

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Радіотехнічний факультет
Кафедра теоретичних основ радіотехніки**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Федір ДУБРОВКА

«__» _____ 2020 р.

Дипломний проєкт

**на здобуття ступеня бакалавра за освітньо-професійною програмою
«Радіосистемна інженерія»
спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
на тему: «Проєкт мобільної мережі 4G у місті Малин»**

Виконав:

студент IV курсу, групи РС-г61-1

Гнитецький Володимир Антонович _____

Керівник:

Ст. викладач

Булашенко Андрій Васильович _____

Консультант з охорони праці:

К.б.н., доцент

Гусєв Аркадій Миколайович _____

Рецензент:

К.т.н., доцент

Вишневий Сергій Валерійович _____

Засвідчую, що у цьому дипломно-
му проєкті немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних поси-
лань.

Студент _____

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

**Радіотехнічний факультет
Кафедра теоретичних основ радіотехніки**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Радіосистемна інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Федір ДУБРОВКА

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Гнитецькому Володимирі Антоновичу

1. Тема проєкту «Проект мобільної мережі 4G у місті Малин»,
керівник проєкту Булашенко Андрій Васильович, ст. викладач, затверджені
наказом по університету від «21» травня 2020 р. № 1126-с
2. Термін подання студентом проєкту 11.06.2020
3. Вихідні дані до проєкту розробити проєкт мобільної мережі 4G у місті
Малин

4. Зміст пояснювальної записки Огляд літературних джерел по проєкту-
ванню мереж 4G. Вибір міста проєктування LTE. Розрахунок параметрів ме-
режі: пропускної здатності, зон радіопрокриття, частотно-територіальне пла-
нування та визначення оптимального обладнання для базової станції

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) Презентація зі слайдами

6. Консультанти розділів проєкту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Гусєв А.М., к.б.н., доцент		

7. Дата видачі завдання 13.04.2020

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Огляд літератури по технології зв'язу 4G на основі LTE	27.04.2020	виконано
2	Аналіз технології LTE	11.05.2020	виконано
3	Розрахунок параметрів мережі LTE	20.05.2020	виконано
4	Моделювання мережі LTE	28.05.2020	виконано
5	Охорона праці	04.06.2020	виконано
6	Загальні висновки	05.06.2020	виконано
7	Подача на рецензію та перевірка на плагіат	11.06.2020	виконано

Студент

Володимир ГНІТЕЦЬКИЙ

Керівник

Андрій БУЛАШЕНКО

* Якщо визначені консультанти. Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проєкту.

АНОТАЦІЯ

Пояснювальна записка містить 70 сторінок, 36 рисунків та 6 таблиць. Також у додатках знаходиться структурна схема проєкту мережі LTE у місті Малин Житомирської області.

Основною метою даного дипломного проєкту – є планування та проєктування розгортання мережі четвертого покоління 4G у місті Малин. Розглянуто стан розвитку радіомереж стандарту 4G в Україні та в світі.

У роботі були розглянуті особливості розгортання мережі 4G за технологією LTE та розраховано основні характеристики такої мережі, спроектовано мережу в програмі проєктування. Також були приведені розрахунки по охороні праці та безпеці життєдіяльності.

Ключові слова: мережа 4G, пропускна здатність, радіопокриття, базова станція, мобільна станція.

АННОТАЦИЯ

Объяснительная записка содержит 70 страниц, 36 рисунков та 6 таблиц. Также у додатках находится структурная схема проєкту сети LTE в городе Малин Житомирской области.

Основной целью данного дипломного проекта является планирование и проектирование развертывания сети четвертого поколения 4G в городе Малин. Рассмотрено состояние развития радиосетей стандарту 4G в Украине и в мире.

В работе были рассмотрены особенности развертывания сети 4G по технологии LTE и рассчитаны основные характеристики такой сети, спроектирована сеть в программе проектирования. Также были приведены расчеты по охране труда и безопасности жизнедеятельности.

Ключевые слова: сеть 4G, пропускная способность, радиопокрытие, базовая станция, мобильная станция.

ANNOTATION

The explanatory note contains 70 pages, 36 figures and 6 tables. Also in the appendices is a block diagram of the LTE network project in Malyn, Zhytomyr region.

The main purpose of this diploma project is to plan and design the deployment of the fourth generation 4G network in the city of Malyn. The state of development of 4G radio networks in Ukraine and in the world is considered.

The peculiarities of 4G network deployment according to LTE technology were considered in the work and the main characteristics of such a network were calculated, the network was designed in the design program. Calculations on labor protection and life safety were also given.

Keywords: 4G network, bandwidth, radio coverage, base station, mobile station.

Зміст

Перелік скорочень.....	8
ВСТУП	10
1. Технологія LTE в Україні.....	12
1.1 Загальний опис технології LTE та розвиток її на території України	12
1.2 Вибір та опис міста проєктування мережі LTE	13
1.3. Висновки до розділу	15
2 Аналіз технології LTE та особливості її проєктування	16
2.1 Принципи побудови LTE мереж	16
2.2 Основні технічні характеристики та переваги технології	18
2.3 Технологія мультиплексування OFDMA в LTE	22
2.4 Використання MIMO у мережах LTE.....	23
2.5 Технологія SAE в LTE	26
2.6 Висновки по розділу	27
3 Розрахунок параметрів мережі LTE та вибір операторського обладнання	29
3.1 Розрахунок пропускної здатності проєктованої мережі LTE.....	29
3.2 Розрахунок зон радіопокриття для мережі LTE	33
3.3 Аналіз радіопокриття мережі.....	34
3.4 Розрахунок пропускної здатності мережі в IDE Free Pascal.....	38
3.5 Частотно-територіальне планування.....	40
3.6 Визначення оптимального обладнання для базової станції	41

					РС61. 460400.001 ПЗ				
ЗМ.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Проект мобільної мережі 4G у місті Малин	Лім.	Лист	Листів	
Розробив	Гнитецький В.А.						1		
Перевірів	П.І.Б.								
Н. Контр.	П.І.Б.					РС-261-1 РТФ			
Затвер-	П.І.Б.								

3.7 Висновки по розділу	48
4 Моделювання мережі LTE	49
4.1 Моделювання карти покриття в програмі «Atoll»	49
4.2. Висновки по розділу	54
5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	55
5.1 Норми і можливий вплив на населення радіо випромінювання частот 880-960 МГц	55
5.2 Робота за ПЕОМ.....	58
Організація робіт на комп'ютеризованому робочому місці.....	58
Висновки	67
Використана література.....	68
Додаток А.....	71

					РС61. 460400.001 ПЗ				
ЗМ.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Проект мобільної мережі 4G у місті Малин	Лім.	Лист	Листів	
Розробив	Гнитецький В.А.								
Перевірів	П.І.Б.						1		
Н. Контр.	П.І.Б.					РС-261-1 РТФ			
Затвер-	П.І.Б.								

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- LTE – Long Term Evolution - еволюція в довгостроковій перспективі;
- UTRAN – UMTS Terrestrial radio access network - наземна мережа радіодоступу стандарту UMTS;
- FDD - Frequency Division Duplex ;
- TDD - Time Division Duplex;
- MME -Вузол Управління Мобільністю - Mobility Management Entity;
- SGW (Обслуговуючий Шлюз - Serving Gateway);
- PGW - Пакетний шлюз - Packet Data Network Gateway;
- PCRF - Вузол виставлення рахунків абонентам - Policy and Charging Rules Function (англ.);
- QAM – Quadrature Amplitude Modulation - модуляція методом квадратичної амплітуди) - це технологія передачі цифрового інформаційного потоку у вигляді аналогового сигналу.
- HSDPA – High-Speed Downlink Packet Access високошвидкісна пакетна передача даних від базової станції до мобільного телефону;
- 3GPP – 3rd Generation Partnership Project - партнерська асоціація груп телекомунікаційних компаній;
- 3G – мобільні мережі третього покоління;
- 4G – мобільні мережі четвертого покоління;
- OFDM – Orthogonal Frequency-Division Multiplexing мультиплексування за допомогою ортогональних несучих.
- MIMO - Multiple Input Multiple Output – системи зв'язку з рознесеними передавальними і приймальними антенами.

					PC61. 460400.001 ПЗ	Лист
						8
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

- SAE - System Architecture Evolution - Еволюція системної архітектури - це архітектура ядра мережі, розроблена консорціумом 3GPP для стандарту бездротового зв'язку LTE;
- IP – Internet Protocol – протокол (сімейство протоколів) Інтернет; поточна версія – Ipv4, нова IPv6.
- DL – Downlink (лінія вниз);
- TRX – Transmit-Receive (прийомо-передавачі);
- UL – Uplink (лінія вгору);

					PC61. 460400.001 ПЗ	Лист
						9
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Сьогодні є необхідним розробка та впровадження стандартів четвертого покоління 4G для забезпечення більших швидкостей передачі даних. Метою цього є підвищення якості послуг при загальному зменшенні витрати в експлуатації телекомунікаційного обладнання.

Задачі планування радіомереж стільникового зв'язку виникають з початку їх масового розгортання. В Україні в основному вже існує покриття, як 3G так 4G/LTE. На даному етапі розгортання мережі 4G в Україні великі міста практично вже мають мережу LTE, але у малих містах вона є не всюди. Для проєкитування мережі 4G необхідно визначити багато факторів, що можуть виникнути: труднощі розрахунку теоретичного покриття території, прогнозування ступеню завантаження мережі, розподілення частот, врахування особливостей антенного обладнання, розподілу щільності населення, допустимі втрати в різних класах місцевості тощо. У результаті іноді мережі працюють не оптимально, а значення фактичних вимірювань якості мережі значно відрізняються від теоретично розрахованих. Отже, зазначені фактори обов'язково необхідно врахувати при розгортанні мереж.

Даний дипломний проєкт розглядає проєктування радіомережі 4G, що забезпечує бездротовий доступу в Інтернет у місті Малин. Мережа будується по технології LTE, що створює надійне радіопокриття мережі. LTE забезпечує вискошвидкісним інтернетом населення міста, що становить більше 26 тисяч чоловік, та готсей міста. В даній роботі також розглянуто розрахунки, що забезпечують необхідну пропускну здатність мережі.

LTE - технологія побудови мереж бездротового зв'язку для передачі даних. Вона створена в рамках проєкту співпраці мереж третього покоління 3GPP, як продовження CDMA та UMTS.

Основними цілями розробки технології LTE є:

- зниження вартості передачі даних;
- збільшення швидкості передачі даних;
- можливість надання більшого спектра послуг за нижчою ціною;

					PC61. 460400.001 ПЗ	Лист
						10
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

- підвищення гнучкості мережі і використання вже існуючих систем мобільного зв'язку.

Для проектування мережі LTE необхідно:

- Визначити пропускну здатність мережі розгортання з урахуванням числа потенційних користувачів;
- Провести аналіз та вибір операторського обладнання мережі LTE;
- Розрахувати зону покриття базових станцій;
- Розробити модель радіопокриття для вибраного міста;
- Обґрунтувати відповідні результати.

					PC61. 460400.001 ПЗ	Лист
						11
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ТЕХНОЛОГІЯ LTE В УКРАЇНІ

1.1 Загальний опис технології LTE та розвиток її на території України

Мережі 4G впроваджуються у багатьох країнах світу з 2010 року. Міжнародний союз електрозв'язку висуває вимоги до мереж 4G, що повинні забезпечувати швидкість передачі даних до 100 Мбіт/с для абонентів, що рухаються з високими швидкостями та до 1 Гбі/с для абонентів з невеликою швидкістю, фіксованих абонентів. У результаті офіційним стандартом 4G був затверджений LTE [1].

Технологія LTE є наступним після 3G поколінням мобільного зв'язку і працює на базі IP-технологій. Основна відмінність LTE від попередніх технологій - висока швидкість передачі даних. Теоретично становитиме до 326,4 Мбіт/с на прийом та 172,8 Мбіт/с на передачу інформації. При цьому у міжнародному стандарті вказані цифри в 173 і 58 Мбіт/с, відповідно. Даний стандарт зв'язку четвертого покоління розробило і затвердило Міжнародне партнерське об'єднання 3GPP [2]. Структура показана на рис. 1.1

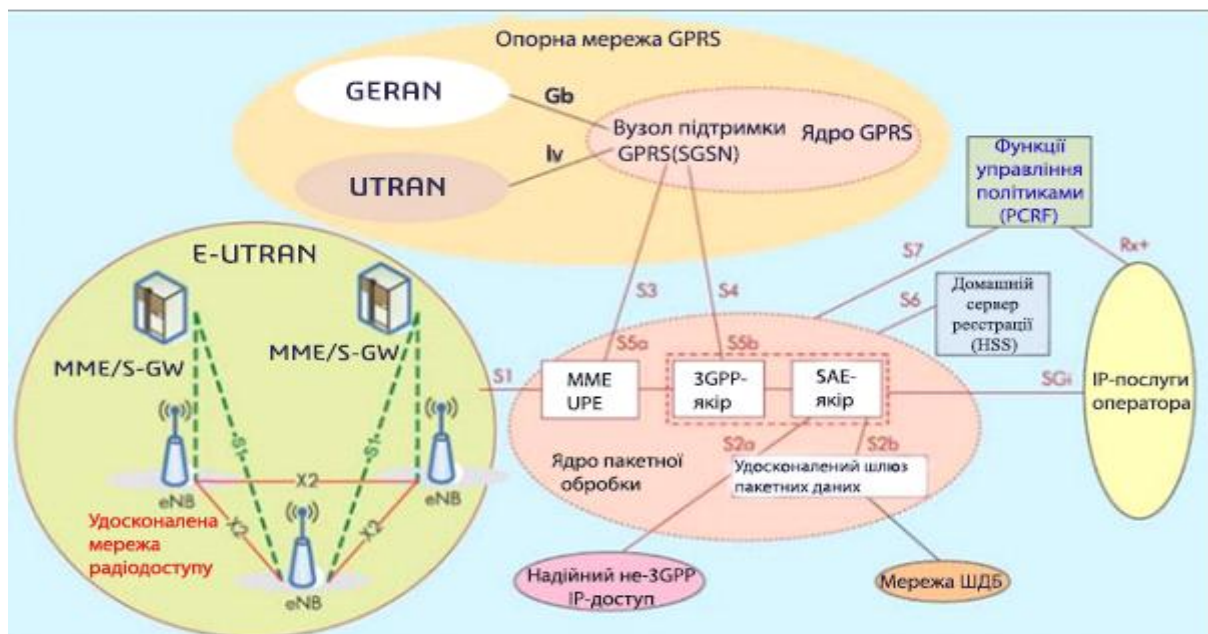


Рис. 1.1 – Структура мережі GERAN/UMTS.

Переваги впровадження 4G LTE мереж в Україні незаперечні і очевидні. Зараз світ вже переходить на 5-те покоління мережі 5G, а в Україні з

недавніх часів почали переходити тільки на 4-те покоління мережі зв'язку LTE.

- CDMA оператор Інтертелеком займає смугу 800 МГц.

- Смуга 900 МГц та 1800 МГц належать GSM операторам Київстар, Vodafone та lifecell.

- Операторам UMTS / WSDMA, Трімоб належить смуга 2100 МГц [3].

В Україні виділені частотні діапазони, які наведені у таблиці 1.1

Таблиця 1.1 – Діапазони робочих частот виділені в Україні для обладнання стандарту LTE

№ band (діапазону)	Діапазон робочих Частот, UL МГц	Діапазон робочих Частот, DL МГц	Режим
1	1920 – 1980	2110 – 2170	FDD
3	1710 – 1785	1805 – 1880	FDD
7	2500 – 2570	2620 – 2690	FDD
8	880 – 915	925 – 960	FDD
20	832 – 862	791 – 821	FDD
28	703 – 733	758 – 788	FDD
32	1427 – 1452	1492 – 1518	FDD
33	1900 – 1920	1900 – 1920	TDD
38	2570 – 2620	2570 – 2620	TDD
40	2300 – 2400	2300 – 2400	TDD
68	698 – 728	753 – 783	FDD

1.2 Вибір та опис міста проєктування мережі LTE

Ціль даного проєкту є проєктування мережі стільникового зв'язку чет LTE в місті Малин. Місто районного підпорядкування в Житомирській області, райцентр. Через місто Малин протікає р. Ірша та біля міста є водосховище збудоване на цій річці. В місті також є залізнична станція - Малин. Супутникова карта показана на рис 1.2. До міста ведуть автомобільні дороги

					PC61. 460400.001 ПЗ	Лист
						13
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

T0608, T0607 та в місті є автовокзал. Площа міста - 18 км², а населення приблизно 26 000 людей станом на 2018 рік. Територія міста забудована спорудами, переважно до 2 поверхів, що в свою чергу характерно сільській місцевості.

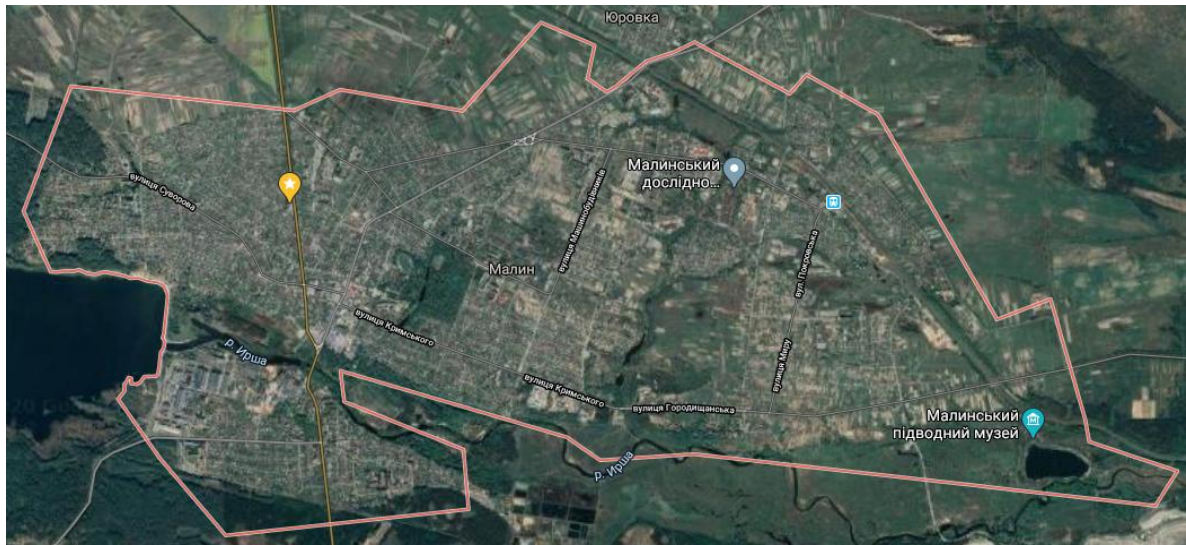


Рис. 1.2 – Супутникова карта міста Малин

Освіта:

В місті є дев'ять дошкільних закладів, у яких виховується 1056 дітей, п'ять загальноосвітніх шкіл, де навчається 2560 учнів та одна ЗНВК «Школа-ліцей № 1» — 1086 учнів. Також є чотири позашкільні заклади (Центр дитячої творчості, станція юних техніків, ДЮСШ, Дитяча школа мистецтв) — 115 гуртками і секціями охоплено 1700 дітей. Загалом працює — 748, зокрема педагогічних працівників — 468.

Охорона здоров'я:

В Малині досить багато закладів охорони здоров'я — це три лікарні, три стоматологічні клініки та три медичних центра також є декілька ветеринарних клінік.

Заклади культури:

В місті є чимало закладів культури: районна бібліотека, музей Н. Сосніной, Курган Безсмертя(музей під відкритим небом), культурний центр.

Промисловість та сільське господарство:

Їх представляють: фабрика банкнотного паперу Національного банку України,

					PC61. 460400.001 ПЗ	Лист
						14
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Фабрика спеціального паперу, хлібзавод, меблева фабрика, декілька дерево переробних комплексів, декілька переробних підприємств каменя, фабрика натуральної косметики, швейна фабрика.

Зв'язок та інтернет:

Присутні такі оператори зв'язку: Київстар, Vodafone, lifecell і інтернет-провайдери ТОВ "Воля", ПАТ "Укртелеком", ТОВ "ЛЮКС.НЕТ".

Нижче на рис. 1.3 приведено схематичну карту міста.



Рис. 1.3 – Схематична карта м. Малин

1.3. Висновки до розділу

В даному розділі було розглянуто загальні відомості про LTE та їх розвиток на території України, розглянуто місто для планування даної мережі.

Було приведено загальні відомості про технологію стільникового зв'язку LTE та приведено структурну схему мережі, було описано розвиток стан розгортання мережі четвертого покоління на території України та приведено частоти які виділені для LTE. Було приведено основні оператори бездротового зв'язку на території України та частоти на яких вони працюють.

В описі міста розгортання, було описано інфраструктуру міста та основні оператори зв'язку присутні там. Також було описано кількість населення та площа міста, для подальших розрахунків.

					PC61. 460400.001 ПЗ	Лист
						15
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

2 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ LTE ТА ОСОБЛИВОСТІ ЇЇ ПРОЄКТУВАННЯ

2.1 Принципи побудови LTE мереж

Технологія LTE (Long-Term Evolution) – це логічне продовження розвитку мереж 3G. У середньостроковій перспективі вона буде визначати розвиток систем стільникового зв'язку у світі. Ця технологія здатна забезпечити стрибкоподібне (теоретично, до 90 разів) збільшення швидкості передачі даних в мобільних мережах [3].

Цілі розробки LTE:

- а) зниження вартості передачі даних;
- б) збільшення швидкості передачі даних;
- в) можливість надання більшого спектру послуг по більш низькій ціні;
- г) підвищення гнучкості використання вже існуючих систем [4].

Основна мета - нарощування швидкості передачі даних, оскільки все інше, в значній мірі, є наслідком рішення цієї задачі. Впровадження технології LTE дозволяє операторам зменшити капітальні та операційні витрати, знизити сукупну вартість володіння мережею, розширити свої можливості в області конвергенції послуг і технологій, підвищити доходи від надання послуг передачі даних [3].

Впровадження технології LTE дозволить операторам зменшити капітальні та операційні витрати, знизити сукупну вартість володіння мережею, розширити операторський спектр послуг, завдяки високошвидкісній передачі даних. З абонентської точки зору, різке збільшення швидкості передачі даних серйозно покращить якість наданих послуг, що, в свою чергу, сприятиме поширенню нових платних мультимедійних сервісів (багатокористувацьких ігор, соціальних мереж, відеоконференцій, систем моніторингу, інтерактивних онлайн-додатків та ін.).

Мережа LTE складається з двох найважливіших компонентів [20]: мережа радіодоступу (Evolution UMTS Terrestrial Radio Access Network - E-UTRAN) і базова мережа (System Architecture Evolution - SAE) [20], що показана на рис 2.1.

					PC61. 460400.001 ПЗ	Лист
						16
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

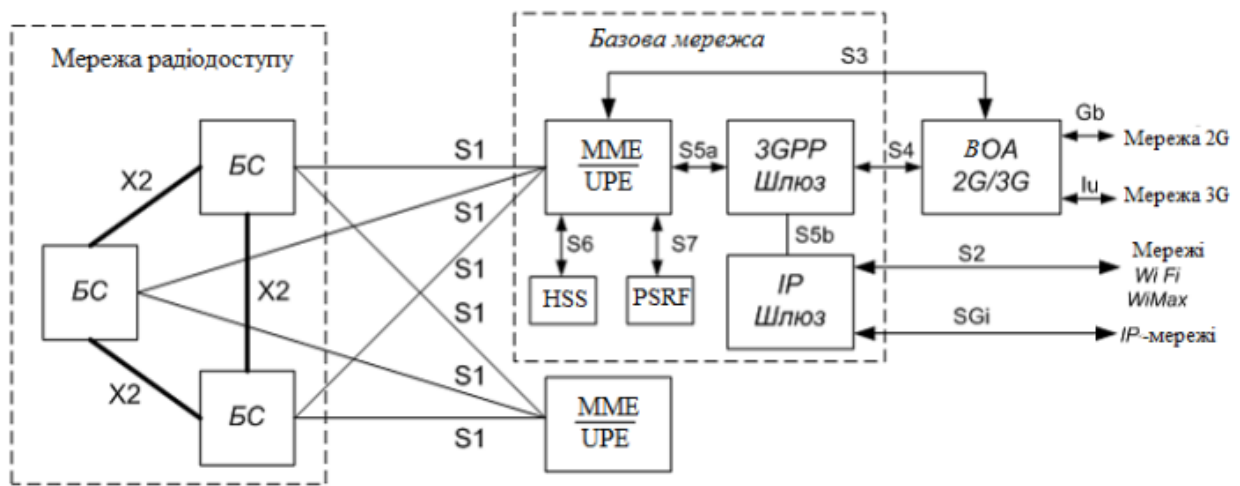


Рис. 2.1 – Структура схема мережі LTE

Мережа радіодоступу E-UTRAN складається з базових станцій - БС (evolved Node B - eNB), з'єднаних між собою за принципом «кожен з кожним» за допомогою інтерфейсу X2, що підтримує хендовер мобільного терміналу в активному стані[20]. Взаємозв'язок компонентів LTE (рис 2.2)

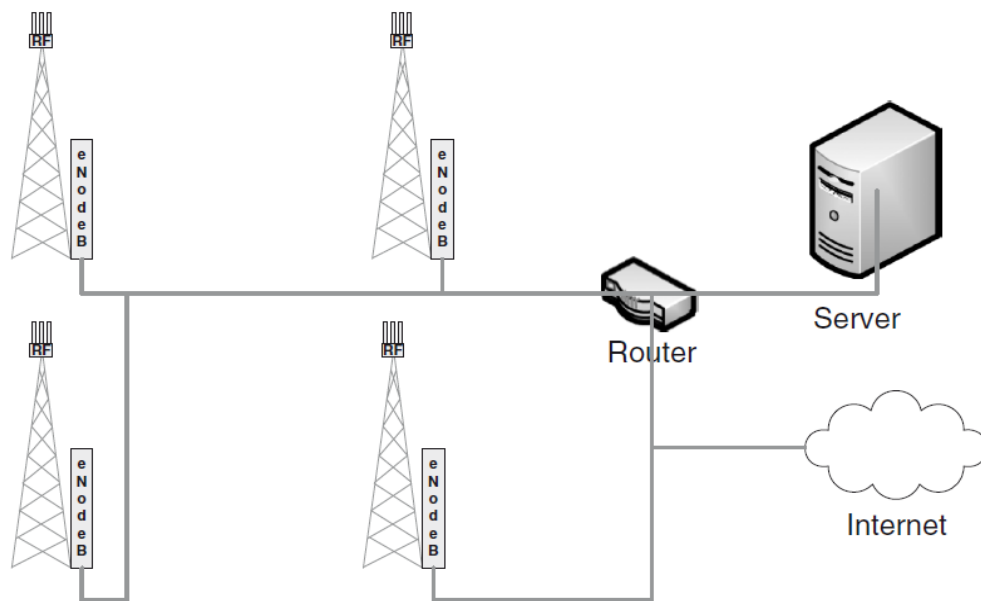


Рис. 2.2 – Взаємозв'язок компонентів LTE

Базові станції виконують функції управління радіоканалами, управління доступом, управління мобільністю і здійснюють динамічний розподіл ресурсів. Спрощена архітектура мережі четвертого покоління показана на рис. 2.3 [5].

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

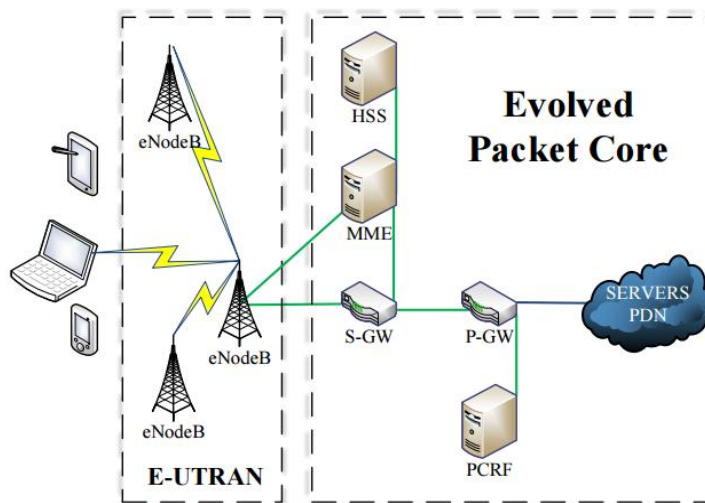


Рис. 2.3 – Спрощена архітектура мережі LTE

2.2 Основні технічні характеристики та переваги технології

Принципи побудови радіо інтерфейсу за технологією LTE.

Переваги LTE [6,2]: висока пропускна здатність мережі; велика чутливість; підтримка Online додатків за рахунок низького часу відгуку; висока інтерактивність; більш висока швидкість завантаження даних; можливість передачі голосу по IP / IMS; висока якість обслуговування; більше каналів мобільного ТБ; краще якість зображення мобільного ТБ; OFDMA на лінії від базової станції з модуляцією 64QAM; повністю IP e2e мережа; ширина каналу до 20 МГц; TDD та FDD профілі; гнучка мережа доступу; сучасніша техніка антен; швидкість передачі даних вище 100 Мбіт / сек; високий рівень безпеки системи; висока енергоефективність; сумісність зі стандартами другого і третього поколінь [8].

LTE базується на трьох основних технологіях: мультиплексування за допомогою ортогональних несучих OFDM, багатоантенних системи MIMO та еволюційна системна архітектура мережі SAE [5].

Архітектура мережі LTE показано на рис 2.4.

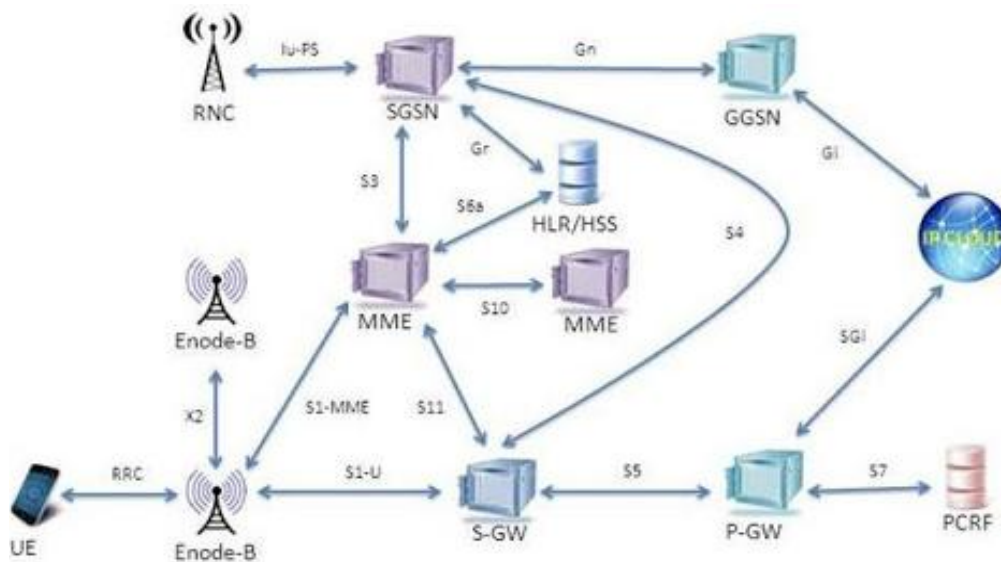


Рис 2.4 – Архітектура мережі LTE

Як бачимо в таблиці 2.2, діапазони, які використовуються для розвитку мереж LTE, впроваджуються або вже впроваджені в Україні для мереж мобільного зв'язку і можливості бездротового доступу в різних пристроях. Для впровадження мережі LTE потрібно викупити потрібний діапазон частот та отримати дозвіл. Для цього необхідно провести ряд національних процедур для вивільнення необхідних частот або їх перепланування.

Діапазони робочих частот мережі четвертого покоління наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Частотний діапазони мережі E-UTRA [9].

Номер робочих діапазонів	Діапазон частот, МГц		Вид дуплекса
	Лінія «вгору» (UL)	Лінія «вниз» (DL)	
1	1920-1980	2119-2170	FDD
2	1850-1910	1930-1990	FDD
3	1710-1785	1805-1880	FDD
4	1710-1855	2110-2155	FDD
5	824-849	869-894	FDD

6	830-840	875-885	FDD
7	2500-2570	2620-2690	FDD
8	880-915	925-960	FDD
9	1749,9-1784,9	1844,9-1879,9	FDD
10	1710-1770	2110-2170	FDD
11	1427,9-1452,9	1475-1500,9	FDD
12	628-716	728-746	FDD
13	777-787	746-756	FDD
14	778-798	758-768	FDD
17	704-716	734-746	FDD
18	815-830	860-875	FDD
19	830-845	875-890	FDD
33	1900-1920		TDD
34	2010-2025		TDD
35	1850-1910		TDD
36	1930-1990		TDD
37	1910-1930		TDD
38	2570-2690		TDD
39	1880-1910		TDD
40	2300-2400		TDD
41	2496-2690		TDD
42	3400-3600		TDD
43	3600-3800		TDD

Застосування багатоантенних систем дозволяє реалізувати наступні технології [9]:

- рознесений прийом (одна передавальна антена і кілька прийомних);
- просторово-часове кодування;
- просторове мультиплексування;

Дві останні технології реалізовані в технології MIMO.

					PC61. 460400.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		20

Обмін між базовою станцією (БС) і мобільною станцією (МС) відбувається за принципом циклічно повторюваних кадрів. Тривалість радіокадра - 10 мс. Тимчасові параметри в специфікації LTE прив'язані до мінімального тимчасового кванта:

$$T_s = 1 / (2048 \cdot \Delta f),$$

де T_s - мінімальний часовий квант;

Δf - крок між поднесущими, стандартно - 15 кГц.

Отже, тривалість радіокадра - $307200T_s$. Сам же квант часу відповідає тактовій частоті 30,72 МГц, що кратно стандартній в 3G-системах (WCDMA зі смугою каналу 5 МГц) частоті обробки 3,84 МГц ($8 \times 3,84 = 30,72$) [3].

Стандарт LTE включає два типи радіокадрів. Перший тип призначений для частотного дуплексування (FDD) - як для повного дуплекса, так і для напівдуплекса. Другий тип призначений тільки для часового дуплексування (TDD) [7].

FDD (Frequency Division Duplex)

У цьому способі мультиплексування двох потоків проводиться за допомогою двох різних діапазонів частот, одного для низхідного і іншого для висхідного. Це дозволяє здійснювати безперервну передачу в обох діапазонах, з попередженням, поясненим далі [16].

Кожна сторона потоку має передавач і приймач. Різниця в силі сигналу між обома потоками величезна (може бути більше 100 дБ), і хоча вони знаходяться в різних діапазонах, дуже важко захистити приймач від сигналу власного передавача. Цього можна досягти, лише якщо між обома є значні інтервали частот, тому фільтрація / блокування може бути виконана. Звичайний мінімальний інтервал - близько 45 МГц. У XX столітті було виділено багато діапазонів FDD, використовуючи однакову пропускну здатність для обох напрямки. Це створює не ефективність цифрових даних, оскільки вона, як правило, несиметрична, і одна смуга закінчується перевантаженою, тоді як інша все ще має доступність [16].

					PC61. 460400.001 ПЗ	Лист
						21
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

TDD (Time Division Duplexing)

У цьому методі мультиплексування проводиться в часі, і використовується лише одна смуга. Цей метод сприятливий для цифрових комунікацій, оскільки дозволяє врівноважувати обидва потоки зв'язку. У TDD, окремі часи передачі виділяються для низхідній лінії зв'язку і висхідній лінії зв'язку прозора для користувачів. Цикл розподілу визначається періодом кадру, який поділяється на підкадр низхідній лінії зв'язку та підкадр висхідної лінії зв'язку. Довжина цих підкадрів, у свою чергу, кратна тривалості символу. Два підкадри можуть мати різну тривалість для розміщення асиметричного трафіку в нижній течії (DS) і вгорі за течією (CSA).

Як було сказано раніше, в LTE застосовують модуляція OFDM, добре досліджена в системах DVB, Wi-Fi та WiMAX, на рис 2.5 показано детальна архітектура мережі LTE.

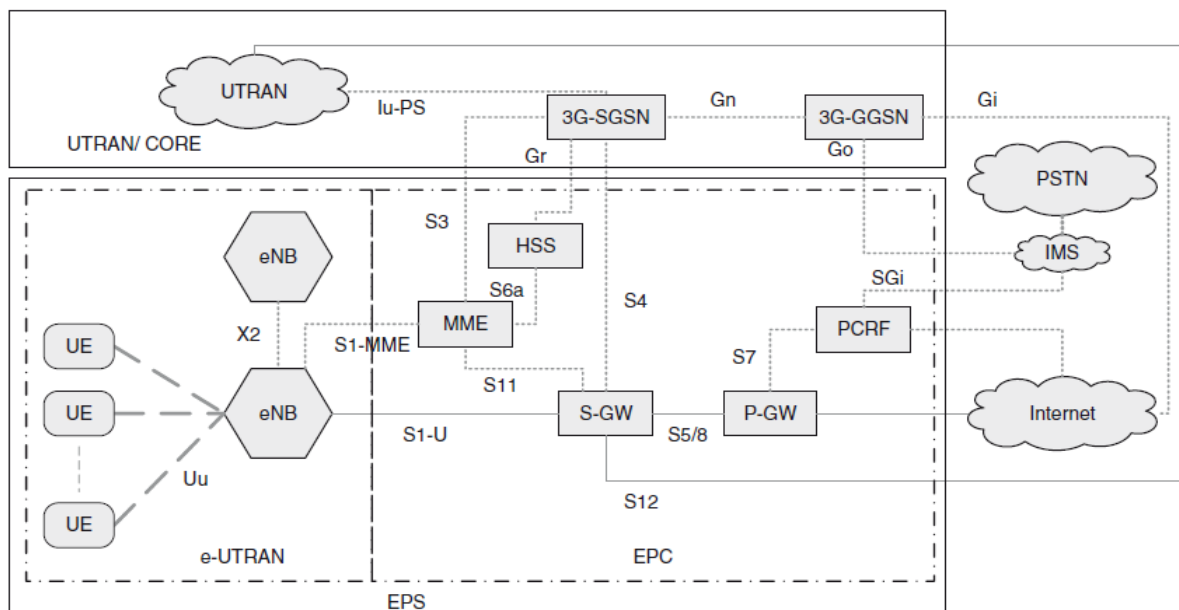


Рис. 2.5 – Детальна архітектура мережі LTE

2.3 Технологія мультиплексування OFDMA в LTE

Ортогональний Багатостанційний доступ з частотним поділом каналів OFDMA базується на системі мультиплексування OFDM. Ортогональное частотне розділення каналів (OFDM - Orthogonal Frequency Division

Multiplexing) - методика мультиплексування, яка розділяє смугу каналу на безліч піднесучих частот [7].

У системі OFDM вхідні дані потоку розділені на кілька паралельних підпотоків із зменшеною швидкістю передачі даних (з збільшенням тривалості кожного передаваного на цій частоті знака). Кожний підпотік модулюється і передається на окрему ортогональну піднесучу частоту (рис 2.7) [7].

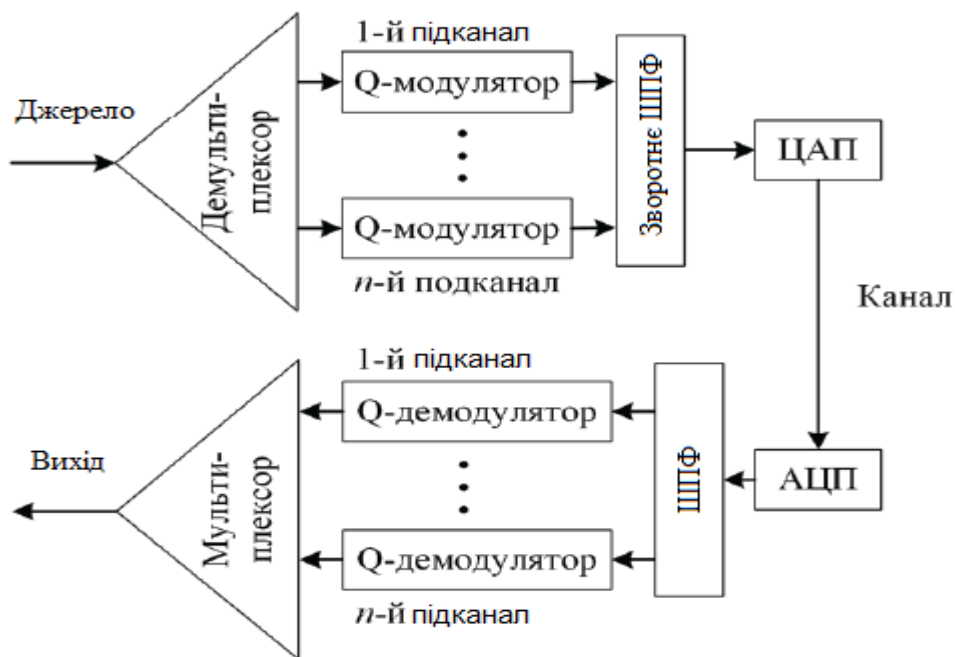


Рис. 2.7 – Модуляція з декількома несучими

Протокольна одиниця, що передається за допомогою однієї несучої, називається символом. Збільшена тривалість символ покращує стійкість OFDM, зменшуючи максимальний розкид між тривалістю символів, що передаються за допомогою різних несучих [7,16,19,20].

Основним недоліком OFDM технології - високе співвідношення пікової та середньої потужності сигналу (PAR). Це тому, що в часовій області спектр OFDM-сигналу стає аналогічним Гаусову шуму, який характеризується високим PAR [3,17,18].

2.4 Використання MIMO у мержах LTE

Система з багатьма антенами MIMO і OFDMA є основою для четвертого покоління стільникового зв'язку [18].

Всі сучасні технології безпроводного зв'язку підтримують багатоантенні системи (MIMO), мережа 4-го покоління LTE не є виключенням.

Як вже зазначалося вище, в системах LTE передбачені різні режими роботи з декількома передавальними і приймальними антенами. Робота таких систем може бути організована за двома принципами: за принципом просторового ущільнення і за принципом просторово-часового кодування [27]. Схеми MIMO 2x2 показані на рис. 2.8.

Суть першого принципу полягає в тому, що різні передавальні антени будуть передавати різні частини блоку інформаційних символів або різні інформаційні блоки. Передача даних ведеться паралельно з двох або з чотирьох антен. На приймальній стороні проводиться прийом і розподіл сигналів різних антен, і стає можливим збільшення максимальної швидкості передачі даних в 2 або в 4 рази [27].

У системах, побудованих за принципом просторово-часового кодування, з усіх передавальних антен здійснюється передача одного і того ж потоку даних з використанням схем попереднього кодування з метою забезпечення кращого якості прийому. Так, наприклад, при формуванні сигналу з двох передають антен потік комплексних модуляційних символів, котрі будуть модулювати одну з тих, що піднесуть OFDMA-сигналу, разів на непарні (x_1) і парні (x_2) символи, т. е. Дані модуляційних символи відповідають одній піднесі, але різним OFDMA-символам [27].

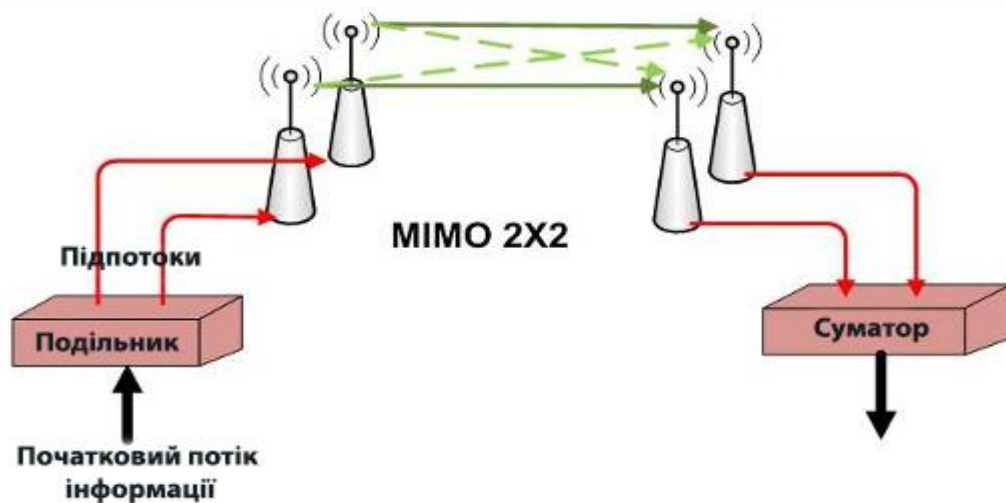


Рис 2.8 – MIMO-схема 2x2

Використання зворотного зв'язку (рис 2.9) засноване на каналі векторного квантування, що використовує кінцеву каналну кодову книгу. Кожен користувач квантує його канал на основі його кодової книги і повертає назад найближче значення. З рештою базова станція використовує інформацію квантування каналу для обчислення на основі квантувача, що заснований на нульових посиленних критеріях і використовує наявні для користувачів максимізацію сумарної швидкості. Величина відношення сигнал/шум сильно залежить від кількості потоків даних, що не відомі, коли є обчислена інформація каналу зворотного зв'язку. Отже, зворотний зв'язок може бути обраний на базовій станції залежно від остаточного числа запланованих потоків даних [8,11,12].

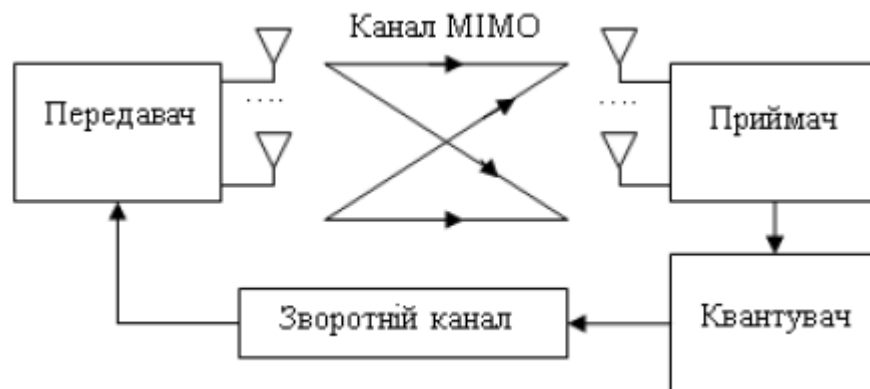


Рис 2.9 Базова станція

Два типи систем зворотного зв'язку використовуються у системах MIMO. Перший метод полягає в передачі повного CSI від приймача до передавача. CSI дозволяє адаптувати передавач в поточних умовах каналу, що має вирішальне значення для досягнення надійного зв'язку з високими швидкостями передачі даних в багатоантенних системах. Другий метод використовує обмежений зворотний зв'язок, де кожен користувач передає назад індекс кодової книги для базової станції. Індекс кодової книги розраховується шляхом квантування вектора композитного каналу таким, що його евклідова відстань до передбаченого складеного каналу вектор зведена до мінімуму.

Розглянутий метод є швидким методом, що використовується для того, щоб досягти кожним користувачем оптимальної потужності. Цей метод використовує менший ресурс низхідної лінії за рахунок обмежених

параметрів зворотного зв'язку. У результаті, метод зворотного зв'язку, що може сходитися швидше з мінімальним використанням ресурсів низхідної лінії використовується в багатокористувацькій системі [11, 12].

В результаті використання декількох антен бездротова технологія MIMO здатна значно збільшити пропускну здатність даного каналу.

2.5 Технологія SAE в LTE

Нова архітектура системи була запропонована для роботи всієї мережі IP, яка називається Evolved Packet System (EPS). Ця система поділяється на основну мережу та мережу доступу. Основна мережа називається System Architecture Evolution (SAE) і базується на розвиненому пакетному ядрі (EPC) [16], що складається з чотирьох основних елементів:

-MME (Вузол Управління Мобільністю - Mobility Management Entity) - це ключовий контролюючий модуль для мережі доступу LTE. Він відповідає за процедури забезпечення мобільності, хендовера, стеження і пейджінга UE.[16]

-SGW (Обслуговуючий Шлюз - Serving Gateway): Призначений для обробки і маршрутизації пакетних даних, що надходять з / в підсистему базових станцій. SGW маршрутизує і направляє пакети з одними даними, в той же час виконуючи роль вузла управління мобільністю (mobility anchor) для призначених для користувача даних при хендовера між базовими станціями (eNodeB), а також як вузол управління мобільністю між мережею LTE і мережами з іншими технологіями 3GPP [16].

-PGW (Пакетний шлюз - Packet Data Network Gateway): Пакетний шлюз забезпечує з'єднання від UE(моб. пристрій) до зовнішніх пакетних мережах даних, будучи точкою входу і виходу трафіку для UE [16].

-PCRF (Вузол виставлення рахунків абонентам - Policy and Charging Rules Function (англ.)): Це - загальна назва для пристроїв в рамках SAE EPC, які відстежують потік послуг, що надаються, і забезпечують тарифну політику [16].

					PC61. 460400.001 ПЗ	Лист
						26
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Мережа доступу базується на довгостроковій еволюції (LTE) і спирається на наземну мережу радіодоступу (E-UTRAN) Evoluted Universal Mobile Telecommunications System. Простий ескіз цієї архітектури проілюстрований на рис. 2.10.

Метою SAE є ефективна підтримка широкого комерційного використання будь-яких послуг на базі IP та забезпечення безперервного обслуговування абонента при його переміщенні між мережами безпроводового доступу, які не обов'язково відповідають стандартам 3GPP.

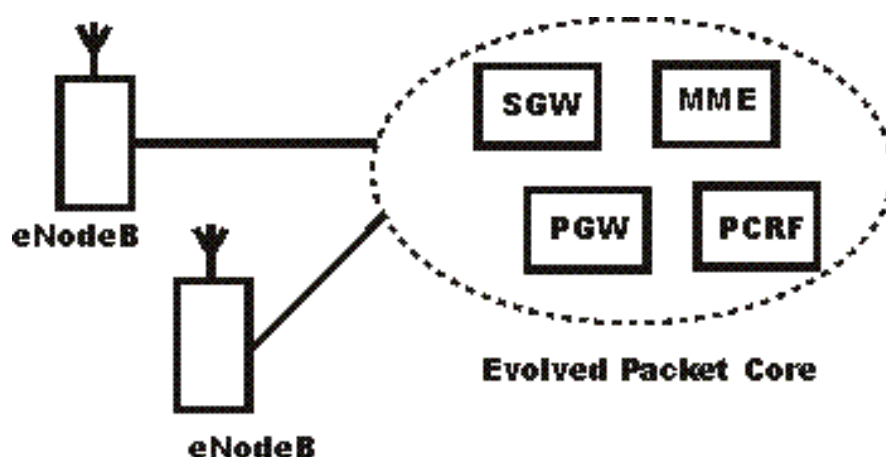


Рис. 2.10 – Архітектура SAE

2.6 Висновки по розділу

Даний розділ детально розглядає основні параметри технології стільникового зв'язку LTE. А саме розглянуто принцип побудови мержі, архітектуру мержі, основні технічні характеристики та основні складові мережі.

Було дано визначення що таке LTE, описано три основні складові LTE, а саме: SAE, MIMO та OFDM в LTE.

Технологія LTE (Long-Term Evolution) - це логічне продовження розвитку мереж 3G. Основна мета - нарощування швидкості передачі даних, оскільки все інше, в значній мірі, є наслідком рішення цієї задачі.

Система з багатьма антенами MIMO і OFDMA є основою для четвертого покоління стільникового зв'язку.

Метою SAE є ефективна підтримка широкого комерційного використання будь-яких послуг на базі IP та забезпечення безперервного обслуговування абонента при його переміщенні між мережами безпроводного доступу, які не обов'язково відповідають стандартам 3GPP.

					<i>PC61. 460400.001 ПЗ</i>	Лист
						28
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

3 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ МЕРЕЖІ LTE ТА ВИБІР ОПЕРАТОРСЬКОГО ОБЛАДНАННЯ

3.1 Розрахунок пропускної здатності проєктованої мережі LTE

Мережа LTE буде розгортатися у місті, де переважна кількість будинків та споруд не перевищує п'ять поверхів, абонентська щільність буде досить невисока (присутній приватний сектор), тому базові станції eNodeB повинні встановлюватися доволі далеко одна від одної, та БС eNodeB повинна покривати якомога більшу територію проєктованої мережі. Виходячи з цього необхідно вибрати відповідний радіочастотний спектр. В цьому випадку необхідно триматися положення, що чим нижче частота, тим далі поширюється радіосигнал. Найбільш підходяща частота для цього 880 - 960 МГц -band 8. Частотне дуплексування FDD.

Виходячи даних про кількість населення, що складає 26 000, можна розрахувати потенційну кількість трафіку. Площа міста становить $S = 18 \text{ км}^2$.

Максимальна ємність ринку - кількість абонентів що користуються послугами мережі, оцінюється приблизно 70% від загальної кількості потенційних абонентів.

Пропускна здатність або ємність мережі ґрунтується на середніх значеннях спектральної ефективності стільника в конкретних обставинах.

Спектральна ефективність визначає швидкість передачі даних у встановленій смузі частот. Спектральна ефективність систем мобільного зв'язку являє собою коефіцієнт, що розраховується як відношення швидкості передачі даних на 1 Гц смуги частот (біт/с/Гц).

Для різноманітних конфігурацій MIMO ширина смуги частот, для частотного дуплексу FDD, дорівнює 20 МГц.

Для мережі LTE середня спектральна ефективність, представлена в таблиці 3.1.

					PC61. 460400.001 ПЗ	Лист
						29
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1 – Середня спектральна ефективність в макромережі

Лінія	Схема MIMO	Середня спектральна ефективність (біт/с/Гц)
UL	1×2	1.254
	1×4	1.829
DL	2×2	2.93
	4×2	3.43
	4×4	4.48

Середню пропускну здатність одного сектора БС eNodeB системи FDD, одержують множенням ширини каналу на спектральну ефективність каналу:

$$R=S \cdot W$$

де S - середня спектральна ефективність, біт/с/Гц; W - ширина каналу, МГц; W = 10

Для лінії DL:

$$R_{DL}= 3.43 \cdot 10 = 34.4 \text{ Мбіт/с.}$$

Для лінії UL:

$$R_{UL}= 1.829 \cdot 10 = 18.29 \text{ Мбіт/с.}$$

Перемноживши пропускну здатність одного сектора на кількість секторів БС, отримаємо середню пропускну здатність БС eNodeB. Число секторів eNodeB - 3, то:

$$R_{eNB} = R_{DL/UL} \cdot 3$$

Для лінії DL:

$$R_{eNB.DL}= 34.4 \cdot 3 = 103.2 \text{ Мбіт/с.}$$

Для лінії UL:

$$R_{eNB.UL}= 18.29 \cdot 3 = 54.9 \text{ Мбіт/с.}$$

Наступним кроком будемо визначати кількість так званих стільників в проєктованій мережі LTE.

					PC61. 460400.001 ПЗ	Лист
						30
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Для цього потрібно розрахувати загальне число каналів (N_k), що виділяються для розгортання проєктованої мережі LTE.

Розрахуємо його за формулою:

$$N_k = \frac{\Delta f_{\Sigma}}{\Delta f_k}$$

де Δf_{Σ} – смуга частот, виділена для роботи та дорівнює 80 МГц,

Δf_k – смуга частот одного радіоканала, під радіоканалом приймається поняття ресурсного блоку РБ в мережах LTE, ширина якого – Δf_k – 180 КГц.

$$N_k = \frac{80 \text{ МГц}}{180 \text{ КГц}} = 445 \text{ (каналів)}$$

Визначимо число каналів $N_{k.сек}$, які необхідні для обслуговування абонентів в одному секторі стільника:

$$N_{k.сек} = \frac{N_k}{N_{KL} \cdot M_{сек}},$$

де N_k – загальна кількість каналів;

N_{KL} – розмірність кластера, з урахуванням кількості секторів eNodeB, рівна 3-ом;

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

$$N_{k.сек} = \frac{445}{3 \cdot 3} = 50 \text{ (каналів)}$$

Далі визначимо число каналів трафіку в одному секторі стільника $N_{km.сек}$. Розрахунки виконуються за формулою:

$$N_{km.сек} = N_{km1} \cdot N_{k.сек},$$

де N_{km1} – число каналів трафіку в одному радіоканалі, що визначається стандартом радіодоступу; для мережі LTE виберемо $N_{km1} = 1$

$$N_{km.сек} = 1 \cdot 50 \approx 50 \text{ (каналів)},$$

Відповідно до моделі Єрланга, представлені у виді графіку на рис. 3.1, визначимо допустиме навантаження в секторі одного стільника $A_{сек}$ при тому, ймовірність блокування 1% та розрахованим значенням $N_{km.сек}$. Визначимо, що $A_{сек} = 38$ Ерл.

					PC61. 460400.001 ПЗ	Лист
						31
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

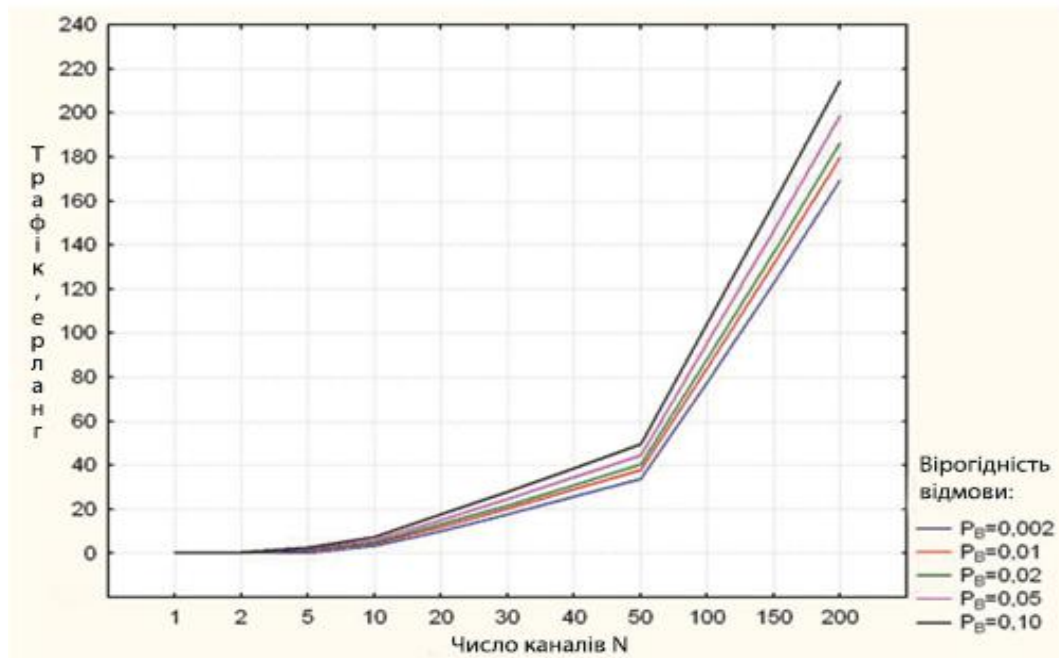


Рис. 3.1 – Залежність допустимого навантаження в секторі від числа каналів трафіку та ймовірність блокування

$$N_{Ab.eNB} = M_{сек} \cdot \frac{A_{сек}}{A_1},$$

де A_1 – середнє по всім видам трафіку абонентське навантаження від одного абонента; значення A_1 визначається в межах (0.04...0.2) Єрл.

Так як мережа розгортання має бути високошвидкісна, то значення A_1 візьмемо приблизно 0.2 Єрл. Таким чином:

$$N_{Ab.eNB} = 3 \cdot \frac{38}{0.2} = 570 \text{ (абонентів).}$$

Число базових станцій eNodeB в даній мережі знайдемо за формулою:

$$N_{eNB} = \frac{N_{Ab}}{N_{Ab.eNB}} + 1$$

де N_{Ab} – кількість потенційних абонентів. Кількість потенційних абонентів визначимо як 30% від загального числа жителів. Загальна кількість жителів міста приблизно 26 000 чоловік.

Таким чином, кількість абонентів складе 7 800 чоловік, тоді:

$$N_{eNB} = \frac{7800}{570} + 1 \approx 15 \text{ (eNB).}$$

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

Визначимо плановану середню пропускну здатність R_N проєктованої мережі визначимо як множення кількості eNB на середню пропускну здатність eNB . Формула матиме вид:

$$R_N = (R_{eNB.DL} + R_{eNB.UL}) \cdot N_{eNB}$$

$$R_N = (103.2 + 54.9) \cdot 15 \approx 2372 \text{ (Мбіт/с)}$$

Дамо оцінку ємності проєктованої мережі та порівняємо з розрахованою. Визначимо усереднений трафік одного абонента в ЧНН (час найбільшого навантаження):

$$R_{T.ЧНН} = \frac{T_T \cdot q}{N_{ЧНН} \cdot N_D},$$

де T_T – середній трафік одного абонента в місяць, $T_T = 30 \frac{\text{Гбайт}}{\text{міс}}$;

q – коефіцієнт для місцевості, $q = 2$;

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

N_D – кількість днів в місяць, $N_D = 30$;

$$R_{T.ЧНН} = \frac{30 \cdot 2}{7 \cdot 30} = 0.29 \text{ (Мбіт/с)}$$

Загальний трафік проєктованої мережі в ЧНН $R_{ЗАГ/ЧНН}$ визначається за формулою:

$$R_{ЗАГ/ЧНН} = R_{T.ЧНН} \cdot N_{акт.аб},$$

де $N_{акт.аб}$ – число активних абонентів в мережі; визначимо число активних абонентів в мережі як 80% від загальної кількості потенційних абонентів $N_{аб}$, тобто $N_{акт.аб} = 6240$ абонентів.

$$R_{ЗАГ/ЧНН} = 0.29 \cdot 6240 = 1810 \text{ (Мбіт/с)}.$$

Виходячи з розрахунків ми маємо нерівність $R_N > R_{ЗАГ/ЧНН}$. З даної умови робимо висновок що проєктована мережа не буде перенавантажена в час найбільшого навантаження (ЧНН).

3.2 Розрахунок зон радіопокриття для мережі LTE

Планування радіомереж LTE має певну кількість відмінностей від планування інших безпроводних технологій радіо доступу. Головна відмінність – використання багатостанційного доступу за технологією OFDM, в зв'язку з цим змінюються алгоритми проєктування та з'являються нові поняття.

					PC61. 460400.001 ПЗ	Лист
						33
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Проектування мережі LTE виконується на місцевості з невисокими будівлями по типу сільської місцевості, це означає, що щільність абонентів буде не великою виходячи з цього базові станції будуть розташовуватися на максимальній дистанції одна від одної з метою покрити кожною eNodeB якомога більшу територію. Для цього найбільш доцільний діапазон частот це 880 – 960 МГц, бо чим нища частота тим далі поширюється радіосигнал. Також визначимося з тип дуплексу – частотний FDD.

3.3 Аналіз радіопокриття мережі

Проводити аналіз будемо із знаходженням максимально допустимих витрат (МДП). МДП розраховується як різниця між еквівалентною ізотропною випромінюваною потужністю передавача (ЕВП) та мінімально необхідною потужністю сигналу на вході приймача, при якій з врахуванням всіх втрат в каналі зв'язку забезпечується нормальна демодуляція сигналу в приймачі [21].

Принцип розрахунку МДП показаний на рис. 3.2.



Рис. 3.2 – Розрахунок МДП

Розрахунки виконуються для вибраного нами діапазону 880-960 МГц значення запасу використаємо такі: -12дБ для передмістя та -8 дБ для місцевості сільського типу [19-21].

Розраховувати будемо за наступними параметрами:

- Системна смуга: 20МГц FDD = UL 10 МГц / DL 10 МГц
- eNodeB працює в режимі MIMO 2x2,

Максимально допустимі втрати розраховуються за формулою:

$$L_{МПД} = P_{\text{евп.прд}} - S_{\text{ч.пр}} + G_{\text{А.прд}} - L_{\text{ф.прд}} - M_{\text{прон}} - M_{\text{зав}} - M_{\text{затен}} + G_{\text{хо}}$$

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

$S_{\text{ч.пр}}$ – чутливість приймача;

$G_{\text{А.прд}}$ – коефіцієнт посилення антени передавача, $G_{\text{А.прд}}: DL = 17.9 \text{ дБ}$,

$UL = 0 \text{ дБ}$;

$L_{\text{ф.прд}}$ – втрати в фідерном тракті передавача, $L_{\text{ф.прд}}: DL = 0,29 \text{ дБ}$;

$M_{\text{прон}}$ – запас на проникнення сигналу в приміщення для приміської місцевості, $M_{\text{прон}} = 12 \text{ дБ}$;

$M_{\text{зав}}$ – запас на завади. $M_{\text{зав}}$ визначається за результатами моделювання системного рівня в залежності від навантаження в сусідніх стільниках; значення $M_{\text{зав}}$ відповідає навантаженню в сусідніх стільниках 70%.

$M_{\text{зав}}: DL = 6,3 \text{ дБ}; UL = 2,7 \text{ дБ}$;

$M_{\text{затін}}$ – запас на затінення, $M_{\text{затін}} = 8,1 \text{ дБ}$

$G_{\text{хо}}$ – виграш від хендовера (передачі). Значення виграшу від хендовера – результат того, що при виникненні глибоких завмирань в стільнику, який обслуговується, абонентський термінал може здійснити перехід до стільника з кращими характеристиками приймання. $G_{\text{хо}} = 1,7 \text{ дБ}$ [19,20].

Розрахунок $P_{\text{евп.прд}}$ виконується за формулою:

$$P_{\text{евп.прд}} = P_{\text{вих.прд}} + G_{\text{А.прд}} - L_{\text{ф.прд}} \quad (3.6.1)$$

де $P_{\text{вих.прд}}$ – вихідна потужність передавача. $P_{\text{вих.прд}}$ у лінії (DL) в мережі LTE вона залежить від ширини смуги частот стільника, що може коливатися від 1,4 до 20 МГц. В межах до 5 МГц раціональний вибір передавачів TRX потужністю 18 Вт (40 дБм), а більше 5 МГц – 38 Вт (44 дБм). $P_{\text{вих.прд}}: DL = 44 \text{ дБм}, UL = 32 \text{ дБм}$.

Для лінії DL:

$$P_{\text{вих.прд}} = 44 + 17.9 - 0,29 = 61,61 \text{ (дБм)},$$

Для лінії UL:

$$P_{\text{вих.прд}} = 28 \text{ (дБм)}$$

$S_{\text{ч.пр}}$ розраховуємо:

$$S_{\text{ч.пр}} = P_{\text{тш.пр}} + M_{\text{осш.пр}} + L_{\text{пр}} \quad (3.6.2)$$

					PC61. 460400.001 ПЗ	Лист
						35
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

де $P_{\text{тш.пр}}$ - потужність теплового шуму приймача.

$P_{\text{тш.пр}} : \text{DL} = -175,3 \text{ дБм}, \text{ UL} = -103,6 \text{ дБм};$

$M_{\text{осш.пр}}$ - необхідне відношення сигнал/шум приймача. $M_{\text{осш.пр}} : \text{DL} = -0,25 \text{ дБ}; \text{ UL} = 0,62 \text{ дБ};$

$L_{\text{пр}}$ - коефіцієнт шуму приймача. $L_{\text{пр}}: \text{DL} = 6,9 \text{ дБ}, \text{ UL} = 2,6 \text{ дБ};$

Для лінії DL:

$$S_{\text{ч.пр}} = -175,3 + (-0,25) + 6,9 = -168,65 \text{ (дБм)},$$

Для лінії UL:

$$S_{\text{ч.пр}} = -103,6 + 0,62 + 2,6 = -100,38 \text{ (дБм)}.$$

Враховуючи отримані результати з формул (3.6.1) та (3.6.1), розрахуємо значення МДП:

Для лінії DL:

$$L_{\text{МДП}} = 61,61 + 168,65 + 18 - 0,3 - 12 - 6,4 - 8,2 + 1,7 = 223,15 \text{ (дБ)}$$

Для лінії UL:

$$L_{\text{МДП}} = 28 - (-100,38) - 12 - 2,8 - 8,2 + 1,7 = 107,08 \text{ (дБ)}$$

Виберемо мінімальне значення МДП з отриманих значень для лінії DL та UL. Які далі будемо використовувати для розрахунку дальності сигналу зв'язку та радіусу стільника. По дальності сигналу зв'язку, зазвичай обмежує лінія вгору UL. Для розрахунку дальності зв'язку скористаємося емпіричною моделлю поширення радіохвиль COST231-Hata [18-20]. За допомогою моделі COST231-Hata визначимо середнє загасання радіосигналу для міських умов:

$$L_{\Gamma} = 69,5 + 26,16 \log f_c - 13,82 \log h_t - A(hr) + (44,9 - 6,55 \log h_t) \cdot \log d$$

Для сільської місцевості вираз набуде вигляду з поправкою:

$$L_{\Gamma.C} = L_{\Gamma} - 4,78 (\log f_c)^2 + 48,7 \cdot \log f_c - 40,94$$

де f_c – частота: 150–1500 МГц;

h_t – висота передавальної антени (підвісу eNodeB): 30–300 метрів;

h_r – висота приймаючої антени (антени мобільного пристрою) від 1 до 10 метрів;

d - радіус стільника: 1–20 км;

					PC61. 460400.001 ПЗ	Лист
						36
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

$A(hr)$ - коригувальний коефіцієнт висоти антени рухомого об'єкта, в залежності від місцевості[19,20].

Виберемо параметри для розрахунку:

- $fc = 880$ МГц;
- $ht = 50$ метри;
- $hr = 2.5$ метра.

Розрахуємо коригувальний коефіцієнт $A(hr)$ для рідко заселеній місцевості за формулою [19,20]:

$$A(hr) = (1,1 \cdot \log fc - 0,7) \cdot hr - (1,56 \cdot \log fc - 0,8), \quad (3.6.3)$$

$$A(hr) = (1,1 \cdot \log 880 - 0,7) \cdot 2,5 - (1,56 \cdot \log 880 - 0,8) = 2,505$$

Результатом обчислення формули (3.6.3), отримаємо радіус стільника 2,5 (км), отже діаметр $d \approx 5$ (км).

Побудуємо залежність рівня затухання від відстані зв'язку (рис. 3.3):

$$PL(d) = 69,5 + 26,16 \cdot \log(f) - 13,82 \cdot \log(ht) + (44,9 - 6,55 \cdot \log(ht)) \cdot \log(d) - a(hr)$$

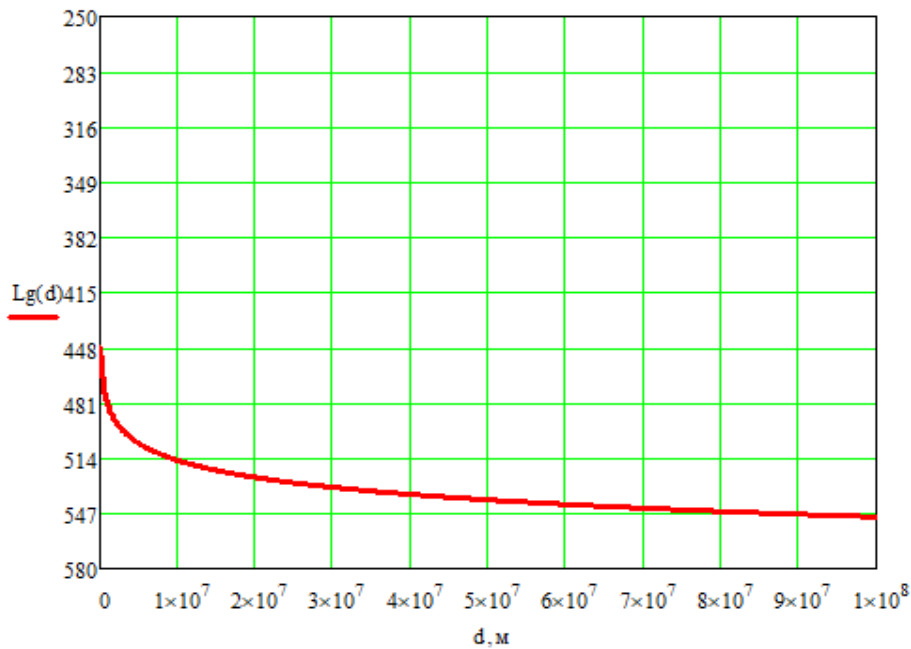


Рис.3.3 – Залежність втрат при поширенні від відстані для мережі LTE

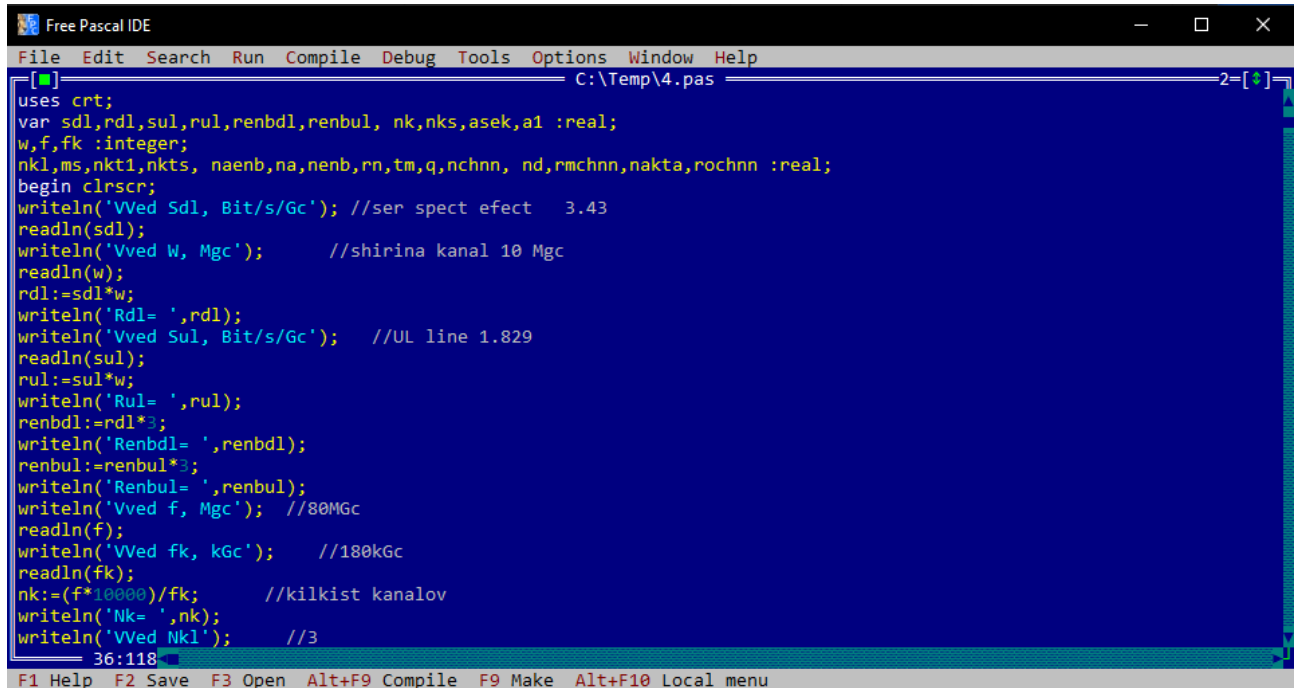
Розрахуємо площу S_{eNodeB} покриття трисекторних сайтів за формулою:

$$S_{eNodeB} = 9 \frac{\sqrt{3}}{8} \cdot d^2, \quad (3.18)$$

$$S_{eNodeB} = 9 \frac{\sqrt{3}}{8} \cdot 5^2 = 48.7 \approx 49 (\text{км}^2) \quad [21]$$

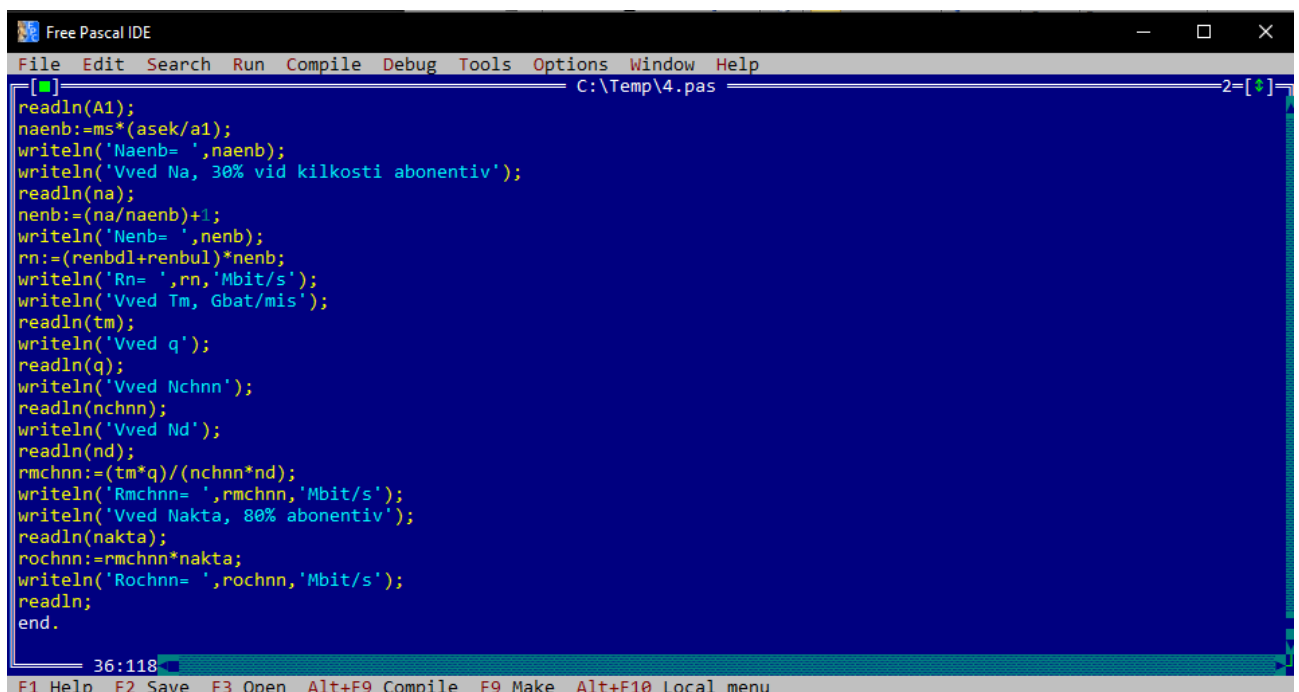
3.4 Розрахунок пропускної здатності мережі в IDE Free Pascal

Розрахуємо пропускну здатність мережі в даній IDE. Також виконаємо розрахунки середньої планованої пропускної здатності R_N та визначимо усереднений трафік одного абонента в ЧНН. Скріншоти програми показані на рис. 3.4 та рис.3.5.



```
Free Pascal IDE
File Edit Search Run Compile Debug Tools Options Window Help
C:\Temp\4.pas
uses crt;
var sdl,rdl,sul,rul,renbd1,renbul, nk,nks,asek,a1 :real;
w,f,fk :integer;
nkl,ms,nkti,nkts, naenb,na,nenb,rn,tm,q,nchnn, nd,rmchnn,nakta,rochnn :real;
begin clrscr;
writeln('Vved Sdl, Bit/s/Gc'); //ser spect efect 3.43
readln(sdl);
writeln('Vved W, Mgc'); //shirina kanal 10 Mgc
readln(w);
rdl:=sdl*w;
writeln('Rdl= ',rdl);
writeln('Vved Sul, Bit/s/Gc'); //UL line 1.829
readln(sul);
rul:=sul*w;
writeln('Rul= ',rul);
renbd1:=rdl*3;
writeln('Renbd1= ',renbd1);
renbul:=renbul*3;
writeln('Renbul= ',renbul);
writeln('Vved f, Mgc'); //80Mgc
readln(f);
writeln('Vved fk, kGc'); //180kGc
readln(fk);
nk:=(f*10000)/fk; //kilkist kanalov
writeln('Nk= ',nk);
writeln('Vved Nkl'); //3
36:118
F1 Help F2 Save F3 Open Alt+F9 Compile F9 Make Alt+F10 Local menu
```

Рис. 3.4 – Код програми



```
Free Pascal IDE
File Edit Search Run Compile Debug Tools Options Window Help
C:\Temp\4.pas
readln(A1);
naenb:=ms*(asek/a1);
writeln('Naenb= ',naenb);
writeln('Vved Na, 30% vid kilkosti abonentiv');
readln(na);
nenb:=(na/naenb)+1;
writeln('Nenb= ',nenb);
rn:=(renbd1+renbul)*nenb;
writeln('Rn= ',rn,'Mbit/s');
writeln('Vved Tm, Gbat/mis');
readln(tm);
writeln('Vved q');
readln(q);
writeln('Vved Nchnn');
readln(nchnn);
writeln('Vved Nd');
readln(nd);
rmchnn:=(tm*q)/(nchnn*nd);
writeln('Rmchnn= ',rmchnn,'Mbit/s');
writeln('Vved Nakta, 80% abonentiv');
readln(nakta);
rochnn:=rmchnn*nakta;
writeln('Rochnn= ',rochnn,'Mbit/s');
readln;
end.
36:118
F1 Help F2 Save F3 Open Alt+F9 Compile F9 Make Alt+F10 Local menu
```

Рис. 3.5 – Кінець програми

Запустимо програму написану вище, та отримаємо результати розрахунків що показані на рис. 3.6 та рис. 3.7.

```
Free Pascal IDE
Vved Sdl, Bit/s/Gc
3.43
Vved W, Mgc
10
Rdl= 3.430000000000000E+001
Vved Sul, Bit/s/Gc
1.829
Rul= 1.829000000000000E+001
Renbdl= 1.029000000000000E+002
Renbul= 0.549000000000000E+000
Vved f, Mgc
80
Vved fk, kGc
180
Nk= 4.444444444444444E+003
Vved Nkl
3
Vved Ms
3
Nks= 4.93827160493827E+002
Vved Nkt1, kanalov
1
Nkts= 4.93827160493827E+002
Vved Asek, Erl
38
Vved A1, Erl
0.2
Naenb= 5.700000000000000E+002
Vved Na, 30% vid kilkosti abonentiv
```

Рис. 3.6 – Результат отриманих даних

```
Free Pascal IDE
Nkts= 4.93827160493827E+002
Vved Asek, Erl
38
Vved A1, Erl
0.2
Naenb= 5.700000000000000E+002
Vved Na, 30% vid kilkosti abonentiv
7800
Nenb= 1.48842105263158E+001
Rn= 2.37180526315789E+003Mbit/s
Vved Tm, Gbat/mis
30
Vved q
2
Vved Nchnn
7
Vved Nd
30
Rmchnn= 2.85714285714286E-001Mbit/s
Vved Nakta, 80% abonentiv
6240
Rochnn= 1.80785714285714E+003Mbit/s
```

Рис. 3.7 – Результат отриманих даних

3.5 Частотно-територіальне планування

Етапом проєктування мережі радіоз'язку абонентського доступу, в ході якого виконується вибір структури мержі, місця розміщення БС, розробка плану розподілу радіоканалів для БС, та адаптація під умови територіальних та частотних обмежень в місці проєктування називають – частотно-територіальним плануванням.

Визначимо, що для забезпечення стійким радіосигналом густонаселених районів на території розгортання мінімально необхідна кількість базових станцій eNodeB мережі становитиме 7 штук. Виходячи з попередніх даних будується мережа, параметри для БС eNodeB мають такі параметри:

- Потужність передавачів - 42 Вт;
- Висота підвісу антени - 50 метри;
- Число приймачів TRX - 3 (по одному на кожен сектор);
- Системна смуга для одного сектора - 20 МГц: 10UL/10DL;
- Лінія «вниз» підтримує технологію MIMO 4×2 ;
- Пропускна здатність: лінія «вниз» - 102,9 Мбіт / с, лінія «вгору» - 54,87 Мбіт / с.

Для планованої мережі потрібно виділити смугу частот 880-960 МГц, ширина частотного спектра становить 72 МГц. Кожному сектору eNodeB потрібно виділити 24 МГц. Виходячи з цього, розділимо на 3 частини ширину спектра, що дорівнюють 24 МГц, з урахуванням захисних частотних смуг для уникнення перекриття сигналів різних секторів. Дано умовний номер для кожної з трьох частин спектра та внесемо до таблиці.3.2.

Таблиця 3.2 Частотне планування мережі LTE

Номер eNodeB	Сектор	Азимут	Радіус стільника(км)	Умовне позначення
1	1.1	0	2.5	1
	1.2	120	2.5	2
	1.3	240	2.5	3

2	2.1	0	2.5	1
	2.2	120	2.5	2
	2.3	240	2.5	3
3	3.1	0	2.5	1
	3.2	120	2.5	2
	3.3	240	2.5	3

Виконавши всі роботи по плануванню та введенню мережі LTE в експлуатацію, переходимо до оптимізації мережі. Під час якої можливе коригування: підвищення пропускної здатності мережі, коригування висоти підвісу радіо модулів та зміна випромінюваної потужності радіо модулів збільшення або зменшення.

3.6 Визначення оптимального обладнання для базової станції

Основними виробниками операторського обладнання LTE у світі є: Fujitsu, Huawei Technologies, Motorola, Panasonic, Starent, ZTE, Ericsson, Alcatel-Lucent, Noki ,Siemens Networks.

Для вибору високотехнологічного обладнання для мережі LTE є декілька основних критерій: ціна, якість, можливість інтеграції в існуючу мережу (безшовна інтеграція) та діапазон робочих частот.

Все обладнання що представлене на ринку є взаємозамінним і має приблизно однакові параметри, тому перш за все при виборі обладнання дивляться на співвідношення ціна/якість та позитивний досвід співпраці даного виробника.

Одним з провідних виробників обладнання для мереж зв'язку є Huawei Technologies, тому розглядатимемо варіант з обладнанням від даної компанії.

Виберемо базову станцію Huawei DBS3900 LTE зображену на рис 3.8.



Рис 3.8 – Базова станція DBS3900 та виносний радіоблок

DBS3900 має тільки два типи основних функціональних модулів – базова станція та виносний радіоблок. Що значно скорочує витрати на запасні частини та обслуговування. Дане обладнання має хороше пристосування до умов середовища, основні модулі легко адаптуються для умов майданчика для ефективного розгортання. Простіше кажучи відсутні додаткові витрати на будівництво приміщень для розміщення обладнання [22].

Виносний радіомодуль має наступні переваги:

- Оскільки радіомодуль DBS3900 може монтуватися на вежі, то довжина лінії живлення значно скорочується та витрати на підвідні лінії також.
- Скорочені витрати в лініях живлення призводить до збільшення коефіцієнта підсилення потужності з 3 до 5 дБ і збільшенню радіусу покриття більш ніж на 20%. Що в свою чергу дає можливість досягнення тогож покриття із меншою потужністю БС.
- Технології виносного радіомодуля значно підвищує гнучкість при проектуванні покриття вздовж залізничних колій.

DBS3900 в зазвичай, коли BBU та в RRU з'єднані, фактично представляють собою одну соту. Найбільш значуща перевага подібної схеми полягає в зниженні числа хендверів між стільниками. У порівнянні з репітером, кожен RRU може генерувати радіосигнали та управляти ними незалежно, пасивні перешкоди в проміжних вузлах не накопичуються, і DBS може управлятися цілком (BBU і все RRU) єдиним інтерфейсом обслуговування[22], обладнання показано на рис 3.9.

					PC61. 460400.001 ПЗ	Лист
						42
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

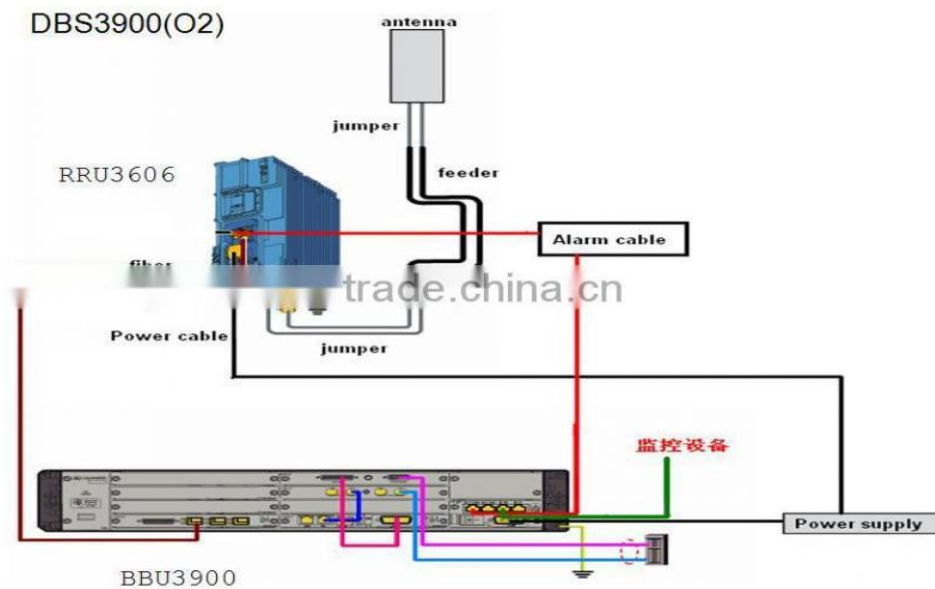


Рис 3.9 – Обладнання HUAWEI DBS3900

Схема подвійного покриття за допомогою однієї частоти дозволяє двом BTS, що працюють в активному/резервному режимі, покривати одну і ту ж зону. Крім того, в будь-який конкретний момент часу функціонує тільки один з BTS. Ці дві BTS використовують ідентичні частоти. При нормальних умовах активна BTS працює в штатному режимі, в той час як резервна BTS працює, але не передає потужність. Якщо активна BTS виходить з ладу, BSC запускає перемикання з активною на резервну BTS. При цьому раніше активна BTS знижується до статусу «резервної BTS», в той час як раніше резервна BTS підвищується до статусу «активної BTS». Дане надлишкове покриття не вимагає додаткових частот, на відміну від одиночного покриття, що підвищує експлуатаційну готовність мережі і забезпечує безперервне функціонування мережі навіть у разі відмови BTS.

RRU одночасно підключений до активних і резервним BBU. Простими словами RRU підключений до двох BBU. В нормальних умовах RRU обмінюється даними тільки з активним BBU. Використовуючи функцію надмірності BBU, RRU підтримує автоматичне перемикання CPRI-портів в разі відмови BBU. У разі відмови активного BBU, BSC здійснює перемикання з активних на резервні BBU; останні стають активними. У свою чергу RRU запускають перемикання CPRI-порту. Після перемикання RRU обмінюються даними із новими активнішими BBU.

					PC61. 460400.001 ПЗ	Лист
						43
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Маючи вдосконалену конструкцію та комплекс функцій енергозбереження ПЗ: інтелектуальне управління РА, енергоспоживання DBS3900 значно знижено. У той же час, конструкція природною віддачі тепла дозволяє радіочастотного модулю працювати без вентиляторів, що зменшує енергоспоживання, виключаючи шум і пов'язані з вентиляторами відмови.

Максимальна пропускна здатність одного стільника (20 МГц):

- пропускна здатність нисхідного каналу на рівні MAC становить 150 Мбіт/с (2x2 MIMO);
- пропускна здатність висхідного каналу на рівні MAC становить 70 Мбіт/с (2x2 MU-MIMO або 2x4 MU-MIMO).

Пропускна здатність висхідного і низхідного каналу на рівні MAC дорівнює 1500 Мбіт/сек.

Максимальна кількість UE в режимі RRC_CONNECTED на eNodeB:

- на 1,4 МГц -3024 UE;
- на 3 МГц -6480 UE;
- на 5 МГц / 10 МГц / 15 МГц / 20 МГц -до 10800 UE.

Максимальна кількість одночасних несучих частот для передачі призначених для користувача даних (DRB) на UE - 8.

Характеристики BBU3900:

- на платі UMPT
- один електричний порт FE/GE, один оптичний порт FE/GE;
- вхідна потужність - 48 В DC (діапазон напруг: від - 38,4 до - 57 В DC);
- розміри (висота x ширина x глибина) -86x442x310 мм;
- вага становить 12 кг при повній конфігурації;
- робоча температура від - 20 до + 50 °C при постійному використанні та від +50 до +55 ° C при короткочасної експлуатації;
- відносна вологість від 5 до 95%;
- клас захисту від зовнішніх впливів (IP) - IP20;
- атмосферний тиск від 70 до 106 кПа.

Характеристики віддаленого радіоблоків RRU:

- потужність на вході - 48 В DC; діапазон напруги від - 57 до - 36 В DC,

					PC61. 460400.001 ПЗ	Лист
						44
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

- експлуатують при температурі від - 40 до +50 ° С (враховуючи сонячне випромінювання 1120 Вт / м²), від - 40 до + 55 ° С (без врахування випромінювання сонця);

- відносна вологість від 5 - 100%;
- атмосферний тиск від 70 до 106 кПа.
- захит від вологи та пилу(IP) - IP65.

BBU3900 є блоком обробки базових частот для установки всередині спеціального приміщення, що забезпечує обробку сигналізації всієї системи базової станції та забезпечує опорний сигнал синхронізації, а також він забезпечує централізоване управління, експлуатацією і обслуговуванням. Даний блок має фізичні інтерфейси для з'єднання з BSC і RRU3606. BBU3900 встановлюють в статив 2U висотою і шириною 47,5 см. Блок обробки базових частот BBU3900 зображений на рис. 3.10 [22].

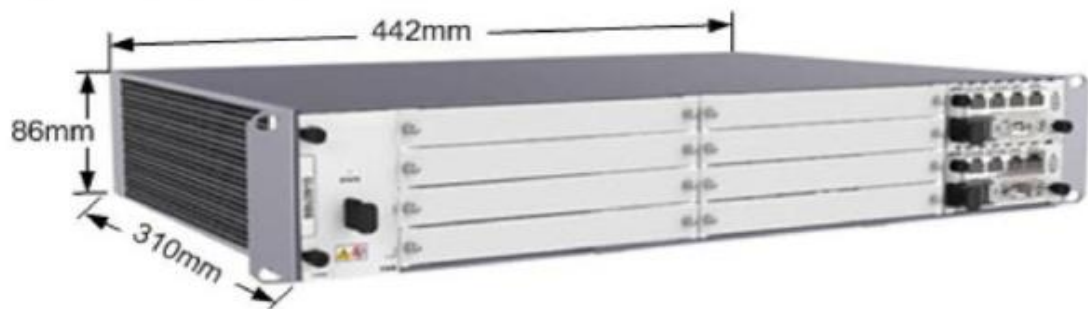


Рис 3.10 – Блок обробки базових частот BBU3900

Для моніторингу умов навколишнього середовища в BBU3900 встановлюються додаткові плати, моніторинг інтерфейсу Abis і сигналів синхронізації GPRS. BBU3900 це компактне обладнання, просте при установці. Споживає невеликий обсяг потужності і забезпечує повний спектр послуг.

Ємність:

- BBU3900 підтримує до 72 приймачів включно;
- Abis поверх IP.

Організації мережі:

- E1/T1, оптичний FE, підтримка радіорелейної та супутникової передачі.

					PC61. 460400.001 ПЗ	Лист
						45
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

- підтримка топологій: ланцюг, зірка, дерево, кільце і змішаних топологій, підтримка Flex Abis;
- можливість використання BBU3900 в GSM та UMTS;
- оптимізована передача за допомогою інтерфейсу Abis;
- підтримка виявлення та відновлення вільних пакетів BTS і BSC.

Синхронізація:

- працююча система синхронізації в режимі тільки внутрішніх коливань, система може працювати безперервно протягом 7 днів;
- підтримка різних режимів синхронізації: підтримка синхронізації з сигналом синхронізації виділеного з інтерфейсу Abis, підтримка синхронізації з системою GPS, синхронізація з зовнішнім джерелом 2 МГц BITS.

BBU3900 характеризується високою пристосованістю до умов навколишнього середовища:

- робоча температура: від мінус 20 до плюс 55 °С;
- BBU має широкий діапазон робочих напруг: від мінус 38.4 до мінус 57 V DC (номінальну напругу мінус 48 V DC);
- блок живлення перетворює 220 V AC в мінус 48 V DC для роботи BBU.

RRU 3606 - виносний радіочастотний блок. Він оброблює сигнали основних частот. Один RRU 3606 виконує функцію двох приймач. [22] Якщо два модуля RRU 3606 встановлені в підставі RRU 3606, вони виконують функцію чотирьох приймачів, його схематичне зображення показано на рис 3.11 [22].

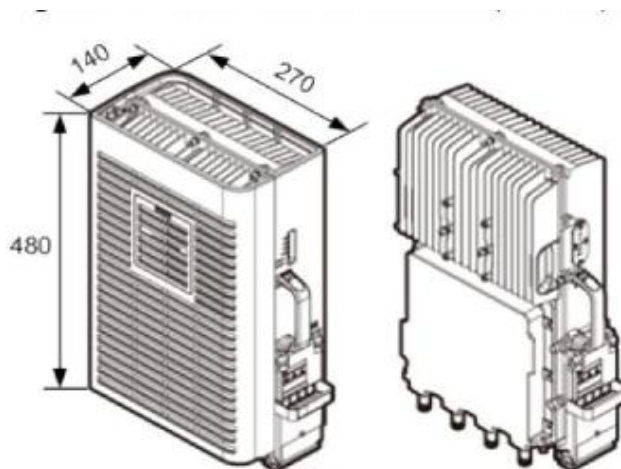


Рис. 3.11 – Схематичне зображення RRU 3606

					PC61. 460400.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		46

Один модуль RRU 3606 забезпечує два приймач. Два модуля RRU 3606 встановлені в підставиві RRU 3606, виконують функцію чотирьох приймачів.

Перевагою модуля RRU 3606 є легка конструкція та характеризується простотою установки. Встановлення модуля RRU 3606 можливе на: сталевій щоглі, стіні та бетонній основі.

RRU - обладнання, що пристосоване до різних умовах навколишнього середовища. Модуль характеризується адаптованістю до умов навколишнього середовища[22], зображений на рис 3.11:

Прокладення кабелів від БС до антени та зовнішніх радіоблоків виконується за встановленою металоконструкцією. Прокладка ведеться з використанням стандартних елементів кріплення, кабелі фіксуються за допомогою стандартних кріплень кожні 0,8 м. Монтаж секторних антен здійснюється на існуючих трубостоків. Проектом передбачено використання існуючої системи кондиціонування і охоронної пожежної сигналізації. Реальне зображення виносного радіочастотного блоку зображено на рис 3.12.



Рис. 3.12 – RRU 3606 - виносний радіочастотний блок

3.7 Висновки по розділу

В даному розділі було розраховано: пропускну можливість мержі та розрахунок зон радіо покриття для мережі LTE, проведений аналі радіопокриття, виконані розрахунки в IDE Free Pascal, виконано частотно територіальне планування та вибрано оптимальне операторське обладнання.

В розрахунках пропускну можливості мержі було перевірено чи виконує мережа свої функції в час найбільшого навантаження та чи достатня швидкість мержі. З розрахунків бачимо що мержа повністю впорується з абонентським навантаженням.

В розрахунках зон радіо покриття було вибрано на якій частоті буде працювати данна мережа та проаналізовано місцевість.

Аналі радіопокриття, показує висоту підвісу, антени потужність передавачів, затухання від відстані та визначений діаметр стільника.

Також були проведені розрахунки пропускну можливості мержі в IDE Free Pascal та звірені з теоретичними, які показали що вони майже не відрізняються.

Частотно територіальне планування в основному показує параметри планованої мережі та кількість необхідних БС для мережі LTE.

Вибрано оптимальне операторське обладнання що забезпечує оптимальне співвідношення ціна/якість та забезпечує необхідні параметри для планованої мержі.

					PC61. 460400.001 ПЗ	Лист
						48
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

4 МОДЕЛЮВАННЯ МЕРЕЖІ LTE

4.1 Моделювання карти покриття в програмі «Atoll»

Моделювання будемо проводити в програмі «Atoll», використовуючи карти місцевості з урахуванням рельєфу.

Для отримання карти рельєфу будемо використовувати сайт який надає такі послуги «<https://earthexplorer.usgs.gov>». Даний сайт використовує технологію «Google Earth». Знайдемо місцевість де буде розгорнута мережа LTE, вибране місто – Малин, яке знаходиться в Житомирській області.

Вибравши дане місто не складно замітити, що його площа більша ніж площа зазначена в пункті опис міста та показана на рис 4.1.

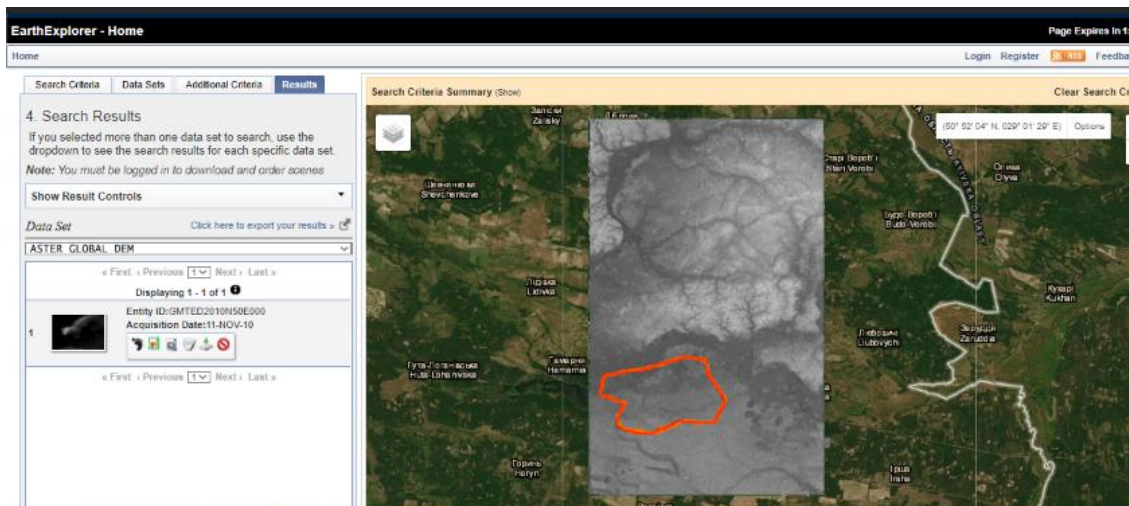


Рис 4.1 – Рельєфна карта вибраного міста на earthexplorer

Зберігаємо дану карту рельєфу місцевості, для подальшого моделювання.

Перейдемо до іншої програми «Global Mapper», де відкриємо дану карту рельєфу. Global Mapper - програмний пакет, що працює під Windows. Програма дозволяє обробляти векторну і растрову інформацію, має можливість конвертації форматів, надає інші функції типові для ГІС. Перевагою програми є відкриття майже будь-яких картографічних файлів та конвертація в ін. формати.

Основна перевага програми полягає в зручному поданні даних і в можливості відкрити майже будь-який картографічний файл.

					PC61. 460400.001 ПЗ	Лист
						49
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Основним етапом проектування мереж радіозв'язку (LTE) абонентського доступу, було виконання частотно-територіального планування, під час якого вибирається структура мережі, місця розміщення базових станцій, розробляється план розподілу радіоканалів для базових станцій, та виконується адаптація планів до умов територіальних і частотних обмежень планованої зони обслуговування.

Склавши ситуаційний план, розмістимо базові станції з урахуванням особливостей рельєфу місцевості на території міста.

Теоретично було пораховано, що мінімальна кількість БС eNB, необхідних для забезпечення стійким сигналом жителів міста. На території планованої мережі, становить 7 БС виходячи з даних порахораних в попередніх пунктах. Спираючись на ці данні, побудуємо мережу, всі БС eNB мають такі параметри:

- потужність передавачів - 42 Вт;
- висота підвісу антени - 50 м.;
- число приймачів TRX – 3(один на сектор);
- системна смуга одного сектора - 20 МГц: (10UL/10DL МГц), на частотах 880-960 МГц.
- DL лінія підтримує технологію MIMO 4x2;
- Пропускна здатність: DL лінії - 102,9 Мбіт / с, UL лінії -54,87 Мбіт / с.

Використовуючи програму «Atoll», створимо проєкт «LTE», та виконаємо експорт карти з попередньої програми «Global Mapper», внесемо ці всі дані абзацем вище в програму проєктування змінивши відповідні параметри. Вони дають змогу отримати карту покриття планованої мережі з розташуванням всіх БС eNB на їхнє місце, де вони найбільш продуктивні. На рис. 4.2 показано вікно програми «Atoll».

					PC61. 460400.001 ПЗ	Лист
						50
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

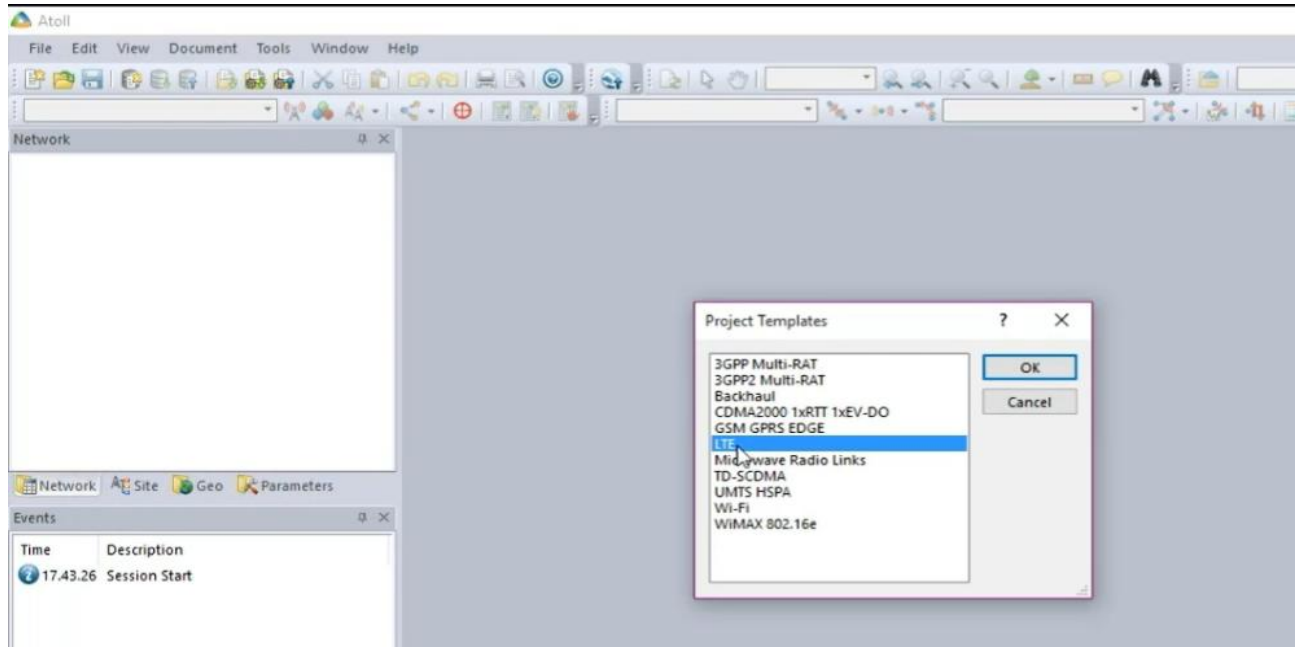


Рис 4.2 – Вікно програми «Atoll»

Спроектувавши БС eNB, та врахувавши положення нашого об'єкта проєктування отримаємо картинку по казану на рисунку 4.3.

Спроектовані eNB, встановлюються у найвищих точках міста, це показано на рисунку 4.3 різні висоти на слоях мають відповідний колір.

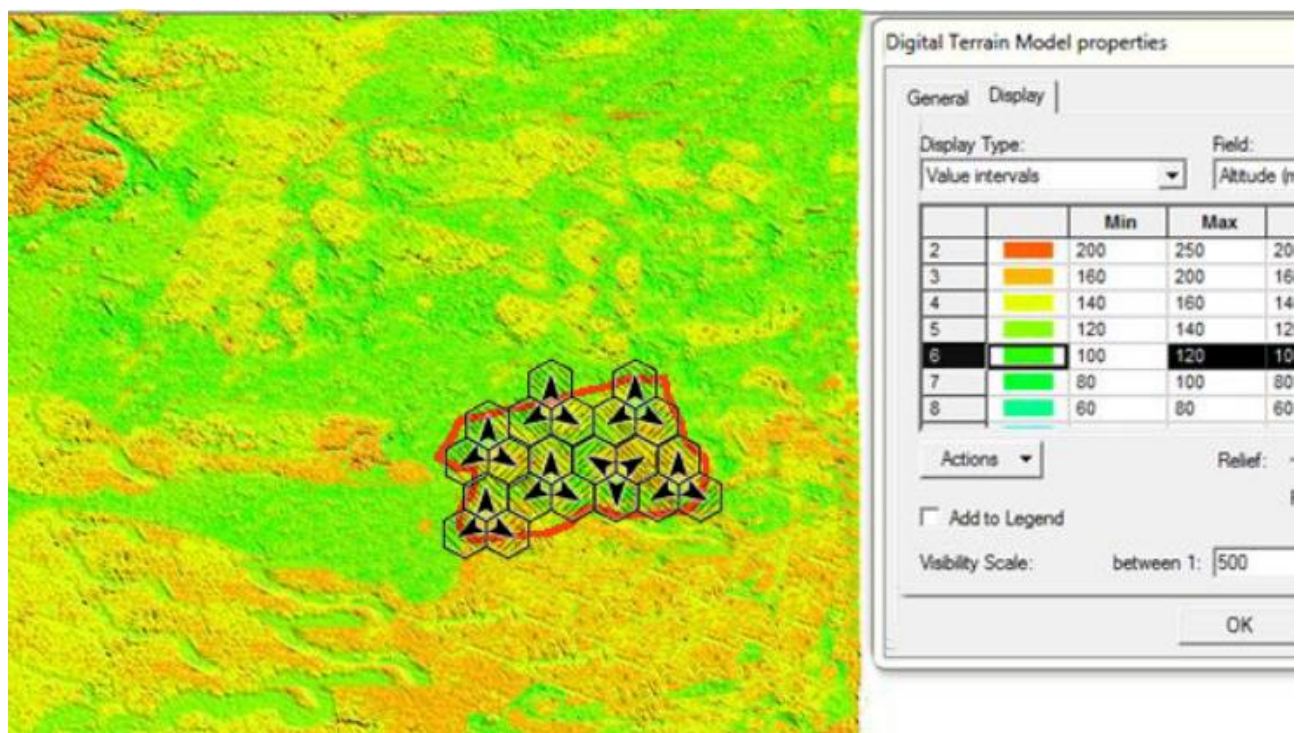


Рис 4.3 – Розміщення БС на карті рельєфу

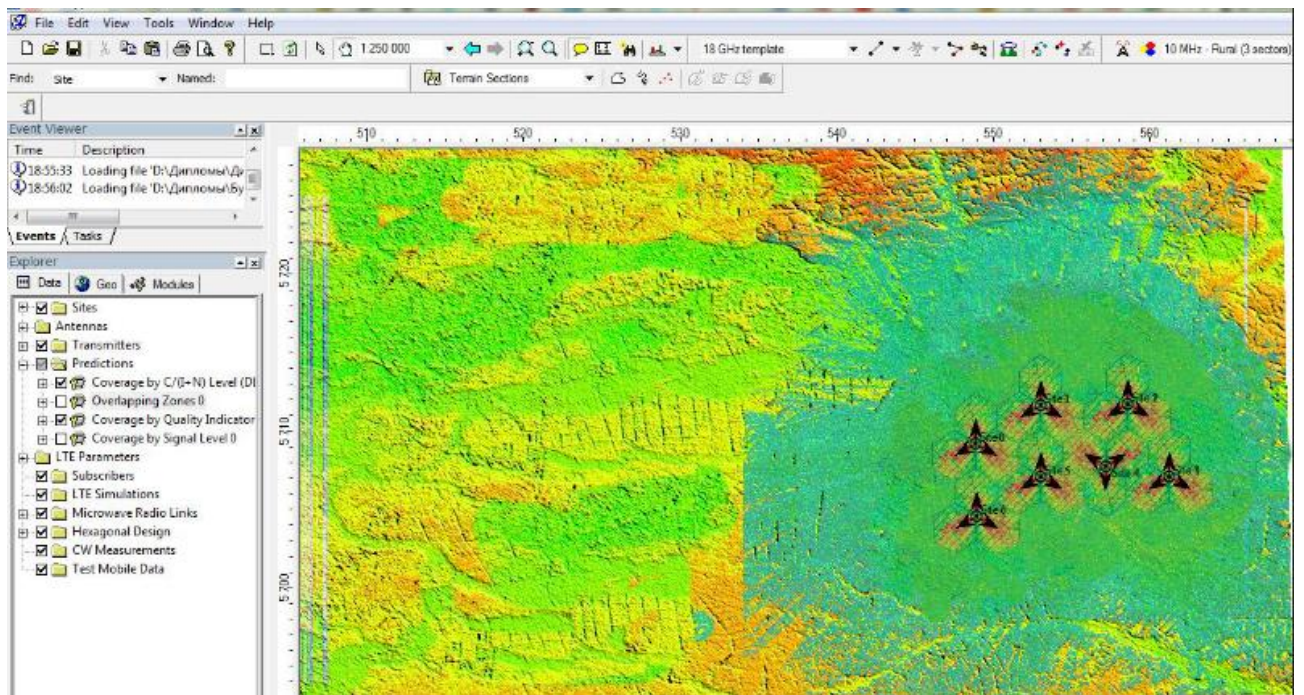


Рис 4.4 – Поширення сигналу на місцевості

Наступним кроком буде моделювання покриття за рівнем сигналу. Виконавши перенос БС на схематичну карту місцевості від Google, отримаємо такий результат рис 4.5 рівні сигналу.

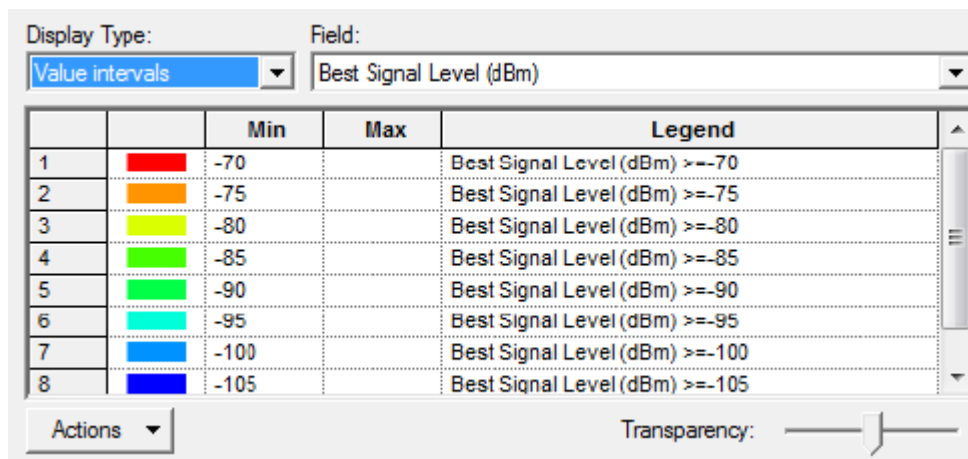


Рис 4.5 – Рівні якості сигналу за спадом

Виконаємо підстановку карти місцевості з якої видно що 7 БС достатньо для покриття вибраного міста, на рис 4.6 показано розміщення БС.

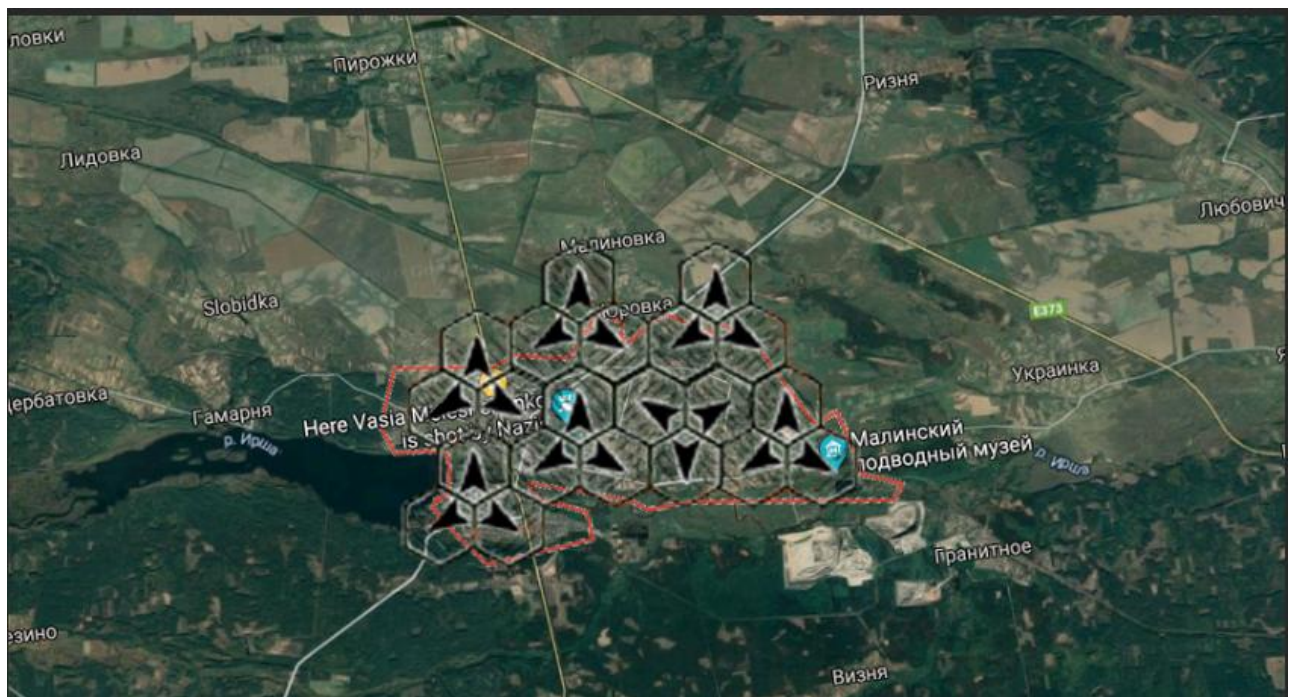


Рис 4.6 – Розміщення БС на карті місцевості та площа покриття

Виконавши попередні операції подивися поширення сигналу на карті та залежність якості сигналу від відстані, відповідний скріншот представлени на рис 4.7 та гістограма якості сигналу на рис 4.8

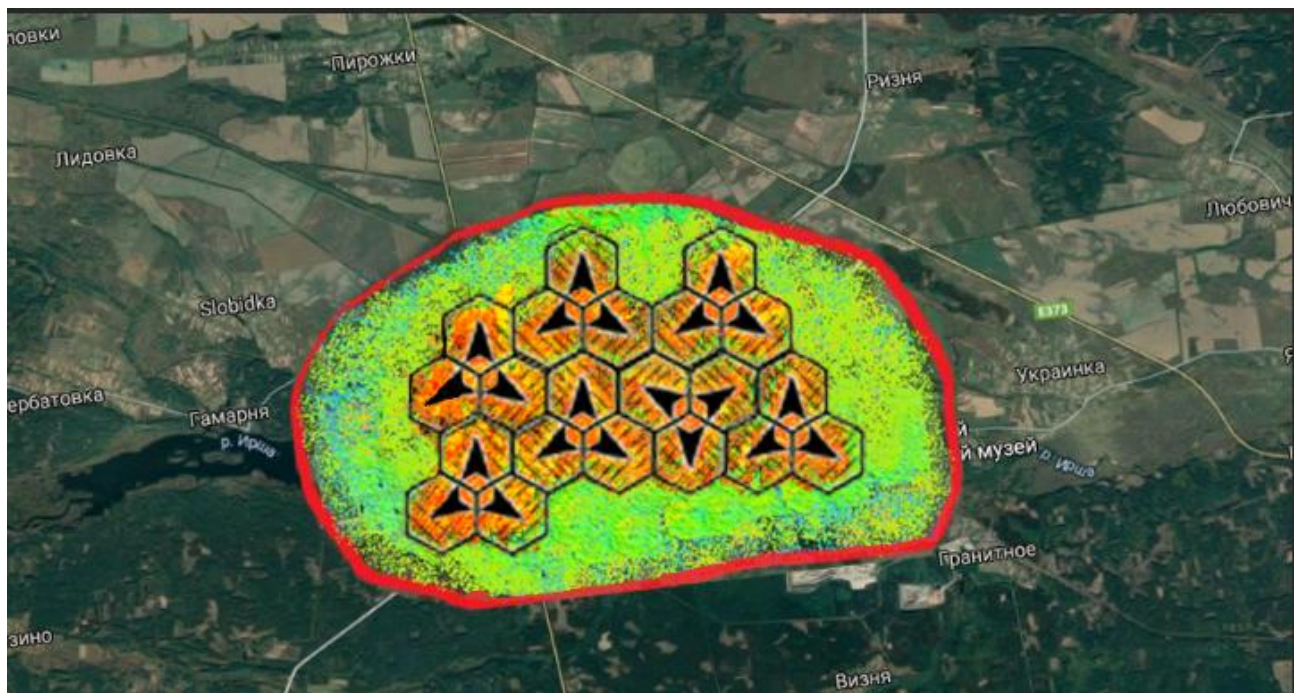


Рис 4.7 – Якість покриття сигналу для міста Малин на Google maps

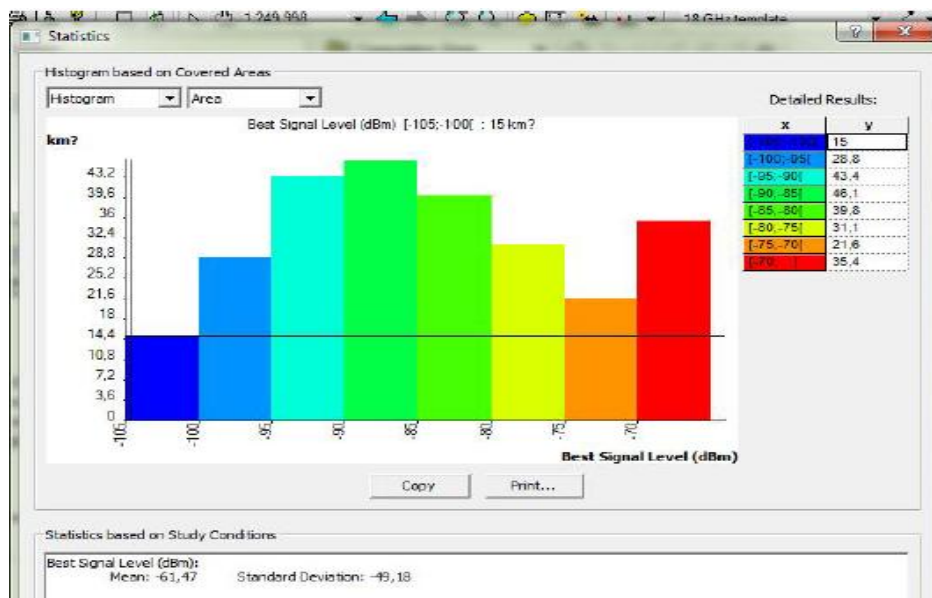


Рис 4.8 – Гістограма якості покриття

В результаті було змодельовано мережу LTE за декількома параметрами необхідними для цього. Методом точкового аналізу було розглянуто характеристики у вибраних точках міста Малин, що показали якість та покриття відповідають нормам та заявленим вимогам.

4.2. Висновки по розділу

Використано розрахунки с попередніх розділів, для розгортання мережі на території міста площею 18 км^2 . Та було використано в даному розділі.

Було виконано моделювання безпроводової мережі 4G LTE на території міста площею 18 км^2 в середовищі Atoll.

БС в основному покривають - 80% території, на якому рівень сигналу буде складати: -70...-105 дБм. Крім того, 80% території, яка забезпечена радіопокриттям, має таку пропускну здатність: 30 - 40 Мбіт/с на 39% території; 20 - 30 Мбіт/с на 10% території; 10 - 20 Мбіт/с на 17% території; 0 – 10 Мбіт/с на 34% території;

Після моделювання зробимо висновок, що планована мережа повністю задовольняє поставленні потреби в якості сигналу та швидкості мережі. Також для покриття території технологією LTE потрібно менше базових станцій, ніж UMTS, оскільки БС від 4G може обробляти більшу кількість абонентів з більшим радіусом дії, ніж 3G.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Норми і можливий вплив на населення радіо випромінювання частот 880-960 МГц

Джерела електромагнітних полів та випромінювань

На організм людини постійно діють електромагнітні поля та випромінювання. Основними їх природними джерелами є електромагнітне поле Землі, радіовипромінювання Сонця, атмосферні електричні поля тощо.

Вплив ЕМП на організм людини. Нормування електромагнітних полів.

Електромагнітні поля та випромінювання можуть негативно впливати на людину. Характер цього впливу залежить від діапазону частот, інтенсивності та тривалості дії випромінювання, розміру поверхні тіла, що опромінюється, та індивідуальних особливостей організму. Розрізняють термічну (теплову) дію та функціональні й морфологічні зміни.

Первинним проявом дії електромагнітної енергії є нагрів, який може призвести до змін і навіть до пошкодження тканин і органів тіла людини. Підвищення температури може бути загальним або мати локальний характер. Нагрів особливо небезпечний для органів зі слабкою терморегуляцією та для тих, у складі яких багато води (мозок, очі, нирки, органи кишкового та сечослатового тракту, сім'яні залози).

Незважаючи на значну кількість проведених досліджень, питання механізму впливу цього випромінювання на біологічні системи залишається ще відкритим. Точно встановленою можна вважати тільки теплову дію, а механізм і особливості впливу нетеплових форм біологічної дії ще до кінця нез'ясовані.

Нетеплова дія може бути обумовлена специфічним впливом випромінювань радіочастотного діапазону на деякі біохімічні явища: біоелектричну активність, вібрацію субмікроскопічних структур, енергетичне порушення на молекулярному рівні.

Норми електромагнітних випромінювань показані в таблиці 5.1

					PC61. 460400.001 ПЗ	Лист
						55
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.1 Державні санітарні правила та норми (ДСН 239-96) захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань

Від 300 до 3000 МГц	Від 1 до 0,1 м	Дециметрові хвилі (ультрависокі частоти, УВЧ)
---------------------	----------------	---

Електромагнітне поле у 9-11 діапазонах частот оцінюється поверхневою густиною потоку енергії, надалі ГПЕ.

Одиницею виміру ГПЕ є ват на квадратний метр - Вт/м-2 (1 Вт/м-2 = 0,1 мВт/см-2 = 100 мкВт/см-2).

Гранично допустимі рівні ЕМП для населення

Гранично допустимі рівні напруженості електричного поля (електрична складова ЕМП), що виражаються середньоквадратичним (ефективним) значенням, і рівень ГПЕ, який виражається середнім значенням, визначаються в залежності від частоти (довжини хвилі) і режиму випромінювання за таблицями 1.2 - 1.4, або за наведеними нижче залежностями.

Гранично допустимі рівні ЕМП, які створюють телевізійні радіостанції в діапазоні частот від 48 до 1000 МГц, визначаються за формулою:

$$E_{ГДР} = 21 \cdot f^{-0,37}$$

де ЕГДР - ГДР напруженості ЕМП (електричної складової ЕМП), В/м;

f - несуча частота оцінюваного каналу (каналу зображення або звукового супроводу), МГц, або за таблицею 5.1 частина якої наведена нижче.

Таблиця 5.1 ГРАНИЧНО-ДОПУСТИМІ РІВНІ

напруженості електромагнітного поля, створюваного радіопередавальними телевізійними станціями

Номер каналу	f, МГц	L, м	ГДР, В/м
1	48,5 ... 56,5	5,72	4,9
2	58 ... 66	4,84	4,6
3	76 ... 84	3,75	4,2
4	84 ... 92	3,41	4,0

5	92 ... 100	3,13	3,9
---	------------	------	-----

ГДР напруженості електромагнітного поля для частот 880-960 МГц

$$E_{\text{ГДР}} = 21 \cdot f^{-0,37} = 21 \cdot 880^{-0,37} = 1.7 \text{ В/м}$$

$$E_{\text{ГДР}} = 21 \cdot f^{-0,37} = 21 \cdot 960^{-0,37} = 1.66 \text{ В/м}$$

Граничнодопустимий рівень ЕМП для РТО, що працюють у діапазонах ультрависоких частот, встановлюється на рівні 6 В/м.

Оскільки люди в основному не взаємодіють із базовою станцією, яка в стільниковому зв'язку - комплекс радіопередавачів (ретранслятори, прийомопередавачі), що здійснює зв'язок з кінцевим абонентським пристроєм - мобільним телефоном та забезпечує його покриттям мережі одного з операторів зв'язку.

То слід зазначити, що сучасні термінали стільникового зв'язку випромінюють, в середньому, 0,1-1 Ватт. При цьому вони перебувають у прямому контакті з організмом людини. Зважаючи на те, що рівень ЕМП спадає пропорційно квадрату відстані - термінали, як правило, мають набагато більший негативний вплив на стан здоров'я користувача, ніж БС, яка ніколи не перебуває у прямому контакті з людиною.

Тому БС зможуть працювати з використанням вищої потужності, а це забезпечить краще покриття та кращу якість, стабільність і швидкість передачі даних у мережі.

Таким чином, дотепер низький рівень ЕМП БС сприяв підвищенню рівнів напруги та випромінювання терміналів стільникового зв'язку, які значно перевищують європейські та світові показники. Це, за умови частого і тривалого використання, могло зашкодити здоров'ю людини. Отже, зменшення відповідних ризиків можна буде тепер забезпечити за рахунок мінімально необхідного підвищення ГДР ЕМП БС. На рис 6.1 показана антена яка під'єднується до БС та надає покриття мережі.

					PC61. 460400.001 ПЗ	Лист
						57
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 6.1 – Антена БС встановлена на вишці

Так як антени встановлюються в основному або на вишках або на криші багато поверхівок, тому не перебувають у прямому контакті з людиною. Таким чином вплив антен БС мережі LTE на людину -є незначний яким можна знехтувати.

5.2 Робота за ПЕОМ

Організація робіт на комп'ютеризованому робочому місці

Оскільки базові станції після налаштування працюють в автономному режимі, то працівники що її обслуговують основний час перебувають в офісах. Де більшість робочих місць обладнано персональними комп'ютерами. Згідно з вимогами діючих нормативних актів облаштування робочих місць з комп'ютером та враховано такі НШВЧ:

- нервово-психічні перевантаження;
- електромагнітні випромінювання радіочастотного діапазону та промислової частоти;

- електростатичне поле між екраном та оператором;
- наявність пилу, озону, оксидів азоту та аероіонізації.

Також на робочих місцях з комп'ютерами необхідно забезпечувати:

- належні умови освітлення приміщення і робочого місця, відсутність відблисків;

- оптимальні параметри мікроклімату (температура, відносна вологість та швидкість руху повітря, рівень іонізації повітря);
- належні ергономічні характеристики основних елементів робочого місця. [23, 24].

Розрахунок загального освітлення

Площа, яку необхідно виділяти для одного робочого місця з комп'ютером повинна складати не менше 6 м², а об'єм – не менше 20 м³. Робочі місця з комп'ютером відносно світлових віконних прорізів повинні розміщуватися так, щоб природне світло падало збоку і переважно зліва.

Розміри офісу: А = 8 м, шириною В = 6 м, висотою Н = 3 м

В даному офісі знаходиться 6 комп'ютерів, що є трохи з запасом:

$$S_{\text{оф}} = 6 \cdot 8 = 48 \text{ м}^2$$

$S_{\text{оф}}$ – площа офісу

$$S_{\text{о.к}} = \frac{48}{6} = 8 \text{ м}^2$$

$S_{\text{о.к}}$ – площа виділена під один комп'ютер.

Як сказано вище об'єм під один комп'ютер потрібно виділити 20 м³

$$V = 6 \cdot 8 \cdot 3 = 144 \text{ м}^3$$

V – загальний об'єм офісу

$$V_o = \frac{144}{6} = 24 \text{ м}^3$$

V_o – об'єм під один комп'ютер

Метод коефіцієнта використання. Розрахуємо загальне освітлення для офісного приміщення довжиною А = 8 м, шириною В = 6 м, висотою Н = 3 м з білим підвісною стелею, побіленими стінами і з вікнами з відкритими жалюзі. Нормовану освітленість вибираємо для машинописних і машинолічильні бюро, вона дорівнює $E = 400$ лк. приймаємо систему загального освітлення люмінесцентними лампами ЛД потужністю 40 Вт, з світловим потоком $\Phi_0 = 2340$ лм, діаметром 40 мм, довжиною 1,2 метра [26].

					PC61. 460400.001 ПЗ	Лист
						59
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Світильники типу ЛВО01 (по чотири лампи в світильнику), що вбудовуються в підвісні стелі. Коефіцієнти відбиття стелі, стін, підлоги – $\rho_{\text{стел}} = 70\%$, $\rho_{\text{стін}} = 50\%$, $\rho_{\text{підл}} = 30\%$.

Розрахункова висота підвісу - робоча поверхня знаходиться на висоті $h_{\text{рт}} = 1,2$ метра від підлоги, висота схилю ламп - $h_{\text{сл}} = 0$ метрів, отже:

$$h = H - (h_{\text{рт}} - h_{\text{сл}}) \quad 6.1$$

$$h = 3 - (1.2 - 0) = 1.8(\text{м})$$

Найвигідніша відстань між світильниками визначається як ($\lambda = 1,2 \div 1,4$):

$$z = h \cdot \lambda$$

$$z = 1.4 \cdot 1.8 = 2.5(\text{м})$$

Приймаємо 3 ряди світильників з відстанню від стін по 0,5 метрів, а між рядами 2,5 метра.

Визначаємо індекс приміщення:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)}$$

$$i = \frac{6 \cdot 8}{1.8 \cdot (6 + 8)} = 1.9$$

Тоді коефіцієнт використання:

$$\eta = 68\%$$

Коефіцієнт запаса:

$$K_3 = 1.5$$

Необхідна кількість світильників:

$$N = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot z}{n \cdot \eta \cdot \Phi_{\text{л}}}$$

$$N = \frac{400 \cdot 1.5 \cdot 48 \cdot 2.5}{4 \cdot 2340 \cdot 0.68} = 12(\text{шт})$$

Розміщуємо в один ряд чотири світильника з відстанню між ними 0,4 метра (рис. 6.2). Всього для створення нормованої освітленості 400 лк необхідно 48 ламп ЛД потужністю 40 Вт:

					PC61. 460400.001 ПЗ	Лист
						60
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

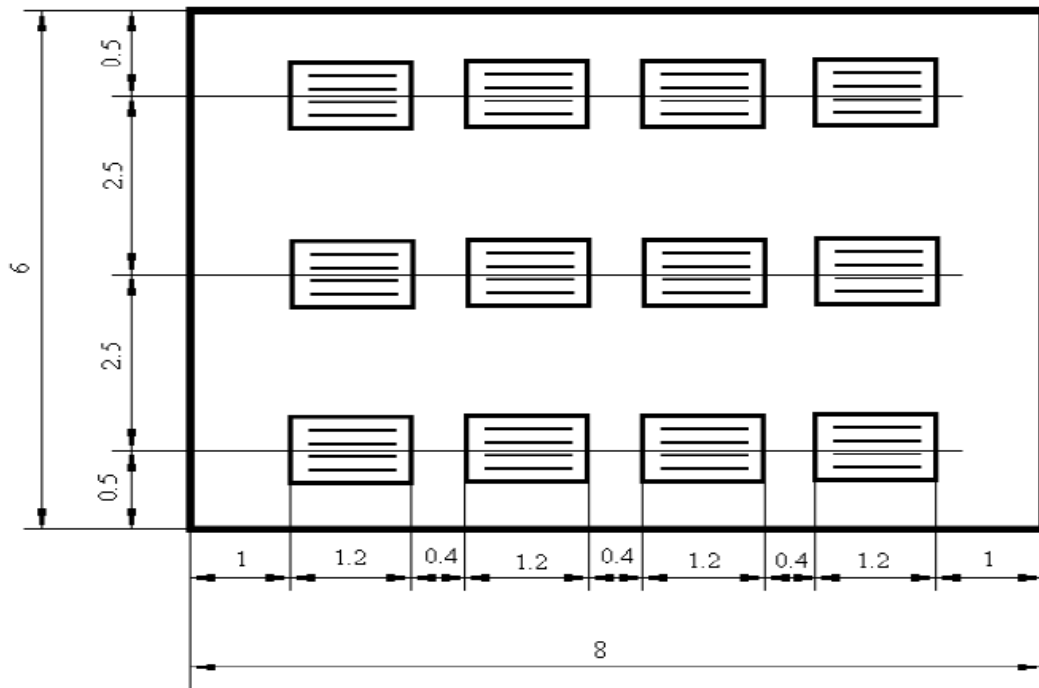


Рис 6.2 – Розміщення світильників

Точковий метод. Вибираємо контрольну точку О (Рис 6.3).

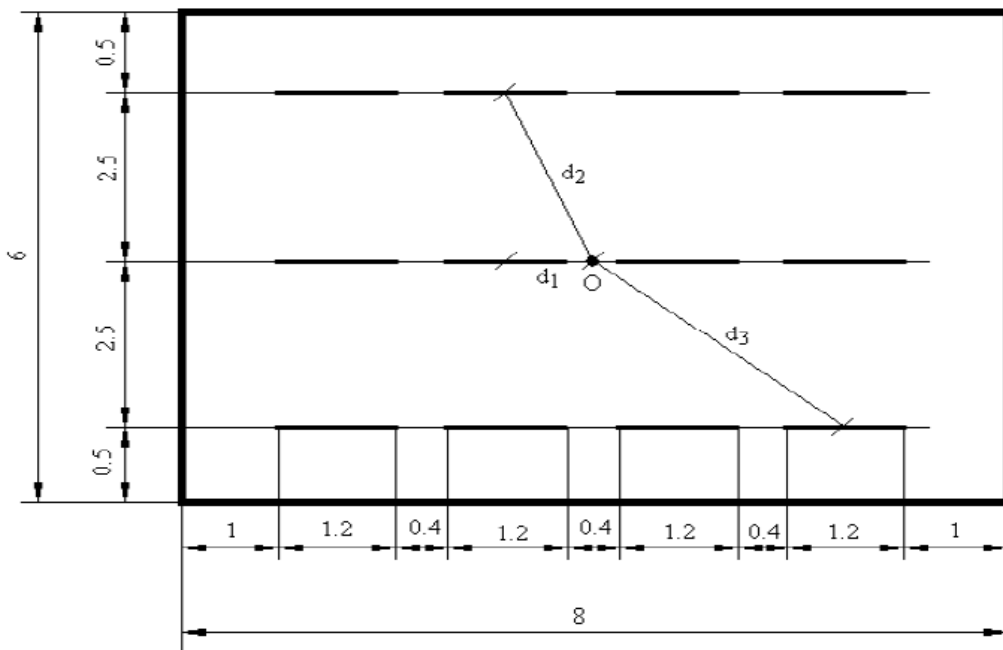


Рис 6.3 – Схема для розрахунку освітленості точковим методом

Для найближчих двох світильників:

$$d1 = 0.8(\text{м}); \quad h1 = \sqrt{1.8^2 + 0.8^2} = 1.97(\text{м})$$

$$\sin(\alpha) = \frac{d1}{h1} = \frac{0.8}{1.97} = 0.406; \quad \alpha = 24^\circ(\text{deg})$$

Сила світла для нашого типу світильника та $\alpha = 24^\circ$ $I = 116(\text{кд})$

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PC61. 460400.001 ПЗ

Лист

61

Освітленість:

$$E = \frac{I \cdot \cos(\alpha)}{r^2}$$

$$E = \frac{116 \cdot 0.914}{1.97^2} = 27.3(\text{лк})$$

Тоді освітленість в точці О від чотирьох світильників по 4 лампи в кожному:

$$E1 = 2 \cdot 4 \cdot E = 2 \cdot 4 \cdot 27.3 = 218.4(\text{лк})$$

Для найближчих чотирьох світильників:

$$d2 = \sqrt{0.8^2 + 2.5^2} = 2.63(\text{м}); h2 = \sqrt{1.8^2 + 2.63^2} = 3.19(\text{м})$$

$$\sin(\alpha) = \frac{d2}{h2} = \frac{2.63}{3.19} = 0.824; \alpha = 56^\circ(\text{deg})$$

Сила світла для нашого типу світильника та $\alpha = 56^\circ$ $I = 54(\text{кд})$

Освітленість:

$$E = \frac{54 \cdot 0.559}{3.19^2} = 2.97(\text{лк})$$

Тоді освітленість в точці О від чотирьох світильників по 4 лампи в кожному:

$$E2 = 4 \cdot 4 \cdot E = 4 \cdot 4 \cdot 2.97 = 47.52(\text{лк})$$

Для віддалених чотирьох світильників:

$$d3 = \sqrt{2.4^2 + 2.5^2} = 3.47(\text{м}); h3 = \sqrt{3.47^2 + 1.8^2} = 3.91(\text{м})$$

$$\sin(\alpha) = \frac{d3}{h3} = \frac{3.47}{3.91} = 0.887; \alpha = 63^\circ(\text{deg})$$

Сила світла для нашого типу світильника та $\alpha = 63^\circ$ $I = 20(\text{кд})$

Освітленість:

$$E = \frac{20 \cdot 0.454}{3.91^2} = 0.594(\text{лк})$$

Тоді освітленість в точці О від чотирьох світильників по 4 лампи в кожному:

$$E3 = 4 \cdot 4 \cdot E = 4 \cdot 4 \cdot 0.594 = 9.44(\text{лк})$$

Сумарна умовна освітленість в точці О:

					PC61. 460400.001 ПЗ	Лист
						62
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sum E = E1 + E2 + E3$$

$$\sum E = 218.4 + 47.52 + 9.44 = 275.36(\text{лк})$$

Світловий потік лампи в кожному світильнику:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{1000 \cdot E \cdot K_3}{\mu \cdot \sum E}$$

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{1000 \cdot 400 \cdot 1.5}{1.1 \cdot 275.36} = 1981(\text{лм})$$

Таким чином, обраний тип люмінесцентної лампи ЛД потужністю 40 Вт і світловим потоком $\Phi_{\text{О}} = 2\,340$ лм є достатнім для забезпечення нормованої освітленості в офісі.

Розрахунок системи кондиціонування

При розрахунку системи кондиціонування потрібно виходити з необхідності видалення з виробничого приміщення всіх шкідливих чинників, т. е. надлишків тепла, вологи, парів, газів і пилу [25].

Теплопоступлення і тепловтрати в результаті різниці температур.

Кількість тепла, що надходить в приміщення в результаті різниці температур визначається за формулою:

$$Q_{\text{огр}} = V_{\text{прим}} \cdot X_0 \cdot (t_{\text{зроз}} - t_{\text{вроз}})$$

де $V_{\text{прим}} = 8 \cdot 6 \cdot 3 = 144^3$ – об'єм приміщення;

$X_0 = 0.42 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \text{°C}$ – питома теплова характеристика;

$t_{\text{зроз}} = 27.6^{\circ}$ – розрахована зовнішня температура для теплого періоду року;

$t_{\text{зроз}} = -10^{\circ}$ – розрахована зовнішня температура для холодного періоду року;

$t_{\text{вроз}} = 22^{\circ}$ – розрахована зовнішня температура для теплого періоду року;

$t_{\text{вроз}} = 19^{\circ}$ – розрахована зовнішня температура для холодного періоду року;

Тоді теплопо-отримання для теплого періоду року складуть:

					PC61. 460400.001 ПЗ	Лист
						63
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_{огр} = 144 \cdot 0.42 \cdot (27.6 - 22) = 338.7 \text{ (Вт)}$$

А тепловтрати для холодного періоду року складуть:

$$Q_{огр} = 144 \cdot 0.42 \cdot (-10 - 19) = -1753.9 \text{ (Вт)}$$

Теплопо-отримання від сонячного випромінювання через скло.

Надлишкова теплота сонячного випромінювання в залежності від типу скла майже до 90% поглинається середовищем приміщення, інша частина відбивається. Максимальне теплове навантаження досягається при максимальному рівні випромінювання, яке має пряму і розсіяну складові. Інтенсивність випромінювання залежить від широти місцевості, пори року, часу доби.

Площа стрічкового скління офісу (3 вікна - 2 х 1.8 метра,напрямок на північ «С»):

$$F0 = 3 \cdot 2 \cdot 1.8 = 10.8 \text{ (м}^2\text{)}$$

Коефіцієнт теплопропускання для відкритих жалюзі:

$$\beta_{ж} = 0.15$$

Для направлення на північ «С» до опівдня, т. Е. З початку зайнятості з 9 до 12 годин при широті 50° с. ш. значення прямої радіації (П):

$$q_{вп} = 0 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right)$$

а розсіяної радіації (Р):

$$q_{вр} = 64 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right)$$

Після полудня для направлення на північ «С», починаючи з 12-13 годин:

$$q_{вп} = 0 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right); \quad q_{вр} = 59 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right)$$

В діапазоні широт 44-68° п. ш. для подвійного скління в металевих палітурках для всього робочого дня коефіцієнт, що враховує затемнення світловихотворів:

$$K1 = (K1)^T = 1.15$$

оскільки отвір з орієнтацією на північ затемнений протягом усього робочого дня.

Коефіцієнт, що враховує помірне забруднення скління:

					PC61. 460400.001 ПЗ	Лист
						64
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K2 = 0.9$$

Теплонадходження в період від 9 до 14 годин визначимо за формулою:

$$Q_{p1} = q_{вр} \cdot (K1)^T \cdot K2 \cdot \beta_{ж} \cdot F0$$

$$Q_{p1} = 64 \cdot 1.15 \cdot 0.9 \cdot 0.15 \cdot 10.8 = 107.3 \text{ (Вт)}$$

Теплонадходження в період від 14 до 20 годин:

$$Q_{p2} = 59 \cdot 1.15 \cdot 0.9 \cdot 0.15 \cdot 10.8 = 98.9 \text{ (Вт)}$$

Приймемо за максимальний розрахунковий час 9-10 годин, коли теплонадходження від сонячної радіації становить 107.3 Вт.

Теплонадходження від людей. В офісі при температурі 23° знаходиться одночасно 8 осіб. Один людина при температурі 23° в положенні сидячи виділяє явного тепла 67 Вт.

Виділення явного тепла людьми в офісі складе:

$$Q_{л} = 67.8 = 536 \text{ (Вт)}$$

Теплонадходження від освітлювальних приладів та оргтехніки.

Теплонадходження від ламп визначається за формулою:

$$Q_{осв} = \eta \cdot N_{осв} \cdot F0$$

Коефіцієнт переходу електричної енергії в теплову для люмінесцентних ламп:

$$\eta = \frac{0.5}{0.6}$$

Встановлена потужність ламп:

$$N_{осв} = 40 \text{ (Вт)}$$

Площа підлоги:

$$F_{під} = 6.8 = 48 \text{ (м}^2\text{)}$$

Тоді:

$$Q_{осв} = 0.6 \cdot 40 \cdot 48 = 1152 \text{ (Вт)}$$

Теплопритоки, що виникають за рахунок знаходження в офісі оргтехніки, в середньому становлять 300 Вт на один комп'ютер:

$$Q_{орг} = 300 \cdot 9 = 2700 \text{ (Вт)}$$

Тоді загальний баланс теплонадходжень визначається формулою:

					PC61. 460400.001 ПЗ	Лист
						65
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q = Q_{\text{орг}} + Q_{\text{осв}} + Q_{\text{л}} + Q_{\text{р}} + Q_{\text{огр}}$$

Дорівнюватиме для теплого періоду року:

$$Q = 338.7 + 107.3 + 536 + 1152 + 2700 = 4834(\text{Вт})$$

Для холодного періоду року:

$$Q = -1753.9 + 107.3 + 536 + 1152 + 2700 = 2741.1 (\text{Вт})$$

Вибір кондиціонера спліт-системи.

Таблиця 5.2 - Технічні характеристики настінного кондиціонера фірми Delondhi

Модель	CP 40
Ел. Живлення, В/ф/Гц	230/1/50
Продуктивність по холоду, Вт	5073
Споживана ел. Потужність, Вт	1 603
Струм, А	6,9
Видалення вологи (max), л / 4	2,2
Продуктивність по теплу, Вт	5 542
Внутрішній блок	
Витрата повітря (max), м3 / год	640
розміри:	
- довжина	967
- висота	300
- глибина	195
зовнішній блок	
Витрата повітря (max), м3 / год	2 200
розміри:	
- довжина	800
- висота	640
- глибина	280

ВИСНОВКИ

Отже, в даному дипломному проєкті була спроектована мержа LTE, виконане частотно-територіальне планування, де було визначено основні параметри БС: Робоча частота -880-960 МГц;

- Кількість БС -7;
- Тип дуплексу – частотний FDD.
- Потужність передавачів - 42 Вт;
- Висота підвісу антени - 50 метри;
- Число приймачів TRX - 3

Розраховано пропускну здатність мережі, яка дорівнює 2372 Мбіт/с, а загальний трафік в ЧНН(час найбільшого навантаження) – 1810, оперуючи даними цих розрахунків прийдемо до висновку, що перенавантаження мережі не буде відбуватися в ЧНН. Далі було вибрано обладнання оператора від Huawei Technologies, а саме БС DBS3900. В четвертому розділі було виконано моделювання мережі в програмі «Atoll» та розміщено БС на території міста. Та показано що 7 стільників достатньо для покриття міста хорошим сигналом мержі LTE.

					PC61. 460400.001 ПЗ	Лист
						67
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Dahlman E., Parkvall S., Skold J. 4G: LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband. – Oxford : Academic Press, Second edition, 2013. – 514 p.
2. Кнауб С. Технологія LTE / С. Кнауб // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції студентства та молоді «Світ телекомунікацій та інформатизації», 24 грудня 2015 р. – Київ: ДУТ 2015. — С. 33 – 35.
3. Толубко В. Б., Беркман Л. Н., Козловський В. В. Телекомунікаційні системи та мережі. Проектування та експлуатація : підручник. – Київ : Центр навчальної літератури, 2018. – 464 с.
4. Касьян Д. Доцільність впровадження технології LTE / Д. Касьян // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції студентства та молоді «Світ телекомунікацій та інформатизації». Київ, 24 грудня 2015 р – Київ: ДУТ 2015. – С. 24 – 26.
5. Гнитецький В.А. Побудова мобільної мережі на основі технології 4G / В.А. Гнитецький, А.В. Булашенко // Матеріали III Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів та аспірантів «Радіоелектроніка в XXI столітті». – Київ: КПІ, 12-14 травня 2020 р. – С. 15-17.
6. Клімаш М. М. Проектування систем радіодоступу четвертого покоління LTE : навч. посіб. / М. М. Клімаш, О. А. Лаврів, В. О. Пелішок. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2014. – 216 с.
7. Ємельянова В. Впровадження мереж наступного покоління / В. Ємельянова // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції студентства та молоді «Світ телекомунікацій та інформатизації». Київ, 24 грудня 2015 р – Київ: ДУТ 2015. – С. 26 – 32.
8. Учебні матеріали та реферати / Системи мобільного зв'язку третього і четвертого покоління. Стандарти бездротового абонентського доступу [Електронний ресурс]. – <http://um.co.ua/10/10-8/10-88893.html>
9. Буснюк Н. Системы мобильной связи: учебное пособие / Н. Буснюк, Г. Мельянец – Минск, 2018.–154 с.

					PC61. 460400.001 ПЗ	Лист
						68
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

10. Wang W., Hu M., Zhang H., Li Z. Improved Cross-Entropy-Based Tone Injection Scheme With Structured Constellation Extension Design for PAPR Reduction of OFDM Signals // IEEE Transactions on Vehicular Technology. – 2018. – Vol. 67, No. 4. – P. 3284–3294.

11. Love D. J., Heath R. W., Lau V. K. N. An overview of limited feedback in wireless communication systems // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. – 2008. – Vol. 26, No. 8. – P. 1341–1365.

12. Поповський В. В., Сабурова С. О. Математичні моделі каналів зв'язку MIMO з просторовим мультиплексуванням у системах 4G // Радіотехніка : всеукр. міжвідом. наук.-техн. зб. – 2015. – Вип. 182. – С. 45–52.

13. Andrews J. G., Singh S., Ye Q. An overview of load balancing in heterogenous cellular networks // IEEE Wireless Communications. – 2014. – Vol. 21, No. 2. – P. 106–113.

14. Taleb T., Samdanis K., Mada B. On Multi-Access Edge Computing: A Survey of the Emerging 5G Network Architecture // IEEE Communications Surveys & Tutorials. – 2017. – Vol. 19, No. 3. – P. 1657–1681.

15. Гнитецький В.А. Використання прямих з'єднань у системі вивантаження даних D2D із мережевим кодуванням / В.А. Гнитецький, А.В. Булашенко // Матеріали III всеукраїнська науково-технічна конференція студентів та аспірантів «Радіoeлектроніка в XXI столітті». — Київ: КПІ, 12-15 травня 2020. — С. 13 – 14.

16. Korowajczuk L. LTE, WIMAX and WLAN network design, optimization and performance analysis / L. Korowajczuk. – USA, 2011. – 701 p.

17. Рыжков А.Е. Системы и сети радиодоступа 4G: LTE, WIMAX: учебное пособие / А.Е. Рыжков. – СПб: Линк. 2012. – 226 с.

18. Luis Correia. Mobile broadband multimedia networks. Techniques, models and tools for 4G / John Wiley and Sons, New York, USA, 2006. – 599p.

19. Пилипенко А.М., Ефремов С.А. Проектирование беспроводной городской сети связи четвертого поколения // Современные научные исследования и инновации. – 2015. – № 12 [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/12/61436>

					PC61. 460400.001 ПЗ	Лист
						69
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

20. Sesia S., Toufik I., Baker M. LTE – the UMTS long term evolution: from theory to practice. 2nd ed. – John Wiley & Sons Ltd, 2011.

21. Варукина Л. Упражнение по планированию радиосетей LTE [Электронный ресурс]: Мобильный Форум, 2011. – URL: <http://www.mforum.ru/news/article/097078.htm>

22. DBS3900 Distributed Base Stations [Электронный ресурс] // huawei technologies. – 2018. – Режим доступа до ресурсу: <https://e.huawei.com/en/material/wireless/mccs/5a8d167367c6400899e476a22dfb90c4>.

23. ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин». №382/3675 , 1998 р.

24. НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями Наказ Міністерства соціальної політики України 14.02.2018 № 207. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 25 квітня 2018 р. за № 508/31960. Офіційний вісник України від 18.05.2018 — 2018 р., № 38, стор. 121, стаття 1352, код акта 90123/2018.

25. ДСН 3.3.6.042-99 „ Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень” - К.: МОЗ.

26. ДБН В. 2. 5. – 28– 2018 «Природне і штучне освітлення».

27. Гельгор А.Л. Технология LTE мобильной передачи данных: учеб. пособие / Гельгор А.Л., Попов Е.А. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. — 204 с.

					PC61. 460400.001 ПЗ	Лист
						70
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А

Схема організації мережі

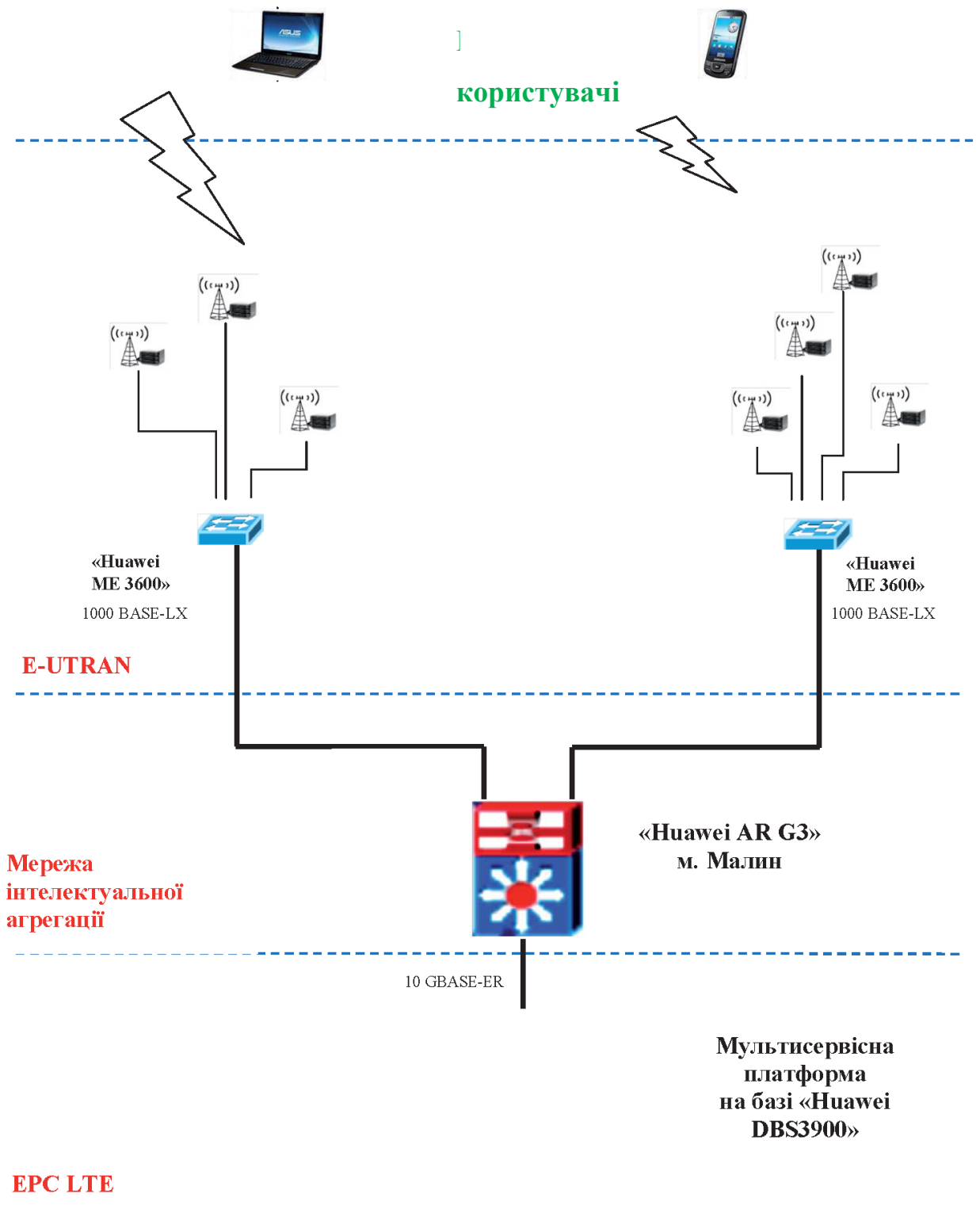


Рис А.1 - Проектована схема організації зв'язку мережі LTE в м. Малин

					PC61. 460400.001 ПЗ	Лист
						71
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		