

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

БАКАЛАВРСЬКА ДИПЛОМНА РОБОТА

на тему:

«Проектування систем зв'язку п'ятого покоління»

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

Тимчик М.С.

Тимчик М.С.

Керівник: к.т.н., доц. каф. ІКСТ
Воловик А.Ю.

«11»

06

2024 р.

Рецензент: зав.каф. ІРТС, д.т.н., проф.

Осадчук О.В.

«11»

06

2024 р.

Допущено

Завідувач

д.т.н.,

до
кафедри

проф.

Кичак

ІКСТ

В. М.

2024 р.

«11»

06

Вінниця ВНТУ – 2024 рік

Вінницький національний технічний університет
 Факультет інформаційних електронних систем
 Кафедра інфокомунікаційних систем та технологій
 Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
 Галузь знань 17 – Електроніка та телекомунікації
 (шифр і назва)
 Спеціальність 172 – Телекомунікації та радіотехніка
 (шифр і назва)
 Освітня програма – Програмне забезпечення телекомунікаційних систем

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Завідувач кафедри ІКСТ
 д.т.н., професор В.М. Кичак
 “06” “05” 2024 року

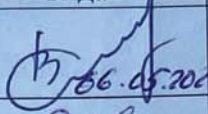
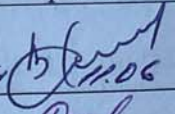
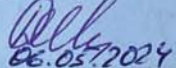
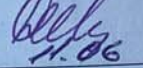
ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Тимчику Миколі Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Проектування систем зв'язку п'ятого покоління»
 керівник роботи Воловик Андрій Юрійович, к.т.н, доц.
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
 затверджені наказом ВНТУ від “11” березня 2024 року № 80
2. Строк подання студентом роботи 07 червня 2024 року
3. Вихідні дані до роботи: тип вхідних сигналів – цифрові; режим зв'язку – дуплексний; смуга робочих частот – 1990 - 2110 МГц; тип модуляції – OFDM; тип мережі – мобільна стільникова.
4. Зміст текстової частини: технологія 5G. загальні відомості про мобільний зв'язок, аналіз технічної сторони 5G та особливості проектування мережі, розрахунки параметрів мережі, що проектується, проектування у програмі radioplanner, охорона праці.
5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
параметри системи, вибір місцевості для створення карти висот, створення карти висот в програмі GlobalMapper, накладання карти висот на рельєф міста, розташування базових станцій в місті, площа покриття мережі.

6. Консультанти розділів роботи

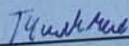
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Воловик А.Ю., доцент кафедри ІКСТ	 06.05.2024	 11.06
Охорона праці	Дембіцька С.В., професор кафедри БЖДПБ	 06.05.2024	 11.06

7. Дата видачі завдання 06 травня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Формування та затвердження теми та індивідуального завдання бакалаврської дипломної роботи (БДР)	06.05.2024р.	
2	Виконання спеціальної частини БДР. Перший рубіжний контроль виконання БДР	20.05.2024р.	
3	Виконання спеціальної частини БДР. Другий рубіжний контроль виконання БДР	31.05.2024р.	
4	Виконання розділу «Охорона праці»	04.06.2024р.	
5	Нормоконтроль БДР	05.06.2024р.	
6	Попередній захист БДР	06.06.2024р.	
7	Рецензування БДР	07.06.2024р.	
8	Захист БДР	12.06.2024р.	

Студент


(підпис)

Тимчик М.С.

Керівник роботи


(підпис)

Воловик А.Ю.

УДК 621.396

АНОТАЦІЯ

Тимчик М.С. Проектування систем зв'язку п'ятого покоління – бакалаврська дипломна робота студента спеціальності 172 – Телекомунікації та радіотехніка – Вінниця: ВНТУ 2024 р. 73 стор., 24 – рис., 7 – табл., 30 – бібл. – українською мовою.

Метою бакалаврської дипломної роботи є проектування та дослідження системи зв'язку п'ятого покоління.

У роботі проведено аналіз існуючих поколінь зв'язку, основні технології та стандарти, проведено розрахунок параметрів системи, спроектовано систему зв'язку з урахуванням вимог до системи. Також в роботі проводиться дослідження питань охорони праці.

Ключові слова: мережа, безпроводна мережа, 5G, архітектура.

ANNOTATION

Tymchyk M.S. Design of fifth-generation communication systems - bachelor thesis of a student of specialty 172 - Telecommunications and radio engineering - Vinnytsia: VNTU 2024. 73 pages, 24 - fig., 7 - table, 30 - the Bible. - in the Ukrainian language.

The purpose of the bachelor's thesis is to design and research the fifth generation communication system.

The work analyzed the existing generations of communication, basic technologies and standards, calculated the system parameters, designed the communication system taking into account the requirements for the system. The work also conducts a study of labor protection issues.

Keywords: network, wireless network, 5G, architecture.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ТЕХНОЛОГІЯ 5G. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО МОБІЛЬНИЙ ЗВ'ЯЗОК.....	9
1.1 Розвиток мобільних систем від 1G до 5G.....	9
1.2 Загальний опис технології.....	11
1.2.1 Загальна архітектура	13
1.2.2 Стеки протоколів 5G.....	15
1.2.3 Радіоінтерфейс 5G.....	18
1.2.4 Особливості мережі 5G.....	21
1.3 5G та поширення на території України.....	22
1.4 Об'єкт проектування.....	23
2 Аналіз технічної сторони 5G та особливості проектування мережі.....	25
2.1 Технологія бездротового зв'язку Massive MIMO.....	25
2.2 Управління мобільністю Beamforming	30
2.3 Гібридний Beamforming.....	32
3 РОЗРАХУНКИ ПАРАМЕТРІВ МЕРЕЖІ, ЩО ПРОЕКТУЄТЬСЯ.....	35
3.1 Попередня оцінка трафіку і кількості каналів в мережі.....	35
3.2 Розрахунок покриття мережі.....	39
4 ПРОЕКТУВАННЯ У ПРОГРАМІ RADIOPLANNER.....	43
4.1 Вибір програми для проектування	43
4.2 Проектування мережі.....	46
5 ОХОРОНА ПРАЦІ	52
5.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи.....	49
5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	55
5.2.1 Мікроклімат	55
5.2.2 Склад повітря робочої зони.....	56

5.2.3 Виробниче освітлення.....	57
5.2.4 Виробничий шум.....	58
5.2.5 Виробничі випромінювання.....	59
5.3 Пожежна безпека.....	60
5.3.1 Технічні рішення системи запобігання пожежі	61
5.3.2 Технічні рішення системи протипожежного захисту.....	62
ВИСНОВКИ.....	64
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	65
Додаток А (обов'язковий). Ілюстративна частина	68
Додаток Б (обов'язковий). Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень.....	73

ВСТУП

Актуальність теми.

Системи зв'язку п'ятого покоління (5G) забезпечують значний стрибок у розвитку телекомунікаційних технологій. Наприклад, вони забезпечують вищу швидкість передачі даних і підвищену пропускну здатність порівняно з попередніми поколіннями мереж. Це дозволяє підтримувати працездатність додатків, які висувають більш складні вимоги до ресурсів, такі як Інтернет речей, віртуальна реальність, автономні транспортні засоби.

Впровадження 5G сприятиме економічному зростанню і підвищенню конкурентоспроможності користувачів. Системи зв'язку 5G мають потенціал значно підвищити якість життя людей, завдяки забезпечення доступу до високошвидкісного Інтернету навіть у віддалених районах, підтримки розвитку дистанційної освіти та інших соціально значущих послуг. 5G має потенціал значно підвищити безпеку і надійність зв'язку, що є критично важливим для сучасних інформаційних систем, забезпечувати стабільну роботу критично важливих сервісів.

Проектування систем зв'язку п'ятого покоління є важливим науково-технічним завданням. Це включає розробку нових алгоритмів, протоколів, апаратного забезпечення і програмних рішень.

Актуальність проектування систем зв'язку п'ятого покоління полягає у його значущості для технічного прогресу, економічного розвитку, соціального добробуту, безпеки інформаційних систем. Ці фактори роблять цю тему надзвичайно важливою і перспективною.

Аналіз останніх досліджень.

Дослідження в області проектування систем зв'язку п'ятого покоління зосереджені на кількох ключових напрямках [1-5].

Одним із головних напрямків досліджень є підвищення пропускну здатності мереж 5G. Використання міліметрових хвиль дозволяє досягати дуже високих

швидкостей передачі даних. Дослідження показують, що використання технології Massive MIMO значно збільшує ефективність використання спектру, та сприяє підвищенню пропускної здатності мережі.

Зниження затримки передачі даних є критично важливим для підтримки працездатності застосувань в автономних транспортних засобах та дистанційному управлінні. Дослідження в цій галузі спрямовані на оптимізацію мережевих протоколів і архітектур. Наприклад, використання Network Slicing та Mobile Edge Computing дозволяє розподілити обчислювальні ресурси ближче до кінцевого користувача, зменшуючи затримку.

Важливим аспектом досліджень є розробка енергоефективних рішень, алгоритмів, технологій для мереж 5G, що дозволяє знизити енергоспоживання мережі. Це включає оптимізацію споживання енергії базовими станціями та мобільними пристроями.

Проблеми безпеки і конфіденційності також даних є критичними для 5G. Дослідження зосереджені на розробці нових методів аутентифікації, шифрування та захисту від кібератак.

Одним з важливих напрямків є інтеграція 5G з іншими технологіями, такими як Інтернет речей, штучний інтелект та машинне навчання. Ця інтеграція дозволяє створювати більш розумні та адаптивні мережі, що можуть автоматично оптимізувати свої ресурси.

Дослідження також зосереджені на викликах, пов'язаних з розгортанням 5G у міських та сільських районах. У міських умовах акцент робиться на вирішенні проблем інтерференції та густонаселення.

Останні дослідження в області проектування систем зв'язку 5 покоління демонструють значний прогрес у підвищенні пропускної здатності, зниженні затримки, підвищенні енергоефективності, покращенні безпеки та інтеграції з іншими технологіями. Ці досягнення сприяють розвитку більш швидких, надійних та ефективних мереж 5G, що відповідають вимогам сучасних і майбутніх застосувань [1-5].

Мета та постановка задачі. Метою даної бакалаврської дипломної роботи є проектування системи зв'язку п'ятого покоління для міста Вінниця.

Задачами бакалаврської дипломної роботи є:

- провести аналіз застосовуваності технології зв'язку п'ятого покоління;
- дослідити особливості проектування системи зв'язку п'ятого покоління в м. Вінниця;
- розрахувати оптимальний варіант покриття мережі;
- провести розрахунок оптимальної кількості каналів системи;
- спроектувати конфігурацію системи зв'язку п'ятого покоління

Апробація результатів роботи. Основні ідеї роботи доповідались і обговорювались на LIII науково-технічній конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету конференції ВНТУ у 2024 році.

1 ТЕХНОЛОГІЯ 5G. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО МОБІЛЬНИЙ ЗВ'ЯЗОК

1.1 Розвиток мобільних систем від 1G до 5G

Мобільні системи зв'язку пройшли значний шлях розвитку від першого до п'ятого покоління, кожне з яких внесло свої інновації та покращення в технології зв'язку. Розглянемо історію розвитку мобільних систем від 1G до 5G.

Перші мобільні системи зв'язку, відомі як 1G, були впроваджені в кінці 1970-х – на початку 1980-х років. Це були аналогові системи, які використовували частотну модуляцію для передачі голосу. Одними з перших стандартів 1G були AMPS (Advanced Mobile Phone System) у США, NMT (Nordic Mobile Telephone) у Скандинавії та TACS (Total Access Communication System) у Великій Британії. Основними характеристиками 1G були низька якість звуку, високий рівень перешкод і відсутність шифрування, що робило зв'язок вразливим для перехоплення. Пропускна здатність 1G становила до 2,4 Кбіт/с, а смуга частот – 800-900 МГц. Недоліками 1G були обмежена ємність мережі та низька якість зв'язку.

Друге покоління мобільних систем зв'язку, або 2G, було впроваджене на початку 1990-х років і характеризувалося переходом на цифровий зв'язок. Основними стандартами 2G були GSM (Global System for Mobile Communications) та CDMA (Code Division Multiple Access). Цифровий зв'язок забезпечив вищу якість звуку, можливість передавання текстових повідомлень (SMS) і покращену безпеку завдяки шифруванню. Смуга частот 2G становила 900-1800 МГц, а пропускна здатність – до 64 Кбіт/с. Основними перевагами 2G були підтримка текстових повідомлень, підвищена безпека та краща якість звуку. Однак, обмежена швидкість передачі даних не дозволяла використовувати мобільний інтернет у повній мірі.

Третє покоління мобільних систем зв'язку, або 3G, з'явилося на початку 2000-х років. Основними стандартами 3G стали UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) та CDMA2000. 3G забезпечило високошвидкісний мобільний інтернет, можливість здійснення відеодзвінків та передавання мультимедійних даних. Смуга частот 3G становила 1,8-2,5 ГГц, а пропускна здатність – до 2 Мбіт/с. Основними перевагами 3G були покращена передача даних, підтримка мультимедійних сервісів і можливість здійснення відеодзвінків. Проте, висока вартість інфраструктури та обмеження швидкості все ще залишалися викликами.

Четверте покоління мобільних систем зв'язку, або 4G, було впроваджене в кінці 2000-х – на початку 2010-х років. Основними стандартами 4G стали LTE (Long-Term Evolution) та WiMAX. 4G забезпечило дуже високі швидкості передачі даних, до 1 Гбіт/с для стаціонарних користувачів і до 100 Мбіт/с для мобільних користувачів. Смуга частот 4G становила 700 МГц - 2,7 ГГц. Основними особливостями 4G стали HD відео, онлайн ігри, IP-телефонія та висока якість зв'язку. Перевагами 4G були значне збільшення швидкості передачі даних та покращена якість обслуговування (QoS). Недоліками 4G були високі витрати на інфраструктуру та залежність від якості сигналу.

П'яте покоління мобільних систем зв'язку, або 5G, почало впроваджуватися в кінці 2010-х – на початку 2020-х років. Основним стандартом 5G є 5G NR (New Radio). 5G забезпечує надвисокі швидкості передачі даних, до 20 Гбіт/с, і дуже низьку затримку – до 1 мс. Смуга частот 5G включає як міліметрові хвилі (24 ГГц і вище), так і частоти нижче 6 ГГц. Основними особливостями 5G є підтримка мільярдів IoT пристроїв, автономні транспортні засоби, віртуальна та доповнена реальність (VR/AR). Перевагами 5G є дуже висока швидкість передачі даних, низька затримка та надійність мережі. Викликами 5G є високі витрати на впровадження та розвиток інфраструктури, а також питання безпеки та конфіденційності.

1.2 Загальний опис технології

П'яте покоління мобільної телефонії, або 5G, або 5GS, — це система, визначена 3GPP з випуску 15, функціонально заморожена в червні 2018 року та повністю визначена до вересня 2019 року. 3GPP визначає не тільки повітряний інтерфейс, але і всі протоколи і мережеві інтерфейси, які забезпечують роботу всієї мобільної системи: контроль дзвінків і сесій, управління мобільністю, надання послуг і т.д. Завдяки такому підходу мережі 3GPP можуть працювати в міжвендорному та міжоператорському контексті. 5G визначається в кілька етапів. Випуск визначає фазу 1 5G, яка представляє нову технологію радіопередачі та інші ключові концепції, такі як надійність промислового рівня, розширена модульність або швидший час відгуку. Усі попередні покоління були розроблені для використання дедалі ширшою аудиторією, 5G просувається далі – готовий до використання всіма галузями промисловості та для критично важливих за часом застосувань, таких як автономне водіння. Щоб запропонувати ці можливості та загалом покращити взаємодію з користувачем, 5G використовує набір спеціалізованих технологій, таких як «Віртуалізація мережевих функцій» та «Нарізка» для збільшення модульності, «EDGE-обчислення» для швидшого часу відгуку, Неназемні мережі / супутниковий зв'язок для повсюдного покриття тощо. 3GPP відіграє важливу роль у приблизній прогресії поколінь раз на десятиліття з моменту першого етапу мобільних стандартів у 1980-х роках. Кожне покоління збило вдосконалення по всій системі, виміряні в релізах 3GPP[6] – при цьому групи нещодавно розпочали прогрес у специфікаціях Rel-18.

5G покращує послуги 4G за кількома напрямками:

Розширений мобільний широкосмуговий зв'язок (eMBB): Вказана вища швидкість передачі даних. Для низхідної лінії пропонується до 50 Мбіт/с для зовнішньої мережі та 1 Гбіт/с для внутрішньої (5GLAN), причому половина цих значень доступна для висхідного каналу. Розглядалася низка тематичних

досліджень, серед яких авіація, де eMBB допомагає забезпечити бітрейт 1,2 Гбіт/с для повітряного польоту.

Критичний зв'язок і наднадійний зв'язок із низькою затримкою (URLLC): у деяких контекстах очікується надзвичайно висока надійність. Наприклад, для віддаленого керування автоматизацією процесів очікується надійність 99,9999%, швидкість передачі даних до 100 Мбіт/с і наскрізна затримка 50 мс. Це забезпечується, зокрема, можливостями периферійних обчислень.

Масовий Інтернет речей (mIoT). Кілька сценаріїв вимагають, щоб система 5G підтримувала дуже високу щільність трафіку пристроїв. Вимоги Massive Internet of Things включають операційні аспекти, які застосовуються до широкого спектру пристроїв і послуг IoT, які очікуються в часовому проміжку 5G. Гнучкі мережеві операції[7]. Це набір особливостей, які пропонує система 5G, більш детально описані в наступних розділах. Він охоплює такі аспекти, як нарізка мережі, розкриття мережевих можливостей, масштабованість і різноманітна мобільність, безпека, ефективна доставка контенту, а також міграція та взаємодія. Таке різноманіття вимог, пов'язаних з різними категоріями використання, описаними вище, дозволяє системі 5G (5GS) бути корисною для нового набору ринків, включаючи:

- автомобільні, залізничні та морські комунікації;
- транспорт і логістика;
- дискретна автоматизація;
- розподіл електроенергії;
- громадська безпека;
- здоров'я та благополуччя;
- розумні міста;
- засоби масової інформації та розваги.

1.2.1 Загальна архітектура

Схематично система 5G використовує ті ж елементи, що і попередні покоління: призначене для користувача обладнання, що складається з мобільної станції та USIM, мережі радіодоступу (NG-RAN) та основної мережі, як показано на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Схематичне зображення обладнання системи 5G

Основною сутністю NG-RAN є gNB, де «g» означає «5G», а «NB» — «вузол В», що є назвою, успадкованою від 3G і далі використовується для позначення радіопередавача. Радіоінтерфейс отримав назву «NR-Uu» з аналогічних причин, хоча і з розбіжностями: тут «5G» позначається «NR» («New Radio»), а Uu також є назвою, успадкованою від попередніх поколінь. Далі gNB може бути розділений на gNB-центральный блок і один або кілька gNB-розподілених блоків, пов'язаних інтерфейсом F1.

5GC тут схематично представлений сутністю управління мобільністю/UPF: функцією користувацької площини, що обробляє дані користувача, а в площині сигналізації — функцією управління доступом та мобільністю, яка звертається до пристрою та (R)AN. Подальші сутності 5GC представлені нижче. Точка відліку між мережами доступу та ядра називається «NG». Ця точка відліку складається з декількох інтерфейсів (в основному N2, N3), як показано на рисунку 1.2.

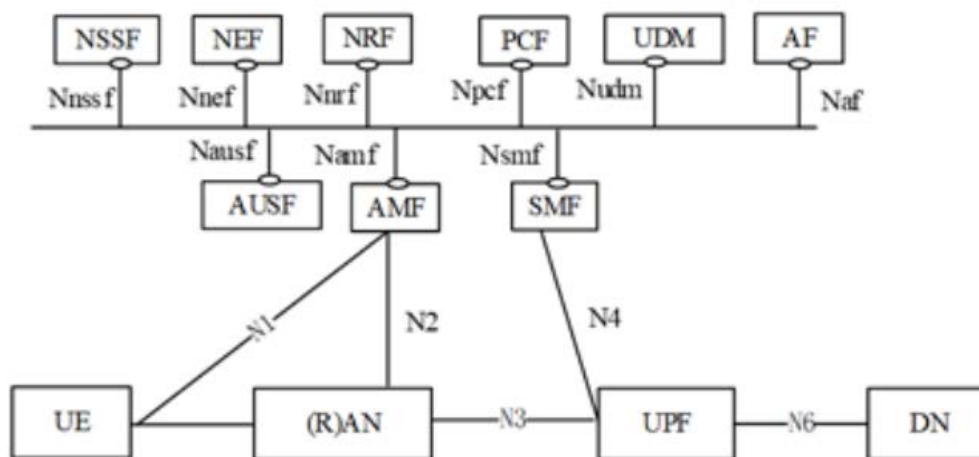


Рисунок 1.2 – Архітектура системи 5G

Архітектура 5GC спирається на фреймворк «Service-Based Architecture» (SBA), де елементи архітектури визначаються в термінах «мережевих функцій», а не «традиційних» мережевих сутностей. Через інтерфейси загальної структури будь-яка НФ пропонує свої послуги всім іншим авторизованим мережевим функціям та/або будь-яким «споживачам», яким дозволено користуватися цими послугами[8]. Такий підхід SBA пропонує модульність і можливість багаторазового використання.

На рисунку 1.2 User Plane, тобто мережеві функції та елементи, що беруть участь у транспортуванні даних користувача, показані на нижньому рівні, тоді як у верхній частині рисунка показані всі основні мережеві функції у площині сигналізації. У цьому першому підході показані наступні мережеві функції:

- Чотири суб'єкти, які вже були введені, а саме: користувацький пристрій, NG-RAN або (R)AN, площиною користувача та управління мобільністю;
- (Зовнішня) мережа передачі даних, переважно в користувацькій площині;
- Функція програми, що керує програмами (з можливою участю також у площині користувача);

- Функція керування сеансами, яка обробляє виклики та сесії та відповідно зв'язується з площиною користувача;
- Уніфіковане управління даними, функціонально подібне до HSS 3G і 4G (і HLR 2G);
- Функція контролю політик, яка контролює, щоб трафік даних користувача не перевищував узгоджені можливості пред'явника (пред'явників);
- Функція мережевого репозиторію, яка «контролює» інші мережеві функції, надаючи підтримку мережевих реєструвати, скасовувати реєстрацію та оновлювати службу мережевих функцій та їх служб;
- Мережеві функції, пов'язані з безпекою: функція мережевого ризику, функція сервера автентифікації, якірна функціональність безпеки;
- Функція вибору фрагментів мережі;
- Система заряджання перейшла від автономної та онлайн-зарядки на основі діаметра до конвергентної послуги заряджання з інтерфейсом на основі послуг (SBI), як визначено в TS 32.240, щоб оператори могли монетизувати різні функції та послуги 5GS.

1.2.2 Стеки протоколів 5G

Стек протоколів визначається для зв'язку між декількома з цих мережевих функцій і вторинними, не представленими на рисунку 1.2.

Площина керування: стек протоколів функція керування сеансами та пристрій до функція керування сеансами.

Стек протоколів між користувацьким пристроєм і SMF через управління мобільністю показаний на рисунку 1.3:

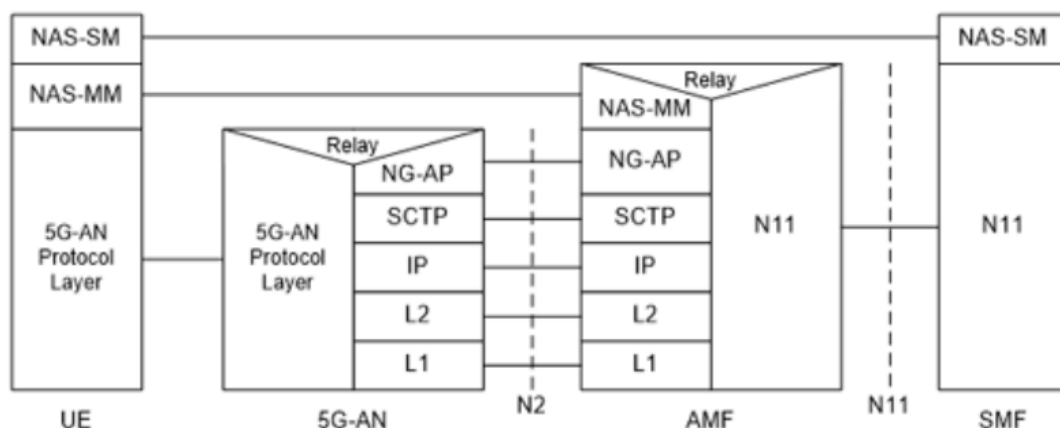


Рисунок 1.3: Стек протоколів Control Plane між пристроєм, 5G-AN, управління мобільністю і SMF

NAS-SM: підтримує керування сеансами між пристроєм та SMF. Він підтримує встановлення, модифікацію та випуск сеансу PDU на рівні користувача. Він передається через управління мобільністю і прозорий управління мобільністю. Він визначений у протоколі «Non-Access-Stratum (NAS) для системи 5G (5GS); Стадія 3' (TC 24.501).

NAS-MM: підтримує функції керування реєстрацією, керування з'єднаннями та активацію та деактивацію з'єднання з користувацькою площиною. Він також відповідає за шифрування та захист цілісності сигналізації NAS. Протокол 5G NAS визначений у TS 24.501.

Рівень протоколу 5G-AN: цей набір протоколів/рівнів залежить від 5G-AN. У випадку NG-RAN, радіопротокол між пристроєм і вузлом NG-RAN вказується в E-UTRA & E-UTRAN; 'Загальний опис; Етап 2» (TC 36.300) та HP «Загальний опис; Етап-2' в TC 38.300. У разі доступу, не пов'язаного з 3GPP, дивись пункт 8.2.4.

NG Application Protocol (NG-AP): протокол прикладного рівня між вузлом 5G-AN і управління мобільністю. NG-AP визначено в TS 38.413.

Протокол передачі керування потоком (SCTP): Цей протокол гарантує доставку сигнальних повідомлень між управління мобільністю і вузлом 5G-AN (N2). SCTP визначено в ietf RFC 4960.

Зауважте, що існує також прямий зв'язок між 5G-AN і SMF, який називається N2 SM information: це підмножина інформації NG-AP, яку управління мобільністю прозоро ретранслює між 5G-AN і SMF, і включається в повідомлення NG-AP і повідомлення, пов'язані з N11.

Рисунок 1.4 ілюструє стек протоколів для транспорту користувацької площини, пов'язаного з сеансом PDU.

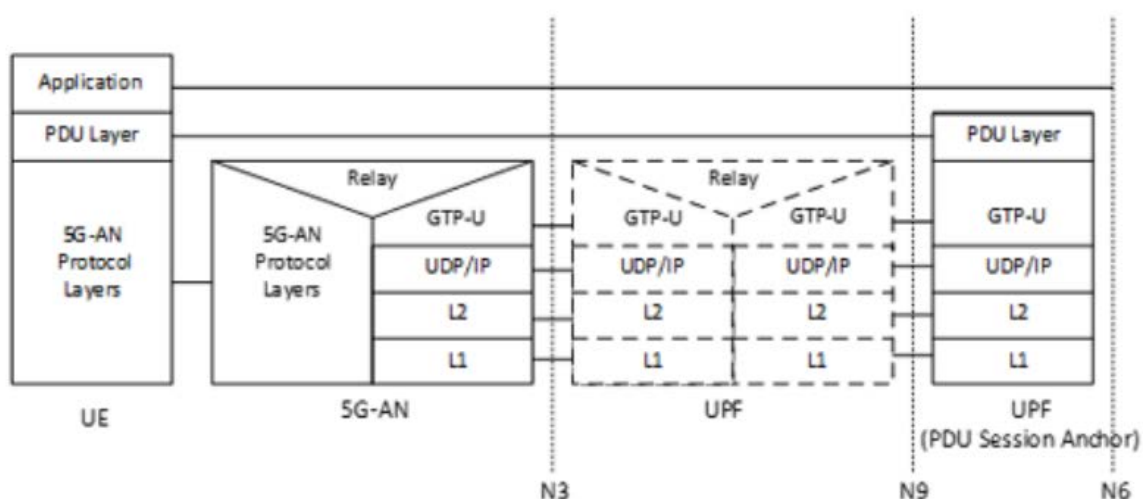


Рисунок 1.4 – Стек протоколів користувацької площини між пристроями, 5G-AN та рівнем користувача

Шар протоколів: Цей шар відповідає протоколам, що передається між пристроєм та мережею передачі протягом сеансу PDU. Якщо тип сеансу протокол IPv4 або IPv6 або IPv4v6, він відповідає пакетам IPv4 або пакетам IPv6 або обом їм; Якщо тип сеансу PDU – Ethernet, він відповідає кадрам Ethernet; [9].

Тунельний протокол GPRS для площини користувача: Цей протокол підтримує тунелювання даних користувача через N3 та N9 у магістральній

мережі. Він забезпечує інкапсуляцію на рівні кожного сеансу PDU. Цей шар також несе маркування, пов'язане з потоком QoS. Цей протокол також використовується на інтерфейсі N4.

Стек протоколів 5G-AN: цей набір протоколів/рівнів залежить від AN. Якщо 5G-AN є 3GPP NG-RAN, ці протоколи/рівні визначені в TS 38.401. Радіопротокол між пристроєм і вузлом 5G-AN вказаний в TS 36.300 і TS 38.300. L2 також називають «канальним шаром даних», а L1 – «фізичним рівнем».

1.2.3 Радіоінтерфейс 5G

Радіотехнологія 5G називається NR (від New Radio). Вона зазначена в TS 38.300 "NR; NR і NG-RAN Загальний опис; Стадія-2».

Для рівня 1: для низхідного каналу зв'язку (DL), тобто мережі користувачських пристроїв, NR використовує OFDM з циклічним префіксом (CP) (подібно до LTE). Для висхідного каналу зв'язку (UL), тобто пристрою до мережі, також можна використовувати OFDM, а також OFDM з попереднім кодуванням дискретного перетворення Фур'є. OFDM з попереднім кодуванням дискретного перетворення Фур'є покращує покриття UL, але має нижчий коефіцієнт пікової та середньої потужності і обмежений лише одношаровою передачею.

Деякі ключові характеристики рівня 1 5G полягають у тому, що він поширюється на кілька частотних діапазонів, щоб забезпечити розгортання на частотах для кожної країни або регіону. Носії – від 400 МГц до 100 ГГц, а ось ліцензійні діапазони – від 600 МГц до 39 ГГц. Ці частоти є повторно переробленими діапазонами аналогового телебачення і деякими супутниковими системами, без перешкод, оскільки використовуються в різних місцях.

Для наземних виділяють 3 основних діапазону частот:

До 1 ГГц: завдяки кращим характеристикам поширення, цей набір призначений для охоплення великих територій, як правило, для розгортання в

сільській місцевості. Максимальна пропускна здатність для одного оператора становить 100 МГц.

Від 1 до 6 ГГц: цей проміжний діапазон призначений для розгортання 5G у міському чи приміському контексті. Тут теж максимальна смуга пропускання становить 100 МГц.

Вище 6 ГГц: з його меншим поширенням, але більшою пропускною здатністю для користувача (максимальна смуга пропускання 400 МГц), цей діапазон призначений для щільного міського середовища (тип покриття «гаряча точка»).

Для 5G визначено два варіанти розгортання:

архітектура «Non-Stand Alone» (NSA), де мережа радіодоступу 5G (AN) та її інтерфейс New Radio (NR) використовуються в поєднанні з існуючою базовою мережею інфраструктури LTE та EPC (відповідно 4G Radio та 4G Core), таким чином роблячи технологію NR доступною без заміни мережі. У цій конфігурації підтримуються лише послуги 4G, але вони користуються можливостями, які пропонує нове радіо 5G (менша затримка тощо). NSA також відомий як «E-UTRA-NR Dual Connectivity (EN-DC)» або «Architecture Option 3». Дивіться також пункт про EDCE5.

архітектура «Stand-Alone» (SA), де NR підключений до 5G CN. Тільки в такій конфігурації підтримується повний набір послуг 5G фаза 1.

Архітектура «Non-Stand-Alone» (NSA) проілюстрована на наступному рисунку 1.5.

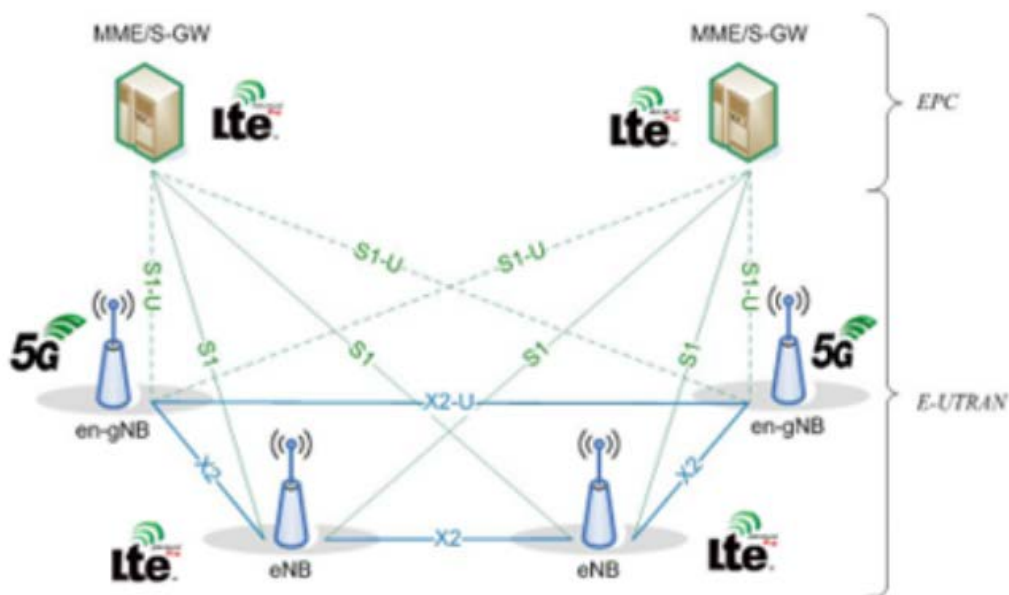


Рисунок 1.5 – Архітектура NSA

Архітектуру NSA можна розглядати як тимчасовий крок до «повного розгортання 5G», коли мережа доступу 5G підключена до основної мережі 4G. В архітектурі NSA базова станція 5G NR з'єднується з базовою станцією 4G LTE через інтерфейс X2. Інтерфейс X2 був представлений до випуску 15 для з'єднання двох eNB.

NSA пропонує подвійне підключення, як через 4G AN (E-UTRA), так і через 5G AN (NR). Тому його також називають "EN-DC", що означає "E-UTRAN і NR Dual Connectivity". У EN-DC eNB 4G є головним вузлом (MN), тоді як en-gNB 5G є вторинним вузлом (SN). Архітектура SA проілюстрована на наступному рисунку 1.6.

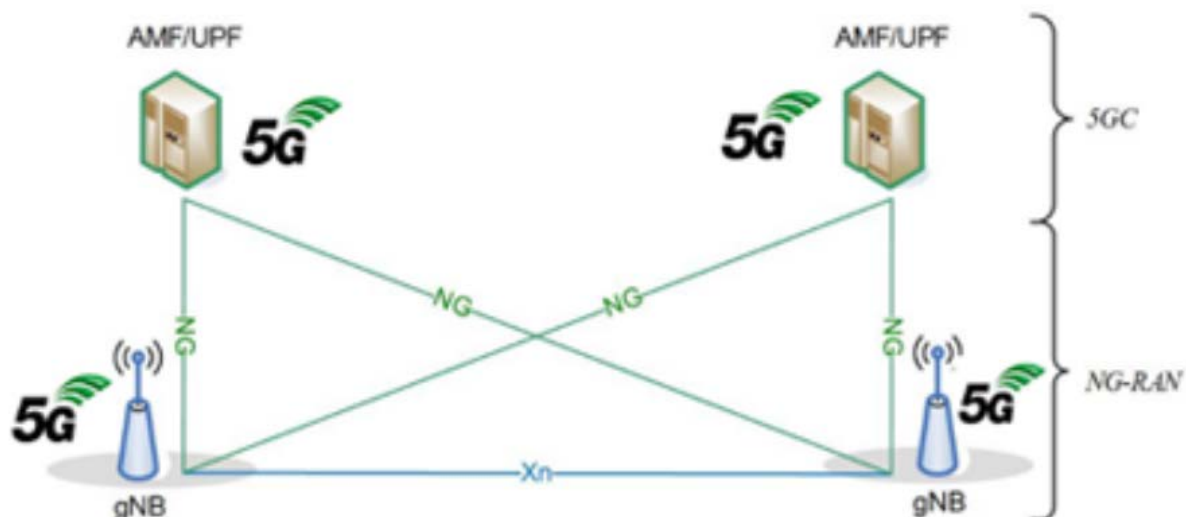


Рисунок 1.6 – Архітектура SA

Архітектуру SA можна розглядати як «повне розгортання 5G», яке не потребує жодної частини мережі 4G для роботи.

Базові станції NR (логічний вузол «gNB») з'єднуються між собою через інтерфейс Xn, а мережа доступу (звана «NG-RAN для архітектури SA») підключається до мережі 5GC за допомогою інтерфейсу NG.

1.2.4 Особливості мережі 5G

Решта цього розділу стосується архітектури 5G SA, а NSA буде розглянуто в наступному розділі.

Мережа 5G – це більше, ніж новий радіоінтерфейс, а низка ключових нових технологій. Деякі з них коротко представлені тут:

Сегментація мережі: Це можливість розгортання та використання одночасно різних КН, кожна з яких спеціалізується на наданні певного набору послуг та/або заданого набору абонентів. Наприклад, один зріз може підтримувати абонентів «звичайного» оператора зв'язку, інший – для підтримки абонентів віртуального оператора, третій – для конкретної послуги, наприклад, відстеження контейнерів через M2M тощо.

Віртуалізація мережевих функцій: Як показано на рисунку 2, всі мережеві функції взаємодіють через загальний інтерфейс і тому можуть бути розташовані в будь-якому місці. Це забезпечує набагато більшу гнучкість у розгортанні мережі. Технічне обслуговування також значно спрощується, оскільки можна легко встановити тимчасовий НФ.

Обчислення EDGE: Деяка обчислювальна потужність вводиться максимально «фізично» до кінцевого користувача. Дійсно, деякі додатки, такі як віртуальна реальність, фабрики майбутнього або автономне водіння, дуже вимогливі з точки зору часу відгуку поширення/мережі. Щоб скоротити цей час, деякі «локальні реплікації» основного сервера вводяться ближче до кінцевого користувача.

1.3 5G та поширення на території України

Тестування 5G в Україні активно розпочалося у 2019 році, коли різні оператори мобільного зв'язку та урядові структури почали працювати над впровадженням нової технології. Це відповідає глобальним тенденціям, оскільки 5G забезпечує значно вищі швидкості передачі даних, знижує затримки та покращує якість зв'язку, що є критично важливим для розвитку інтернету речей (IoT), автономних транспортних засобів та інших передових технологій.

У 2019 році Компанія "Vodafone Україна" провела перше публічне тестування технології 5G в Україні. Захід відбувся в Києві, де демонструвалися можливості нової технології, включаючи високу швидкість завантаження та низьку затримку. У грудні того ж року Міністерство цифрової трансформації України оголосило про плани щодо розвитку 5G в Україні. Було створено робочу групу для координації дій між урядом та телекомунікаційними операторами.

У 2020 році Міністерство цифрової трансформації спільно з Національною комісією, що здійснює державне регулювання у сфері зв'язку та інформатизації (НКРЗІ), провели консультації з операторами мобільного зв'язку. Lifecell провела

демонстрацію технології 5G у Києві, показуючи переваги для різних секторів економіки, включаючи медицину, промисловість та освіту.

У 2021 році міністерство цифрової трансформації України опублікувало план дій для впровадження 5G. Було визначено ключові частоти для використання під 5G та заплановано проведення аукціону на ці частоти. Розпочалися масштабні пілотні проекти з використанням 5G у різних регіонах України, включаючи Київ, Львів та Харків. Продовжуються пілотні проекти та тестування у реальних умовах. Оператори мобільного зв'язку поступово розширювали зони тестування та впроваджували нові сервіси на базі 5G. У 2022-2023 роках розвиток 5G призупинився у зв'язку із повномасштабним вторгненням РФ.

1.4 Об'єкт проектування

Метою цього проекту є проектування сучасної мережі мобільного зв'язку 5G у місті Вінниця, з використанням технології стандарту. Вінниця розташована в центрі України, є адміністративним центром Вінницької області. Місто також є важливим транспортним і економічним центром регіону, де розвиваються різні галузі промисловості, науки та освіти. має населення близько 370,000 осіб та займає площу 113 квадратних кілометрів.

Інфраструктура міста складається з:

- 58 закладів дошкільної освіти, 45 загальноосвітніх та приватних шкіл, 13 закладів вищої освіти та 8 заклади професійно-технічної освіти;
- 60 лікарень, поліклінік, відділів надавання медичних послуг;
- 4 міських бібліотеки, 1 палац культури, 2 театри, 4 кінотеатри, 14 музеїв, а також у місті щорічно проходять фестивалі.
- 21 радіостанція, 3 телерадіокомпанії «Суспільне», «Віта», ТРК «Вінничина», послуги операторів Vodafone, Lifecell, Kyivstar.

- Сфера промисловості представлена: 5 заводів: «БудМаш», «Маяк», «ГРІН КУЛ», «Промавтоматика Вінниця», «Форт», 3 індустріальні парки.

Аналізуючи інфраструктуру міста не важко зрозуміти, що необхідність у сучасних засобах зв'язку є безперечною. У Вінниці переважає низька і невисока ступінь поверховості будівель.

2 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОЇ СТОРОНИ 5G ТА ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ МЕРЕЖІ

2.1 Технологія бездротового зв'язку Massive MIMO

Network Slicing — це одна з ключових технологій 5G, яка дозволяє створювати кілька віртуальних мереж на одній фізичній інфраструктурі. Кожна віртуальна мережа, або "слайс", може бути оптимізована для конкретного виду послуг або застосувань, що дозволяє ефективно використовувати ресурси та забезпечувати різні вимоги до якості обслуговування (QoS) [10].

Основні характеристики Network Slicing:

- Ізоляція: Кожен слайс працює незалежно від інших, що забезпечує ізоляцію трафіку і безпеку.
- Гнучкість: Можливість швидкого створення і налаштування нових слайсів для задоволення змінних потреб користувачів.
- Ефективність: Оптимізація використання ресурсів мережі, що дозволяє зменшити витрати та підвищити продуктивність.

Приклад застосування Network Slicing включає створення окремих слайсів для інтернету речей (IoT), автономних транспортних засобів, мультимедійних сервісів та критично важливих комунікацій.

MIMO (Multiple Input Multiple Output) – це технологія бездротового зв'язку, яка використовує кілька передавальних і приймальних антен для одночасної передачі та прийому даних[11]. Ця технологія значно підвищує ефективність спектра і пропускну здатність мереж, дозволяючи більшій кількості користувачів одночасно підключатися до мережі без втрати якості з'єднання. Використовуючи просторовий поділ сигналів, MIMO покращує стійкість до інтерференції та знижує ймовірність втрати даних, що особливо важливо в умовах міської забудови та великої кількості перешкод[12].

Massive MIMO є значним ростом у продуктивності. Основними параметрами, що визначають конфігурацію масивної антени MIMO, є кількість елементів антени, також відомих як фізичні елементи антени, і кількість приймачів-передавачів (TRX), також відомих як логічні елементи антени. Кількість елементів антени визначає фізичний розмір антени і коефіцієнт посилення антени, що має значення для покриття[12]. Типова конфігурація антени в діапазоні 3,5 ГГц має 192 антенні елементи з 12 рядами у вертикальному напрямку, 8 колонками в горизонтальному напрямку та перехресною поляризацією. Відстань між елементами антени зазвичай становить половину довжини хвилі. Довжина хвилі залежить від частоти і становить 8,6 см на частоті 3,5 ГГц, що призводить до відстані між елементами антени 4,3 см. Тоді висота антени на практиці становить 60 см, а ширина антени 40 см, припускаючи половину довжини хвилі (λ) між елементами антени та додаткову половину довжини хвилі по краях антени. Така антена може бути розгорнута на багатьох макросайтах з точки зору розміру. Теоретичний кут антени як функція антенних колонок показаний на рисунку 1, що ілюструє, що рішення з восьми стовпців можливе від кута огляду антени.

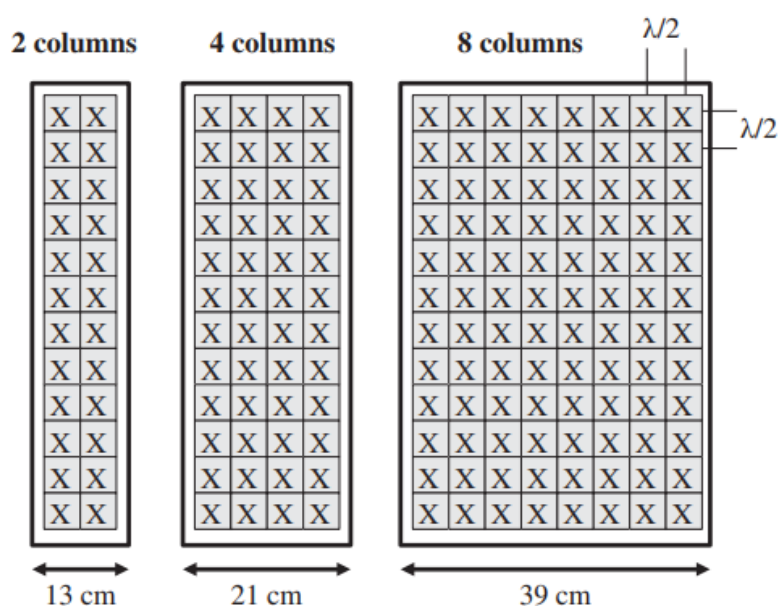


Рисунок 2.1 – Розмір антени в діапазоні 3,5 ГГц з відстанню в половину довжини хвилі між елементами антени

Восьмиколонна антена дозволяє створювати до восьми незалежних променів в горизонтальній області. Взаємозв'язок між фізичною і логічною конфігураціями антени показаний на рисунку 2.

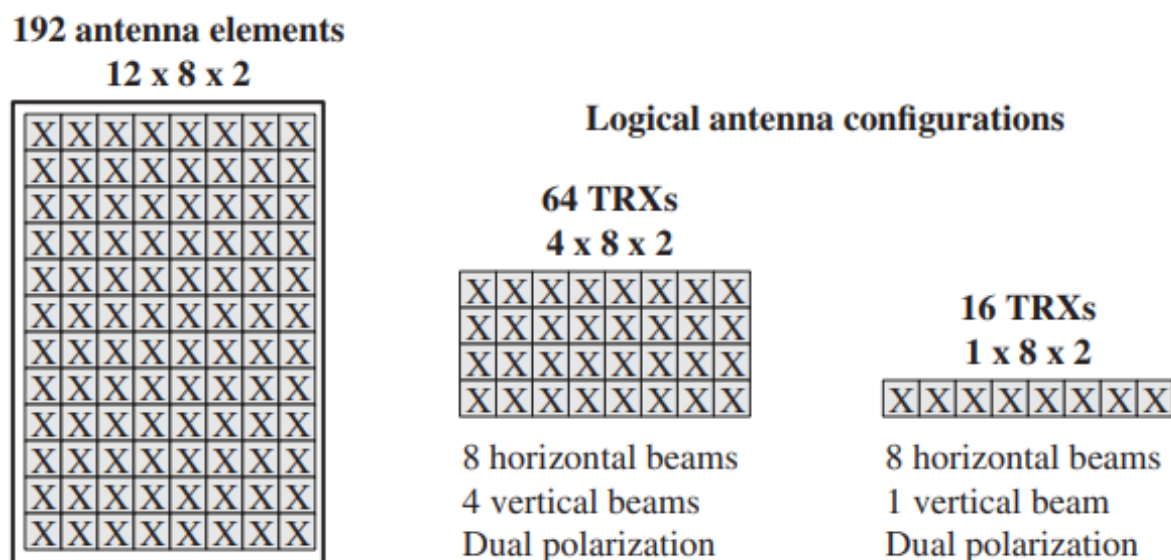


Рисунок 2.2 – Зв'язок між фізичною і логічною конфігураціями антени

На рисунку 2.2 зліва показана фізична антена з 12 рядками, 8 стовпцями та перехресною поляризацією. Кількість TRX, як правило, менша, ніж кількість елементів антени, оскільки деякі елементи антени можна комбінувати. Якщо TRX 16, то логічна конфігурація антени показана в крайньому правому випадку з одним рядком, вісьмома стовпцями і перехресною поляризацією.

Цей випадок дозволяє створити вісім горизонтальних балок і одну вертикальну балку. Антена 16TRX дозволяє повністю використовувати горизонтальне формування променя, але не дає вертикального формування променя. Якщо TRX 64, то логічна конфігурація антени показана в центральному корпусі. На рисунку 2.3 наведено зображення антени massive MIMO.

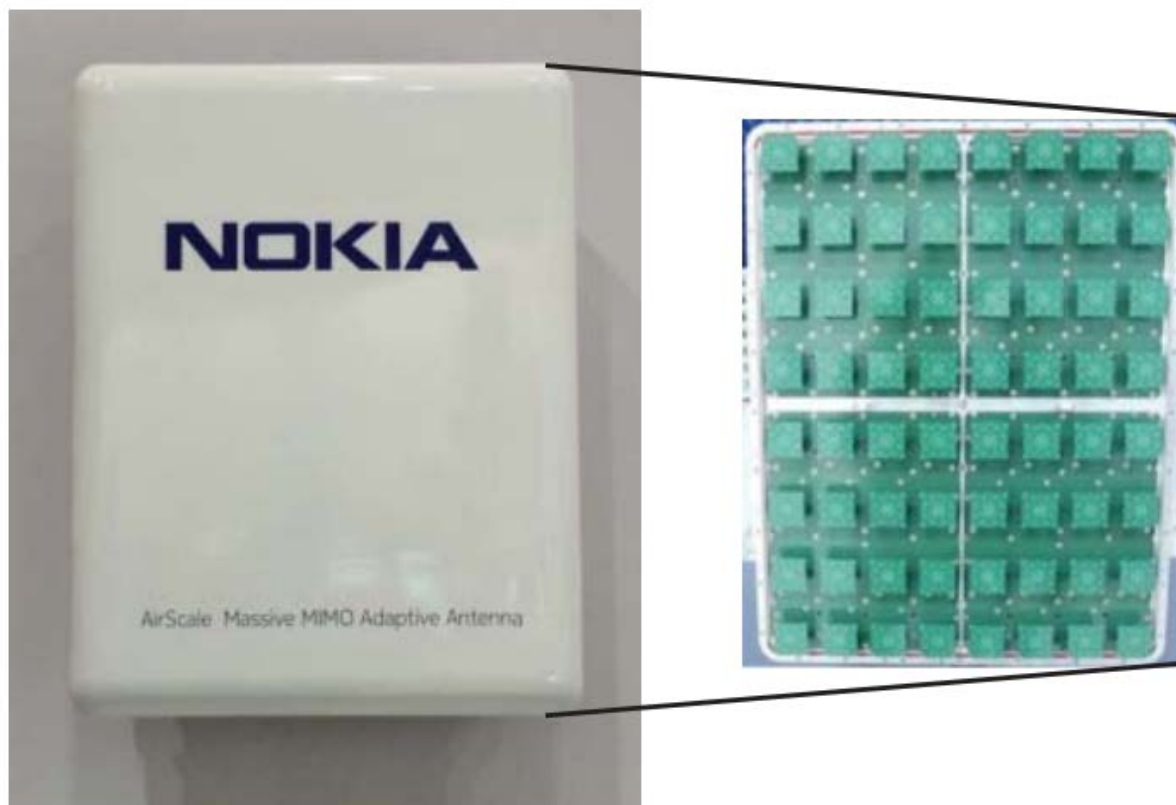


Рисунок 2.3 — Антена massive MIMO із 64 TRX [13]

64 TRX дозволяє створювати вісім горизонтальних балок і додатково чотири вертикальні балки. Коефіцієнт посилення 64TRX над 16TRX значною мірою залежить від навколишнього середовища. Якщо ділянка рівнинна і немає висотних будівель, додатковий вигреш вертикального формування балок обмежений. Якщо є висотні будівлі або високі гори, вигреш від 64TRX може бути вищим[13]. На рисунку 2.3 зображено приклад із вертикальним формуванням променя для випадків із висотною забудовою.

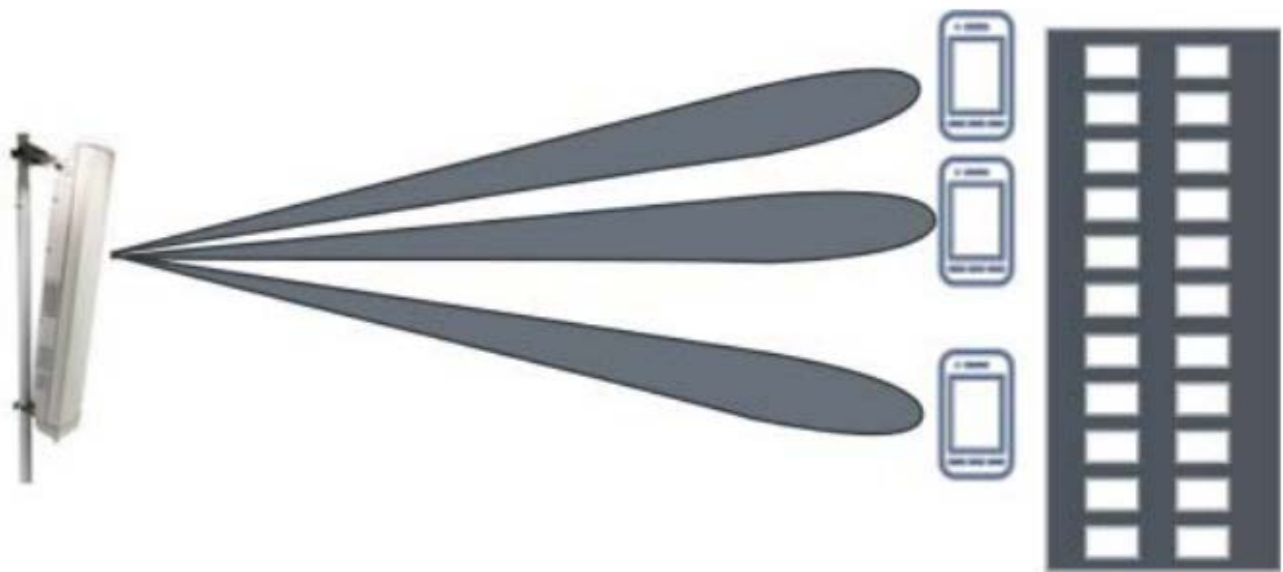


Рисунок 2.4 — Вертикальне формування променя

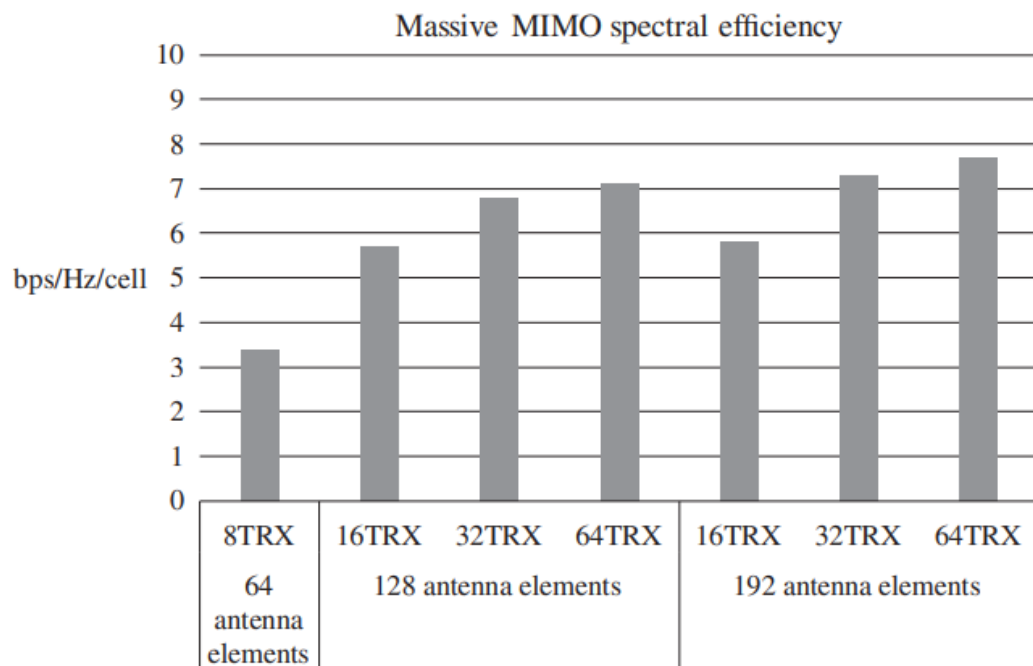


Рисунок 2.5 – Спектральна ефективність з різними масивними конфігураціями MIMO.

На рисунку 2.5 Зображено узагальнено моделювання спектральної ефективності в середовищі міської макрокомірки з використанням спектра 3,5 ГГц. Кількість досліджуваних TRX – 8, 16, 32 та 64. Кількість антенних елементів – 64, 128 і 192. Можна відзначити наступне:

- Для 128, так і для 192 елементів антени спектральна ефективність покращується зі збільшенням TRX.
- Для 128 антенних елементів 32 і 64 TRX дають близько 20% і 25% приросту спектральної ефективності відповідно в порівнянні з роботою 16TRX.
- Для 192 антенних елементів 32 і 64 TRX дають близько 26% і 33% приросту спектральної ефективності відповідно в порівнянні з роботою 16TRX.
- 192 антенні елементи з 16 TRX дають аналогічну спектральну ефективність у порівнянні зі 128 елементами антени. Однак 64 TRX забезпечують приблизно на 10% кращу продуктивність зі 192 елементами антени порівняно зі 128.

2.2 Управління мобільністю Beamforming

Beamforming або (формування променя) – це технологія що використовується в бездротових системах зв'язку, зокрема в системах зв'язку 5G, для покращення якості сигналу і підвищення ефективності використання спектру. Вона полягає в тому, що антенна решітка або масив антен направляє радіосигнал у певному напрямку, замість того, щоб випромінювати його рівномірно в усі боки.

Схеми передачі низхідної лінії 5G NR були спрощені до єдиної схеми передачі, порівняно з LTE, де ми маємо схеми передачі на основі CRS і DM-RS. Однією з причин такого спрощення став той факт, що передача даних в 5G NR працює виключно на виділених опорних сигналах. Незважаючи на те, що схеми передачі із замкнутим контуром є основним моментом проектування, оскільки вони базуються на деяких формах зворотного зв'язку CSI від пристрою, можливе

прозоре розмаїття передачі, наприклад, циклічність прекодера на основі набору правил, наприклад, використання одного і того ж прекодера для розподілу частот, де використовується той самий DM-RS. Встановивши тип опорних сигналів, що використовуються для передачі даних, конструкція 5G орієнтується на кількість шарів, які передаються на один пристрій, і правила, необхідні для виконання багатокористувацької передачі MIMO ортогональним способом між користувачами. Дійсно, два основних типи трансмісій - це одно- і багатокористувацька MIMO[14]. У той час як однокористувацький MIMO може підтримувати загалом 8 рівнів передачі на один пристрій, у багатокористувацькому домені мережа може мультиплексувати до 12 ортогональних портів DM-RS, що означає, що загалом 12 рівнів можуть бути ортогонально мультиплексовані між кількома пристроїв, наприклад, 12 пристроїв, якщо кожен отримує один шар, або 3, якщо кожен отримує 4 шари. Тим не менш, в багатокористувацькому домені мережа може мультиплексувати навіть більше 12 шарів, якщо, наприклад, існує краще просторове розділення між користувачами або на передавачі виконуються деякі форми ортогоналізації, такі як нульове форсування[15].

Ці механізми стають необхідними, коли 5G працює у вищих діапазонах несучих, наприклад, вище 6 ГГц, де поширення радіо є більш складним, а формування променя є обов'язковим як для gNB, так і для пристроїв, щоб компенсувати втрату шляху. Хороша новина полягає в тому, що зі збільшенням несучої частоти розміри антени як на передавачі, так і на приймачі зменшуються, і, отже, високочастотне антенне рішення може вмістити більшу кількість елементів антени. Архітектура антен у будь-якому випадку різна: у низьких несучих використовується цифрова передача, де для кожного елемента антени присутні підсилювачі потужності, тоді як у вищих несучих це неможливо, і тому один підсилювач потужності обслуговує набір антенних елементів, які можуть бути розміщені на так званій антенній панелі. Як gNB, так і пристрої можуть мати кілька панелей: в той час як кілька панелей на gNB забезпечують

мультиплексування декількох пристроїв, оскільки кожна панель може передавати до одного пристрою, кілька панелей в пристрої дозволять приймати сигнали в складному середовищі, де рух, обертання або блокування променя виграють від різноманітності сигналів прийому. Звідси виникає потреба для розміщення декількох панелей на пристрої[16]. Одним з основоположних елементів управління променем є концепція променевої пари між gNB і користувацьким пристроєм. І передавач, і приймач можуть утворювати промені в різних напрямках; Кажуть, що коли промені «звернені один до одного», ми можемо мати променеву пару. Не слід обмежувати це можливим лише зоною прямої видимості, оскільки такий промінь. Пари також можуть виникати через відбиття від розсіювачів. Відзначимо, що ці промені можуть використовуватися як для передачі, так і для прийому. У всіх випадках передбачається, що користувацький пристрій переміщує своє положення лінійно по відношенню до місця розташування базової станції.

2.3 Гібридний beamforming

Кількість TRX в антені формування променя може бути меншою, ніж кількість елементів антени. Частина формування променя виконується шляхом цифрової обробки в базовій смузі, а частина формування променя здійснюється аналоговими РЧ-форматорами променя. Це рішення називається гібридним формуванням променя. Повністю цифрове формування променя вимагає, щоб кожен елемент антени мав спеціальний радіочастотний ланцюг. Мотивація гібридного формування променя полягає в мінімізації кількості радіочастотних ланцюгів, що може знизити вартість і складність антени формування променя. Гібридне формування променя показано на малюнку 10.41. У цьому розділі показано продуктивність системи гібридного формування променя в порівнянні з повністю цифровим формуванням променя в діапазоні 3,5 ГГц у міських мікросотах. Моделювання гібридного формування променя виконується зі

смугою пропускання 20 МГц і з 10 пристроями на комірку, повним буферним трафіком і широкосмуговим плануванням для одного користувача. Швидкість передачі даних користувача, природно, була б набагато вищою за 100 МГц і меншої кількості пристроїв з різким трафіком. Передбачається, що антена має 128 елементів з вісьмома рядками, вісьмома стовпцями та перехресною поляризацією. Відстань між елементами антени становить половину довжини хвилі. Досліджено чотири випадки: фіксовані аналогові промені, повністю цифрове формування променя з 128 РЧ-ланцюгами та гібридні рішення з чотирма та вісьмома РЧ-ланцюгами. Результати зображені на рисунку 2.6.

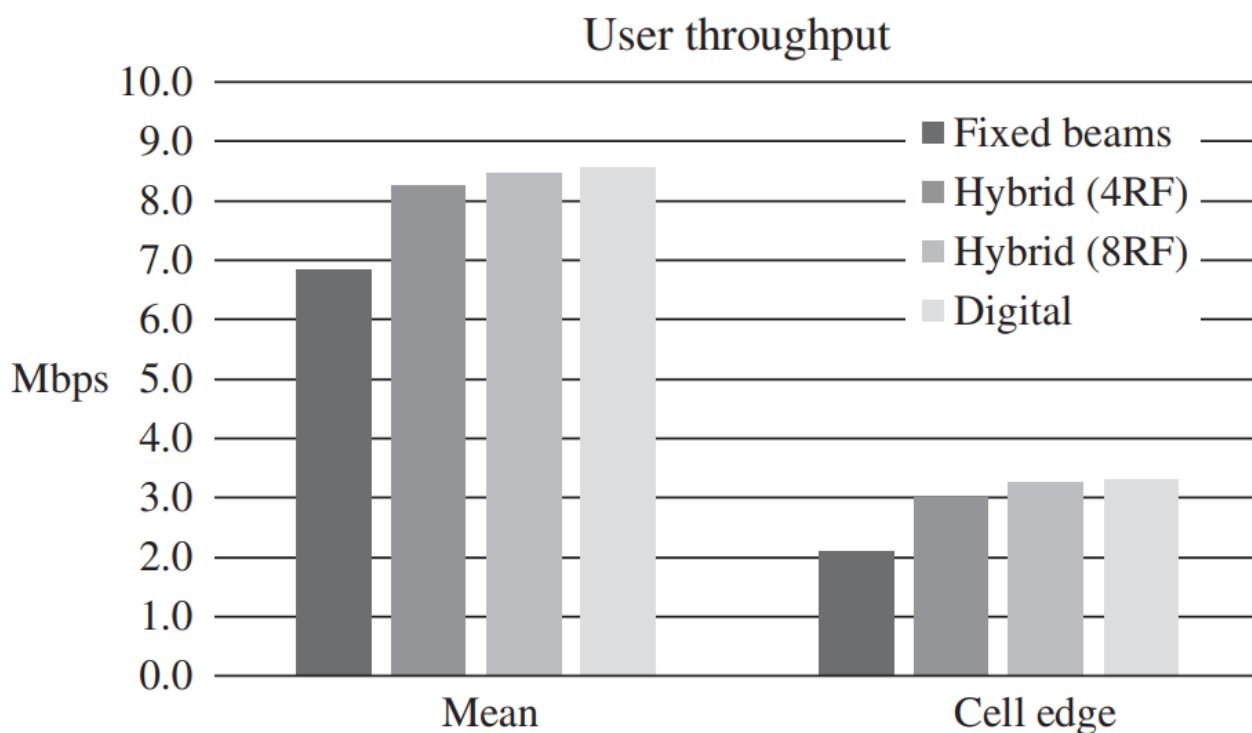


Рисунок 2.6 Пропускна здатність користувача вниз за допомогою різних рішень формування променя

Моделювання показує, що цифрове формування променя дає найкращу продуктивність, тоді як фіксовані промені мають найнижчу продуктивність. Продуктивність гібридного формування променя знаходиться між двома іншими

варіантами. Різниця між повністю цифровим і гібридним формуванням променя більша в продуктивності країв комірки, ніж у середній швидкості передачі даних. Середня швидкість передачі даних при гібридному формуванні променя на 1–5% нижча, ніж при цифровому формуванні променя. Різниця в швидкості передачі даних по краю комірки становить до 10%. Розрив між гібридним формуванням променя та повним цифровим формуванням променя стане більшим із мультиплексуванням у частотній області різних пристроїв та багатокористувацьким MIMO, враховуючи, що вагові коефіцієнти аналогового формування променя повинні застосовуватися спільно для всіх запланованих UE у частотній та просторовій областях. Проте вдвічі більша кількість радіочастотних ланцюгів, ніж кількість мультиплексованих потоків у просторовій і частотній областях, як очікується, буде достатнім для забезпечення продуктивності, близької до оптимальної. Фіксоване формування променя забезпечує значно нижчу швидкість передачі даних, ніж цифрове формування променя: різниця становить 20% у середній швидкості передачі даних і 35% у швидкості передачі даних на краю комірки. Результати показують, що можна розглянути гібридне формування променя з точки зору ефективності, щоб спростити практичну реалізацію антени з формуванням променя

3 РОЗРАХУНКИ ПАРАМЕТРІВ МЕРЕЖІ, ЩО ПРОЕКТУЄТЬСЯ

3.1. Попередня оцінка трафіку і кількості каналів в мережі

Зважаючи на те, що місто Вінниця не велике місто щільність абонентів не дуже висока. Тому і базові станції можна розмістити на більшій відстані одна від одної, що дасть змогу кожному eNB покривати більшу площу. Відповідно під задані умови необхідно підібрати радіочастотний спектр, що підходитиме для наших потреб. Користуючись новими положеннями, для нашого проектування можна обрати спектр радіочастот у діапазоні 1980-2110 МГц (band 1) з видом дуплексу – частотний FDD. Оскільки в загальному випадку розраховується що чим нижче частота, тим більше поширення сигналу, то такий варіант підходить для нашого випадку[17]. Також це допоможе зекономити матеріальні витрати.

Знаючи кількість населення і площу міста можна розрахувати потенційну кількість трафіку. Населення міста дорівнює 370000 чоловік, площа 113 км². Для більш точного розрахунку оберемо кількість абонентів, що користуються послуга зв'язку на рівні 35% від загальної кількості потенційних абонентів. Це і є максимальна ємність ринку. Тепер, маючи всі необхідні дані, ми одразу можемо підрахувати потенційну кількість абонентів, що потребують користування послугами проектованої мережі. Розрахуємо за формулою:

$$N_{аб} = N_{жит} * 0,35 = 370000 * 0,35 = 129500 \text{ чол.} \quad (3.1)$$

Наступним кроком необхідно знайти пропускну здатність або ємність мережі. В конкретних випадках ці значення залежать від середніх значень спектральної ефективності. В свою чергу значення спектральної ефективності визначає швидкість передачі даних у відповідних смугах частот. Вона розраховується як відношення швидкості передачі даних на 1 Гц смуги частот

(біт/с/Гц). Для різних варіантів MIMO ширина смуги частот для частотного виду дуплексу (FDD) дорівнює 190 МГц.

В таблиці 1 вказана середня спектральна ефективність для мережі 5G[18]

Таблиця 1 – Середня спектральна ефективність для мережі 5G

Лінія	Схема MIMO	Середня спектральна ефективність (біт/с/Гц)
UL	1x2	3.523
	1x4	4.324
DL	2x2	5.76
	4x2	7,13
	4x4	7,73

Для того щоб знайти необхідну нам середню пропускну здатність одного сектора БС для системи FDD треба провести операцію множення між спектральною ефективністю і шириною каналу. У результаті:

$$R = S * W \quad (3.1.1)$$

де S – середня спектральна ефективність, біт/с/Гц;

W – ширина каналу, МГц, $W=5$.

Так отримуємо:

1) Для лінії UL: $R_{UL} = 4.324 * 190 = 821.56$ Мбіт/с;

2) Для лінії DL: $R_{DL} = 7,13 * 190 = 1354.7$ Мбіт/с

Тепер отримаємо середню пропускну здатність БС eNB. Беремо за основу кількість секторів в eNB = 3. Щоб знайти пропускну здатність БС треба

перемножити пропускну здатність одного сектора на кількість самих секторів базових станцій. Формула розрахунку:

$$ReNB = RDL/UL * 3 \quad (3.1.2)$$

Отже:

1) Для лінії UL: $ReNB, UL = 821.56 * 3 = 2464.6$ Мбіт/с ;

2) Для лінії DL: $ReNB, DL = 1354.7 * 3 = 4064.1$ Мбіт/с

Ще одним важливим значенням яке необхідно обчислити це кількість стільників, яку потребує проектувана мережа. Для цього треба визначити загальне число каналів, що необхідно виділити для розгортання мережі.

Розраховується це число за формулою:

$$N_k = \left\lceil \frac{\Delta F}{F_k} \right\rceil = \left\lceil \frac{190}{5} \right\rceil \approx 38 \quad (3.1.3)$$

де F – смуга частот, що виділяється для роботи , $F = 190$ МГц ;

F_k - смуга частот одного радіоканалу, в мережах 5G це поняття описується як ресурсний блок (БК) і ширина його - $f_k = 5$ МГц.

Щоб дізнатися яка кількість каналів необхідна для обслуговування абонентів в одному секторі одного стільника виконуємо наступні операції:

$$N_{k.сек} = \left\lceil \frac{Nk}{(N_{кл} \times M_{сек})} \right\rceil = \left\lceil \frac{38}{(3 \times 3)} \right\rceil \approx 5 \text{ каналів}, \quad (3.1.4)$$

де Nk – загальна кількість каналів;

$N_{кл}$ – розмірність кластера, вибрана з урахуванням кількості секторів eNB, які рівні трьом;

$M_{сек}$ – кількість секторів eNB, прийняте рівним трьом.

Наступним кроком визначимо скільки в одному секторі одного стільника каналів трафіку:

$$N_{\text{кт.сек}} = N_{\text{кт1}} \times N_{\text{к.сек}} = 1 * 5 = 5 \quad (3.1.5)$$

де $N_{\text{кт1}}$ – кількість каналів трафіку одному радіоканалі. Даний показник регламентується стандартом радіодоступу (для OFDM $N_{\text{кт1}} = 1 \dots 3$).

Для цього проектування мережі 5G можна обрати $N_{\text{кт1}} = 1$. Щоб дізнатись допустиме навантаження в секторі одного стільника необхідно звернутись до таблиці Ерланга. Звідти, якщо ймовірність блокування 1%, то значення $A_{\text{сек}} = 37,9$ Ерл

Тепер можна розрахувати скільки одна БС може обслуговувати абонентів:

$$N_{\text{аб. eNB}} = 3 \times \left\lceil \frac{159,8}{0,1} \right\rceil = 4796 \text{ абонентів} \quad (3.1.6)$$

Наступним кроком буде розраховується необхідна кількість БС:

$$N_{\text{eNB}} = \left\lceil \frac{N_{\text{аб}}}{N_{\text{аб. eNB}}} \right\rceil + 1 = \left\lceil \frac{129500}{4796} \right\rceil + 1 = 28 \quad (3.1.7)$$

Середня пропускна планова пропускна здатність RN мережі розраховується за формулою:

$$RN = (R_{\text{eNB.UL}} + R_{\text{eNB.DL}}) \times N_{\text{eNB}} = (2464.6 + 4064.1) * 28 = 228504,5 \text{ (Мбіт/с)} = 228,5045 \text{ (Гбіт/с)} \quad (3.1.8)$$

Результати порівняємо з перевіркою оцінкою ємності мережі. В час найбільшого навантаження (ЧНН) можемо визначити усереднений трафік одного абоненту:

$$R_{\text{т.ЧНН}} = Tm \times q \times N_{\text{ЧНН}} \times N_{\text{д}} \quad (3.1.9)$$

де Tm – середній трафік одного абонента в місяць, $Tm = 20$ Гбайт/міс;

q – коефіцієнт для місцевості, $q=2$;

$N_{\text{ЧНН}}$ – число ЧНН в день, $N_{\text{ЧНН}} = 7$;

$N_{\text{д}}$ – число днів у місяці, $N_{\text{д}} = 30$.

$R_{\text{т.ЧНН}} = \frac{20 \times 2}{7 \times 30} = 0,190$ (Мбіт/с) Далі прораховуємо загальний трафік мережі в ЧНН $R_{\text{заг/ЧНН}}$:

$$R_{\text{заг/ЧНН}} = R_{\text{тЧНН}} \times N_{\text{акт.аб}}, \quad (3.1.10)$$

де $N_{\text{акт.аб}}$ – кількість активних користувачів мережі – 60% від загального числа потенційного абонентів $N_{\text{аб}}$, тобто $N_{\text{акт.аб}} = 222000$ абонентів.

$$R_{\text{заг/ЧНН}} = 0,190 \times 222000 = 42180 \text{ (Мбіт/с)} = 42,180 \text{ (Гбіт/с)} \quad (3.1.10)$$

Тепер, порівнявши результати, можемо побачити що $R_N > R_{\text{заг/ЧНН}}$, а звідси зрозуміло що в мережі, що проектується не буде перевантаження.

3.2. Розрахунок покриття мережі

Першим кроком для розрахунку покриття треба знайти максимально допустимі втрати (МДП). У даному випадку, для діапазону 1990-2110 МГц можна обрати два значення запасу на проникнення: -8 дБ для сільської місцевості, -12дБ в умовах забудови. Параметри для проектованої мережі:

1)БС працюють в режимі MIMO 8×2

2)Системна полоса: 190 МГц, для FDD=10/10(UL/DL).

Формула для розрахунку максимальних допустимих втрат:

$$L_{мпд} = P_{евп.прд} + S_{ч.пр} - G_{А.прд} - L_{ф.прд} - M_{прон} - M_{зав} - M_{зат} + G_{хо} \quad (3.2.1)$$

де $P_{евп.прд}$ – еквівалентна випромінювана потужність передавача;

$S_{ч.пр}$ – чутливість приймача;

$G_{А.прд}$ – коефіцієнт посилення антени передавача, для UL = 0 дБ, для DL = 18 дБ;

$L_{ф.прд}$ – втрати в фідерному тракті передавача, для DL = 0,3 дБ;

$M_{прон}$ – запас на проникнення сигналу в приміщенні для приміської місцевості, дорівнює 12 дБ;

$M_{зав}$ – запас на завади, для UL = 2,6 дБ, для DL = 6,6 дБ;

$M_{зат} = 8,2$ дБ - запас на затінення;

$G_{хо} = 1,7$ дБ – виграш від хендовера. Для того щоб знайти $P_{евп.прд}$ використовуємо формулу:

$$P_{евп.прд} = P_{вих.прд} + G_{А.ппрд} - L_{ф.прд} \quad (3.2.2)$$

де $P_{вих.прд}$ - це вихідна потужність передавача.

Вихідна потужність передавача залежить від ширини смуги частот стільників, і має значення від 1,4 до 190 МГц. Якщо межі менше 5 МГц, то кращим вибором буде TRX передавач, потужність якого – 4,4 Вт (36 дБм), а у випадках більше 5 МГц – 10 Вт (46 дБм). $P_{вих.прд}$ для DL = 46 дБм, а для UL = 28 дБм. Маючи ці значення можемо розрахувати еквівалентну випромінювану потужність передавача. Отримуємо:

1) Для UL: $P_{евп.прд} = 28$ (дБм)

2) Для лінії DL: $P_{евп.прд} = 46 + 18 - 0,3 = 63,7$ (дБм);

Наступний пункт – величина чутливості приймача. Використовується формула:

$$S_{ч.пр} = P_{тш.пр} + M_{всш.пр} + L_{пр} \quad (3.2.3)$$

де $P_{\text{тш.пр}}$ – це потужність теплового шуму приймача, що для $DL = -173,5$ дБм, а для $UL = -103,6$ дБм;

$M_{\text{всш.пр}}$ – відношення сигнал/шум приймача, для $DL = -0,25$, для $UL = 0,62$;

$L_{\text{пр}}$ – коефіцієнт шуму приймача: $DL = 6,8$ дБ $UL = 2,7$ дБ.

А отже:

1) Для лінії UL : $S_{\text{ч.пр}} = -103,6 + 0,62 + 2,7 = -100,28$ (дБм);

2) Для DL : $S_{\text{ч.пр}} = -175,3 + (-0,25) + 6,8 = -168,75$ (дБм);

Тепер, з урахуванням попередніх розрахунків ми можемо розрахувати максимально допустимі втрати $L_{\text{мпд}}$:

1) Для лінії UL : $L_{\text{мпд}} = 28 - (-100,28) - 8 - 2,7 - 8,2 + 1,7 = 111,08$ (дБ);

2) Для лінії DL : $L_{\text{мпд}} = 63,7 - (168,75) - 0,3 - 8 - 6,8 - 8,2 + 1,7 = 217,65$ (дБ)

Отримавши результати, необхідно обрати менше з них, і опираючись на обране значення продовжувати розрахунки дальності зв'язку і радіусу стільників. Для подальших розрахунків оберемо модель поширення радіохвиль 3GPP. За цією моделлю формула для розрахунку середнього загасання радіосигналу в міських умовах: $L_m = 69,5 + 26,16 \log fc - 13,82 \log ht - A(hr) + (44,9 - 6,55 \log ht) \times \log d$ (3.2.4)

Візьмемо для нашого випадку такі величини:

1) Частоту передачі - 1920 МГц

2) Висоту антени передавача – 30 м

3) Висоту антени приймача – 5 м

Спочатку розрахуємо коефіцієнт $A(hr)$ для не щільно заселеної території за формулою:

$$A(hr) = (1,1 \times \log fc - 0,7) \times hr - (1,56 \times \log fc - 0,8) = (1,1 \times \log 900 - -0,7) \times 5 - (1,56 \times \log 900 - 0,8) = 8,9 \quad (3.2.6.)$$

Із використанням формул (3.2.1) – (3.2.6) радіус стільника, отримуємо значення $d \approx 1$ км. І використовуючи це значення можемо обчислити площу покриття стільника:

$$S_{eNB} = 9 \frac{\sqrt{3}}{8} \times d^2 = 9 \frac{\sqrt{3}}{8} \times 212 = 1,95 \text{ (км}^2\text{)} \quad (3.2.7)$$

Враховуючи вищенаведені розрахунки було визначено площу покриття стільника у розмірі 1,95 км² при середній пропускній здатності 11,0439 (Гбіт/с).

4. ПРОЕКТУВАННЯ У ПРОГРАМІ RADIOPLANNER

4.1 Вибір програми для проектування

Існує багато програмних засобів для проектування безпроводних мереж що дають змогу розраховувати покриття, втрати, швидкість передачі даних та інші величини. До таких програмних засобів відносяться наприклад:

MATLAB 5G Toolbox — це потужний інструмент для моделювання та аналізу систем зв'язку 5G, розроблений компанією MathWorks. Він забезпечує інтегроване середовище для моделювання фізичного та канального рівнів систем 5G, підтримує специфікації 3GPP та надає широкий спектр функцій для тестування, розробки та оптимізації мереж 5G (рисунок 4.1).

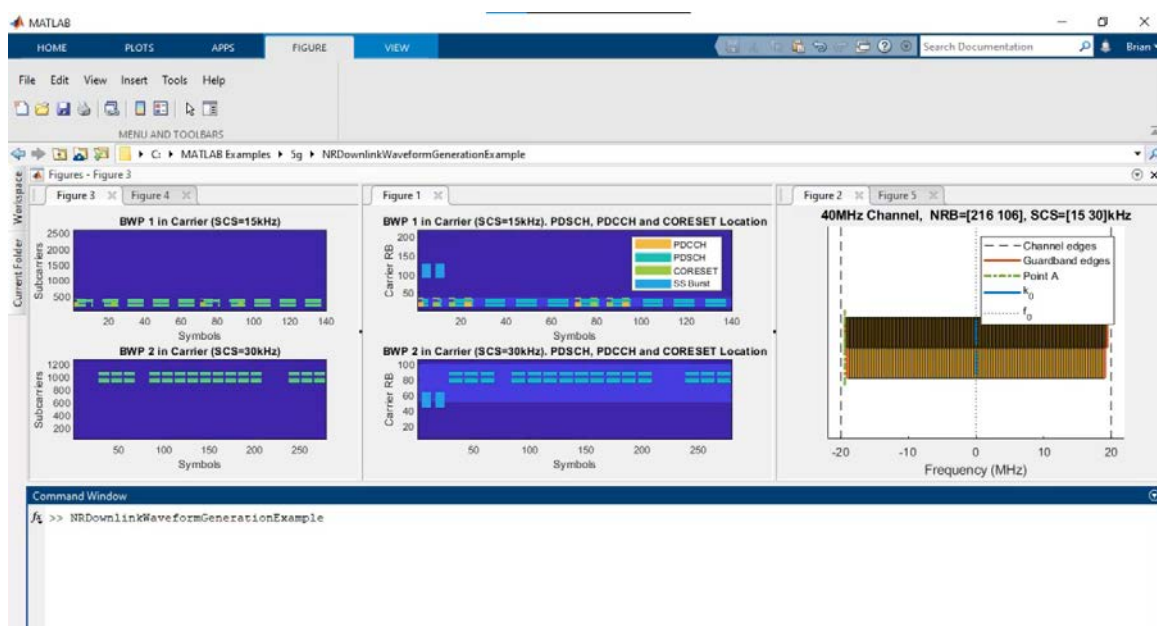


Рисунок 4.1 – Інтерфейс програми MATLAB

Forsk Atoll (рисунок 4.2) — це професійне програмне забезпечення для планування та оптимізації радіомереж, яке широко використовується в індустрії телекомунікацій. Воно підтримує різні технології зв'язку, включаючи 2G, 3G, 4G,

5G та інші бездротові мережі, і надає інструменти для радіочастотного (RF) планування, оптимізації та аналізу продуктивності мереж.

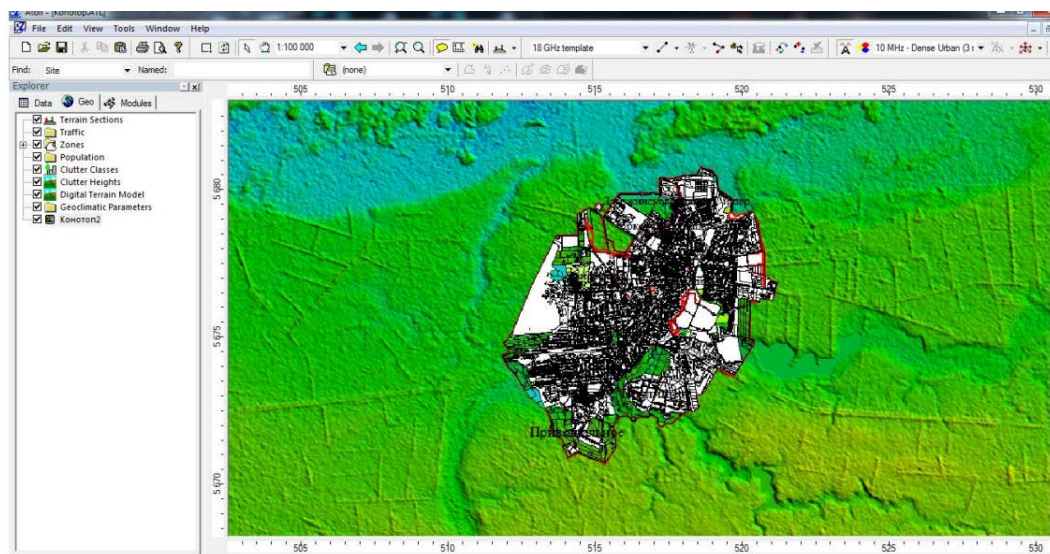


Рисунок 4.2 – Інтерфейс програми Forsk Atoll

RF3D WiFi Planner — це програмне забезпечення, спеціально розроблене для планування та оптимізації бездротових мереж Wi-Fi. Воно надає інструменти для тривимірного моделювання, що дозволяє враховувати різні архітектурні та фізичні особливості приміщень і забезпечує точне планування покриття, розташування точок доступу та аналіз продуктивності мережі

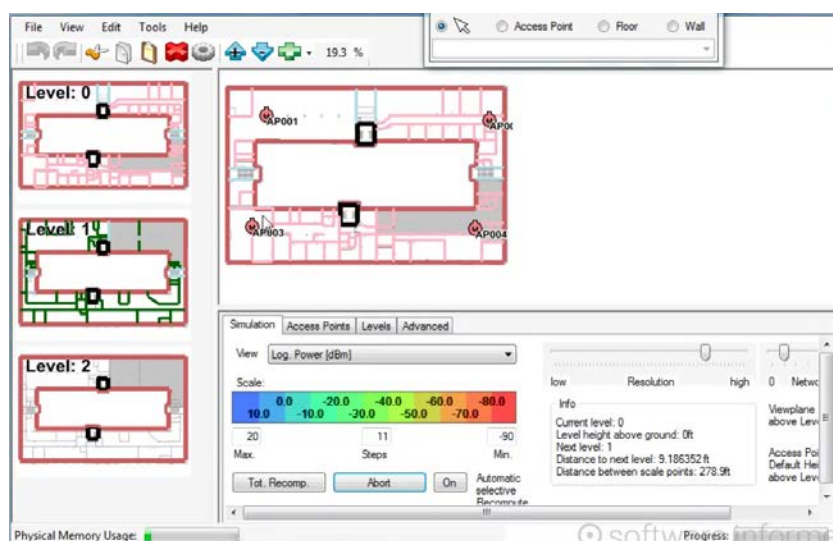


Рисунок 4.3 – Інтерфейс програми RF3D WiFi Planner

RadioPlanner 3 - це ПЗ буде більш детально описано нижче, так як використовується для проектування (рисунк 4.4).

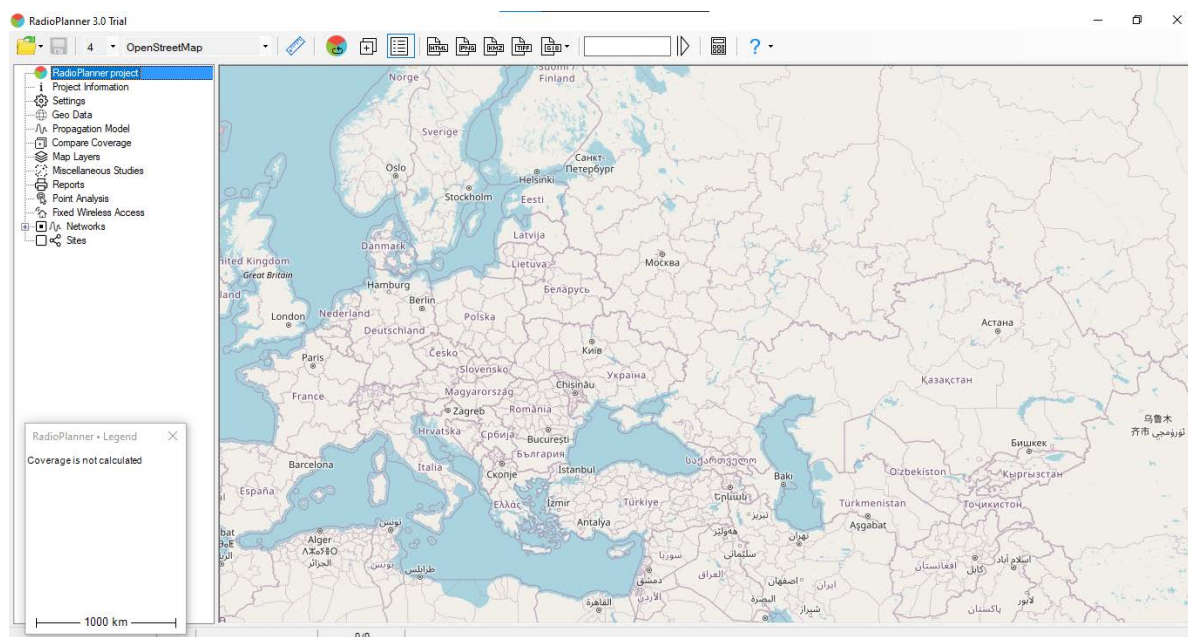


Рисунок 4.4 – Інтерфейс програми RadioPlanner 3

RadioPlanner 3 - це програма, яка відзначається відкритістю, масштабованістю та гнучкістю. Вона використовується для проектування та оптимізації мережі, підтримує безпроводні технології від початкового проекту до її розвитку і оптимізації. Універсальність RadioPlanner 3 дозволяє користувачам налаштовувати робочий простір під свої потреби, легко інтегрується з іншими програмами.

Основними технологіями які підтримуються є:

- Мобільних мереж: 5G (NR), LTE, UMTS, GSM, GSM-R, WCDMA
- Це чудовий інструмент для планування приватних мереж 5G / 4G.
- Мереж бездротового доступу LTE / 5G (FWA)
- Мереж земельної мобільної безпеки: P25, TETRA, DMR, dPMR, NXDN
- Мереж бездротового Інтернету речей LPWAN: LoRa, SigFox, NB-Fi
- Землеві радіо- і телевізійні мережі: ATSC, DVB-T, DVB-T2, ISDB-T, DTMB, DAB, DAB+

4.2. Проектування мережі

До початку практичного моделювання необхідно створити рельєфну карти міста для більш точних результатів. Адже опираючись на різницю висоти між різними стільниками ми отримаємо більш чітке уявлення про покриття спроектованої мережі. Для цього можна використати веб-сайт <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Його функціонал дає змогу отримати карту висот необхідної місцевості, що знаходиться у вільному доступі (Рисунок 4.5)

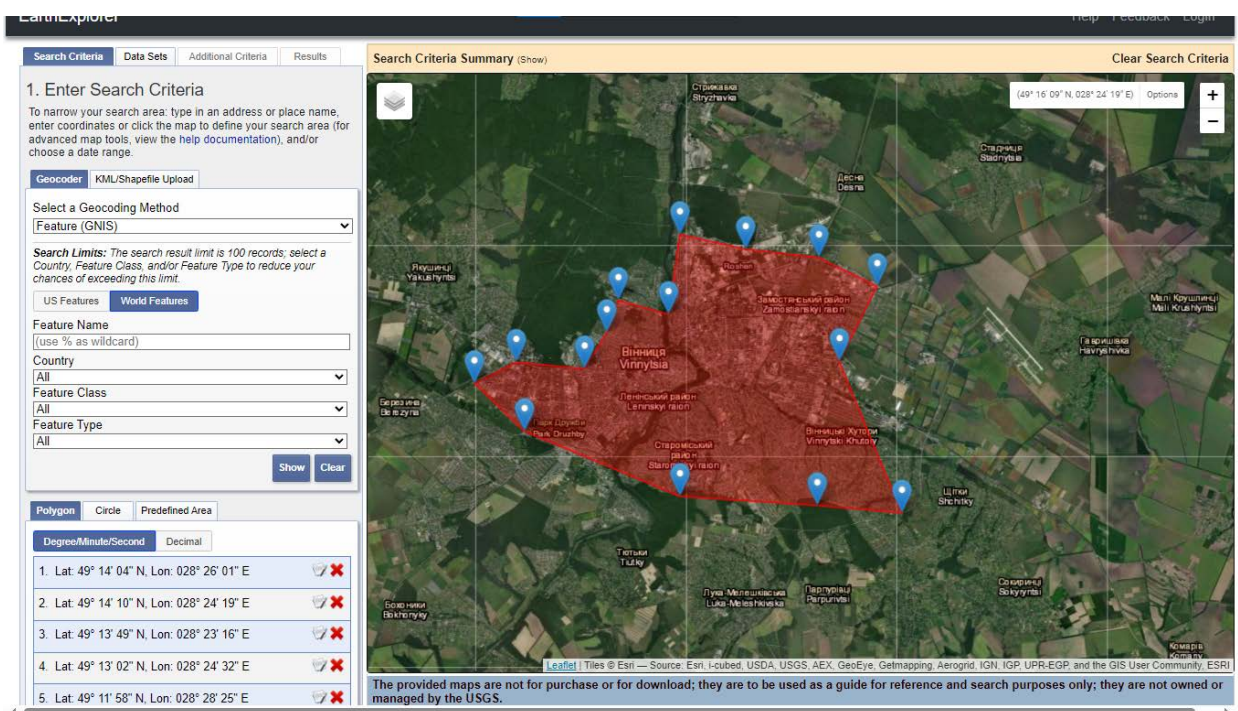


Рисунок 4.5 – Обираємо необхідну нам місцевість

Обравши певну ділянку ми можемо завантажити карту рельєфу місцевості, що має значення висот. Завдяки цьому буде отримана більша точність моделювання мережі. Для того щоб перетворити отриману карту висот у файл який підтримується у програмі RadioPlanner доцільно використати програму GlobalMapper. Це ПЗ працює з багатьма розширеннями файлів в області

геоінформаційних систем і використовуються в багатьох сферах пов'язаних з картографією і обробкою карт.

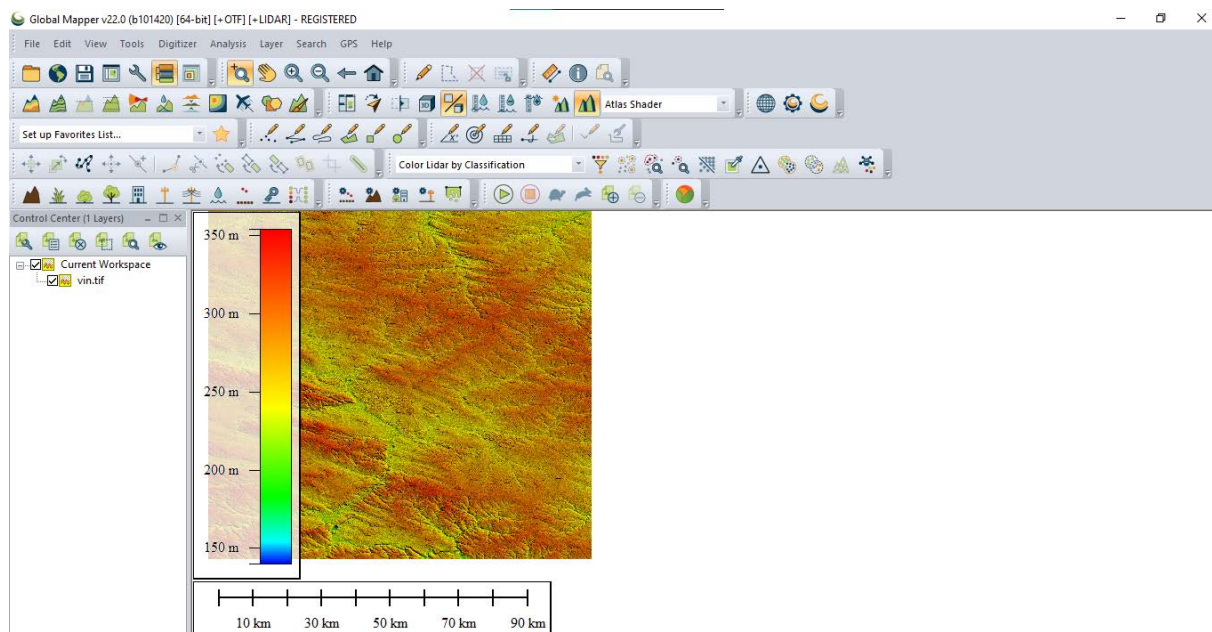


Рисунок 4.6 – Програма GlobalMapper

Після перетворення у файл який можна використовувати в radioplanner карта висот виглядатиме так (рисунок 4.7):

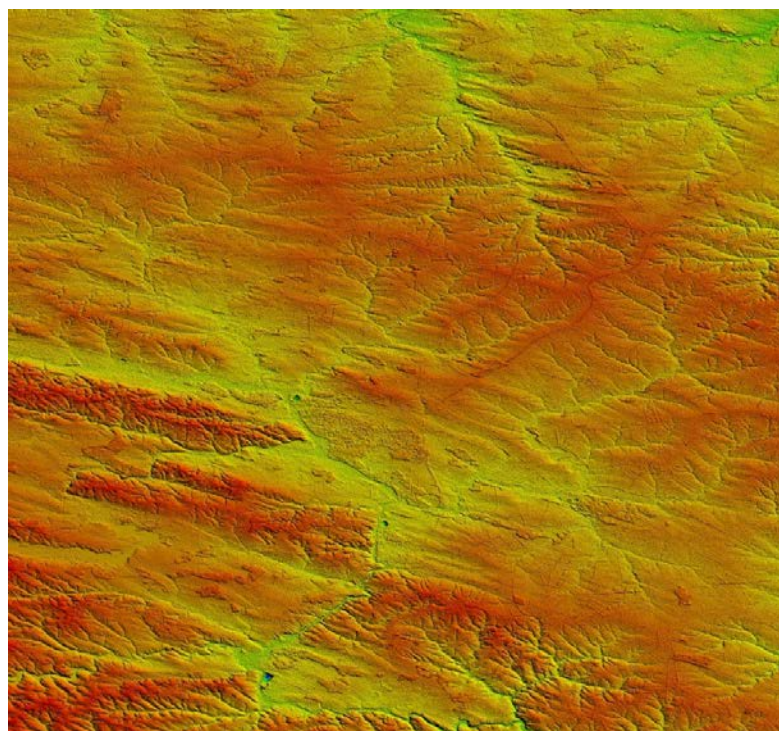


Рисунок 4.7 – Рельєфна карта міста Вінниця

Завдяки можливостям RadioPlanner [19] можна додати рельєфну карту міста і вона буде прив'язана за географічними координатами до схематичної. (Рисунок 4.8).

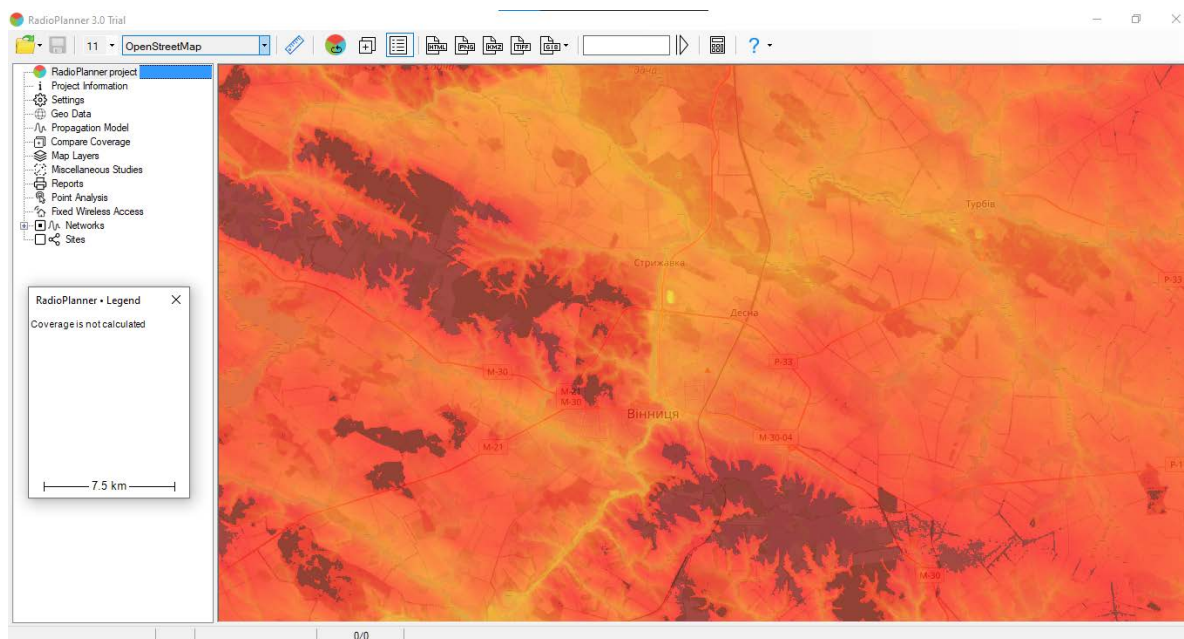


Рисунок 4.8 – рельєфна карта поверх схематичної

Об'єднавши ці шари карт ми можемо їх конвертувати як один суцільний файл і завантажити його в RadioPlanner. Додавши його, ми отримуємо наступний робочий простір (Рисунок 4.9):

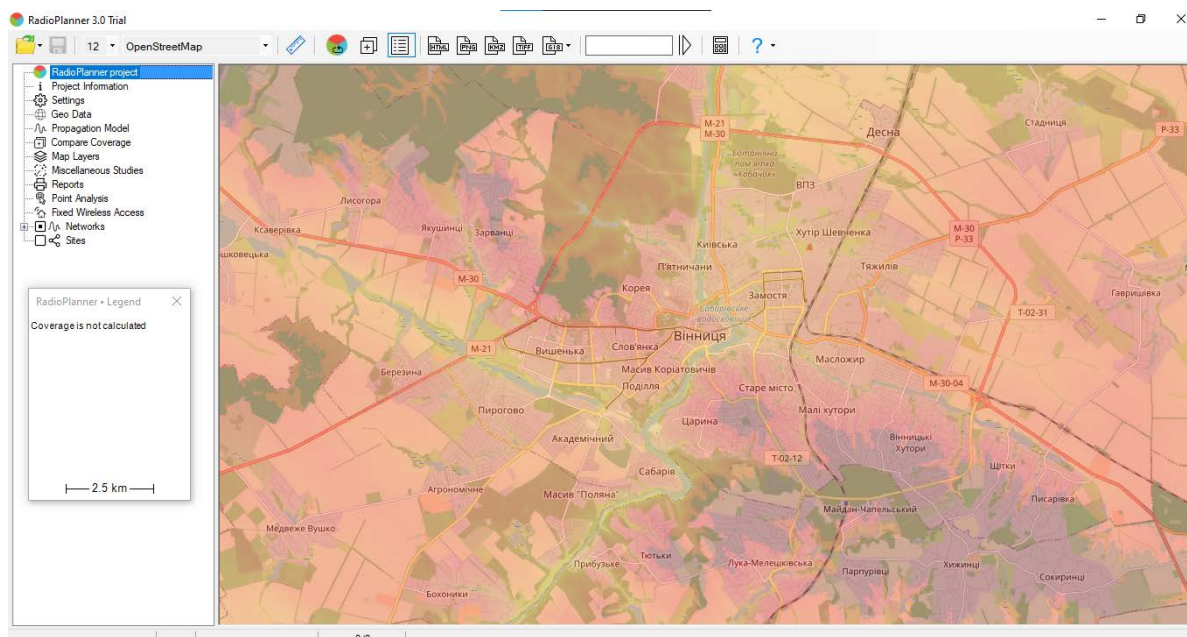


Рисунок 4.9 – Робочий простір RadioPlanner

Тепер можна приступати до саме модулювання мережі. На даному етапі можна налаштувати велику кількість параметрів, починаючи від висоти антени до потужності передавача. Для того щоб обрати необхідні нам параметри, звертаємось до минулих розділів. Після усіх налаштувань тепер можемо додавати стільники, таким чином щоб захопити якнайбільшу територію міста. В реальних умовах рідко досягається така кількість БС, оскільки операторам мобільного зв'язку необхідно враховувати кількість коштів які виділяються щоб витратити їх на проектування мережі [20]. Але у нашому випадку це майже ідеальна мережа, що орієнтується на максимальний результат пропускної здатності і покриття. Отже, розмістивши обчислену раніше кількість базових станцій ми отримуємо приблизно такий результат (Рисунок 4.10):

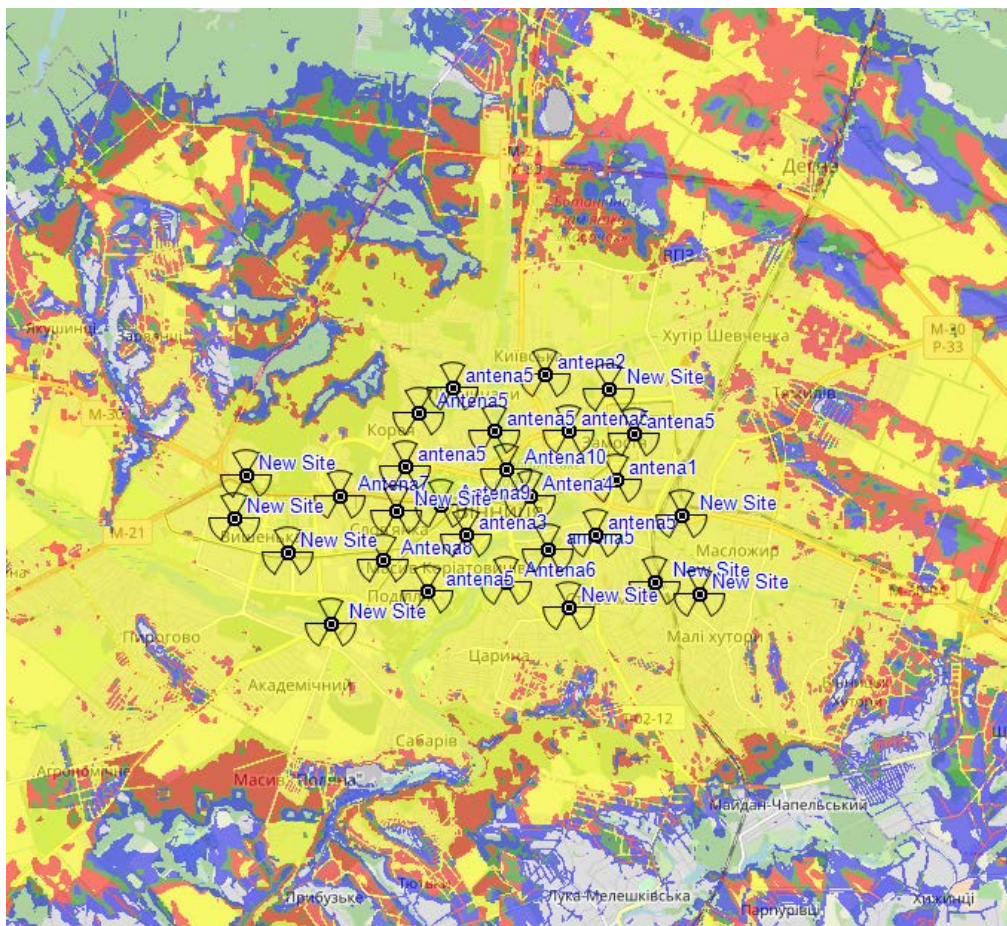


Рисунок 4.10 – Розташування БС у місті

Далі ми можемо перейти до саме моделювання покриття і перевірки рівня сигналу у місті. Тому користуємося можливістю Atoll розрахувати покриття з параметрами, що були задані раніше. У процесі прорахування ми отримуємо такий рівень покриття міста (Рисунок 4.11):

5.ОХОРОНА ПРАЦІ

Проектування систем зв'язку п'ятого покоління відбувалася в приміщенні, яке обладнане комп'ютеризованими робочими місцями. На дослідника мали вплив такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

1. Фізичні: підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони; підвищений рівень шуму на робочому місці; підвищена чи понижена вологість повітря; підвищений рівень статичної електрики; підвищений рівень електромагнітного випромінювання; недостатня освітленість робочої зони.

2. Психофізіологічні: розумове перевантаження; перенапруга аналізаторів; статичне перевантаження.

Відповідно до визначених факторів формуємо рішення щодо безпечного виконання роботи.

5.1. Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

5.1.1. Обладнання робочого місця

Організація робочого простору для проектувальника систем зв'язку п'ятого покоління повинна відповідати ергономічним вимогам, щоб забезпечити комфортні умови праці. Робоче місце розраховане на сидячу роботу. При цьому враховуються загальні принципи ергономіки, а також особливості та характер трудової діяльності [21].

Площа, виділена для одного робочого місця з ПК, повинна становити не менш 6 м², а об'єм – не менше 20 м³ [22].

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

Виробничі приміщення повинні обладнуватись шафами для зберігання документів, стелажми, тумбами тощо, з урахуванням вимог до площі приміщень.

У приміщеннях з ПК слід щоденно робити вологе прибирання.

Приміщення із ПК мають бути оснащені аптечками першої медичної допомоги.

При приміщеннях із ПК мають бути обладнані побутові приміщення для відпочинку під час роботи, кімната психологічного розвантаження. В кімнаті психологічного розвантаження слід передбачити встановлення пристроїв для приготування й роздачі тонізуючих напоїв, а також місця для занять фізичною культурою.

Конструкція робочого місця користувача ПК повинна забезпечувати підтримку оптимальної робочої пози з такими ергономічними характеристиками: стопи ніг – на підлозі або на підставці для ніг; стегна – у горизонтальній площині; передпліччя – вертикальні; лікті – під кутом $70-90^{\circ}$ до вертикальної площини; зап'ястя зігнуті під кутом не більше 20° щодо горизонтальної площини, нахил голови – $15-20^{\circ}$ щодо вертикальної площини.

Висота робочої поверхні стола для відеотерміналу повинна перебувати в межах 680-800 мм, а ширина – забезпечувати можливість виконання операцій у зоні досяжності моторного поля.

Робочий стіл для ПК повинен мати простір для ніг висотою не менш 600 мм, шириною не менш 500 мм, глибиною на рівні колін не менш 450 мм, на рівні витягнутої ноги - не менш 650 мм.

Робоче сидіння (стілець, крісло) користувача ПК повинен мати наступні основні елементи: сидіння, спинку й стаціонарні або знімні підлокітники.

Екран монітора й клавіатура повинні розташовуватися на оптимальній відстані від очей користувача, але не ближче 600 мм, з урахуванням розміру алфавітно-цифрових знаків і символів.

Клавіатуру варто розміщати на поверхні стола або на спеціальній, регульованій по висоті, робочій поверхні окремо від стола на відстані 100-300 мм

від краю, найближчого до працівника. Кут нахилу клавіатури повинен бути в межах 5-15°.

При організації праці, пов'язаної з використанням ПК, для збереження здоров'я працюючих, запобігання професійним захворюванням і підтримки працездатності передбачаються внутрішньо змінні регламентовані перерви для відпочинку.

Внутрішньозмінні режими праці й відпочинку містять додаткові нетривалі перерви в періоди, що передують появі об'єктивних і суб'єктивних ознак стомлення й зниження працездатності.

Працюючі з ПК підлягають обов'язковим медичним оглядам: попереднім – при влаштуванні на роботу і періодичним – протягом трудової діяльності. Основними критеріями оцінки придатності до роботи з ПК мають бути показники стану органів зору: гострота зору, показники рефракції, акомодатції, стану біноккулярного апарату ока тощо. При цьому необхідно враховувати також стан організму в цілому.

Лінія електромережі для живлення ПК, периферійних пристроїв ПК й устаткування для обслуговування, ремонту й налагодження ПК в приміщенні виконана як окрема групова трипровідна мережа, шляхом прокладання фазових, нульових робочих і нульового захисного провідників. Нульовий захисний провідник використовується для заземлення електроприладів.

Металеві труби й гнучкі металеві рукави заземлені. Заземлення відповідає вимогам Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів [23].

Неприпустимим є:

- експлуатація кабелів і проводів з ушкодженими захисними властивостями за час експлуатації ізоляції; залишення під напругою кабелів і проводів з неізованими провідниками;
- застосування саморобних подовжувачів, що не відповідають вимогам ПУЕ до переносних електропроводів;

- застосування для опалення приміщення нестандартного (саморобного) електронагрівального устаткування або ламп накаливання;
- користування ушкодженими розетками, вимикачами й іншими електровиробами, а також лампами, скло яких має сліди затемнення або здуття;
- підвішування світильників безпосередньо на струмоведучих проводах, обгортання електроламп і світильників папером, тканиною й іншими горючими матеріалами, експлуатація їх зі знятими ковпаками (розсіювачами);
- використання електроапаратури й приладів в умовах, що не відповідають вказівкам (рекомендаціям) підприємств-виготовлювачів.[24]

5.2. Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

5.2.1. Мікроклімат

Робота з проектування систем зв'язку п'ятого покоління за енерговитратами відноситься до категорії 1а [25]. Допустимі параметри мікроклімату для категорії 1а наведені в таблиці 5.1 (відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 [26]).

Таблиця 5.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Допустимі		
	t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	22-28	55	0,1-0,2
Холодний	21-25	75	0,1

Для забезпечення оптимального мікроклімату в приміщенні використовується система опалення та вентиляції повітря. Вимірювання показників мікроклімату проводяться на початку, середині і кінці холодного і теплого періодів року, не рідше трьох разів протягом робочої зміни. При коливаннях цих показників, які можуть бути обумовлені технологічними процесами та іншими факторами, вимірювання також проводяться при

найменших і найбільших значеннях термічних навантажень на працівників протягом робочої зміни.

5.2.2. Склад повітря робочої зони

В приміщенні, де здійснюється проектування систем зв'язку п'ятого покоління можливими забруднювачами повітря може бути офісна техніка та пил, який потрапляє ззовні. ГДК шкідливих речовин, які знаходяться в досліджуваному приміщенні, наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі

Назва речовини	ГДК, мг/м ³	Середньо добова	Клас небезпечності
	Максимально разова		
Фенол	0,01	0,01	3
Формальдегід	0,035	0,003	2
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4
Озон	0,16	0,03	4

В повітрі зовнішнього природного середовища, як і в повітряному середовищі приміщень завжди є наявною певна кількість заряджених частинок – іонів. Так в 1 см³ чистого зовнішнього повітря міститься близько 1000 негативних іонів і понад 1200 позитивних. Параметри іонного складу повітря на робочому місці, що обладнане ПК, повинні відповідати допустимим нормам (таблиця 5.3).

Таблиця 5.3 – Рівні іонізації повітря приміщень при роботі на ПК

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

Для дотримання нормального складу повітря робочої зони в приміщенні використовують припливно-витяжну вентиляцію. Систематично здійснюють провітрювання через віконні отвори та вологе прибирання з метою підтримки оптимальних умов для праці. Крім того, в планах передбачено встановлення системи кондиціонування, що допоможе забезпечити стабільні параметри температури та вологості в приміщенні.

5.2.3. Виробниче освітлення

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО (для III пояса світлового клімату) при природному та сумісному освітленні для виконання роботи зазначені у таблиці 5.4 (відповідно до ДБН В.2.5-28-2018[27]):

Таблиця 5.4 - Норми освітленості в приміщенні

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

Місце праці повинно бути розташоване так, щоб уникнути попадання в очі прямого світла. Щоб уникнути світлових відблисків необхідно використовувати

обладнання з матовою поверхнею. Для захисту очей від прямого сонячного світла чи джерел штучного освітлення необхідно застосовувати захисні козирки та жалюзі на вікнах.

Для створення оптимальних умов зорової роботи слід враховувати не лише кількість та якість освітлення, а й кольорове оточення. Так, при світлому пофарбуванні інтер'єру завдяки збільшенню кількості відбитого світла рівень освітленості підвищується на 20 – 40% (при тій же потужності джерел світла), різкість тіней зменшується, покращується рівномірність освітлення.

5.2.4. Виробничий шум

Допустимі рівні шуму та вібрації на місцях праці осіб, що працюють з ПК, встановлені санітарними нормами ДсанПіН 3.3.2-007-98 [28], витяг з яких подано в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 - Допустимі еквівалентні рівні шуму

Вид професійної діяльності, місце праці	Еквівалентні рівні шуму, дБА.
Програмісти	50
Оператори в залах опрацювання інформації на ПК та оператори комп'ютерного набору	65
В приміщеннях для розташування шумних агрегатів	75

Основними заходами боротьби з шумом є усунення або ослаблення причин шуму в самому його джерелі у процесі роботи, використання звукопоглинаючих матеріалів, раціональне планування виробничих приміщень.

5.2.5. Виробничі випромінювання

Оскільки проектування проводилося за допомогою ПК, то на робочому місці працівника можливий підвищений рівень електромагнітного випромінювання.

Основою функціонування організму є дуже слабкі біоелектричні струми, що синхронізують природні біологічні режими. Штучні ЕМП якщо співпадають з частотами біологічних ритмів мозку або біоелектричною активністю серця чи інших органів людини можуть призвести до десинхронізації функціональних процесів в організмі.

Механізм біологічної дії на організм людини полягає як у тепловому, так і нетепловому специфічному ефекті, тепла дія ЕМП проявляються у підвищенні температури тіла, а також локальному, вибіркового нагріванні тканин, органів, клітин унаслідок переходу електромагнітної енергії у теплову.

Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань від монітору комп'ютера представлені в табл. 5.6.

Таблиця 5.6 – Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань

Види поля	Допустимі параметри поля		Допустима поверхнева щільність потоку енергії (інтенсивність потоку енергії), Вт/м ²
	за електричною складовою (E), В/м	за магнітною складовою (H), А/М	
Напруженість електромагнітного поля, 6 кГц...3 МГц	50	5	

Продовження таблиці 5.6

3 МГц...30МГц	2	-	
30 МГц...5 ГГц	-	-	10
Електромагнітне поле оптичного діапазону в ультрафіолетовій частині спектру: УФ-С (220...280 нм)			0,001
УФ-В (280...320 нм)			0,01
в інфрачервоній частині спектру: 0,76... 10,0 мкм			35,0.. 70,0
Напруженість електричного поля ВДТ			20 ВВ/м
УФ-А (320. ..400 нм)			10,0

Для зменшення впливу ЕМП від ПК на дослідника, необхідно дотримуватися регламентованих режимів роботи та відпочинку.

5.3. Пожежна безпека

В приміщенні, де здійснювалося проектування систем зв'язку п'ятого покоління використовуються тільки негорючі речовини та матеріали у холодному стані, за ступенем вибухопожежної та пожежної небезпеки приміщення відноситься до категорії «Д».

За вогнестійкістю будинок відноситься до другої категорії [29]. Робоча зона приміщення віднесена до класу вибухонебезпечності В-IIа та

пожежонебезпечності П-Па, оскільки вибухонебезпечна концентрація пилу і волокон може утворюватися лише внаслідок аварії або несправності.

5.3.1. Технічні рішення системи запобігання пожежі

Система запобігання пожежі включає такі основні напрями:

- запобігання утворенню горючого середовища. Досягається: застосуванням герметичного виробничого устаткування; максимально можливою заміною в технологічних процесах горючих речовин та матеріалів негорючими; обмеженням кількості пожежо- та вибухонебезпечних речовин при використанні та зберіганні, а також правильним їх розміщенням; ізоляцією горючого та вибухонебезпечного середовища; організацією контролю за складом повітря в приміщенні та контролю за станом середовища в апаратах; застосуванням робочої та аварійної вентиляції; відведенням горючого середовища в спеціальні пристрої та безпечні місця; застосуванням в установках з горючими речовинами пристроїв захисту від пошкоджень та аварій; використанням інгібувальних (хімічно активні компоненти, що сприяють припиненню пожежі) та флегматизаційних (інертні компоненти, що роблять середовище негорючим) добавок та ін.

- запобігання виникненню в горючому середовищі (чи внесенню в нього) джерела запалювання. Досягається: використанням устаткування та пристроїв, при роботі яких не виникає джерел запалювання; використанням електроустаткування, що відповідає за виконанням класу пожежо- та вибухонебезпеки приміщень та зон, груп і категорії вибухонебезпечної суміші; виконанням вимог щодо сумісного зберігання речовин та матеріалів; використанням устаткування, що задовольняє вимоги електростатичної іскробезпеки; улаштуванням блискавкозахисту; організацією автоматичного контролю параметрів, що визначають джерела запалювання; використанням швидкодіючих засобів захисного вимкнення; заземленням устаткування, видовжених металоконструкцій; використанням під час роботи з ЛЗР інструментів, що не допускають іскроутворення; ліквідацією умов для

самоспалахування речовин і матеріалів; усуненням контакту з повітрям пірофорних речовин; підтриманням температури нагрівання поверхні устаткування пристроїв, речовин та матеріалів, які можуть контактувати з горючим середовищем нижче гранично допустимої (80 % температури самозаймання).

Можливі причини виникнення пожежі у приміщенні, де проводилося проектування кодерів сигналів звукомовлення на базі цифрової модуляції з передбаченням такі:

- несправна електропроводка (іскріння, перегрів провідників, пересихання електроізоляційних матеріалів);
- залишення без нагляду увімкнутих комп'ютерів, обчислювальної техніки та інших електроприладів.

Для запобігання виникнення пожежі доцільні такі заходи:

- призначення осіб, що відповідальні за пожежну безпеку приміщення;
- систематичне проведення повторних протипожежних інструктажів та занять за програмою пожежно-технічного мінімуму з особами, що відповідальні за пожежну безпеку;
- утримання в справному стані засобів протипожежного захисту.

5.3.2. Технічні рішення системи протипожежного захисту

Протипожежний захист промислових об'єктів забезпечується:

- правильним вибором необхідного ступеня вогнестійкості будівельних конструкцій; правильним об'ємно-планувальним рішенням будівель і споруд; розташуванням приміщень та виробництв з урахуванням вимог пожежної безпеки;
- улаштуванням протипожежних перепон у будівлях, системах вентиляції, опалювальних та кабельних комунікаціях;
- спорудженням протидимного захисту;
- забезпеченням евакуації людей;
- використанням засобів пожежної сигналізації, сповіщення та

пожежогасіння;

- організацією пожежної охорони об'єкта;
- засобами, що забезпечують успішне розгортання тактичних дій гасіння пожежі.

Досліджуване приміщення має два переносних (порошкових, водопінних або водяних) вогнегасників з масою заряду вогнегасної речовини 5 кг і більше. Крім того, треба передбачати по одному вуглекислотному вогнегаснику з величиною заряду вогнегасної речовини 3 кг і більше:

- на 20 м² площі підлоги в таких приміщеннях: офісні приміщення з ПК, комори, електрощитові, вентиляційні камери та інші технічні приміщення;
- на 50 м² площі підлоги приміщень архівів, машинних залів, бібліотек, музеїв [30].

ВИСНОВКИ

Результати роботи показують, що спроектована мережа не тільки забезпечує місто високим рівнем доступу до 5G, але й готова до майбутнього зростання та розвитку міста. Пропускна здатність, зона покриття та рівень сигналу мають високі характеристики, що будуть актуальними до моменту впровадження наступного покоління мобільного зв'язку.

У роботі також було представлено опис існуючих поколінь зв'язку, основні технології та стандарти. Особливу увагу приділено розкриттю цільових технологій для проектування мережі 5G, такі як massive MIMO та OFDM. Також у роботі особливу увагу було приділено питанням охорони праці та безпеки життєдіяльності, що забезпечує захист працівників під час будівництва та експлуатації мережі.

Було розраховано пропускну здатність, зону покриття стільника, кількість абонентів.

На основі цих розрахунків використовуючи спеціальне програмне забезпечення для проектування мереж – Radioplanner3 – було проведено моделювання, максимально наближене до реальних умов. В результаті було визначено, що мережа зможе забезпечити стабільний зв'язок на всій території міста Вінниця, що є ключовим критерієм успішності проекту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Taleb, T., et al. "On multi-access edge computing: A survey of the emerging 5G network edge cloud architecture and orchestration." *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2017.
2. Björnson, E., et al. "Massive MIMO in sub-6 GHz and mmWave: Physical, practical, and use-case differences." *IEEE Wireless Communications*, 2019.
3. Zhang, C., & Lu, J. "Blockchain and 5G security and privacy: A survey." *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2019.
4. Taleb, T., et al. "Orchestrating 5G network slices to support industrial IoT: Stretching the capabilities of software-defined networking." *IEEE Communications Standards Magazine*, 2018.
5. Chen, M., et al. "Machine learning for wireless networks with artificial intelligence: A tutorial on neural networks." *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2019.
6. 3GPP specifications — Releases / [Електронний ресурс]: <https://3gpp.org>
7. The Wireless Internet of Things: A Guide to the Lower Layers/ Daniel Chew. — M.: John Wiley & Sons Ltd 2018 — 530 с.
8. Тимчик М. С. Програмно–конфігурована телекомунікаційна мережа нового покоління // М.С. Тимчик – Матеріали ЛІІІ науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ-2024) : збірник доповідей [Електронний ресурс]. — Вінниця: ВНТУ, 2024 С. 1172-1173
9. Amy Nordrum, Kristen Clark and IEEE Spectrum Staff , / [Електронний ресурс]: <https://spectrum.ieee.org/video/telecom/wireless/everything-you-need-to-know-about-5g>
10. Mastering 5G network design, implementations and operations/ Shyam Varan Nath, Ananya Simlai. — M.: Packt 2023 — 588 с.
11. Noncooperative cellular wireless with unlimited numbers of base station antennas / IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 9, no. 11, 2010 С. 3590 – 3600,

12. mmWave Massive MIMO: A Paradigm for 5G / Shahid Mumtaz, Jonathan Rodriguez — M.: Academic press 2016 — 334 с.
13. 5G Technology 3GPP Evolution to 5G Advanced / Harri Holma, Antti Toskala.— M.: John Wiley & Sons Ltd 2024 — 650 с.
14. J. M. J. Huttunen, D. Korpi, and M. Honkala, ‘DeepTx: Deep Learning Beamforming with Channel Prediction’, / [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2202.07998>.
15. 5G Network Architecture 5G Network Architecture A High-Level Perspective - [Електронний ресурс] - Режим доступу: [5g_network_architecture_whitepaper_en.pdf](#)
16. What are 3GPP 5G Phase 1 and 2 and What Comes After / Valerio Frascolla . — M.: Intel 2021 — 14 с.
17. From GSM to LTE-Advanced Pro and 5G / Martin Sauter.—M.: John Wiley & Sons Ltd 2017 — 530 с.
18. 5G Wireless A Comprehensive Introduction / William Stallings. — M.: Addison-Wesley Professional 2021 — 669 с.
19. Mastering 5G network Network Planning / [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://wireless-planning-download.com/RadioPlanner3Trial/RadioPlanner_3.0_240311_User_Manual.pdf
20. Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення [6-та науково-технічна конференція](м.Київ, 25-26 жовтня 2012року) / Міністерство оборони України Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» - Київ, - 2012 с.225.
21. ДСТУ OHSAS 18002:2015. Системи управління гігієною та безпекою праці. Основні принципи виконання вимог OHSAS 18001:2007 (OHSAS 18002:2008, IDT). К. : ГП «УкрНИУЦ», 2016. 21 с
22. ДСТУ 8604:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=71028

23. НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. URL: http://sop.zp.ua/norm_npaop_0_00-7_15-18_01_ua.php.
24. . ДСТУБ В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с
25. Гігієнічна класифікація праці (за показниками шкідливості і небезпеки факторів виробничого середовища від 12.08.1986 № 4137-86. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/v4137400-86>
26. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>
27. ДБН В.2.5-28-2018 Природне і штучне освітлення - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/prirodne-i-shtuchne-osvitlennja-nor8425.html>
28. Про мінімальні вимоги безпеки при роботі з дисплейним обладнанням: 90/270/ЕЭС. Брюссель : Рада Європейських співтовариств, 1990. URL: <http://docs.pravo.ru/document/view/32704903/>
29. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. URL: http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002.pd
30. Наказ Міністерства внутрішніх справ України «Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0225-18#Text>.

Додаток А
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА
ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ П'ЯТОГО ПОКОЛІННЯ

назва бакалаврської дипломної роботи

Кількість абонентів: $N_{аб} = N_{жит} * 0,35 = 370000 * 0,35 = 129500$ чол.

Загальна кількість каналів: $N_k = \left\lceil \frac{\Delta F}{F_k} \right\rceil = \left\lceil \frac{190}{5} \right\rceil \approx 38$

Кількість абонентів однієї базової станції: $Naб. eNB = 3 \times \left\lceil \frac{159,8}{0,1} \right\rceil = 4796$

Кількість базових станцій: $NeNB = \left\lceil \frac{Naб}{Naб. eNB} \right\rceil + 1 = \left\lceil \frac{129500}{4796} \right\rceil + 1 = 28$

Площа покриття стільника: $S_{eNB} = 9 \frac{\sqrt{3}}{8} \times d^2 = 9 \frac{\sqrt{3}}{8} \times 212 = 1,95$ (км²)

Рисунок А.1 – Розрахунок параметрів системи

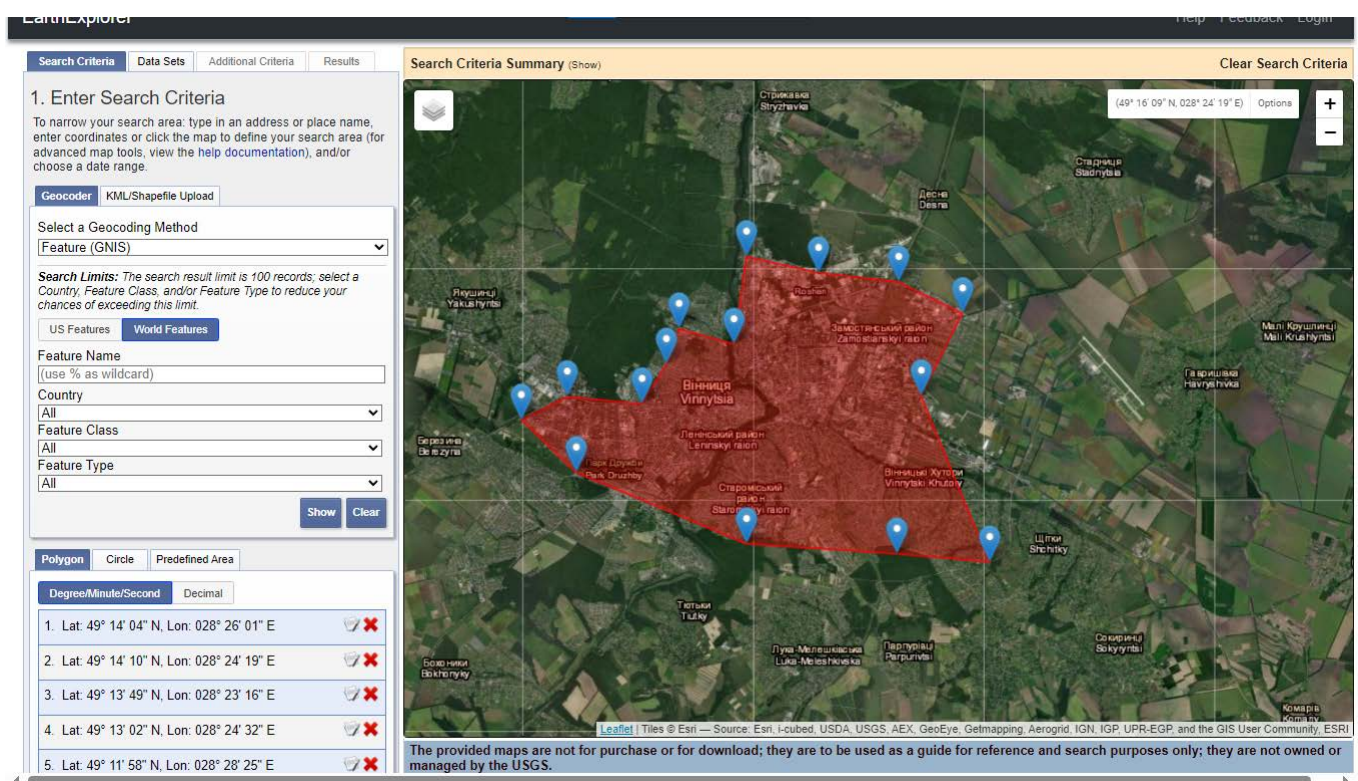


Рисунок А.2 - Вибір місцевості для створення карти висот

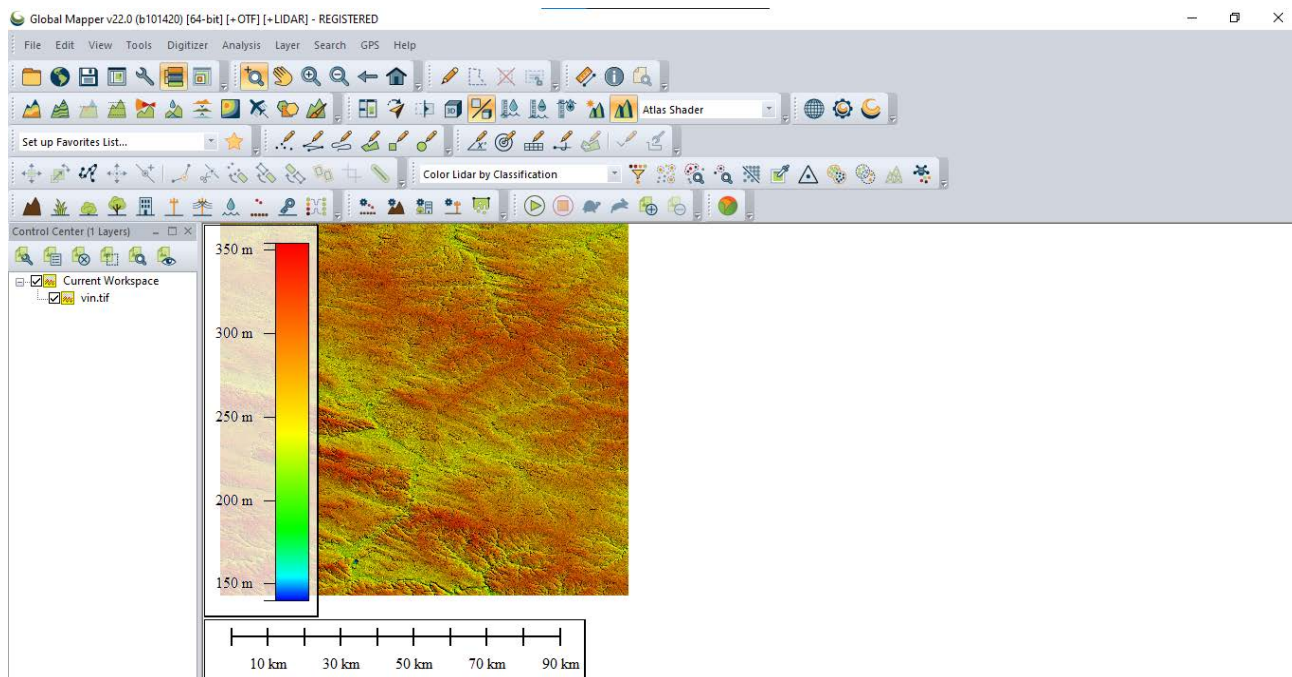


Рисунок А.3 - Створення карти висот у програмі global mapper

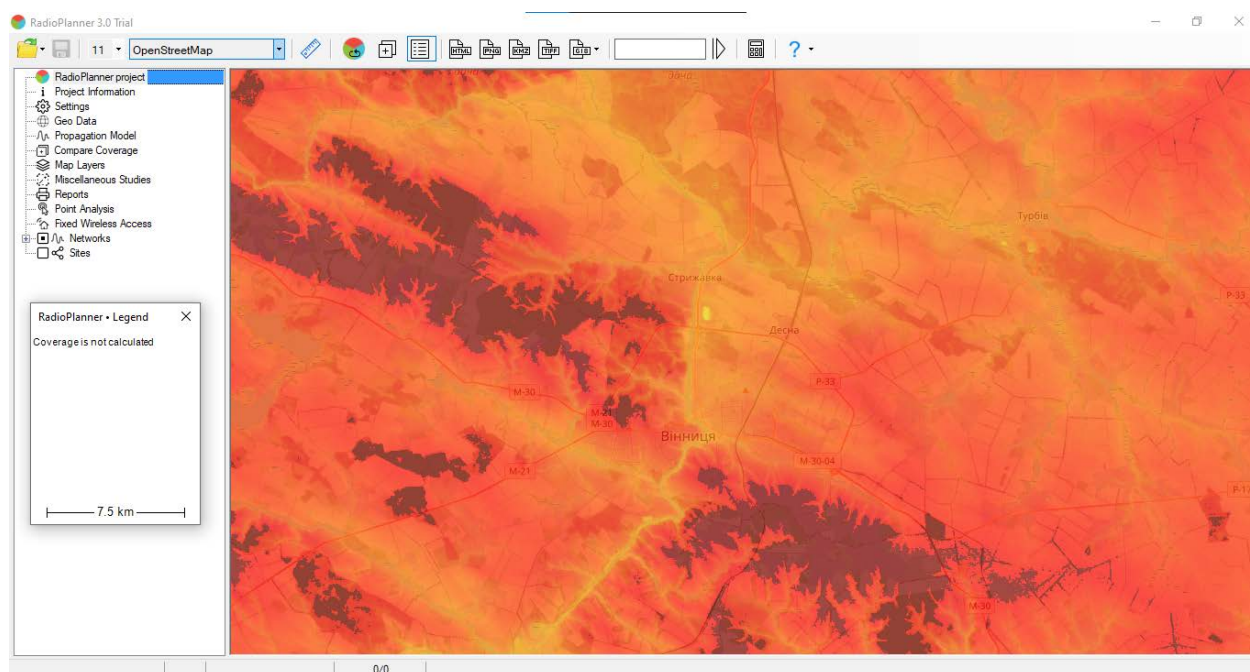


Рисунок А.4 - Накладання карти висот на рельєф міста

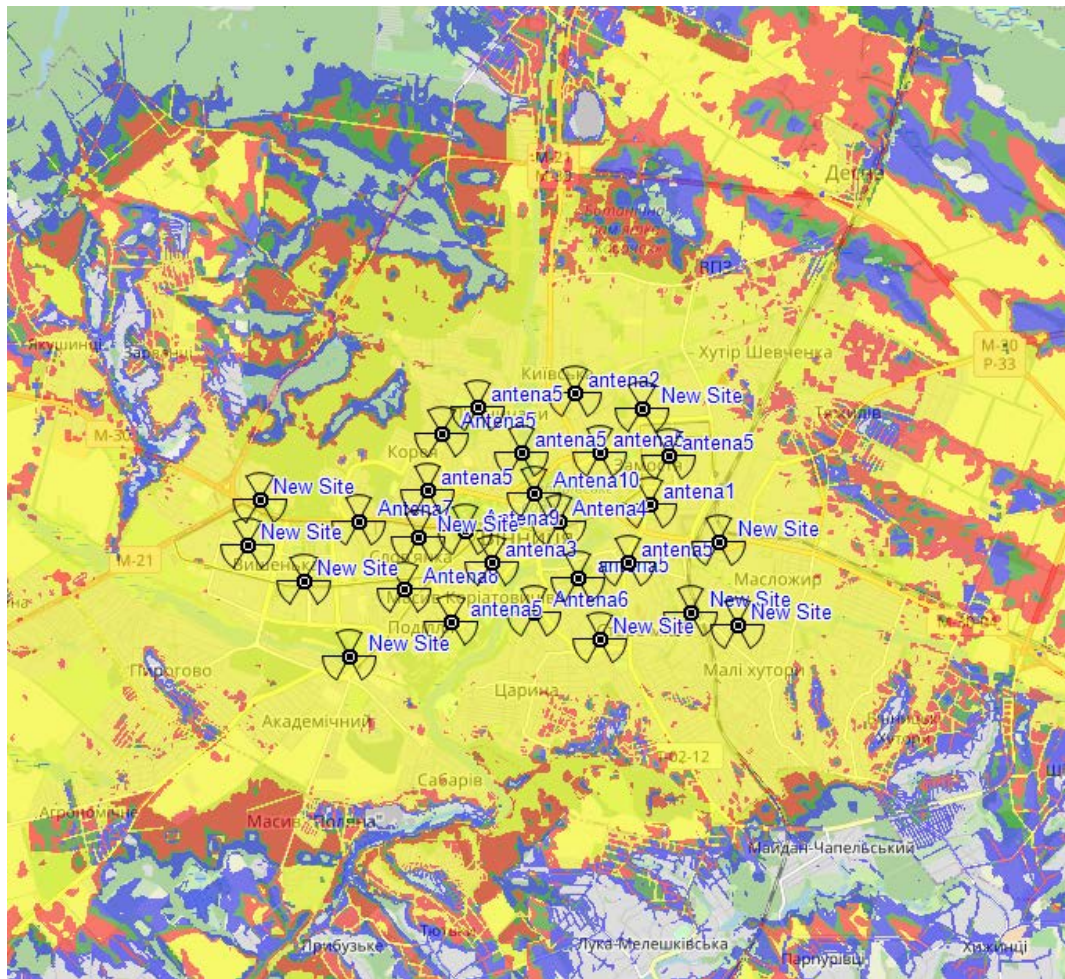


Рисунок А.5 - Розташування базових станцій у місті

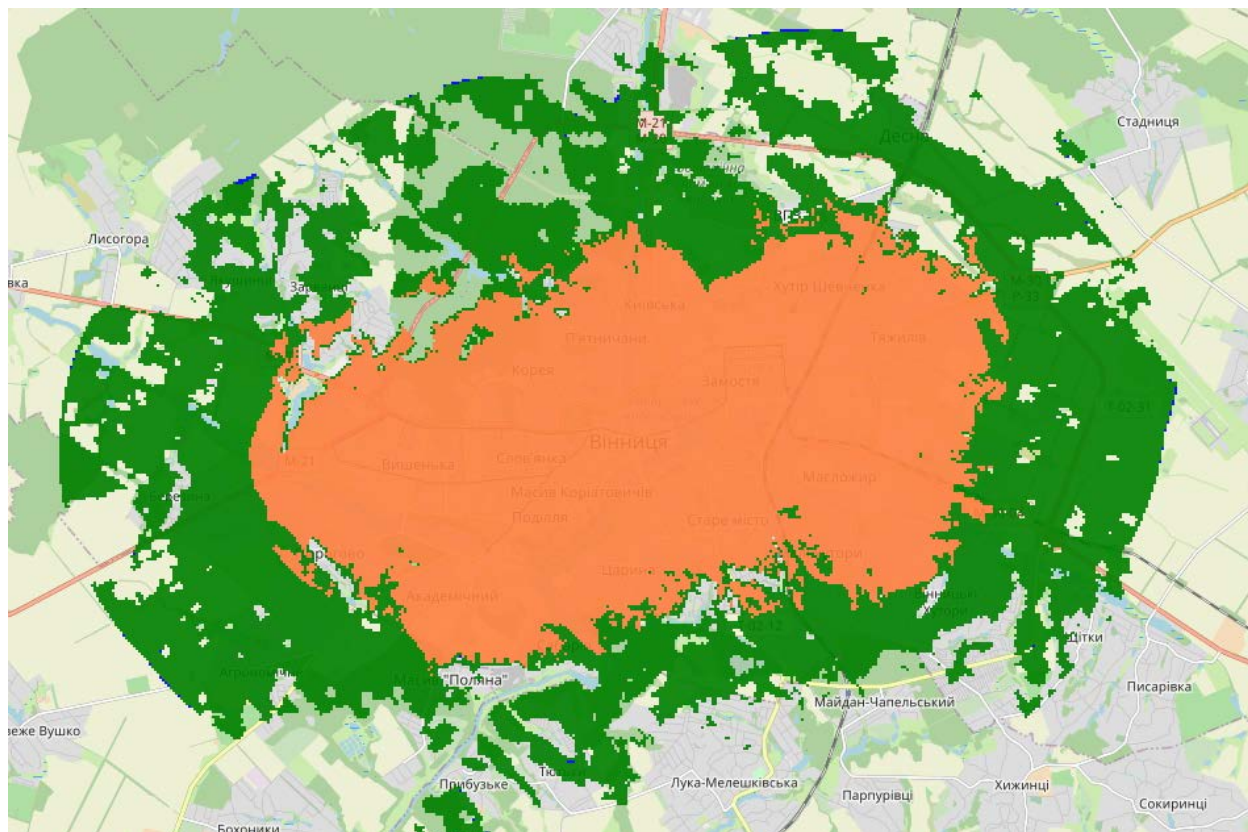


Рисунок А.6 - Площа покриття мережі

Додаток Б
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Проектування систем зв'язку п'ятого покоління

Тип роботи: Бакалаврська дипломна робота
(БДР, МКР)

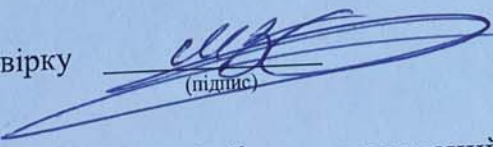
Підрозділ кафедра Інфокомунікаційних систем і технологій, факультет
Інформаційних електронних систем
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unichesk

Оригінальність 84% Схожість 16%

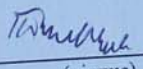
Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

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

Особа відповідальна за перевірку  Васильківський М.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

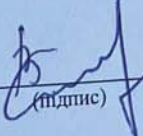
Ознайомлені з повним звітом, який був згенерований системою Unichesk щодо роботи.

Автор роботи


(підпис)

Тимчик М.С.
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Воловик А.Ю.
(прізвище, ініціали)