі 5G взаємодія терміналів користувача (UE) з мережами передачі даних (Data Network) здійснюється в рамках PDU сесій (PDU Session-s). UE може мати одночасно кілька створених PDU сесій для зв'язку з різними мережами

передачі та отримання різних сервісів. При цьому різні сесії можуть бути організовані через різні мережеві функції відповідно до концепції Network Slicing. PDU сесії створюються тільки за запитом терміналу користувача. Однак, архітектура 5G дозволяє прикладній функції (AF) ініціювати на UE процедуру запуску сервісу (Application Triggering) [8].

На відміну від мереж 4G-LTE у мережах 5G створення сесій повністю контролюється SMF і здійснюється в рамках сигнального діалогу NAS SM між UE та SMF (при цьому AMF, що термінує інтерфейс N1 (NAS), здійснює лише прозору трансляцію трафіку NAS SM). У процесі існування PDU сесія може бути переміщена між 3GPP і non-3GPP технологіями доступу.

Кожна PDU сесія характеризується такими атрибутами:

S-NSSAI (Single Network Slice Selection Assistance Information) – фактично тип або ідентифікатор мережного шару;

DNN (Data Network Name) – ім'я зовнішньої мережі передачі даних, фактично аналог імені точки доступу мереж 2.5G/3G/4G-LTE (APN);

PDU Session Type – тип PDU сесії;

SSC mode – режим роботи функції безшовності абонентських сесій та послуг;

PDU Session Id – унікальний для даного UE ідентифікатор PDU сесії;

User Plane Security Enforcement information - інформація забезпечення безпеки трафіку, включаючи шифрування та контроль цілісності.

Тип PDU сесії (PDU Session Type)

3GPP визначає 5 можливих типів PDU сесій - IPv4, IPv6, IPv4v6, Ethernet та неструктурований тип (Unstructured). Перші три типи мережа 5G отримала у спадок від технологій попередніх поколінь (2.5G/3G/4G-LTE). Їх використання передбачає призначення терміналу (UE) для кожної PDU сесії відповідної адреси (IPv4 або IPv6). Крім цього, мережа може визначити UE адреси DNS серверів, P-CSCF (для сесії IMS), MTU і GPSI (Generic Public Subscription Identifier - публічний ідентифікатор підписки користувача, наприклад, MSISDN).

Тип PDU сесії Ethernet не використовувався мережами попередніх поколінь. Даний тип передбачає обмін Ethernet кадрами між терміналом користувача (UE) і мережею відповідно до MAC адресами джерела і одержувача. Мережа 5G не призначає UE ні IP, ні MAC адреси, але при цьому UE може мати IP адресу або прописаний статично, або динамічно призначений DHCP сервером, що знаходиться з ним в одному broadcast домені. Однак, ця IP адреса жодним чином не використовується мережею 5GC і заголовок IP-рівня пакета пропускається мережею прозоро. Допускається увімкнення UE в режимі мосту (bridge-a). У цьому випадку за UE може бути локальна мережа (LAN) з декількома пристроями, що мають власні MAC адреси (ці пристрої не аутентифікуються мережею 5G). При авторизації PDU сесії DN-AAA сервер може призначити SMF для даної сесії список дозволених MAC адрес (до 16-ти) і всі ethernet кадри, що направляються UE у висхідному каналі, повинні містити як адресу джерела (source MAC) тільки дозвалені адреси. Фрейми, які не задовольняють цій умові, блокуватимуться [5].

Тип PDU сесії "Unstructured" орієнтований насамперед на пристрої з "світу Інтернету речей", що передають та приймають non-IP дані. Для сесій цього типу 5GC організує тунель між UPF і сервером додатків, який і інкапсулюються неструктуровані дані, генеровані в рамках даної сесії.

4.4 Різниця між архітектурою мережі 4G та 5G

В архітектурі мережі 4G LTE LTE RAN і eNodeB зазвичай розташовані близько один до одного, часто на базі або біля вежі стільникового зв'язку, що працює на спеціалізованому обладнанні. З іншого боку, монолітний EPC часто централізований і далі від eNodeB. Ця архітектура робить наскрізний зв'язок з високою швидкістю та малою затримкою важкою або неможливою.

В якості стандартних компаній, такі як 3GPP, та постачальники інфраструктури, такі як Nokia та Ericsson, розробили ядро 5G New Radio (5G-NR), вони розбили монолітний EPC і впровадили кожну функцію, щоб вона могла

працювати незалежно один від одного на загальних, поза межами мережі. апаратне забезпечення сервера поліції. Це дозволяє ядру 5G стати децентралізованими вузлами 5G і дуже гнучким. Наприклад, основні функції 5G тепер можна розташувати разом із додатками в периферійному центрі обробки даних, що робить шляхи зв'язку короткими і таким чином покращує швидкість і затримку від кінця до кінця [6].

Ще одна перевага цих менших, більш спеціалізованих компонентів ядра 5G, які працюють на загальному обладнанні, полягає в тому, що мережі тепер можна налаштовувати за допомогою розділення мережі. Зрізування мережі дозволяє мати кілька логічних «фрагментів» функціональності, оптимізованих для конкретних випадків використання, і всі вони працюють на одному фізичному ядрі в мережевій інфраструктурі 5G.

Оператор мережі 5G може запропонувати один фрагмент, який оптимізовано для додатків із високою пропускнуою здатністю, інший сегмент, більш оптимізований для низької затримки, і третій, оптимізований для величезної кількості пристроїв IoT. Залежно від цієї оптимізації деякі основні функції 5G можуть бути взагалі недоступні. Наприклад, якщо ви обслуговуєте лише пристрої Інтернету речей, вам не знадобиться голосова функція, яка необхідна для мобільних телефонів. І оскільки не кожен фрагмент повинен мати абсолютно однакові можливості, доступна обчислювальна потужність використовується ефективніше.

Висновки до розділу

У даному розділі було проведено аналіз архітектури технології п'ятого покоління. Аналіз було проведено по наступних пунктах:

- Аналіз загальних відомостей архітектури мереж 5G
- Принципи побудови архітектури мереж п'ятого покоління
- Мережі функції мережі 5G
- PDU сесії
- Аналіз відмінностей архітектури мереж 4 і 5 покоління.

Архітектура мережі 5G розробляється для підтримки обміну різноманітними даними і надання різних послуг з використанням таких технологій, як мережева віртуалізація і програмно-визначених мереж

5 АНАЛІЗ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБКИ

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 «Вибір розміру антенної решітки МІМО для підвищення ефективності систем 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.

5.1 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 «Вибір розміру антенної решітки МІМО для підвищення ефективності систем 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 таблицях 5.1 та 5.2.

Таблиця 5.1 – Показники ступеня новизни науково-дослідної роботи виставлені експертами

| Ступінь новизни | Характеристика ступеня новизни | Значення ступеня новизни, бали | | |
|---|---|--------------------------------|----|----|
| | | Експерти (ПІБ, посада) | | |
| | | 1 | 2 | 3 |
| Принципово нова | Робота якісно нова за постановкою задачі і ґрунтується на застосуванні оригінальних методів дослідження. Результати дослідження відкривають новий напрям в даній галузі науки і техніки. Отримані принципово нові факти, закономірності; розроблена нова теорія. Створено принципово новий пристрій, спосіб, метод | - | 60 | - |
| 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 | 43 | - | 54 |
| Відносно нова | Робота має елементи новизни в постановці задачі і методах дослідження. Результати дослідження систематизують і узагальнюють наявну інформацію, визначають шляхи подальших досліджень; вперше знайдено зв'язок (або знайдено новий зв'язок) між явищами. В принципі відомі положення розповсюджені на велику кількість об'єктів, в результаті чого знайдено ефективне рішення. Розроблені більш прості способи для досягнення відомих результатів. Проведена часткова раціональна модифікація (з ознаками новизни) | - | - | - |
| Традиційна | Робота виконана за традиційною методикою. Результати дослідження мають інформаційний характер. Підтверджені або поставлені під сумнів відомі факти та твердження, які потребують перевірки. Знайдено новий варіант рішення, який не дає суттєвих переваг в порівнянні з існуючим | - | - | - |
| Не нова | Отримано результат, який раніше зафіксований в інформаційному полі, та не був відомий авторам | - | - | - |
| Середнє значення балів експертів | | 52,3 | | |

Згідно отриманого середнього значення балів експертів ступінь новизни характеризується як нова, тобто отримана нова інформація, яка суттєво зменшує невизначеність наявних знань (по-новому або вперше пояснені відомі факти, закономірності, впроваджені нові поняття, розкрита структура змісту) та проведено суттєве вдосконалення, доповнення і уточнення раніше досягнутих результатів.

Таблиця 4.2 – Показники рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи виставлені експертами

| Характеристика рівня теоретичного опрацювання | Значення показника рівня теоретичного опрацювання, бали | | |
|--|---|----|----|
| | Експерт (ПІБ, посада) | | |
| | 1 | 2 | 3 |
| Відкриття закону, розробка теорії | - | - | - |
| Глибоке опрацювання проблеми: багатоаспектний аналіз зв'язків, взаємозалежності між фактами з наявністю пояснень, наукової систематизації з побудовою евристичної моделі або комплексного прогнозу | - | 60 | - |
| Розробка способу (алгоритму, програми), пристрою, отримання нової речовини | 45 | - | 56 |
| Елементарний аналіз зв'язків між фактами та наявною гіпотезою, класифікація, практичні рекомендації для окремого випадку тощо | - | - | - |
| Опис окремих елементарних фактів, викладення досвіду, результатів спостережень, вимірювань тощо | - | - | - |
| Середнє значення балів експертів | 53,7 | | |

Згідно отриманого середнього значення балів експертів рівень теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи характеризується як розробка способу (алгоритму, програми), пристрою, отримання нової речовини.

Показник, який характеризує рівень наукового ефекту, визначаємо за формулою [13]:

$$E_{\text{нау}} = 0,6 \cdot k_{\text{нов}} + 0,4 \cdot k_{\text{теор}}, \quad (5.1)$$

де $k_{нов}$, $k_{теор}$ - показники ступеня новизни та рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи, $k_{нов} = 52,3$, $k_{теор} = 53,7$ балів;

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

$$E_{нау} = 0,6 \cdot k_{нов} + 0,4 \cdot k_{теор} = 0,6 \cdot 52,3 + 0,4 \cdot 53,67 = 52,87 \text{ балів.}$$

Визначення характеристики показника $E_{нау}$ проводиться на основі висновків експертів виходячи з граничних значень, які наведені в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – 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 «Вибір розміру антенної решітки МІМО для підвищення ефективності систем 5G», даний рівень становить 52,87 балів і відповідає статусу - середній рівень. Тобто у даному випадку можна вести мову про потенційну фактичну ефективність науково-дослідної роботи.

5.2 Розрахунок витрат на здійснення науково-дослідної роботи

Витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідної роботи на тему «Вибір розміру антенної решітки МІМО для підвищення ефективності систем 5G», під час планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідної роботи групуємо за відповідними статтями.

5.2.1 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 [13]:

$$Z_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p}, \quad (5.2)$$

де k – кількість посад дослідників залучених до процесу досліджень;

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

t_i – число днів роботи конкретного дослідника, дні;

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

$$Z_o = 12120,00 \cdot 21 / 22 = 11569,09 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.4 – 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 | 12120,00 | 550,91 | 21 | 11569,09 |
| Інженер-дослідник | 10750,00 | 488,64 | 15 | 7329,55 |
| Консультант | 11800,00 | 536,36 | 6 | 3218,18 |
| Технік | 6750,00 | 306,82 | 15 | 4602,27 |
| Всього | | | | 26719,09 |

Основна заробітна плата робітників

Витрати на основну заробітну плату робітників (Z_p) за відповідними найменуваннями робіт НДР на тему «Вибір розміру антенної решітки МІМО для підвищення ефективності систем 5G» розраховуємо за формулою:

$$Z_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (5.3)$$

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

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

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

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}}, \quad (5.4)$$

де M_M – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи, або мінімальної місячної заробітної плати (в залежності від діючого законодавства), прийmemo $M_M=2379,00$ грн;

K_i – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду (табл. Б.2, додаток Б) [13];

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

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

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

$$C_1 = 2379,00 \cdot 1,10 \cdot 1,65 / (22 \cdot 8) = 24,53 \text{ грн.}$$

$$Z_{pl} = 24,53 \cdot 3,00 = 73,60 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.5 – 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 антенного устаткування | 3,00 | 2 | 1,10 | 24,53 | 73,60 |
| Інсталяція програм імітації передавачів | 2,50 | 5 | 1,70 | 37,92 | 94,79 |
| Інсталяція програм імітації приймачів | 2,50 | 4 | 1,50 | 33,45 | 83,64 |
| Моделювання антенного обладнання | 14,00 | 2 | 1,10 | 24,53 | 343,47 |
| Підготовка приміщення | 4,50 | 4 | 1,50 | 33,45 | 150,55 |
| Налаштування устаткування | 3,50 | 5 | 1,70 | 37,92 | 132,70 |
| Демонтаж устаткування | 5,00 | 3 | 1,35 | 30,11 | 150,55 |
| Всього | | | | | 1029,29 |

Додаткова заробітна плата дослідників та робітників

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

$$Z_{\text{дод}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{дод}}}{100\%}, \quad (5.5)$$

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

$$Z_{\text{дод}} = (26719,09 + 1029,29) \cdot 10 / 100\% = 2775,84 \text{ грн.}$$

5.2.2 Відрахування на соціальні заходи

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

$$Z_n = (Z_o + Z_p + Z_{\text{дод}}) \cdot \frac{H_{zn}}{100\%} \quad (5.6)$$

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

$$Z_n = (26719,09 + 1029,29 + 2774,84) \cdot 22 / 100\% = 6715,11 \text{ грн.}$$

5.2.3 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 «Вибір розміру антенної решітки МІМО для підвищення ефективності систем 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:

$$M = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j - \sum_{j=1}^n B_j \cdot C_{ej}, \quad (5.7)$$

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.

$$M_1 = 3,00 \cdot 98,00 \cdot 1,1 - 0,000 \cdot 0,00 = 323,40 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.6 – 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 Office SIX 4200 | 98,00 | 3,00 | 0,000 | 0,00 | 323,40 |
| Приладдя канцелярське Office X34 | 168,00 | 4,00 | 0,000 | 0,00 | 739,20 |
| Тонер для картриджа друкувального пристрою HP-42A16 | 5230,00 | 0,02 | 0,000 | 0,00 | 115,06 |
| Папір креслярський А1 | 20,00 | 11,00 | 0,000 | 0,00 | 242,00 |
| Органайзер Office DY13 | 215,00 | 4,00 | 0,000 | 0,00 | 946,00 |
| Диск оптичний RAX-7 | 11,80 | 3,00 | 0,000 | 0,00 | 38,94 |
| Всього | | | | | 2404,60 |

5.2.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі (K_6), які використовують при проведенні НДР на тему «Вибір розміру антенної решітки МІМО для підвищення ефективності систем 5G», розраховуємо, згідно з їхньою номенклатурою, за формулою:

$$K_6 = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j \quad (5.8)$$

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

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

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

$K_6 = 1 \cdot 520,00 \cdot 1,1 = 572,00$ грн.

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.7 – Витрати на комплектуючі

| Найменування комплектуючих | Кількість, шт. | Ціна за штуку, грн | Сума, грн |
|-------------------------------------|----------------|--------------------|-----------|
| Одноелементна адаптивна антена | 1 | 520,00 | 572,00 |
| Двоелементна адаптивна антена | 1 | 860,00 | 946,00 |
| Універсальна антена | 1 | 999,00 | 1098,90 |
| Багатоелементна вимірювальна антена | 1 | 1580,00 | 1738,00 |
| Всього | | | 4354,90 |

5.2.5 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:

$$V_{\text{спец}} = \sum_{i=1}^k C_i \cdot C_{\text{пр.}i} \cdot K_i, \quad (5.9)$$

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

$C_{\text{пр.}i}$ – 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.

$$V_{\text{спец}} = 2100,00 \cdot 1 \cdot 1,1 = 2310,00 \text{ грн.}$$

Отримані результати зведемо до таблиці:

Таблиця 5.8 – Витрати на придбання спекустаткування по кожному виду

| Найменування устаткування | Кількість, шт | Ціна за одиницю, грн | Вартість, грн |
|-----------------------------|---------------|-------------------------|---------------|
| Передавач сигналу мережі 5G | 1 | 2100,00 | 2310,00 |
| Приймач сигналу 5G мережі | 1 | 2800,00 | 3080,00 |
| Всього | | | 5390,00 |

5.2.6 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:

$$B_{\text{прог}} = \sum_{i=1}^k C_{\text{инпр}} \cdot C_{\text{прог.і}} \cdot K_i, \quad (5.10)$$

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

$C_{\text{прог.і}}$ – 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.

$$B_{\text{прог}} = 7600,00 \cdot 1 \cdot 1,1 = 8360,00 \text{ грн.}$$

Отримані результати зведемо до таблиці:

Таблиця 5.9 – Витрати на придбання програмних засобів по кожному виду

| Найменування програмного засобу | Кількість, шт | Ціна за одиницю, грн | Вартість, грн |
|-----------------------------------|---------------|----------------------|---------------|
| ОС Windows | 1 | 7600,00 | 8360,00 |
| Прикладний пакет Microsoft Office | 1 | 5460,00 | 6006,00 |
| Пакет Visual System Simulator | 1 | 4200,00 | 4620,00 |
| Пакет Microwave Office | 1 | 2700,00 | 2970,00 |
| Пакет MATLAB SIMULINK | 1 | 3000,00 | 3300,00 |
| Всього | | | 25256,00 |

5.2.7 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:

$$A_{обл} = \frac{Ц_б}{T_в} \cdot \frac{t_{вик}}{12}, \quad (5.11)$$

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.

$$A_{обл} = (15640,00 \cdot 1) / (3 \cdot 12) = 434,44 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.10 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

| Найменування обладнання | Балансова вартість, грн | Строк корисного використання, років | Термін використання обладнання, місяців | Амортизаційні відрахування, грн |
|--|-------------------------|-------------------------------------|---|---------------------------------|
| Персональний комп'ютер | 15640,00 | 3 | 1 | 434,44 |
| Програмний центр обробки та виводу даних | 22340,00 | 3 | 1 | 620,56 |
| Місце оператора | 6250,00 | 5 | 1 | 104,17 |
| Оргтехніка | 7500,00 | 5 | 1 | 125,00 |
| Приміщення лабораторії | 18560,00 | 25 | 1 | 61,87 |
| Генератор сигналу цифровий | 1640,00 | 5 | 1 | 27,33 |
| Дільник цифрових потоків | 468,00 | 4 | 1 | 9,75 |
| Всього | | | | 1383,12 |

5.2.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховуємо за формулою:

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{vni}}{\eta_i}, \quad (5.12)$$

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 $C_e = 4,10$ грн;

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

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

$$B_e = 0,25 \cdot 160,0 \cdot 4,10 \cdot 0,95 / 0,97 = 164,00 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.11 – Витрати на електроенергію

| Найменування обладнання | Встановлена потужність, кВт | Тривалість роботи, год | Сума, грн |
|--|-----------------------------|------------------------|-----------|
| Персональний комп'ютер | 0,25 | 160,0 | 164,00 |
| Програмний центр обробки та виводу даних | 0,36 | 160,0 | 236,16 |
| Місце оператора | 0,10 | 160,0 | 65,60 |
| Оргтехніка | 0,72 | 25,0 | 73,80 |
| Генератор сигналу цифровий | 0,02 | 80,0 | 6,56 |
| Дільник цифрових потоків | 0,07 | 80,0 | 23,62 |
| Передавач мережі 5G | 0,03 | 80,0 | 9,84 |
| Приймач мережі сигналу 5G | 0,04 | 80,0 | 13,12 |
| Всього | | | 592,70 |

5.2.9 Службові відрядження

До статті «Службові відрядження» дослідної роботи на тему «Вибір розміру антенної решітки МІМО для підвищення ефективності систем 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» розраховуємо як 20...25% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{cb} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cb}}{100\%}, \quad (5.13)$$

де H_{cb} – норма нарахування за статтею «Службові відрядження», прийmemo $H_{cb} = 20\%$.

$$B_{cb} = (26719,09 + 1029,29) \cdot 20 / 100\% = 5549,68 \text{ грн.}$$

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

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

$$B_{cn} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cn}}{100\%}, \quad (5.14)$$

де H_{cn} – норма нарахування за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації», прийmemo $H_{cn} = 33\%$.

$$B_{cn} = (26719,09 + 1029,29) \cdot 33 / 100\% = 9156,97 \text{ грн.}$$

5.2.11 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:

$$I_e = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{ie}}{100\%}, \quad (5.15)$$

де H_{ie} – норма нарахування за статтею «Інші витрати», прийmemo $H_{ie} = 65\%$.

$$I_e = (26719,09 + 1029,29) \cdot 65 / 100\% = 18036,45 \text{ грн.}$$

5.2.12 Накладні (загальновиробничі) витрати

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

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

$$B_{нзв} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{нзв}}{100\%}, \quad (5.16)$$

де $H_{нзв}$ – норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати», прийmemo $H_{нзв} = 120\%$.

$$B_{нзв} = (26719,09 + 1029,29) \cdot 120 / 100\% = 33298,06 \text{ грн.}$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Вибір розміру антенної решітки МІМО для підвищення ефективності систем 5G» розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою:

$$B_{заг} = Z_o + Z_p + Z_{одд} + Z_n + M + K_v + B_{спец} + B_{прг} + A_{обл} + B_e + B_{св} + B_{сн} + I_v + B_{нзв}. \quad (4.17)$$

$$B_{заг} = 26719,09 + 1029,29 + 2774,84 + 6715,107991 + 2404,60 + 4354,90 + 5390,00 + 25256,00 + 1383,12 + 592,70 + 5549,68 + 9156,97 + 18036,45 + 33298,06 = 142660,78 \text{ грн.}$$

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

$$ЗВ = \frac{B_{заг}}{\eta}, \quad (5.18)$$

де η - коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково-дослідної роботи, прийmemo $\eta=0,8$.

$$ЗВ = 142660,78 / 0,8 = 178325,98 \text{ грн.}$$

5.3 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 «Вибір розміру антенної решітки МІМО для підвищення ефективності систем 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:

$$K_p = \frac{I^n \cdot T_c \cdot R}{B \cdot t}, \quad (5.19)$$

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. Приймемо $n=3$;

T_c – коефіцієнт складності роботи. Приймемо $T_c = 2$;

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 $B=178325,98$ грн;

t – час проведення дослідження. Прийmemo $t=0,08$ років, (1 міс.).

Визначення показників I , n , T_C , R , B , t здійснюється експертним шляхом або на основі нормативів [13].

$$K_p = \frac{I^n \cdot T_C \cdot R}{B \cdot t} = 4^3 \cdot 2 \cdot 3 / 178 \cdot 0,08 = 25,84.$$

Якщо $K_p > 1$, то науково-дослідну роботу на тему «Вибір розміру антенної решітки МІМО для підвищення ефективності систем 5G» можна вважати ефективною з високим науковим, технічним і економічним рівнем.

Висновки до розділу

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Вибір розміру антенної решітки MIMO для підвищення ефективності систем 5G» складають 178325,98 грн. Відповідно до проведеного аналізу та розрахунків рівень наукового ефекту проведеної науково-дослідної роботи на тему «Вибір розміру антенної решітки MIMO для підвищення ефективності систем 5G» є середній, а дослідження актуальними, рівень доцільності виконання науково-дослідної роботи $K_p > 1$, що свідчить про потенційну ефективність з високим науковим, технічним і економічним рівнем.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

На дослідників, що проводять роботи з вибору розміру антенної решітки МІМО для підвищення систем 5 G можуть впливати такі небезпечні та шкідливі фактори, у відповідності з прийнятою класифікацією за ГОСТ 12.0003.-74 [14].

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

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

Оскільки у роботі висвітлюються дослідження на тему «Вибору розміру антенної решітки МІМО для підвищення систем 5 G», надалі, більш детально описані вимоги безпечної роботи з джерелами електромагнітних випромінювань.

6.1 Технічні рішення з безпечного виконання робіт

6.1.1 Технічні рішення з організації робочого місця під час роботи з мережами радіозв'язку.

Якщо існують невідповідності вимогам норм у залежності від робочого діапазону частот, характеру виконуваних робіт, рівня опромінення і необхідної ефективності захисту застосовують наступні способи та засоби захисту або їх комбінації: захист часом та відстанню; зменшення параметрів випромінювання безпосередньо в самому джерелі випромінювання; екранування джерела випромінювання; екранування робочого місця; раціональне розташування установок в робочому приміщенні; встановлення раціональних режимів експлуатації установок та роботи обслуговуючого персоналу; застосування засобів

попереджувальної сигналізації (світлова, звукова тощо); виділення зон випромінювання; застосування засобів індивідуального захисту.

Захист часом передбачає обмеження часу перебування людини в робочій зоні, якщо інтенсивність опромінення перевищує норми, встановлені за умови опромінення на протязі зміни, і застосовується, коли немає можливості зменшити інтенсивність опромінення до допустимих значень і тільки для випромінювань в діапазоні 300 МГц – 300 ГГц, а також для електростатичного та електричного поля частотою 50 Гц. Допустимий час перебування залежить від інтенсивності опромінення. Захист відстанню застосовується коли неможливо послабити інтенсивність опромінення іншими заходами, у тому числі й скороченням часу перебування людини в небезпечній зоні. В цьому випадку збільшують відстань між джерелом випромінювання і обслуговуючим персоналом. Цей вид захисту ґрунтується на швидкому зменшенні інтенсивності поля з відстанню. Електромагнітна енергія, випромінювана окремими елементами електротермічних установок та радіотехнічної апаратури, при відсутності екранів (настроювання, регулювання, випробування) поширюється в приміщенні, відбивається від стін та перекриттів, частково проходить крізь них і трохи розсіюється в них. В результаті утворення стоячих хвиль в приміщенні можуть створюватися зони з підвищеною густиною ЕМВ. Тому роботи рекомендується проводити в кутових приміщеннях першого та останнього поверхів будинків. Для захисту персоналу від опроміненень потужними джерелами ЕМВ поза приміщеннями необхідно раціонально планувати територію радіоцентру, виносити служби за межі антенного поля, встановлювати безпечні маршрути руху людей, екранувати окремі будівлі та ділянки території. Зони опромінення виділяються на основі інструментальних вимірювань інтенсивності опромінення для кожного конкретного випадку розташування апаратури. Установки огорожують або границю зони позначають яскравою фарбою на підлозі приміщення, передбачаються сигнальні кольори та знаки безпеки відповідно до ГОСТ12.3.026-76. Для захисту очей від ЕМВ призначені захисні окуляри з металізованими скельцями типу ЗП5-80 (ГОСТ 12.4.013-75).

Поверхня одношарових скелець повернута до ока, покрита безколірною прозорою плівкою двоокису олова, яка дає ослаблення електромагнітної енергії до 30 дБ при пропусканні світла не менше 75 %. Для контролю рівнів ЕМП застосовують різні вимірювальні прилади у залежності від діапазону частот. Вимірювання проводять в зоні перебування персоналу від рівня підлоги до висоти 2 м через кожні 0,5 м [11].

6.1.2 Електробезпека

Для забезпечення електробезпеки застосовують окремо або у поєднанні один з іншим наступні технічні способи та засоби: захисне заземлення, занулення.

Захисним заземленням називається навмисний електричний контакт із землею або її еквівалентом металевих не струмоведучих частин, які можуть опинитися під напругою при замиканні на корпус та через інші причини. Завдання захисного заземлення – усунення небезпеки ураження струмом у випадку доторкання до корпусу та інших струмоведучих металевих частин електроустановки, що опинилися під напругою. Захисне заземлення застосовують у трифазних мережах з ізольованою нейтраллю.

Принцип дії захисного заземлення – зменшення напруги між корпусом, що опинився під напругою, та землею до безпечного значення. У якості провідників заземлення дозволяється використовувати різні металеві конструкції: ферми, шахти ліфтів, підйомників, сталеві труби електропроводок, відкрито прокладені стаціонарні трубопроводи різного призначення (крім трубопроводів горючих та вибухонебезпечних газів, каналізації і центрального опалення).

Зануленням називається навмисне електричне з'єднання з нульовим захисним провідником металевих не струмоведучих частин, які можуть опинитися під напругою внаслідок замикання на корпус та через інші причини. Завдання занулення – усунення небезпеки ураження струмом у випадку контакту з корпусом та іншими неструмоведучими металевими частинами електроустановки, що опинилися під напругою внаслідок замикання на корпус. Вирішується це завдання швидким вимкненням пошкодженої електроустановки із мережі. Принцип дії

занулення – перетворення замикання на корпус в однофазне коротке замикання (тобто замикання між фазними та нульовими проводами) з метою викликати більший струм, здатний забезпечити спрацювання захисту і цим самим автоматично вимкнути пошкоджену установку із мережі живлення. Таким захистом можуть бути плавкі запобіжники, магнітні пускачі з тепловим захистом, контактори у поєднанні з тепловими реле, автомати, що здійснюють захист одночасно від струмів короткого замикання та від перевантаження [12].

Класифікація приміщень за категоріями електробезпеки залежно від мікроклімату виробничих будівель. Допустимими визнаються умови праці у будівлях, де відносна вологість повітря не перевищує 60%, температура повітря не перевищує 35 °С, а пил та хімічно агресивне середовище – відсутні. За таких умов праці мікроклімат вважається сухим. Вологими називаються умови роботи, де відносна вологість повітря становить від 60% до 75%. Сирі – це такі умови, які характеризуються відносною вологістю повітря в будівлі більшою за 75%. Особливо сирі умови – це умови, із майже стовідсотковою відносною вологістю повітря. Гарячими умовами праці є становище, при якому температура повітря перевищує 35 °С. Запиленими визнаються умови, при яких виділяється велика кількість виробничого пилу, внаслідок чого він може залишатись на зовнішніх поверхнях або навіть проникати у середину обладнання чи апаратів. До умов праці з хімічно активним середовищем відносять умови, при яких у повітрі протягом тривалого часу залишаються гази або краплі рідин, які негативно впливають на ізолюючі властивості і струмопровідні елементи електричних інструментів [16].

Класифікація приміщень за рівнем електробезпеки Відповідно до ПУЕ, усі промислові приміщення (цехи, майстерні, склади) за ступенем ймовірності ураження електричним струмом можна розділити на три категорії: Будівлі з підвищеною небезпекою До цього типу будівель належать споруди, в яких наявний принаймні один із таких факторів: сирі приміщення, відносна вологість в яких протягом тривалого часу перевищує 75%; приміщення, в яких пил покриває провідники, забивається всередину машин та обладнання; приміщення зі

струмопровідними підлогами (металевими, земляними, цегляними, залізобетонними); приміщення, в яких середня температура повітря зазвичай перевищує $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$; приміщення, в яких існує ймовірність одночасного торкання співробітника до зовнішніх елементів електричного устаткування і заземлених металевих конструкцій будівель, технологічного обладнання тощо.

Будівлі з особливо небезпечними умовами Ці будівлі характеризуються як дуже сирі приміщення зі стовідсотковою відносною вологістю. Стеля, стіни, підлога, устаткування у таких приміщеннях постійно вкриті тонким шаром крапель чи пліснявою. Слід бути вкрай обережними, оскільки при виконанні робіт з використанням електричної напруги на відкритому повітрі, всередині посудин, всередині непросохлих приміщень ймовірність ураження співробітників чи сторонніх осіб електричним струмом дуже висока. До будівель з особливо небезпечними умовами належать також споруди з хімічно активним середовищем, яке завдяки своїм властивостям завдає шкоду ізоляції та електричним матеріалам. Окрім того, будівлі, які мають одночасно дві або більше ознаки приміщень з підвищеною безпекою так само належать до будівель із особливо небезпечними умовами.

Будівлі без факторів збільшеної безпеки До цієї категорії належать будівлі, в яких немає жодної з ознак, властивих приміщенням з підвищеною або особливою безпекою [17].

Підсумовуємо, що для створення оптимальних умов електробезпеки в робочому приміщенні потрібно підтримувати режим вологості повітря на рівні 60%, для того щоб приміщення було сухим, та температуру повітря не вище 35°C . Постійний моніторинг середовища, на предмет пилу та хімічно агресивних речовин у складі повітря, для забезпечення електробезпеки приміщення. Заземлення електропристроїв для уникнення аварійної ситуації.

6.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

6.2.1 Мікроклімат

Метеорологічні умови виробничих приміщень (санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042–99) можна оцінювати за сукупністю таких факторів, як температура (t , °C), відносна вологість (ϕ , %), швидкість руху повітря (V , м/с) та величина інтенсивності теплового опромінення (E , Вт/м²).

За ступенем впливу на тепловий стан людини мікрокліматичної умови поділяють на оптимальні та допустимі. Оптимальні мікрокліматичні умови – поєднання параметрів мікроклімату, які при тривалому та систематичному впливі на людину забезпечують зберігання нормального теплового стану організму без активізації механізмів терморегуляції. Вони забезпечують відчуття теплового комфорту та створюють передумови для високого рівня працездатності [9]. Допустимі мікрокліматичні умови – поєднання параметрів мікроклімату, які при тривалому та систематичному впливі на людину можуть викликати зміни теплового стану організму, що швидко минають і нормалізуються та супроводжуються напруженням механізмів терморегуляції в межах фізіологічної адаптації. При цьому не виникає ушкоджень або порушень стану здоров'я, але можуть спостерігатися дискомфортні тепловідчуття, погіршення самопочуття та зниження працездатності [13].

Категорія робіт – розмежування робіт за важкістю на основі загальних енерговитрат організму [13]. Легкі фізичні роботи (категорія I) охоплюють види діяльності, при яких витрата енергії дорівнює 105–140 Вт (90–120 ккал/год.) – категорія Ia та 141–175 Вт (121–150 ккал/год.) – категорія Ib. До категорії Ia належать роботи, що виконуються сидячи і не потребують фізичного напруження. До категорії Ib належать роботи, що виконуються сидячи, стоячи або пов'язані з ходінням та супроводжуються деяким фізичним напруженням.

Визначаємо наявну категорію робіт, як Іб. Основними нормативними документами, що регламентують параметри мікроклімату виробничих приміщень, є ДСН 3.3.6.042-99 [14].

Допустимі параметри мікроклімату наведені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Параметри мікроклімату

| Період року | Категорія робіт | Температура, °С | | Відносна вологість | Швидкість руху, X |
|-------------|-----------------|-----------------|------------|--------------------|-------------------|
| | | Допустима | Допустима | | |
| | | Верхня межа | Нижня межа | Допустима | Допустима |
| Холодний | Іб | 20-24 | 17-25 | 75 | не більше 0,2 |
| Теплий | | 21-28 | 19-30 | 55 при 27 °С | 0,1-0,3 |

Отже для забезпечення комфортності і безпеки трудового процесу рекомендовано дотримуватись вищенаведених параметрів мікроклімату і корегувати їх відповідними технічними засобами, якщо матимуть місце відхилення від нормативних значень.

6.2.2 Склад повітря робочої зони

При виконанні даного виду робіт немає небезпеки виділення шкідливих речовин у повітря, але потрібен контроль за складом повітря робочої зони та при збільшенні допустимих норм проводити заходи, щодо усунення надлишку шкідливих речовин.

Для забезпечення складу повітря робочої зони передбачені наступні рішення:

- застосування пиловідсмоктуючих агрегатів з рукавними фільтрами, які встановлені безпосередньо на ділянках біля обладнання із яких очищене повітря поступає у виробниче приміщення;

- необхідно проводити контроль за ГДК шкідливих речовин у приміщенні;
- застосовувати природну вентиляцію: організовану і неорганізовану.

6.2.3 Виробниче освітлення

Відповідно до ДБН В.2.5-28:2018 [13] Система природного освітлення відноситься до бокової. Характеристика зорових робіт – середньої точності.

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО (для III пояса світлового клімату) при природному та сумісному освітленні зазначені у таблиці 6.2:

Таблиця 6.2 - Норми освітленості в приміщенні

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

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

6.2.4 Виробничий шум

Звук або шум виникає при механічних коливаннях у твердих, рідких та газоподібних середовищах. Звуки, що передаються будівельними конструкціями, називаються структурними, а ті що поширюються у повітряному середовищі, прийнято називати повітряним шумом. Будь-який небажаний звук називають шумом. Шум шкідливий для здоров'я, зменшує працездатність, підвищує рівень небезпеки. Тому необхідно передбачати заходи захисту від шуму. А для цього потрібно володіти відповідними знаннями. Як правило, шум нас дратує: заважає працювати, відпочивати, думати. Але шум може впливати і позитивно. Такий вплив на людину чинить, наприклад, шелест листя дерев, помірний стукіт дощових крапель, рокіт морського прибою. Позитивний вплив спокійної приємної музики відомий з давніх часів. Тому різноманітні оздоровчі процедури супроводжуються спокійною симфонічною або блюзовою музикою.

Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є ДСН 3.3.6.037-99 [10]. За цими нормами рівень шуму не може перевищувати 65 Дб.

Існують такі способи боротьби з шумом механічного походження та вібрацією:

- зменшення шуму та вібрації безпосередньо в джерелах їх виникнення, застосовуючи обладнання, що не утворює шуму, замінюючи ударні технологічні процеси безударними, застосовуючи деталі із матеріалів з високим коефіцієнтом внутрішнього тертя (пластмаса, гума, деревина та ін), підшипники ковзання замість кочення, косозубі та шевронні зубчасті передачі замість прямозубих, проводячи своєчасне обслуговування та ремонт елементів, що створюють шум та ін.;

- зменшення шуму та вібрації на шляхах їх розповсюдження заходами звуко- та віброізоляції, а також вібро- та звукопоглинання;

- зменшення шкідливої дії шуму та вібрації, застосовуючи індивідуальні засоби захисту та запроваджуючи раціональні режими праці та відпочинку.

Одним з найпростіших та економічно доцільних способів зниження шуму є застосування методів звукоізоляції та звукопоглинання.

6.2.5 Електромагнітні випромінювання

Електромагнітні поля мають потужний вплив на людський організм. Вони негативно впливають майже на усі системи організму. Тому треба створювати певні методи захисту від їх дії. Найпоширенішими з таких методів є такі:

- зменшення щільності потоку енергії, якщо дозволяє даний технологічний процес або обладнання.
- захист часом (тобто обмеження часу знаходження у зоні джерела ЕМП).
- захист відстанню.
- екранування робочого місця чи джерела.
- раціональне планування робочого місця.
- застосування засобів попереджувальної сигналізації.
- застосування засобів особистого захисту.

Для зменшення впливу електромагнітних полів на персонал, який знаходиться у зоні дії деяких радіоелектронних засобів необхідним є ряд захисних заходів: організаційні, інженерно-технічні та лікувально-профілактичні [11].

Слід сказати, що ще на етапі проектування взаємне розміщення об'єктів має бути забезпечено таким чином, щоб інтенсивність опромінення була мінімальною. Також треба заздалегідь попідкуватися про зменшення часу перебування персоналу у зоні опромінення. Потужність джерел випромінювання повинна бути найменшою з можливих.

6.2.6 Психофізіологічні фактори

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

Небезпечні та шкідливі психофізіологічні виробничі чинники залежно від характеру дії поділяють на такі групи:

- фізичні перевантаження (статичні, динамічні);
- нервово-психічні перевантаження (розумові перевантаження, перевантаження аналізаторів, монотонність праці, емоційні перевантаження)

Психофізіологічні фактори вибираються відповідно з Гігієнічною класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу [12].

Оптимальні умови праці за показниками напруженості праці:

Інтелектуальні навантаження:

Зміст роботи – рішення складних завдань з вибором за алгоритмом;

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

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

Сенсорні навантаження:

Зосередження (%за зміну) – до 50%;

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

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

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

Емоційне навантаження:

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

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

Режим праці:

Тривалість робочого дня – більше 8 год;

Змінність роботи – однозмінна (без нічної зміни).

6.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи систем зв'язку 5G в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій.

Відповідно до Національного класифікатора “Класифікатор надзвичайних ситуацій ДК 019:2010” їх розподілено на:

- НС техногенного характеру – порушення нормальних умов життя та діяльності людей на окремій території чи об'єкті на ній або на водному об'єкті унаслідок транспортної аварії (катастрофи), пожежі, вибуху, аварії з викиданням (загрозою викидання) небезпечних хімічних, радіоактивних і біологічно небезпечних речовин, раптового руйнування споруд; аварії в електроенергетичних системах, системах життєзабезпечення, системах телекомунікацій, на очисних спорудах, у системах нафтогазового промислового комплексу, гідродинамічних аварій тощо;
- НС природного характеру – порушення нормальних умов життя та діяльності людей на окремій території чи об'єкті на ній або на водному об'єкті, пов'язане з небезпечним геофізичним, геологічним, метеорологічним або гідрологічним явищем, деградацією ґрунтів чи надр, пожежею у природних екологічних системах, зміною стану повітряного басейну, інфекційною захворюваністю та отруєнням людей, інфекційним захворюванням свійських тварин, масовою загибеллю диких тварин, ураженням сільськогосподарських рослин хворобами та шкідниками тощо;
- НС соціального характеру – порушення нормальних умов життя та діяльності людей на окремій території чи об'єкті на ній або на водному об'єкті, спричинене протиправними діями терористичного і антиконституційного спрямування, або пов'язане із зникненням (викраденням) зброї та небезпечних речовин, нещасними випадками з людьми тощо.

Крім того, ще виділяють надзвичайні ситуації воєнного характеру – порушення нормальних умов життя та діяльності людей на окремій території чи об'єкті на ній або на водному об'єкті, спричинене застосуванням звичайної зброї або зброї масового ураження, під час якого виникають вторинні чинники ураження населення, що її визначають в окремих нормативних документах.

Джерелами іонізуючих випромінювань є радіоактивні елементи і їх ізотопи, ядерні реактори, прискорювачі заряджених частинок та ін. Рентгенівські установки і високовольтні джерела постійного струму відносяться до джерел рентгенівського випромінювання [15].

Дія іонізуючих випромінювань на елементну базу електронних пристроїв та систем як правило викликає зміну практично всіх електричних і експлуатаційних характеристик їх елементів. Цей процес залежить від протікання процесів іонізації і порушення структури матеріалів зі зміною перехідних струмів в р-п переходах транзисторів, вольт-амперних характеристик напівпровідникових діодів, опорів транзисторів, ємностей конденсаторів, тощо.

Наслідком дії іонізуючих випромінювань на автоматизовані системи може бути миттєва втрата працездатності при критичних рівнях радіації або розвиток відновлюваних чи невідновлюваних змін через деякий час після радіоактивного зараження при рівнях радіації значно нижчих від критичних.

Дія електромагнітного випромінювання характеризується генерацією дуже короткого (10^{-7} с), але інтенсивного електромагнітного імпульсу, який розповсюджується від джерела з інтенсивністю, що зменшується, у відповідності з теорією електромагнетизму. Цей імпульс енергії створює потужне електромагнітне поле, особливо поблизу джерел виникнення. Поле може бути достатньо сильним, щоб викликати короткочасні перенапруження в тисячі вольт в електричних провідниках, таких як контактна проводка або провідні доріжки мікросхем [15].

Залежно від електромагнітної стійкості електроніки до дії ЕМІ і інтенсивності поля, обладнання може бути необоротно пошкоджене або, іншими словами, електрично знищено. Заподіяне пошкодження мало чим відрізняється від

того, що можна чекати від близького удару блискавки і може потребувати повної заміни системи, або, принаймні, істотної її частини.

Тому комп'ютери, що використовуються в системах обробки даних, комунікаційних системах, системах відображення інформації, системах промислового контролю потенційно уразливі до дії ЕМІ.

6.3.1 Дослідження стійкості роботи систем зв'язку 5G в умовах дії іонізуючих випромінювань

Критерієм стійкості роботи систем зв'язку 5G умовах дії іонізуючих випромінювань приймається максимальне значення експозиційної дози ($D_{e,гр}$), при якій можуть виникнути зворотні зміни параметрів елементів, але робота приймача ще не порушується.

Вихідними даними для оцінки є максимальне значення потужності дози через одну годину після аварії p_{1max} Р/год; коефіцієнт послаблення радіації виробничими приміщеннями, транспортними засобами, $K_{посл}$. Приймаємо $p_{1max} = 4,75$ Р/год, $K_{посл} = 1$; $t_{п} = 1$ год; $t_{рmax} = 40000$ год.

Дослідження проводиться в наступній послідовності [14].

1. Аналізується схема системи зв'язку 5G і елементи від яких залежить робота. В нашому випадку це мікросхеми, транзистори, конденсатори, резистори. Для кожного елемента визначається максимально допустима експозиційна доза ($D_{гр,i}$). Дані заносимо в таблицю 6.6. Аналізуємо дані і за мінімальним значенням $D_{гр,i}$ визначається границя стійкості роботи широкодіапазонного панорамного приймача.

2. Визначається можлива експозиційна доза опромінення системи в заданих умовах протягом експлуатаційного терміну:

Таблиця 6.3 – Граничні дози опромінення елементів

| № блоку | Блок | Елементи РЕА | $D_{зві}, P$ | $D_{звб}, P$ | $D_{гр}, P$ |
|---------|--------------------|------------------------|--------------|--------------|-------------|
| 1 | Живлення | Мікросхеми | 10^5 | 10^4 | 10^4 |
| | | Діоди | 10^4-10^6 | | |
| 2 | Приймальний блок | Конденсатори | 10^7-10^9 | 10^5 | |
| | | Резистори | 10^7-10^9 | | |
| | | Діелектричні матеріали | 10^5 | | |
| 3 | Передавальний блок | Резистори | 10^7-10^9 | 10^5 | |
| | | Діелектричні матеріали | 10^5 | | |

$$D_M = \frac{2 \cdot P_{1max} \cdot (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_n})}{K_{посл}} = \frac{2 \cdot 4,75 \cdot (\sqrt{40000} - \sqrt{1})}{1} = 1890,5 P. \quad (6.1)$$

3. Граничне значення експозиційної дози ($D_{гр.min}$) порівнюється з D_M , що очікується, і робиться висновок про стійкість роботи пристрою. Оскільки $D_{гр.min} > D_M$ то імпульсний металошукач стійкий до радіації.

4. Розраховується допустимий час безпечної роботи широкодіапазонного панорамного приймача у заданих умовах:

$$t_d = \left(\frac{D_{гр.min} \cdot K_{посл} + 2 \cdot p_{1,max} \cdot \sqrt{t_n}}{2p_{1,max}} \right)^2 = \left(\frac{10^4 \cdot 2 + 2 \cdot 4,75 \sqrt{1}}{2 \cdot 4,75} \right)^2 = 2058,61 \text{ (год)}. \quad (6.2)$$

Отже, можлива доза опромінення елементної бази мережі складає $1890,5 P$, а допустима – $10000 P$. Тож систем зв'язку 5G є стійкою в умовах дії іонізуючого

випромінювання. Допустимий час роботи приймача в заданих умовах становить 2058,61 год., при рівні радіації 4,75 Р/год.

5.3.2 Дослідження стійкості роботи системи зв'язку 5G в умовах дії електромагнітного імпульсу

Початкові дані: $E_B=12,34$ кВ/м, $U_{ж}=12$; 5В.

Дослідження стійкості роботи системи зв'язку 5G ведеться в послідовності:

1. Визначається горизонтальна складова напруженості електричного поля

$$E_{Г} = 10^{-3} \cdot E_B = 10^{-3} \cdot 12,34 \cdot 10^3 = 12,34 \text{ (В/м)}; \quad (6.3)$$

2. Стільникова систем зв'язку 5G розподіляється на окремі функціональні вузли: система живлення, приймальні та передавальні блоки. На кожній ділянці визначається максимальна довжина вертикальної і горизонтальної струмопровідної частини l_B і $l_{Г}$

На ділянці системи живлення максимальна довжина вертикальної і горизонтальної струмопровідної частини $l_{B,ж}=0,13$ м, $l_{Г,ж} = 0,11$ м. На ділянці прийомного та передавального блоку $l_{B,м}=0,017$ м, $l_{Г,м} = 0,021$ м.

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

На ділянці системи живлення:

$$U_{B,ж} = E_{Г} \cdot l_{B,ж} = 12,34 \cdot 0,13 = 1,6 \text{ (В)}; \quad (6.4)$$

$$U_{Г,ж} = E_B \cdot l_{Г,ж} = 12,34 \cdot 10^3 \cdot 0,11 = 1357 \text{ (В)}. \quad (6.5)$$

На ділянці прийомного та передавального блоків:

$$U_{B,м} = E_{Г} \cdot l_{B,м} = 12,34 \cdot 0,017 = 0,2 \text{ (В)}; \quad (6.6)$$

$$U_{Г.М} = E_B \cdot I_{Г.М} = 12,34 \cdot 10^3 \cdot 0,021 = 259,14 \text{ (В)}. \quad (6.7)$$

4. Визначається допустиме коливання напруги живлення:

$$U_D = U_{ж} + \frac{U_{ж} \cdot N}{100} \text{ (В)}, \quad (6.8)$$

На ділянці системи живлення:

$$U_{ДЖ} = U_{ж} + \frac{U_{ж} \cdot N}{100} = 12 + \frac{12}{100} \cdot 5 = 12,12 \text{ (В)}. \quad (6.9)$$

На ділянці прийомного та передавального блоків:

$$U_{ДМ} = U_M + \frac{U_M \cdot N}{100} = 5 + \frac{5}{100} \cdot 5 = 5,05 \text{ (В)}. \quad (6.10)$$

3 Визначаються коефіцієнти безпеки:

$$K_{БВ} = 20 \cdot \lg \frac{U_D}{U_B}, \quad K_{БГ} = 20 \cdot \lg \frac{U_D}{U_G}. \quad (6.11)$$

Для ділянки живлення:

$$K_{БВЖ} = 20 \cdot \lg \frac{U_{ДЖ}}{U_{ВЖ}} = 20 \cdot \lg \frac{12,12}{1,6} = 17,9 \leq 40 \text{ (дБ)}; \quad (6.12)$$

$$K_{БГЖ} = 20 \cdot \lg \frac{U_{ДЖ}}{U_{ГЖ}} = 20 \cdot \lg \frac{12,12}{1357} = -40,63 \leq 40 \text{ (дБ)}; \quad (6.13)$$

Для ділянки прийомного та передавального блоків

$$K_{\text{БВМ}} = 20 \cdot \lg \frac{U_{\text{ДМ}}}{U_{\text{ВМ}}} = 20 \cdot \lg \frac{5,05}{0,2} = 28 \leq 40 \text{ (дБ)}; \quad (6.14)$$

$$K_{\text{БГМ}} = 20 \cdot \lg \frac{U_{\text{ДМ}}}{U_{\text{ГМ}}} = 20 \cdot \lg \frac{5,2}{259,14} = -33,6 \leq 40 \text{ (дБ)}; \quad (6.15)$$

6. Результати розрахунків заносимо в таблицю 6.4

Таблиця 6.4 – Результати розрахунків коефіцієнтів безпеки систем зв'язку 5G.

| Ділянка | $U_{\text{д}}$, В | $E_{\text{в}}$, В/м | $E_{\text{г}}$, В/м | $U_{\text{в}}$, В | $U_{\text{г}}$, В | $K_{\text{БВ}}$, дБ | $K_{\text{БГ}}$, дБ |
|----------------------------------|--------------------|----------------------|----------------------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|
| Живлення | 12,12 | 12340 | 12,34 | 1,6 | 1357 | 17,9 | -40,63 |
| Прийомний та передавальний блоки | 5,05 | 12340 | 12,34 | 0,2 | 259,14 | 28 | -33,6 |

7. Дані таблиці аналізуємо і робимо висновки

За результатами розрахунків можна зробити висновок, що коефіцієнти безпеки набагато менше 40 дБ, тому необхідно застосовувати екранування.

6.3.3 Розробка заходів по підвищенню стійкості роботи систем зв'язку 5G в умовах дії загрозливих чинників НС

Тож стільникова система зв'язку є умовно стійкою в умовах впливу іонізуючого випромінювання. Допустимий час роботи системи в заданих умовах становить 2058,61 год., при рівні радіації 4,86 Р/год. Для додаткового захисту можна застосувати підбір радіаційно стійкої елементної бази та перебування блоків системи зв'язку в більш захищених приміщеннях.

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

$$A = 5,2 \cdot t \cdot \sqrt{f}, (\text{дБ}), \quad (6.16)$$

де t – товщина стінки екрану, см;

f – частота $f=13000$ Гц.

Для ділянки живлення:

$$A_{ГЖ}=35-(-40,63)=75,63 (\text{дБ}), \quad (6.17)$$

$$t = \frac{A_{ГЖ}}{5,2\sqrt{f}} = \frac{75,63}{5,2\sqrt{13000}} = 0,128 (\text{см}). \quad (6.18)$$

Для ділянок приймального та передавального блоків:

$$A_{ГМ}=35-(-33,6)=68,6 (\text{дБ}) \quad (6.19)$$

$$t = \frac{A_{ГЖ}}{5,2\sqrt{f}} = \frac{68,6}{5,2\sqrt{13000}} = 0,115 (\text{см}). \quad (6.20)$$

Отже даному підрозділі було проведено дослідження стійкості роботи систем зв'язку 5G в умовах дії іонізуючих випромінювань і електромагнітного імпульсу. В умовах дії іонізуючих випромінювань час роботи системи перевищив заданий час. Після застосування сталевго екрану коефіцієнт безпеки став не менше 40 дБ, а тому стільникова система є стійкою до ЕМІ і може працювати без збоїв.

Крім того, для захисту систем зв'язку 5G можна вжити такі заходи:

- використання в апаратурі стійких до радіації елементів і матеріалів;

- застосування різних загальних екранів за рахунок будівельних конструкцій та оздоблення;
- застосування активного захисту від дії радіації;
- використання схем малочутливих до зміни електричних параметрів;
- зменшення чутливості перемикальних схем до зміни вхідних сигналів і напруг джерел живлення;
- зниження напруги живлення до мінімально необхідного для функціонування приладу;
- застосування пристроїв та елементів схем, що вимикають радіотехнічні схеми на час дії радіації або стрибків напруги, що може також бути наведена електромагнітним імпульсом;
- збільшення відстані між елементами, які знаходяться під навантаженням або додаткова їх ізоляція і зменшення довжини струмопровідних частин обладнання та ін.
- для забезпечення нормованих параметрів інтенсивності теплового випромінювання в приміщенні потрібно використати кондиціонування повітря.

Висновки до розділу

Під час виконання даного розділу було розглянуто такі питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях, розраховано стійкість роботи системи стільникового зв'язку в умовах дії ЕМІ. В умовах дії іонізуючих випромінювань час роботи системи перевищив заданий час. При дії ЕМІ необхідно застосування сталевих екранів товщиною 0,128 мм для ділянки живлення та 0,115 мм для ділянки передавального та приймального блоків.

ФІРЕН

ТКСТБ

ВНТУ

ВИСНОВКИ

Під час виконання магістерської кваліфікаційної роботи було визначено основні можливості і характеристики мереж п'ятого покоління, а також описано можливості використання технології MIMO.

Для виконання цих завдань було проведено аналіз основних параметрів архітектури бездротової мережі 5G.

Мережі 5G значно розширюють обмежений функціонал мобільних мереж попередніх поколінь. Основними функціональними особливостями мереж 5G є:

Удосконалений мобільний широкосмуговий доступ eMBB (enhanced MBB)

Наднадійні комунікації з низькою затримкою ULLRC (Ultra Low Latency Reliable Communication)

Масивні між машинні комунікації Massive IoT/IIoT, mMTC (massive Machine Type Communication).

Також слід зазначити, що 5G стає новою революцією в середовищі бездротових систем. По-перше, даний стандарт може загострити конкуренцію між стаціонарними комп'ютерами і ноутбуками. По друге, 5G включає всі типи передових характеристик, які роблять його самим переважної технологією в найближчому майбутньому. По-третє, мобільний зв'язок 5G пропонує «терабітне» бездротове з'єднання яке буде в будь - якому куточку.

Після визначення всіх характеристик та переваг технології MIMO зрозуміло, що саме цю технологію можливо використовувати для впровадження мережі 5G. Технічні характеристика даної технології достатні для оптимізації мережі та ля її впровадження у життя операторами зв'язку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и применение / Бернард Скляр ; [пер. с англ]. – М.: Изд. Дом “Вильямс”, 2003. – 1104с.
2. Мережі 5G - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7284607/>
3. Мережі 5G - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://www.digi.com/blog/post/5g-network-architecture>
4. 5G і майбутнє зв'язку: 20 галузей, які технології можуть трансформувати – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.cbinsights.com/research/5g-technology-disrupting-industries/>
5. Антени МІМО - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://www.electronics-notes.com/articles/antennas-propagation/mimo/what-is-mimo-multiple-input-multiple-output-wireless-technology.php>
6. Масивні МІМО для мережі 5G - [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://res-www.zte.com.cn/mediare/zte/Files/PDF/white_book/202009101153.pdf
7. Архітектура мережі 5G - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://itechinfo.ru/content/%D0%B0%D1%80%D1%85%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%B5%D1%82%D0%B8-5g#arc52>
8. Архітектура 5G - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://www.viavisolutions.com/ru-ru/5g-architecture>
9. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
10. Правила улаштування електроустановок - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.energiy.com.ua/PUE.html>

11. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>
12. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885
13. 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>
14. Наказ від 08.04.2014 № 248 Про затвердження Державних санітарних норм та правил Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/topiccatalogua/labor-protection/14._nakazy_ta_rozpor_183575/248+58074-detail.html
15. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.
16. Положення про кваліфікаційні роботи на другому (магістерському) рівні вищої освіти у Вінницькому національному технічному університеті / Уклад. А. О. Семенов, Л. П. Громова, Т.В. Макарова, Сердюк О.В. – Вінниця: ВНТУ, 2021 – 60 с.
17. Кухарчук В.В., Ігнатенко О.Г., Обертюх Р.Р. Методичні вказівки до оформлення дипломних проектів (робіт) для студентів всіх спеціальностей.- В.: ВДТУ, 2002.
18. Козловський В.О. Техніко-економічні обґрунтування та економічні розрахунки в дипломних проектах та роботах. Навчальний посібник. – В.: ВДТУ, 2003.

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

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

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

ФІРЕН

ТКСТБ

ВНТУ

Додаток А
(обов'язковий)
ВНТУ

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав.кафедри ТКСТБ ВНТУ,
докт. техн. наук, професор
В.М. Кичак
“ ___ ” _____ 2021 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи
Вибір розміру антенної решітки МІМО для підвищення ефективності
систем 5G
08-34.МКР.006.00.000 ТЗ

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

Виконавець: ст. гр. ТКС - 20м
Кушнір В.Ю.

Вінниця-2021

1 ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Робота проводиться на підставі наказу ректора по Вінницькому національному технічному університету від “24” 09 2021 року № 277 та індивідуального завдання на магістерську кваліфікаційну роботу.

Дата початку роботи: 01.09.2021 р.

Дата закінчення: 20.12.2021 р.

2 МЕТА І ПРИЗНАЧЕННЯ МКР

Метою даної магістерської кваліфікаційної роботи є вибір розміру антенної решітки MIMO для підвищення ефективності систем 5G

Задачами магістерської кваліфікаційної роботи є:

- розробка технічного завдання;
- аналіз технології 5G;
- аналіз технології MIMO;
- аналіз методів побудови мережі на основі масивних MIMO;
- аналіз принципів архітектури MIMO;

Об'єкт дослідження - безпроводна мережа 5G.

Предмет дослідження - передача сигналів у безпроводній мережі 5G.

Основними завданнями роботи є:

- техніко-економічне обґрунтування;
- визначити основні параметри та характеристики бездротової технології 5G;
- визначити основні характеристики та можливості технології MIMO
- визначити можливості побудови технології на основі мережі 5G
- зробити висновок щодо побудови та використання даної технології у мережі 5G;
- аналіз економічної ефективності проведеної розробки;
- дослідження питань безпеки життєдіяльності.

3 ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ МКР

Список використаних джерел розробки:

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

3.2 Мережі 5G - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7284607/>

3.3 Мережі 5G - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://www.digi.com/blog/post/5g-network-architecture>

3.4 5G і майбутнє зв'язку: 20 галузей, які технології можуть трансформувати – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.cbinsights.com/research/5g-technology-disrupting-industries/>

3.5 Антени МІМО - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://www.electronics-notes.com/articles/antennas-propagation/mimo/what-is-mimo-multiple-input-multiple-output-wireless-technology.php>

3.6 Масивні МІМО для мережі 5G - [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://res-www.zte.com.cn/mediare/zte/Files/PDF/white_book/202009101153.pdf

3.7 Архітектура мережі 5G - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://itechinfo.ru/content/%D0%B0%D1%80%D1%85%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B0-%D1%81%D0%B5%D1%82%D0%B8-5g#arc52>

3.8 Архітектура 5G - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://www.viavisolutions.com/ru-ru/5g-architecture>

3.9 ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

3.10 Правила улаштування електроустановок - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.energiy.com.ua/PUE.html>

3.11 ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>

3.12 ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885

3.13 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>

3.14 Наказ від 08.04.2014 № 248 Про затвердження Державних санітарних норм та правил Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/topiccatalogua/labor-protection/14._nakazy_ta_rozpor_183575/248+58074-detail.html

3.15 Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.

3.16 Положення про кваліфікаційні роботи на другому (магістерському) рівні вищої освіти у Вінницькому національному технічному університеті / Уклад. А. О. Семенов, Л. П. Громова, Т.В. Макарова, Сердюк О.В. – Вінниця: ВНТУ, 2021 – 60 с.

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

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

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

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

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

4 ВИКОНАВЕЦЬ

Вінницький національний технічний університет, кафедра телекомунікаційних систем та телебачення, студентка групи ТКС-20м Кушнір В.Ю.

5 ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ МКР

Пропонується виконати аналіз вибору розміру антенної решітки МІМО для підвищення ефективності системи 5G.

Технічні данні яким повинна відповідати розробка наступні

Швидкість передачі даних до 10 Гбіт / с -> 10 до 100, затримка 1 мілісекунда, 1000x пропускна здатність на одиницю площі, до 100 - кратної кількості підключених пристроїв на одиницю площі, 99,999% доступності, 100% покриття, зниження споживання електроенергії мережею на 90%.

6 ЕТАПИ МКР І ТЕРМІНИ ЇХ ВИКОНАННЯ

| | Назва та зміст етапу | Термін виконання | | Очікувані результати | Звітна документація |
|-----|---|------------------|--------------|------------------------|---------------------|
| | | початок | закінчення | | |
| 1. | Розробка технічного завдання (ТЗ) | 01.09.2021р. | 10.09.2021р. | Розроблене ТЗ | Додаток А |
| 2. | Техніко-економічне обґрунтування (ТЕО) | 11.09.2021р. | 17.09.2021р. | Розроблене ТЕО | Вступ. Розділ 1. |
| 3. | Аналіз технології 5G | 18.09.2021р. | 01.10.2021р. | Проведений аналіз | Розділ 2 |
| 4. | Загальні положення про технологію МІМО | 02.10.2021р. | 29.10.2021р. | Проведено аналіз | Розділ 3 |
| 5. | Архітектура мережі 5G | 30.10.2021р. | 19.11.2021р. | Проведено аналіз | Розділ 4 |
| 6. | Аналіз економічної ефективності | 20.11.2021р. | 30.11.2021р. | Економічна частина МКР | Розділ 5 |
| 7. | Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях | 01.12.2021р. | 06.12.2021р. | Частина ОП та БНС | Розділ 6 |
| 8. | Оформлення пояснювальної записки (ПЗ) | 07.12.2021р. | 13.12.2021р. | Оформлена документація | ПЗ |
| 9. | Нормоконтроль, попередній захист, опанування МКР | 14.12.2021р. | 17.12.2021р. | Позитивні відзиви | Відгуки |
| 10. | Захист МКР ЕК | | 20.12.2021р. | Позитивний захист | Протокол ЕК |

7 ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОРЯДОК РЕАЛІЗАЦІЇ МКР

В результаті виконання роботи будуть проаналізовані:

- мережі 5 G
- побудова мережі 5G на основі використанні масивних МІМО;
- мережеві функції мережі 5G;
- економічна частина МКР;
- розділ ОП та БНС;

Результати, отримані в процесі виконання даної роботи, будуть впроваджені в галузі телекомунікацій: Очікуваний техніко-економічний ефект. При впровадженні результатів досліджень очікується підвищення ефективності систем п'ятого покоління.

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

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

9 ПОРЯДОК ПРИЙМАННЯ МКР ТА ЇЇ ЕТАПІВ

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

Захист магістерської кваліфікаційної роботи відбувається на відкритому засіданні ЕК.

10 ВИМОГИ ДО РОЗРОБЛЮВАНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Документація, що розробляється в процесі виконання досліджень повинна містити:

- техніко-економічне обґрунтування розробки;
- аналіз технології;
- загальні положення про технологію МІМО;
- аналіз архітектури мережі 5G;
- економічну частину та розділ БЖД і ЦЗ;
- рекомендації щодо подальшого використання приладу.

11 ВИМОГИ ЩОДО ТЕХНІЧНОГО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ З ОБМЕЖЕНИМ ДОСТУПОМ

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

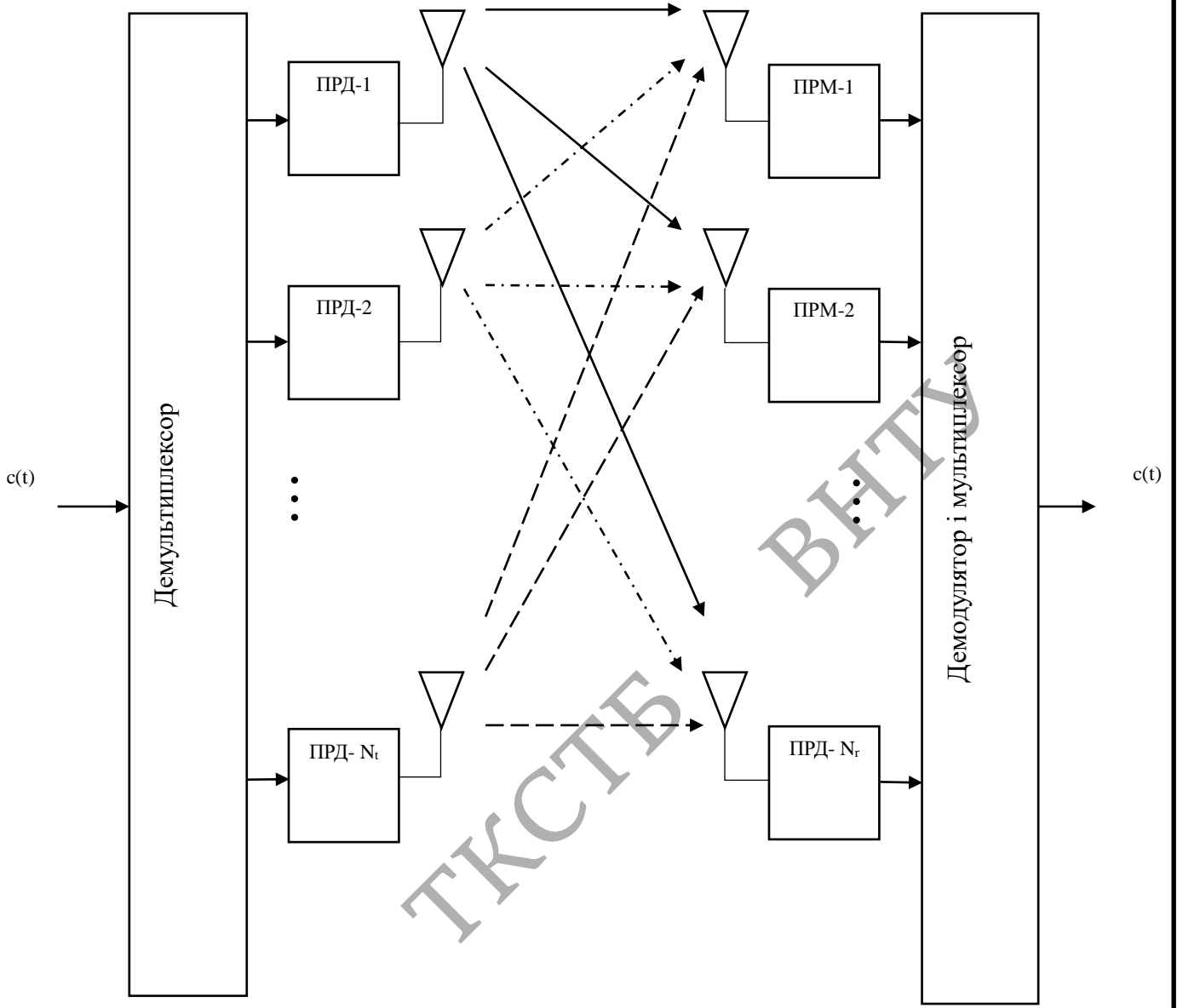
Додаток Б
(обов'язковий)

Структурна схема МІМО

ФІРЕН

ТКСТБ

ВНТУ



ФІРЕН

ТКСТБ

ВНТУ

| | | | | | | | | | | | |
|-----------|------|---------------|--------|------|-------------------------|--|--|---------------|------|---------|---|
| | | | | | 08-34.МКР.006.00.000 Е8 | | | | | | |
| | | | | | Структурна схема МІМО | | | Лім. | Маса | Масштаб | |
| | | | | | | | | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | Арк. | 1 | Аркуші | 1 |
| Розроб. | | Кушнір В.Ю | | | | | | | | | |
| Перевір. | | Семенова О.О. | | | | | | | | | |
| Т. Контр. | | | | | | | | | | | |
| Реценз. | | | | | | | | | | | |
| Н. Контр. | | Семенова О.О. | | | | | | ВНТУ, ТКС-20м | | | |
| Затверд. | | Кичак В.М. | | | | | | | | | |

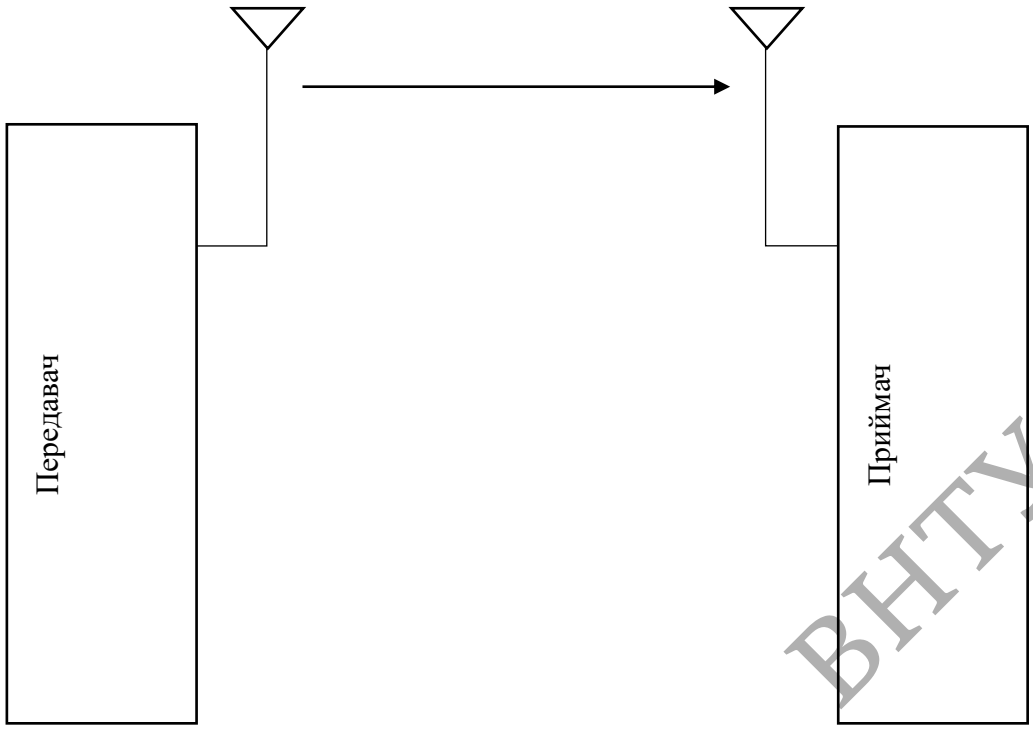
Додаток В
(обов'язковий)

Структурна схема SISO

ФІРЕН

ТКСТБ

ВНТУ



ФІРЕН
ТКСТБ

| | | | | | | | | | |
|------------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|-------------------------|---------------|---|-------------|----------------|
| | | | | | 08-34.МКР.006.00.000 Е8 | | | | |
| | | | | | Структурна схема SISO | <i>Лім.</i> | | <i>Маса</i> | <i>Масштаб</i> |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | | | | |
| <i>Розроб.</i> | | Кушнір В.Ю | | | | | | | |
| <i>Перевір.</i> | | Семенова О.О. | | | | | | | |
| <i>Т. Контр.</i> | | | | | | | | | |
| <i>Реценз.</i> | | | | | | | | | |
| <i>Н. Контр.</i> | | Семенова О.О. | | | | | | | |
| <i>Затверд.</i> | | Кичак В.М. | | | | | | | |
| | | | | | | Арк. | 1 | Аркушів | 1 |
| | | | | | | ВНТУ, ТКС-20М | | | |

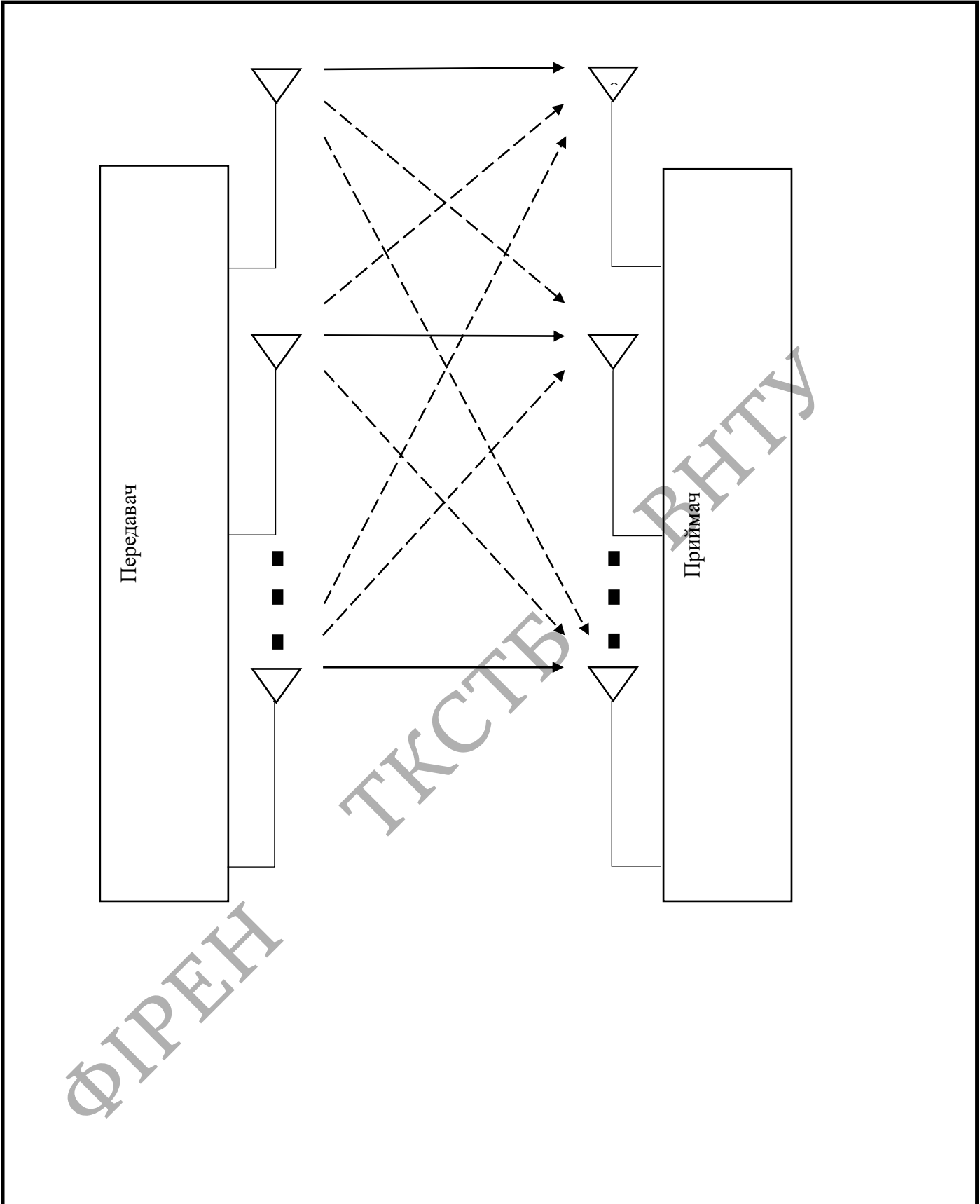
Додаток Г
(обов'язковий)

Просторове ущільнення

ФІРЕН

ТКСТБ

ВНТУ



| | | | | | | | | |
|------------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|-------------------------|---------------|------------------|----------------|
| | | | | | 08-34.МКР.006.00.000 Е8 | | | |
| | | | | | Просторове ущільнення | <i>Лім.</i> | <i>Маса</i> | <i>Масштаб</i> |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | | | |
| <i>Розроб.</i> | | Кушнір В.Ю | | | | | | |
| <i>Перевір.</i> | | Семенова О.О. | | | | | | |
| <i>Т. Контр.</i> | | | | | | | | |
| <i>Реценз.</i> | | | | | | | | |
| <i>Н. Контр.</i> | | Семенова О.О. | | | | | | |
| <i>Затверд.</i> | | Кичак В.М. | | | | | | |
| | | | | | | <i>Арк.</i> 1 | <i>Аркушіє</i> 1 | ВНТУ, ТКС-20м |

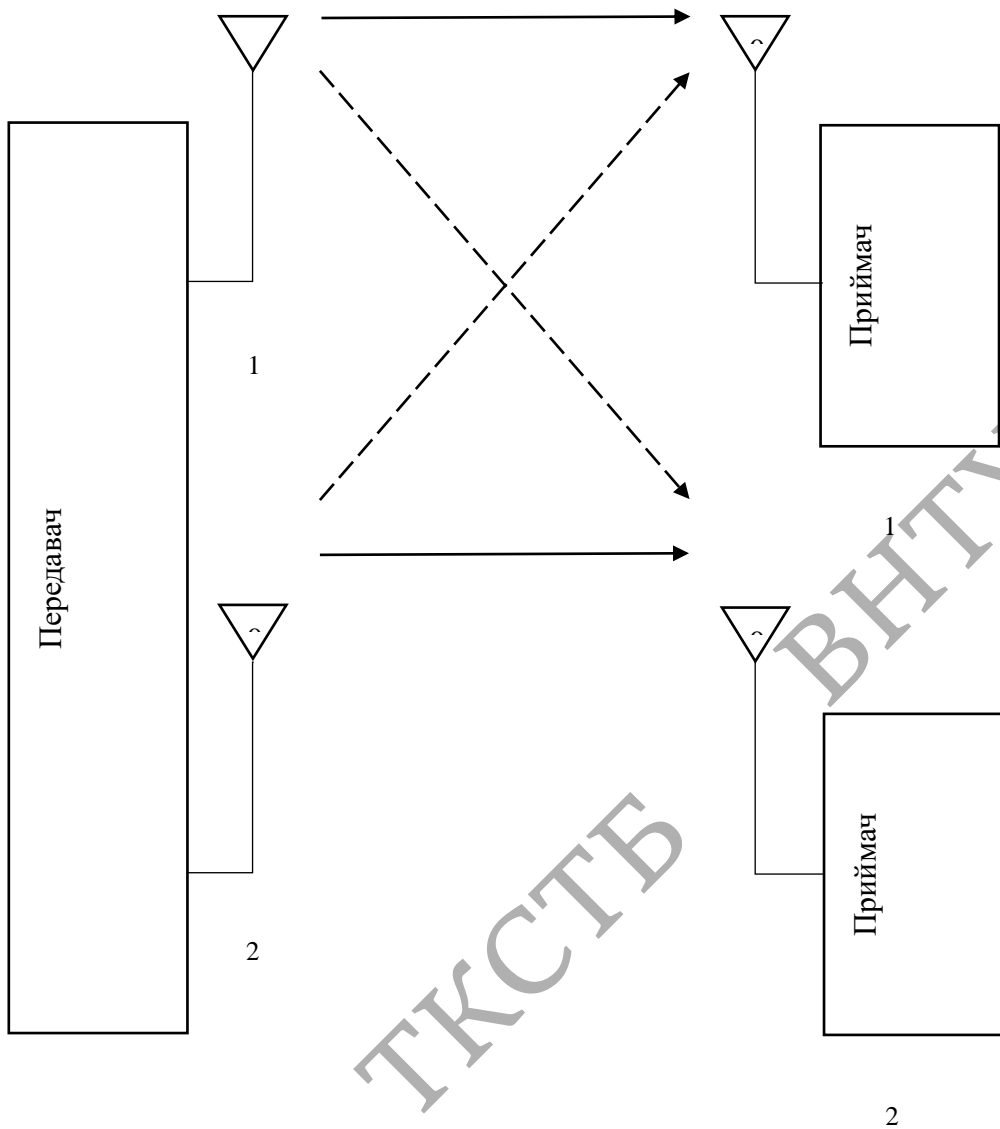
Додаток Д
(обов'язковий)

Рисунок Д.1 – Структурна схема MU-MIMO

ФІРЕН

ТКСТЬ

ВНТУ



ФІРЕН

ТКСТБ

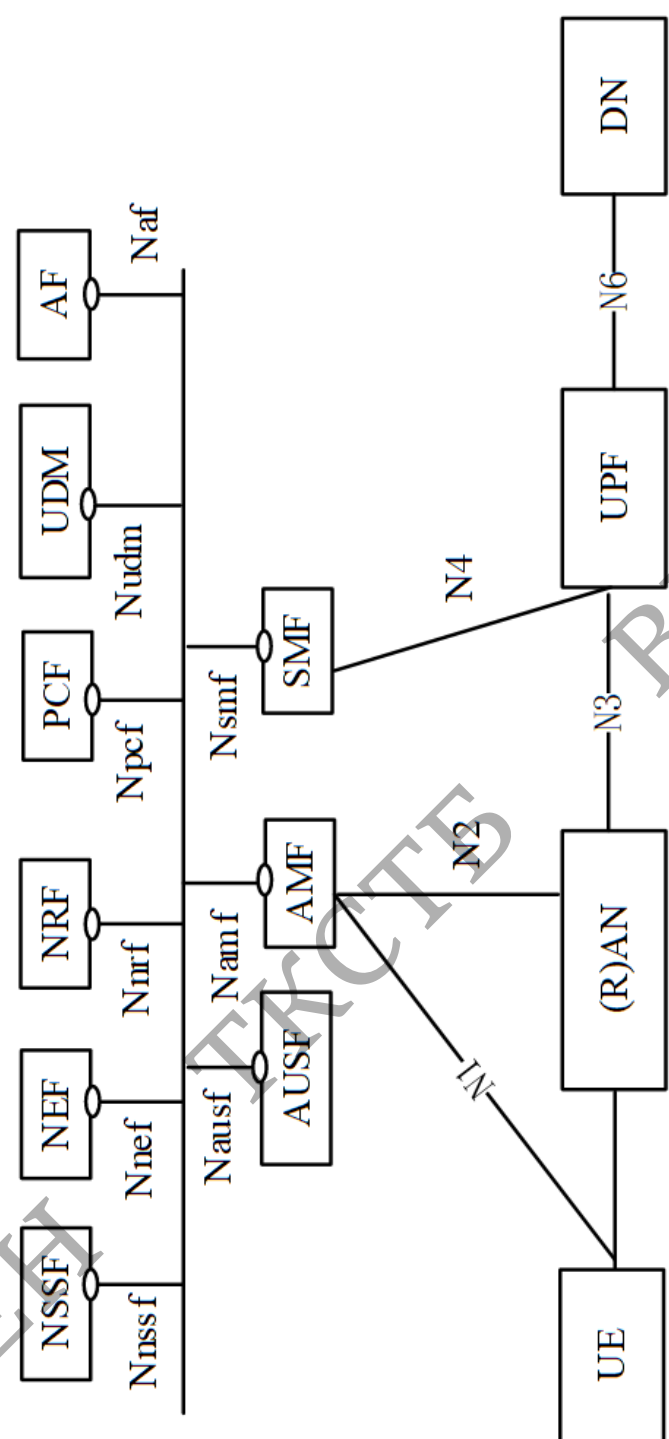
ВНТУ

| | | | | | | | | |
|-----------|------|---------------|--------|------|--------------------------|-----------|------|---------|
| | | | | | 08-34.МКР.006.00.000 Е8 | | | |
| | | | | | Структурна схема MU-MIMO | Лім. | Маса | Масштаб |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | |
| Розроб. | | Кушнір В.Ю | | | | | | |
| Перевір. | | Семенова О.О. | | | | | | |
| Т. Контр. | | | | | | | | |
| Реценз. | | | | | | | | |
| Н. Контр. | | Семенова О.О. | | | Арк. 1 | Аркушів 1 | | |
| Затверд. | | Кичак В.М. | | | ВНТУ, ТКС-20м | | | |

Додаток Е
(обов'язковий)

Архітектура мережі 5G. Взаємодія мережевих функцій

ФІРМА ВІСІС БНТУ



| | | | | | | | | |
|-----------|------|---------------|--------|------|---|------|--------|---------|
| | | | | | 08-34.МКР.006.00.000 Е8 | | | |
| | | | | | Архітектура мережі 5G. Взаємодія мережевих функцій | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | Лім. | Маса | Масштаб |
| Розроб. | | Кушнір В.Ю | | | | | | |
| Перевір. | | Семенова О.О. | | | | | | |
| Т. Контр. | | | | | Арк. | 1 | Аркуші | 1 |
| Реценз. | | | | | ВНТУ, ТКС-20м | | | |
| Н. Контр. | | Семенова О.О. | | | | | | |
| Затверд. | | Кичак В.М. | | | | | | |

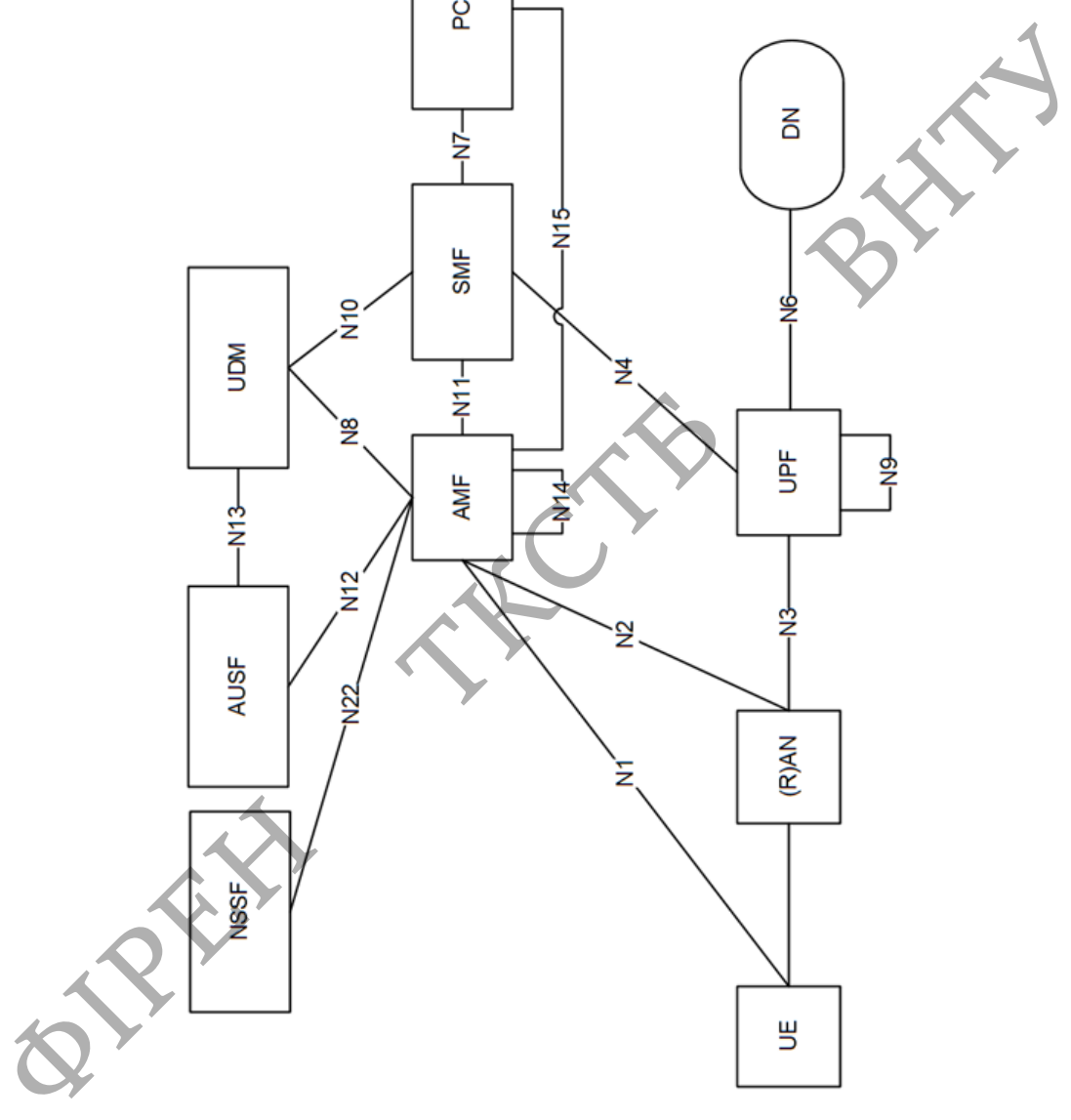
Додаток Ж
(обов'язковий)

Архітектура мережі 5G. Мережеві інтерфейси

ФІРЕН

ТКСТБ

ВНТУ



| | | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---|---|-----------|
| | | | | | 08-34.МКР.006.00.000 Е8 | | |
| | | | | | Архітектура мережі 5G. Мережеві інтерфейси | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | |
| Розроб. | | Кушнір В.Ю | | | | | |
| Перевір. | | Семенова О.О. | | | | | |
| Т. Контр. | | | | | Арк. | 1 | Аркушів 1 |
| Реценз. | | | | | ВНТУ, ТКС-20м | | |
| Н. Контр. | | Семенова О.О. | | | | | |
| Затверд. | | Кичак В.М. | | | | | |