

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОНІКИ І КОМП'ЮТЕРНОЇ ТЕХНІКИ

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

До кваліфікаційної роботи бакалавра на тему:

Проектування мережі 4G у місті Шостка

Завідувач кафедри

Керівник кваліфікаційної роботи

Студент гр. ТК-71

Опанасюк А. С.

Гриненко В. В.

Бойко Б. Р.

Суми – 2021 р.

Сумський Державний Університет

Факультет ЕЛІТ

Кафедра електроніки і комп'ютерної техніки

Напрямок підготовки: 6.172 «Телекомунікації та радіотехніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри Опанасюк А. С.

«__» _____ 20 __ р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

студенту **Бойку Богдану Руслановичу**

1. Тема проекту: **«Проектування мережі 4G у місті Шостка»**
Затверджено наказом по кафедрі від «05» 04 2021 р. № 0154-VI
2. Термін здачі студентом закінченої роботи 09. 06. 2021 р.
3. Вихідні дані до роботи проекткування мережі у м. Шостка, населення – 74000 чол., площа міста – 43,69 км², густина населення – 1717 чол/км², висота над рівнем моря – 154 м.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці)
1. Огляд літератури. 2. Постановка мети роботи. 3. Аналіз технології LTE. 4. Проведення відповідних розрахунків. 5. Моделювання мережі LTE.
5. Перелік графічного матеріалу (з точними зазначенням обов'язкових краслень)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п\п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1	Огляд необхідної літератури	24.04.2021	
2	Узагальнення інформації та опис технології LTE	29.04.2021	
3	Здійснення ретельного аналізу компонентів LTE	10.05.2021	
4	Проведення розрахунку необхідних параметрів	17.05.2021	
5	Моделювання мережі в програмі Atoll	24.05.2021	
6	Формування висновків та остаточне оформлення роботи	31.05.2021	
7	Здача кваліфікаційної роботи на рецензію		

Студент-дипломник _____ Бойко Б. Р.

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Гриненко В. В.

« _____ » _____ 2021 р.

РЕФЕРАТ

Дана робота присвячена організації бездротової мережі із застосуванням технологій LTE в місті Шостка Сумської області. Зміст кваліфікаційної роботи полягає в аналізі основних принципів проектування мережі LTE на певній території.

Метою кваліфікаційної роботи бакалавра є проведення дослідження змодельованої мережі, опис її особливостей, також були здійснені відповідні розрахунки, які необхідні для подальшого проектування. В матеріалах роботи було описано алгоритм знаходження оптимальної місцевості для розгортання мережі, використовувалось відповідне програмне забезпечення для створення моделі мережі.

Актуальність даної роботи полягає в тому, що обмін інформацією сьогодні присутній у всіх сферах діяльності людей і є однією з важливих складових ефективного функціонування підприємств різних форм власності. Інтенсивний розвиток глобальної мережі Інтернет, впровадження повсюдно нових пристроїв зв'язку, що використовують прогресивні методи кодування, це все призвело до розвитку бездротових мереж.

Не дивлячись на інтенсивний розвиток технологій стільникового зв'язку, мережі 4-го покоління все ще залишаються одними з найперспективніших варіантів для забезпечення зв'язком території країни.

Кваліфікаційна робота бакалавра сформована з 61 сторінок тексту, 34 рисунків та 3-х таблиць, використовувалось 18 літературних джерел.

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ	4
ВСТУП.....	5
1. Загальні відомості про покоління стільникового зв'язку. Огляд технології LTE.....	7
1.1 Основні відомості про стандарти стільникового зв'язку та поширення їх у світі	7
1.2. Технологія LTE та її представлення на території України.....	13
1.3. Загальні відомості про об'єкт проектування.....	18
2. Розгляд основних характеристик LTE та аналіз технічної складової.....	20
2.1 Розвинення стандарту.....	20
2.2 Мережева архітектура стандарту LTE.....	21
2.3 Радіоінтерфейс технології LTE.....	26
2.4. Детальний огляд технології OFDMA.....	30
2.5 Технологія MIMO.....	33
3. Розрахунок основних параметрів мережі LTE, що проектується.....	36
3.1 Розгляд алгоритму проектування мережі LTE.....	36
3.2 Розрахунок пропускної здатності мережі.....	38
3.3 Розрахунок зон радіопокриття проектованої мережі.....	42
3.4 Оцінка мовного трафіку.....	45
4. Проектування мережі LTE в програмі Atoll.....	46
4.1 Програма ATOLL.....	46
4.2 Моделювання мережі в місті Шостка	47
5. Вибір обладнання транспортної мережі та базової станції.....	55
ВИСНОВОК.....	59
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	60

					<i>ЕЛІТ 6.172.234 ПЗ</i>					
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>Проектування мережі 4G у місті Шостка Пояснювальна записка</i>			Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.	Бойко Б.Р.	Гриненко В.В.						3	61	
Перевір.	Гриненко В.В.									
Реценз.										
Н. контр.	Гриненко В.В.									
Затвердж.	Опанасюк А.С.				<i>СумДУ, гр. ТК-71</i>					

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

- LTE – Long Term Evolution (довгостроковий розвиток);
- 3GPP – 3rd Generation Partnership Project (проект партнерства третього покоління);
- UTRAN – Universal Terrestrial Radio Access Network (наземна мережа радіодоступу стандарту UMTS);
- EUTRAN – Evolved UTRAN (вдосконалена UTRAN);
- FDD – Frequency Division Duplex (дуплекс з частотним розділенням);
- TDD – Time Division Duplex (дуплекс з часовим розділенням);
- MIMO – Multiple Input Multiple Output (множинний вхід – множинний вихід, декілька передавальних і декілька приймальних антен);
- OFDMA – Orthogonal Frequency-Division Multiple Access (множинний доступ з ортогональним частотним розділенням каналів);
- HSDPA – High-Speed Downlink Packet Access (високошвидкісна пакетна передача даних від базової станції до мобільного телефону);
- SAE – System Architecture Evolution (Еволюційна системна архітектура мережі);
- eNB – eNodeB (базова станція з підтримкою LTE);
- 4G – четверте покоління зв'язку;
- БС – базова станція;
- ПЗ – програмне забезпечення.

					<i>ЕЛІТ 6.172.234 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Аркш	№ Докум.	Підп.	Дата		4

ВСТУП

Стрімкий розвиток бездротових технологій зв'язку, зумовлений, в першу чергу, підвищеним інтересом суспільства доступом в мережу Інтернет. Величезну роль відіграє мережа Інтернет в сучасному світі обміну інформації. Завдяки глобальній мережі люди мають здатність працювати, навчатися, спілкуватися, обмінюватися даними, переглядати різні типи файлів, а також користуватися в режимі онлайн різноманітними послугами комерційних компаній і державних закладів.

На теперішній час Україна має зовнішні канали зв'язку з задовільною пропускною здатністю, майже в кожному населеному пункті є провайдери, які надають послуги доступу в зовнішню мережу, однак, з'єднання між ними і остаточним споживачем досі здійснюється, здебільшого, по комутованих або по виділених лініях. В наслідок – незадовільна швидкість обміну інформацією, ненадійність з'єднання, обмежена здатність підключення. Однією з проблем є прокладка кабельних ліній, іноді вона неможлива, незручна та економічно не вигідна, перш за все у великих містах.

Останнім часом у сфері телекомунікації все більше уваги стали приділяти технологіям четвертого покоління (4G), які мають кращі, порівнюючи з попередніми поколіннями, характеристики якості, швидкості передачі даних і більший діапазон послуг. Однією з таких технологій є технологія LTE.

Стандарт LTE (від англ. Long Term Evolution - еволюція в довгостроковій перспективі) – це сучасна технологія розробки і побудови бездротових технологій зв'язку, заснована в межах проекту сумісної праці зі створення мереж третього покоління 3GPP (3G Partnership Project). Основними задачами проектування технології LTE є: зменшення вартості передачі даних, збільшення швидкості передачі даних, забезпечення

					<i>ЕЛІТ 6.172.234 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Аркш	№ Докум.	Підп.	Дата		5

більшого асортименту послуг за більш вигідною ціною, підвищення гнучкості мережі і використання вже існуючих систем мобільного зв'язку.

Ключова відмінність мережі LTE від інших технологій мобільного зв'язку забезпечується в повному проектуванні мережі на базі IP-технологій.

Радіоінтерфейс LTE надає підвищені технічні характеристики, охоплюючи максимальну швидкість передачі даних понад 300 Мбіт/секунду, а час затримки пересилання пакетів не перевищує 5 мс, також збільшилась спектральна ефективність порівнюючи її з попереднім стандартом бездротового мобільного доступу третього покоління (3G). Трафік в мережі LTE транспортується блоками з періодом 1 мс, з використанням адаптивного управління форматом передачі у реальному часі.

Розпочинався проект LTE у 2004 році, задовго до оголошення ІМТ-Advanced (International Mobile Telecommunications-Advanced). Розробка велася групою 3GPP, але з одночасною участю конкурентів-союзників з стану CDMA (Code Division Multiple Access).

Перший успішний запуск мережі LTE відбувся у Швеції та Норвегії, а саме в містах Стокгольм та Осло, під управлінням шведської компанією телекомунікаційних послуг TeliaSonera разом з Ericsson, дата запуску – 14 грудня 2009 року.

У кваліфікаційній роботі територіальним об'єктом, в якому передбачається варіант розгортання мережі LTE для користувачів, які перебувають на території міста, я вибрав місто Шостка з населенням 74000 осіб.

Одним із головних завдань даної роботи є забезпечення всієї території міста стійким радіосигналом мережі LTE і надання користувачам високоякісного мобільного доступу в мережу Інтернет.

У розрахунках проектування мережі LTE, буде використовуватися два варіанти планування бездротових мереж: створення оптимальної області покриття і забезпечення необхідної ємності мережі.

					<i>ЕЛІТ 6.172.234 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Аркш	№ Докум.	Підп.	Дата		6

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПОКОЛІННЯ СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ. ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ LTE

1.1 Основні відомості про стандарти стільникового зв'язку та поширення їх у світі

Перше покоління (1G) та стандарти зв'язку. Стільникова система першої генерації, яка відноситься до технологій бездротового зв'язку, радіотелефонних комунікацій і є набором аналогових телекомунікаційних стандартів, що поширювалися в 80-х роках минулого століття до впровадження мережі другого покоління (2G).

Одним із основних стандартів зв'язку того часу є Nordic Mobile Telephone (NMT), що був поширений на території Європи, Швейцарії, Росії та Нідерландах. Не менш популярним був тип зв'язку Advanced Mobile Phone System (AMPS), який набув найбільшого поширення у Австралії та в країнах Північної Америки. Аналогова система Total Access Communications System (TACS) була впроваджена у Великобританії, C-450 мала популярність у Португалії, Західній Німеччині та в країнах Південної Африки. На території Франції переважав стандарт Radiocom 2000, також в Італії був власний стандарт Radio Telephone Mobile System (RTMS). В острівній державі Японія існувало декілька систем комунікацій. Стандарти: TZ-801, TZ-802 і TZ-803, які були спроектовані Nippon Telegraph and Telephone (NTT), а конкурентоспроможна система, що в свою чергу управлялася DDI, застосовувала систему Japan Total Access Communications System (JTACS).

Отже, кожна країна мала власні системи, які були незалежні від систем та обладнання інших країн. З часом виникла потреба створити сумісну систему з високою пропускнуою здатністю та широким діапазоном покриття. Головна мета – вхідний виклик повинен адресуватися на визначений телефон, незалежно від місця знаходження абонента.

					<i>ЕЛІТ 6.172.234 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Аркш	№ Докум.	Підп.	Дата		7

Саме в місті Токіо (Японія) відбувся запуск першої комерційної автоматизованої мережі покоління 1G у 1979 році, яка мала назву Nippon Telegraph and Telephone. Знадобилося п'ять років для розвитку даної технології, щоб охопити більшу частину громадян країни і постати найпершою загальнодоступною мережею першого покоління. Тодішній аналоговий зв'язок також не можна було назвати якісним. У нього була певна кількість недоліків: прослуховування розмов абонентів, обмежена зона дії, відносно мала ємність. Достатньо часто зникав сигнал та складно було додзвонитися в інші країни [7].

Друге покоління (2G) та стандарти зв'язку. В останнє десятиліття минулого століття був очевидний підйом перших цифрових стільникових мереж, які вигравали на фоні аналогових систем. В якості основних переваг можна було виділити - більш якісний звук, поліпшену захищеність, високу продуктивність. У США стартували D-AMPS (Digital Advanced Mobile Phone System) і початкова версія CDMA (Code Division Multiple Access) компанії Qualcomm, а в цей час в країнах Європи почав активно розвиватися GSM (Groupe Spécial Mobile). Нові стандарти 2G на той момент не мали власні послуги передачі даних. Більшість таких мереж мають здатність передавати SMS-повідомлення, а також підтримують технологію CSD (Circuit Switched Data), що дозволяє транспортувати дані в цифровому форматі. Це вказувало, що тепер дані передавалися набагато швидше.

Коли в 1997 році з'являється GPRS, починається нова віха в історії розвитку стільникового зв'язку, саме з його появою в мережах GSM починається безперервна передача даних. Швидкість стає набагато вище і зникає необхідність підключатися до мережі, як це було раніше. Оператори змогли встановити тарифи на трафік, а не на час перебування на лінії.

Поява GPRS було дуже вчасною, так як це відбулося саме в той момент часу, коли користувачі починали активно використовувати власні електронні поштові скриньки. Дане нововведення не вплинуло на додавання одиниці до

					<i>ЕЛІТ 6.172.234 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Аркш	№ Докум.	Підп.	Дата		8

покоління стільникового зв'язку, так як організація Міжнародний Союз Електрозв'язку на той момент вже дав визначення і специфікацію для мереж 3G, тому його стали іменувати 2,5G. Ключовою різницею стала швидкість, яку повинні були розвивати мережі третього покоління, а для мереж GPRS така швидкість стала не доступна.

Третє покоління (3G) та стандарти зв'язку. Мережа 3G являє собою ряд мобільних стандартів, кожен з яких виконує певні функції. У загальному випадку, технологія третього покоління дає можливість користуватися не тільки радіозв'язком, але і інтернетом на швидкості 2 Мб/с, а також передавати різні відео-файли. Кожному абоненту присвоюється індивідуальна IP-адреса, а оплата нараховується за використаний трафік.

Стандарт IMT-2000, що лежить в основі технології третього покоління, був остаточно спроектований в 2000 році Міжнародним союзом електрозв'язку. Перший запуск мережі 3G відбувся 1 жовтня 2001 року на території Японії. Через 4 роки близько 40% населення активно використовували послуги, які надавав оператор. На території Європи стільникова мережа 3G прийшла дещо пізніше. Офіційно мережа 3-го покоління являється системою, що побудована на основі одного з п'яти стандартів, що детально описано у документі IMT-2000, який був введеним Міжнародним союзом телекомунікацій. Він містить наступні технології: UMTS/WCDMA, CDMA2000/IMT-MC, TD-CDMA/TD-SCDMA (власний стандарт Китаю), DECT і UWC-136. Найбільшу популярність отримали тільки два стандарти стільникового зв'язку UMTS і CDMA2000.

Проміжний стандарт 3,5G та стандарти зв'язку. Під час удосконалення технологія UMTS перетворилася в технологію бездротового широкосмугового радіозв'язку HSPA (High Speed Packet Access), яка забезпечує високошвидкісне транспортування даних. Саме ця технологія оснований на пакетній передачі даних від БС до абонента, що відповідає стандарту HSDPA, та обміном даних від абонента до БС.

Четверте покоління (4G) та стандарти зв'язку. Четверте покоління стільникових мереж прийнято включати в термін перспективних технологій, які здійснюють передачу даних абонентам зі швидкостями понад 100 Мбіт за секунду в русі та 1 Гбіт за секунду стаціонарним. 4G включає в себе такі розробки, як LTE-A (LTE Advanced) та WMANAdvanced, IEEE 802.16 m (WiMAX 2), яким присвоєні загальноприйняті позначення системи IMT-Advanced.

Специфіка кожного покоління визначається зміною характеру обслуговування абонентів, несумісністю технологій передачі сигналу, високою максимальною швидкістю проходження бітів, сучасними смугами пропускання частот, збільшеною ємністю для забезпечення багаторазового транспортування даних, а також розширенням смуги пропускання частот, що вимірюється в герцах (одиниці частот).

Основними вимогами є: основа комутації пакетів - протоколи IP; максимальна швидкість передачі: понад 100 Мбіт/с для рухомих і 1 Гбіт/с для стаціонарних; використання динамічних поділюваних мережевих ресурсів для множинних одночасних підключень до одно соте; 40 МГц - масштабована смуга частот каналу; плавна передача сесії абонента від однієї базової станції до іншої; певна максимальна спектральна ефективність, а саме: 15 біт / с / Гц в низхідному каналі і 6,75 біт / с / Гц у висхідному каналі; певна середня спектральна ефективність на сектор: від 1,1 до 3 біт / с / Гц / сектор у низхідному і від 0,7 до 2,25 біт / с / Гц / сектор у висхідному каналах.

П'яте покоління (5G) та стандарти зв'язку. У порівнянні зі своїм попередником, мережа 5G буде мати ряд переваг. Це і сторазове збільшення швидкості, і тисячократне зростання пропускну здатності. Швидке зростання кількості смартфонів і інших пристроїв, оснащених Інтернет-доступом, призведе до високого навантаження існуючих сьогодні каналів передачі даних. Мережа 5G як раз і покликана вирішити цю проблему.

Є декілька основних напрямків, за якими ведуться роботи у майбутніх стандартах 5G. По-перше, це збільшення швидкості передачі даних та пропускної здатності. По-друге, це забезпечення якісних послуг зв'язку в густонаселених районах з великою кількістю пристроїв, підключених до Інтернету. Все це повинно здійснюватися при мінімальних затримках.

Основні вимоги до стандартів 5G: швидкість передачі даних від 1 до 10 Гб/с; трафік, що виділяється для одного користувача в місяць до 500 Гб; збільшення кількості підключених пристроїв у 100 разів; десятикратне зменшення енергоспоживання при роботі в мережі; мінімальний час затримки (не більше 5 мс); збереження вартості використання.

Пропонується встановити безліч малопотужних базових станцій у будинках, вуличних ліхтарях і навіть на автомобілях. Такий підхід дозволить максимально скоротити відстань між абонентами, і, як наслідок, підвищити швидкість передачі даних. Так як потужність сигналу на базових станціях буде знижена, то й шкідливе випромінювання буде мінімальним [3,4].

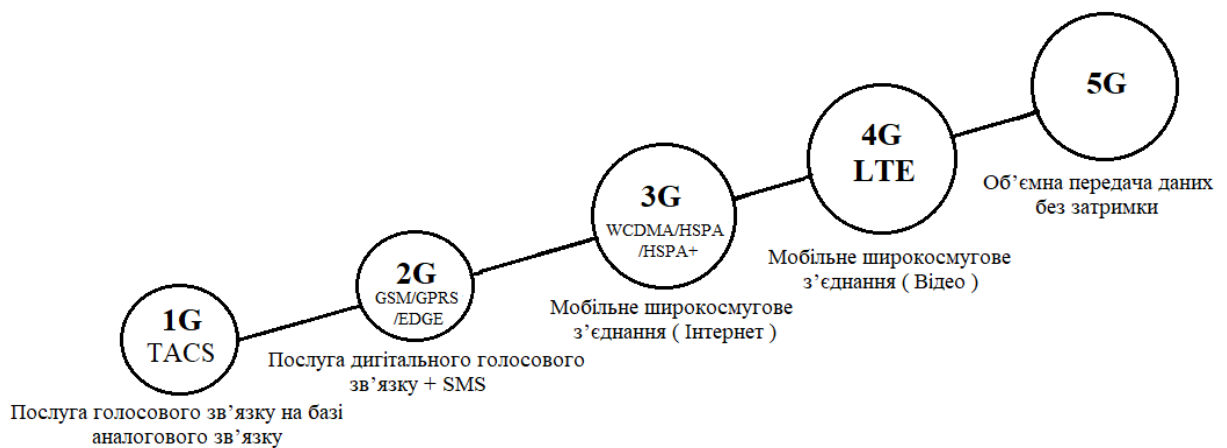


Рисунок 1- Розвиток поколінь мобільного зв'язку

Усі основні параметри поколінь стільникового зв'язку, які зазначені вище, можна узагальнити у вигляді таблиці 1.

Таблиця 1 - Основні параметри поколінь стільникового зв'язку

Покоління	Короткі характеристики
1G	Початок розроблення – 1970 рік. Реалізація відбулась в 1984 році. Використовуються аналогові сервіси, тільки мовні повідомлення. Швидкість передачі даних – 1,9 кбіт/с. Стандарти зв'язку: NMT, AMPS, TACS. Мережа – PSTN.
2G	Проектування велось з 1980 року. Втілення технології в 1991 році. Цифровий стандарт, можна відправляти короткі повідомлення. Швидкість передачі від 9,6 кбіт/с до 14,4 кбіт/с. Стандарти: D-AMPS, GSM, PDC, CDMA-One. Мережа – PSTN.
2,5G	Розробка велась з 1985 року, а реалізація відбулась в 1999 році. Збільшилась ємність і швидкість, пакетна передача даних. Швидкість передачі: 1 фаза – 115 кбіт/с; 2 фаза – 384 кбіт/с. Стандарти: GPRS, EDGE(2,75G), 1xRTT. Мережа – PSTN, мережа пакетного транспортування даних.
3G	Початок розроблення – 1990 рік. Реалізація почалась в 2002 році. Ще більша ємність и швидкість. Швидкість передачі даних може доходити до 3,6 Мбіт/с. Стандарти зв'язку: W-CDMA, CDMA-2000, UMTS. Мережа пакетної передачі даних.
3,5G	Проектування велось до 2000 року. Втілення технології відбувалося приблизно 2006 – 2007 роках. Збільшення швидкості мереж третього покоління. Швидкість передачі досягає 42 Мбіт/с. Стандарти зв'язку: HSDPA, HSUPA, HSPA, HSPA+. Мережа пакетної передачі даних.
4G	Розроблялась технологія з 2000 року. Впровадження технології відбувалось з 2008 р. по 2010 рік. Збільшена ємність, мережа орієнтована на IP-технологію, підтримка мультимедії. Швидкість передачі даних в діапазонах від 100 Мбіт/с до 1Гбіт/с. Стандарти: LTE Advanced, WMANAdvanced, WiMAX 2, IMT-Advanced. Мережа пакетної передачі даних.

1.2. Технологія LTE та її представлення на території України

Розвиток технологій стільникового зв'язку не закінчився на мережі 4-го покоління, уже деякий час ведеться розробка мереж 5-го покоління. Але попри поширення мережі стандарту LTE ще досі залишаються території на яких переважають технології стандартів 3G.

Сама ж технологія LTE є логічним продовженням і удосконаленням мереж GSM/UMTS у розвитку поколінь широкосмугового стільникового зв'язку. За системою LTE, яка розвивалась навколо радіодоступу 3GPP технології протягом певного періоду, були зроблені деякі цільові висновки для того, щоб дати узагальнені цілі та вимоги до випуску LTE, деякі з них:

- Скорочення затримок;
- Значне збільшення швидкості передачі даних;
- Краща та простіша архітектура мережі;
- Абсолютне збільшення гнучкості для використання спектра;
- Зниження споживання енергії для користувацького обладнання.

Але найголовніше, що для технології LTE була бажана безперервність у системі. Технологія LTE відповідає усім вимогам 3GPP, а навіть перевершують їх, тому й мережу LTE називають універсальною технологією. Також використовується мережа радіодоступу (RAN), яка забезпечує час затримки лише до 10 мс, а в низхідному каналі пікова швидкість передачі даних переважає 100 Мбіт/с. За рахунок більшого діапазону ширини смуги пропускання можливе розташування в частотних діапазонах від 5 МГц і аж 20 МГц для несучих. Технологія використовує як часовий розподіл дуплексних каналів (Time-Division Duplex, TDD) так і не може обійтися без частотного (Frequency-Division Duplex, FDD) [11].

Велика перевага технології в тому, що можлива естафетна передача, а роумінг уже з існуючими мережами стільникового зв'язку попередніх поколінь забезпечує абонента якісним мобільним зв'язком на який не впливає місцезнаходження користувача.

У мобільних операторах не виникнуть проблеми з впровадженням технології LTE у вже працюючі мережі та спектра частот, оскільки використовується широкосмугові і мультимедійні послуги.

В LTE можна виділити три основні технології:

- 1) System Architecture Evolution, SAE – Еволюційна системна архітектура мережі.
- 2) Orthogonal Frequency-Division Multiplexing, OFDM – Мультиплексування з ортогональним частотним поділом каналів.
- 3) Multiple Input Multiple Output, MIMO – Багатоантенні системи.

Вузол шлюзу (Gateway Node, GW), а також загальна опорна точка є базовими в структурі LTE для технологій доступу. Протоколи IP являються основою для кожного інтерфейсу. LTE представляє просту архітектуру в стільниковій мережі. Технологія LTE реалізована на базі SAE (System Architecture Evolution). На рисунку 2 зображена архітектуру SAE.

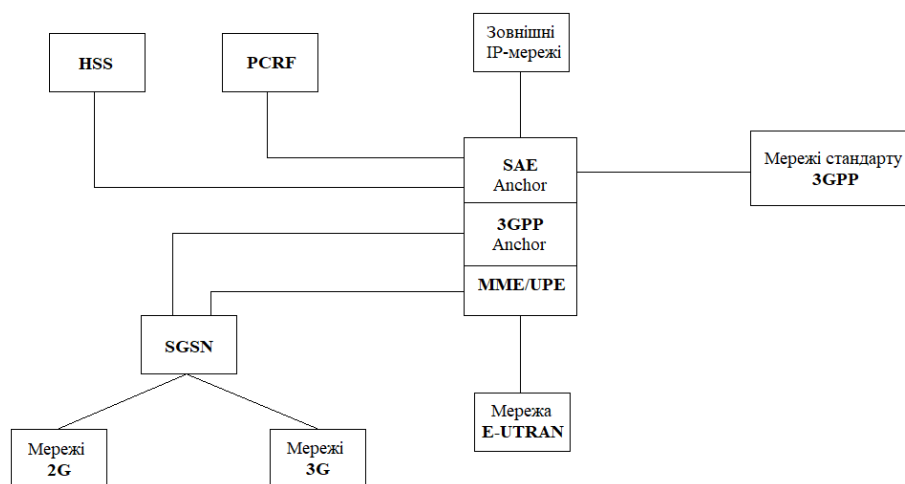


Рисунок 2 – Архітектура базової мережі SAE

SAE - це еволюція базової мережі GPRS, з деякими відмінностями, такими як спрощена архітектура, вся мережа реалізована на IP-технології, підтримка мереж радіодоступу з більшою пропускнуою здатністю та низькою

затримкою, підтримка та мобільність між різними різнорідними RAN, включаючи застарілі системи як GPRS, а також системи, що не належать до 3GPP (WiMAX) [11].

Базова станція з підтримкою LTE називається eNodeB. LTE безпосередньо пов'язаний із шлюзом SAE, який працює як основний елемент мережі та зменшує кількість інших посередницьких вузлів для кращої продуктивності в обслуговуванні та економічної ефективності в експлуатації. Вузол обслуговування пакетних даних (PDSN) мережі CDMA, вузол підтримки GPRS Service (SGSN) - це вузол обслуговування пакетів як для GSM, так і для WCDMA, які також підключені до шлюзу SAE. Сигналізація управління, наприклад, для мобільності, обробляється вузлом сутності управління мобільністю (MME), окремо від шлюзу, сприяючи оптимізованому розгортанню мережі. Домашній сервер абонентів (HSS), що містить профіль абонента, підключається до MME за допомогою протоколу діаметру так само, як і функція політики та правил стягнення плати (PCRF). Це означає, що всі інтерфейси в архітектурі – це IP-інтерфейси. На рисунку 3 представлена архітектура LTE.

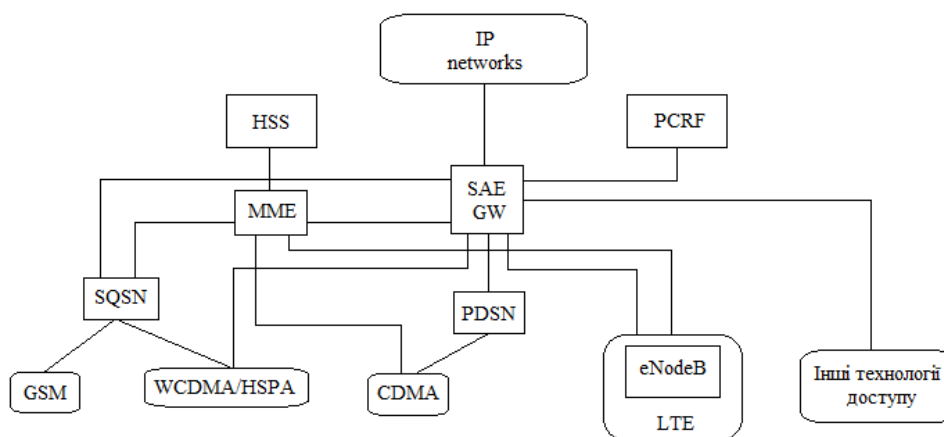


Рисунок 3 – Архітектура LTE

На території України покриття LTE мережі забезпечують такі основні оператори як: Vodafone, Київстар, Lifecell. Саме вони забезпечують країну

якісним мобільним зв'язком. Карти покриття цих операторів представлені у відкритому доступі.

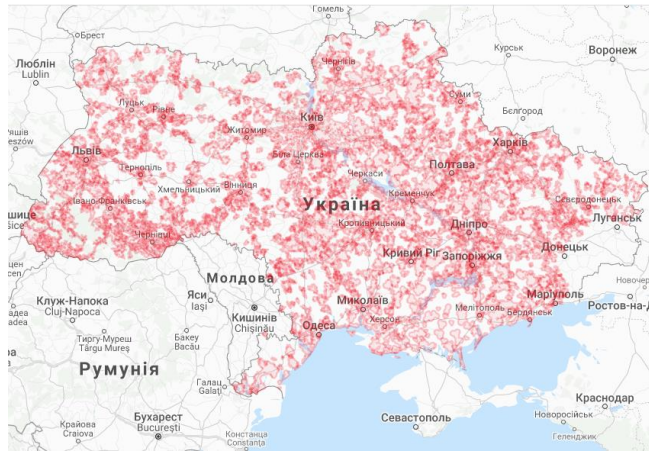


Рисунок 4 – Рівень покриття 4G оператором Vodafone

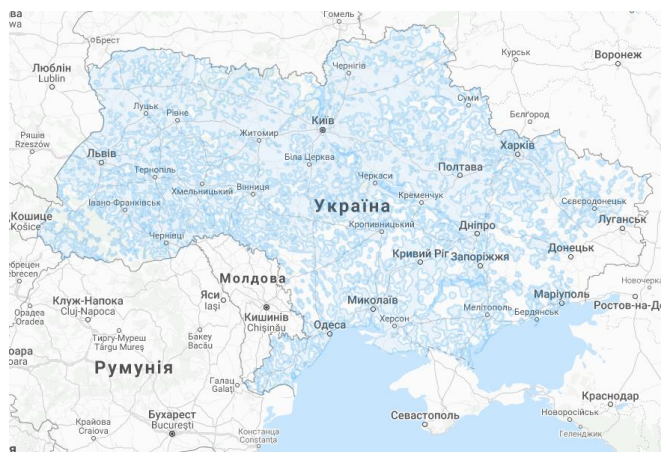


Рисунок 5 – Рівень покриття 4G оператором Київстар

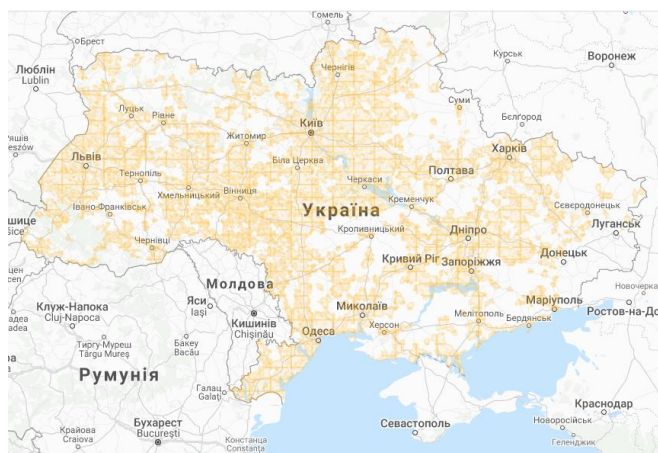


Рисунок 6 – Рівень покриття 4G оператором Lifecell

Змн.	Аркш	№ Докум.	Підп.	Дата

Велика частина території країни забезпечена покриттям мережею 4-го покоління, від вище зазначених операторів. Загальний рівень покриття 4G на території України можна отримати якщо сумістити всіх операторів.

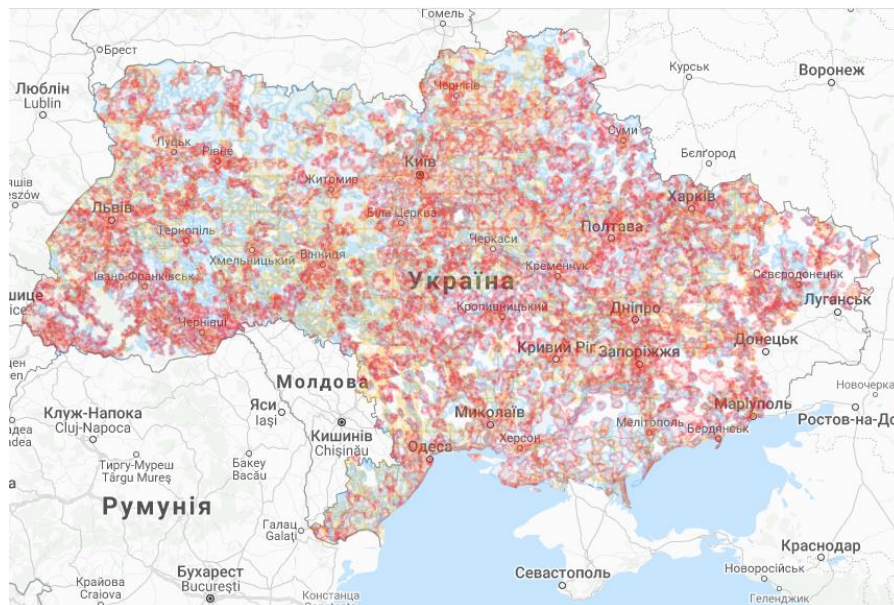


Рисунок 7 – Загальний рівень покриття 4G на території України

Отже, територія країни повністю забезпечена покриттям мережею четвертого покоління, але залишаються місця де не представлено високоякісне забезпечення сучасним стільниковим зв'язком. На певних територіях віддалених населених пунктів рівень зв'язку незадовільний. Але розвиток стільникового зв'язку не припиняється і вже в найближчому майбутньому вся територія України буде забезпечена міжнародним стандартом LTE-Advanced. Вже почали опановувати частоти 900 МГц, хоча під час впровадження мережі 4G використовувались частоти 1800МГц та 2600МГц, що дозволяють розширити та покращити покриття. Якщо використовувати частоти 900 МГц можна суттєво зменшити кількість базових станцій, завдяки цьому віддаленні населенні пункти будуть забезпечені якісним зв'язком та доступом в мережу Інтернет.

1.3. Загальні відомості про об'єкт проектування

Місто Шостка розташоване в Сумській області на півночі України. Місто забезпечує залізничні перевезення в напрямках Новгород-Сіверський — Шостка — Воронізька — Київ та автомагістралі Харків — Суми — Новгород-Сіверський. Через місто пролягають автомобільні дороги Т1908, Т1912, Т2502, Р65 та залізнична станція Шостка.

Площа міста складає 43,69 квадратних кілометрів, населення цієї території приблизно 74000 осіб, а густина населення дорівнює 1717 осіб/км², висота над рівнем моря становить 154 метри.

Місто має розвинену інфраструктуру, що складається з:

1) За даними інформаційної системи управління освіти в місті знаходяться: 15 загальноосвітніх та спеціалізованих шкіл, 3 заклади професійно-технічної освіти та 3 заклади вищої освіти.

2) Медичні установи: 7 лікарень та відділів надавання медичних послуг будь-яким віковим групам.

3) Заклади культури: 5 бібліотек загального користування, 2 будинки культури та 2 дитячі музичні школи.

4) Засоби масового інформації: міська газета, теле- та радіокомпанії, інтернет-провайдери, основні мобільні оператори.

5) Підприємства: ШКЗ «Імпульс», ШКЗ «Зірка», ВАТ «ШЗХР», ЗАТ «Шосткинська ТЕЦ», ПАТ «Бель Шостка Україна», ТОВ «НВП технологія», ВАТ «Полісся», ПАТ «Шосткинський хлібокомбінат», ТОВ «Сільгоспхімія», ТОВ «Шосткинський Агролісгосп», КП «Шостка Міськвітло».

Таким чином, через достатню розвинену інфраструктуру, місто потребує більш сучасні засоби масового зв'язку. У місті Шостка середня поверховість забудови, переважно низькі та невисокі будівлі. Карти міста представлені у відкритому доступі.

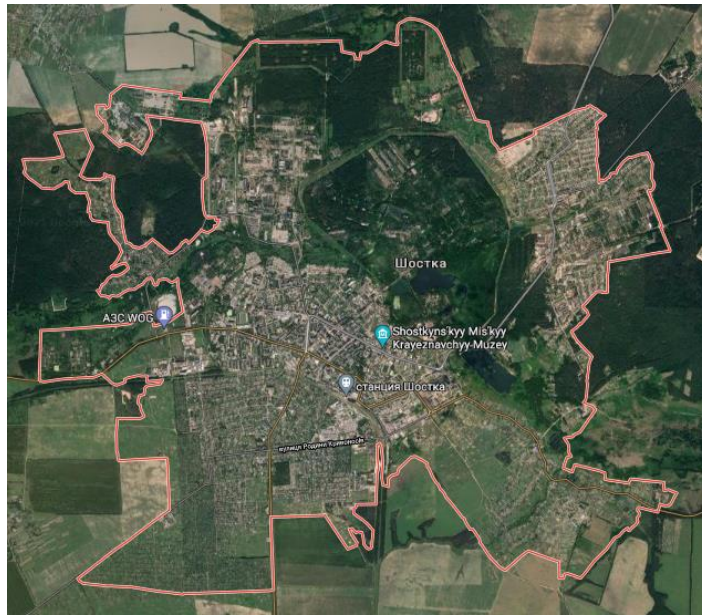


Рисунок 8 – Супутникова карта м. Шостка



Рисунок 9 – Схемотехнічна карта м. Шостка

Метою даної кваліфікаційної роботи є проектування бездротового доступу з використанням технології LTE на території міста Шостка з населенням – 74000 чол., площа міста – 43,69 км², густина населення – 1717 чол/км², висота над рівнем моря – 154 м.

2. РОЗГЛЯД ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК LTE ТА АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОЇ СКЛАДОВОЇ

2.1 Розвинення стандарту

В кінці 2004 року розпочалось офіційне проектування технології LTE як стандарту для мереж 4G. Для забезпечення високоефективної швидкості передачі даних було необхідно вибрати технологію фізичного рівня. Розглядалися такі варіанти як: W-CDMA, що використовувалась в мережах HSPA та OFDM - новітня технологія радіоінтерфейсу. Під час ретельного аналізу технологій було прийнято рішення впроваджувати OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing) – технологія мультиплексування, яка використовує ортогональний частотний поділ каналів.

Одна з перших специфікацій на базі радіоінтерфейсу E-UTRA (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access) була спроектована в межах проекту 3GPP у першій половині 2006 року. Саме ця специфікація слугувала базою 3GPP Release 7. Пізніше була затверджена нова версія стандартів 3GPP Release 8. Саме вона встановлювала функціональні та архітектурні принципи до мережі LTE. В 2009 році були затверджені одні із перших систем на базі LTE та відбувся перший запуск комерційної бездротової мережі в світі [7].

Впровадження технології LTE дозволяє операторам розширити свої можливості в області конвергенції послуг і технологій. На сьогоднішній день існує декілька різновидів LTE: LTE FDD (Frequency Division Duplex), LTE TDD (Time Division Duplex) і LTE Advanced, які відповідають вимогам до мереж четвертого покоління.

Відзначально LTE являється пакетною технологією для якої звичні голосові послуги за допомогою комутації каналів були відсутні. Таким чином для передачі голосу була розроблена технологія VoLTE (Voice over LTE), що забезпечує передачу голосової інформації в пакетному вигляді через мережу

LTE і використовує інфраструктуру IMS (IP Multimedia Subsystem).

Якщо з якоїсь причини впровадження VoLTE неможливо, то для таких випадків 3GPP розробили технологію CSFB (Circuit Switch FallBack), яка побудована на базі існуючих мереж 2G/3G при здійсненні голосових викликів. При перемиканнях з мереж LTE в мережі 2G/3G відбуваються затримки, які іноді досягають декількох десятків секунд – це достатньо істотний недолік для цього методу [7].

2.2 Мережева архітектура стандарту LTE

Під час руху в бік LTE від 2G та 3G мереж достатньо велика кількість компонентів пакетного ядра LTE забезпечують схожі функції з цими мережами. Наприклад, вузол SGW (Serving Gateway) оброблює і маршрутизує пакетні дані, які надходять від базових станцій – подібно вузлу SGSN (Serving GPRS Support Node). При незадовільному рівні покриття або при перевантаженнях для транспортування з'єднання вузол SGW взаємодіє з SGSN, а також бере на себе роль модуля управління мобільністю для даних користувача. Модуль MME (Mobility Management Entity) відповідає за площину управління, забезпечуючи функції мобільності, хендовера, спостереження за абонентськими терміналами, виконує вибір SGW і аутентифікації користувачів під час взаємодії з сервером HSS.

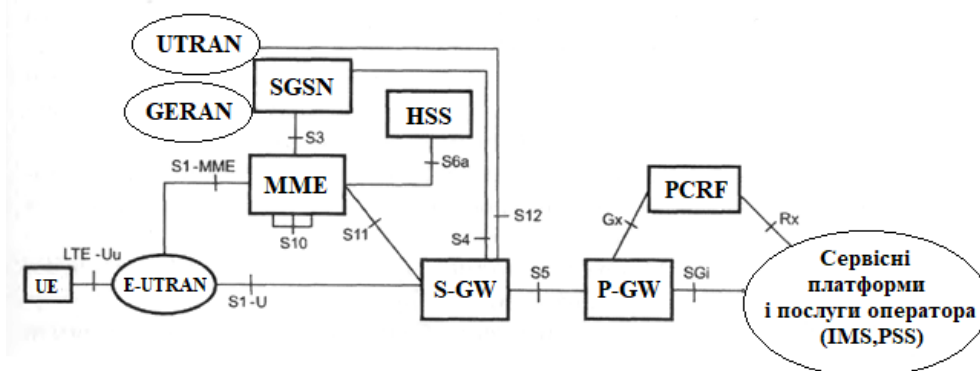


Рисунок 10 – Основні елементи мережі

Безперервне з'єднання абонентських терміналів із зовнішніми пакетними мережами відбуваються за рахунок PDN GW (Packet-Data Network Gateway). Він також може відігравати роль шлюзу для non-3GPP-технологій, такі як Wi-Fi або WiMAX.

PCRF (Policy Charge and Rule Function) – це сервер, що слугує для управління сервісною політикою та вказує QoS-політики для сесії користувача. В його головні функції входить виділення для UE адреси IP, дотримуватися QoS параметрів і здійснювати списання з рахунку, отриманих з PCRF на підставі правил. Саме P-GW здійснює фільтрацію пакетів IP, що надходять в різні клієнтські трафіки з певним набором QoS-параметрів, користуючись при цьому TFT (Traffic Flow Templates) [11].

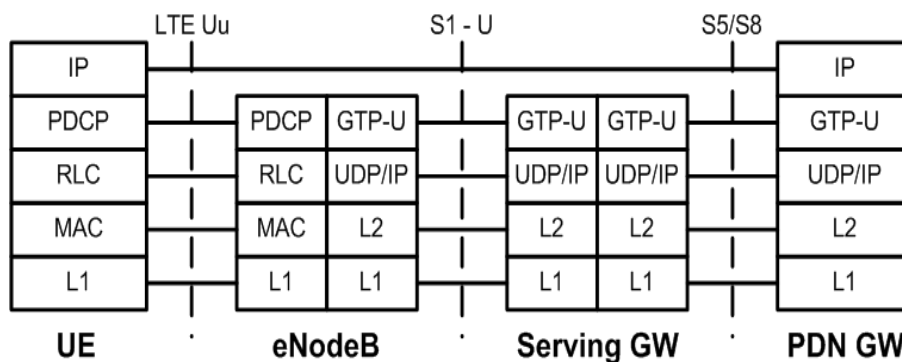


Рисунок 11 – Стек протоколів у користувацькій площині

IP-пакети, які адресовані UE, тунелюються (GTP-U/UDP/IP, інтерфейси S1 і S5/S8) на ділянці між P-GW і eNB для вдалого транспортування їх в UE. Саме в цій області від UE до eNodeB стек протоколів формується з субрівнів: RLS(Radio Link Sontro), PDCP (Racket Data Convergence Rrotocol) і MAS (Medium Access Control).

Сервер HSS відповідає за збереження абонентських даних. Для реалізації невід’ємної в межах LTE функціональності, шар керування в SAE структурі від ядра переміщується в бік периферії.

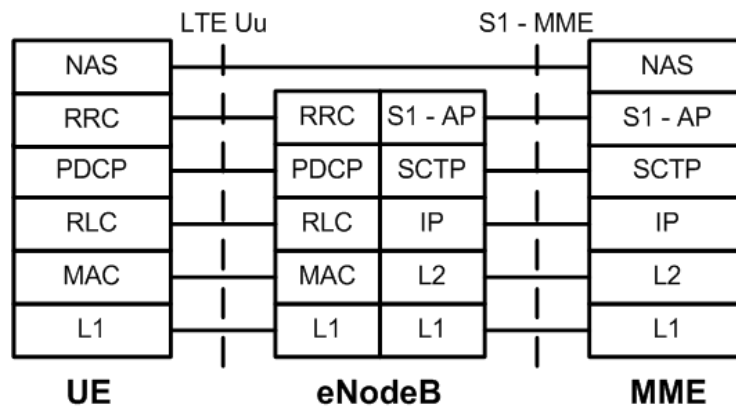


Рисунок 12 – Стек протоколів абонентської площини

Вузол управління RNC витісняється, а базова станція переймає на себе функцію управління частотним ресурсом радіо. 3GPP відповідає за визначення архітектури розподіленої мережі для LTE за допомогою двох головних інтерфейсів:

- 1) S1 – це інтерфейс між EPC(Evolved Packet Core), що містить S-GW, MME, і LTE eNB;
- 2) X2 – забезпечує об’єднання в деякі логічні групи eNB інтерфейс.

Вони обидва застосовуються при транспортуванні пакетів каналної площини (призначені для користувача дані) та контрольної площини (обмін повідомленнями) [13,14].

Інтерфейс eNB знаходиться на базових станціях. Цей інтерфейс представлений у вигляді кінцевої IP точки, що мають підтримку площини корисних даних. Під час руху користувача в іншу зону покриття стільника, інтерфейс несучого IP-потoku (X2) між різними стільниками eNB використовуються для обміну протокольними повідомленнями для узгодження естафетної передачі між вузлами, які знаходяться по сусідству.

На рисунку 13 представлений інтерфейс між eNB (X2) та інтерфейс між контролерами і eNB (S1). Останній в більшості випадків втілюється шляхом з’єднань «крапка – крапка», але й можливе з’єднання «крапка – багато – крапка».

За замовчуванням інтерфейс X2 має повне забезпечення багатоточковими з'єднаннями між підмножиною осередків, які його оточують в єдиній підмережі. Завдяки цьому забезпечується достатньо високий рівень прямих взаємодій. Це підключення також дозволяє велику кількість дзвінків відправляти безпосередньо, тому що переважна частка дзвінків і з'єднань призначені пристроями в тому ж або в сусідньому стільнику. За допомогою даної структури можливе розподілення викликів за короткими маршрутами, а ресурси ядра мережі задіяні мінімально.

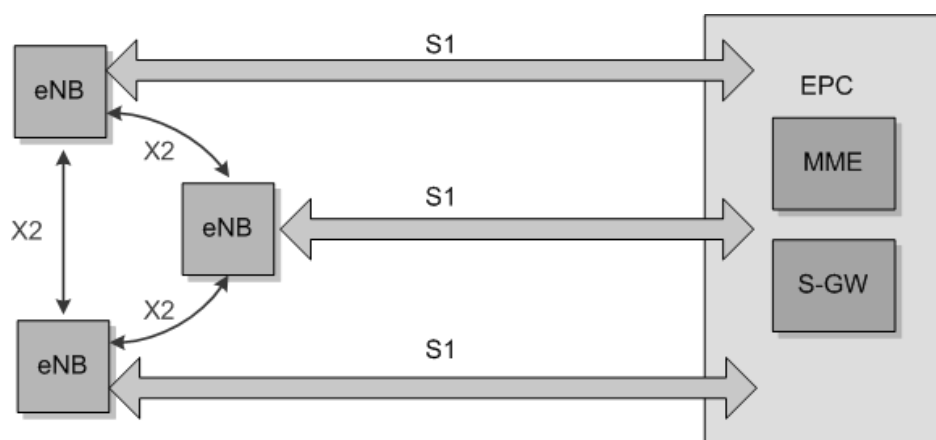


Рисунок 13 – Логічна архітектура LTE

eNB, окрім реалізації 1 і 2-го рівня OSI, має можливість управляти широким спектром функцій, в тому числі управлінням мобільністю, ревізія радіоресурсів, управління доступом і балансування навантаження, а також забезпечує функцію хендовера для мобільних користувачів або устаткуванню UE. Завдяки потенціалу eNB забезпечується подальший розвиток функціоналу для покращення технології LTE до рівня LTE-Advanced.

На рисунку 14 зображена спрощена схема розподілу пропускної здатності для EVC (Ethernet Virtual Circuit), різних класів трафіку, а відмінність приводиться між даними користувача та трафіком синхронізації, або між деякими MNO на одній площині.

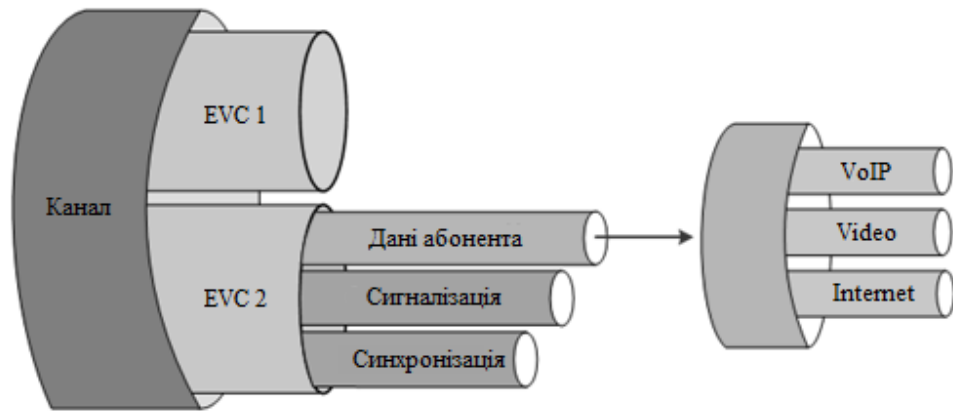


Рисунок 14 – Використання пропускної здатності для різного трафіку

Абонент може використовувати такі класи трафіку як: відео, інтернет, голос. Сама ж розподільна мережа може підтримувати ці класи трафіку в інших EVC або в одному і тому ж EVC для eNB.

Очевидним варіантом для трафіку є синхронізація по типу пакетного методу, часто спливає виділення окремого EVC, тому що такий EVC може бути багатоточковим до UNI для всіх eNB, які обслуговуються пакетною мережею. Перевищення пропускної здатності мережі можна запобігти за рахунок підтримки щонайменше двох класів сервісу: високопріоритетний та низькопріоритетний. Також можливе додавання додаткового класу із суворим пріоритетом для трафіку синхронізації для забезпечення мінімальних варіацій затримок. Спектральна ефективність у технології LTE набагато краща ніж в мережах 3G, які описуються в релізі шостого проекту 3GPP.

В системах LTE передбачається використання технологій MIMO в конфігураціях аж до 8x8. Теоретично це дає можливість здійснювати передачу даних від базової станції до абонента зі швидкістю понад 300 Мбіт/с. При цьому, значного зниження швидкості не відбувається навіть на великій відстані від БС або в замкнутих приміщеннях [13,14].

Змн.	Аркш	№ Докум.	Підп.	Дата

2.3 Радіоінтерфейс технології LTE

2.3.1 Загальні відомості про радіоінтерфейс технології LTE

В мережі LTE E-UTRAN радіоінтерфейс забезпечений двома методами дуплексного розподілу каналів, а саме частотним (FDD) та часовим (TDD). Мережа LTE може функціонувати з різною шириною частотного діапазону. Висхідний і низхідний сигнал може займати смуги пропускання починаючи від 1,4 МГц і досягають значення в 20 МГц, якщо є відповідна кількість активних ресурсних блоків. В цілому у висхідному і низхідному напрямку передача інформації організована в кадрах, які тривають 10 мс.

Часовий ресурс в режимі FDD, який знаходиться в межах кадру, розділяється навпіл для забезпечення передачі в протилежних напрямках. Саме режим часового розподілу каналу має асинхронний характер дій. Транспортування даних в цьому режимі відбувається одночасно в двох напрямках одного діапазону частот. Одна із особливостей радіоінтерфейсу лінії «вниз» мережі E-UTRAN є можливість використання технології множинного доступу OFDMA. Основна мета використання технології OFDMA полягає в протидії перешкодам, які виникають через багатопроменеве поширення сигналу.

На практиці OFDM-сигнал представлений у вигляді нескінченно злічених модульованих вузькосмугових сигналів, які передаються повільно. Тут використовується технологія, що заснована на генеруванні багаточастотного сигналу, який, в свою чергу, складається з безліч частот.

Під час формування OFDM-сигналу послідовні інформаційні символи, які передаються одним потоком, з тривалістю T_n / N (T_n – тривалість одного символу) поділяються на блоки, що мають в собі N кількість символів. Після цих маніпуляцій блок послідовних інформаційних символів трансформується в блок паралельних символів, що містить в собі інформаційні символи, які відповідають певній частоті багаточастотного сигналу [11].

					<i>ЕЛІТ 6.172.234 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Аркш	№ Докум.	Підп.	Дата		26

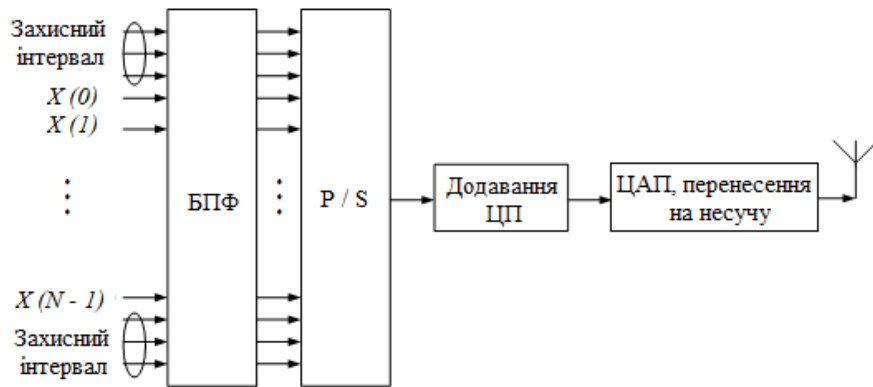


Рисунок 15 – Структурна схема формування OFDM-сигналу

На рисунку 15 зображено формування OFDM-сигналу в передавачу БС мережі LTE E-UTRAN. Для запобігання міжсимвольної інтерференції інтегрують циклічні префікси (ЦП). Застосовуються короткі та довгі префікси, які тривають 4,7 мкс та 16,7 мкс відповідно. В мережі E-UTRAN, для лінії «вниз», знаходяться такі канали як: PDCCH (Physical Downlink Control Channel), PDSCH (Physical Downlink Shared Channel), CCPCH (Common Control Physical Channels), BCH (Broadcast Cannel), PCH (Paging Cannel), DL-SCH (Downlink Shared Channel), MCH (Multicast Channel).

Для лінії "вгору" радіоінтерфейсу мережі LTE E-UTRAN характерне використання технології SC-FDMA (Single Carrier-Frequency Division Multiple Access) – це технологія множинного доступу з мультиплексуванням частотного розподілу передачі на одній несучій. На рисунку 16 зображений схематичний принцип передачі даних за рахунок технології SC-FDMA.



Рисунок 16 – Передача даних за допомогою технології SC-FDMA

Для запобігання впливу користувачів, який однаково виявляється з обох сторін, в лінії "вгору" мережі E-UTRAN додаються циклічні префікси, а також використовуються результативні еквалайзери, які знаходяться в приймальних пристроях. Частотний ресурс між абонентами розподіляється за допомогою ресурсних блоків, кожен з них має смугу частот в 189 кГц. Кінцева кількість представлених ресурсних блоків напряму залежить від виділених системі діапазону частот, значення цих частот можуть досягати до 20 МГц.

Отже, за специфікацією LTE можна визначити деякі фіксовані значення для ширини висхідного і нисхідного каналів між eNB і MS, які представлені в таблиці 2.

Таблиця 2 - Параметри каналу передачі

Параметри каналу передачі					
Ширина каналу, МГц	1,4	3	5	10	15
Число ресурсних блоків	6	15	25	50	75
Число піднесучих	72	180	300	600	900
Число номінальних несучих для ШПФ	128	256	512	1024	1536
Тактова частота для ШПФ, МГц	1,92	3,84	7,68	15,36	23,04
Ширина каналу, МГц	1,4	3	5	10	15

Під час формування OFDM-сигналу використовується швидке перетворення Фур'є (ШПФ). Щоб спростити процедуру цифрової обробки сигналу, кількість формальних піднесучих становить $N = 2n$. Стандартна частота вибірок у технології WCDMA дорівнює 3,84 МГц. В процесі формування сигналу амплітуди «зайвих» під несучих прирівнюються до нуля [11].

2.3.2 Канальна структура LTE

Для групування різних каналів передачі даних було відведено три категорії:

1) Логічні канали – в діапазоні структури протоколу LTE забезпечуються послуги середнього рівня управління доступом MAC. Також ці канали розрізняють за типом інформації, що передається, на канали управління та логічні канали трафіку.

2) Транспортні канали – забезпечується транспортування інформації в MAC і вище, ці канали знаходяться на фізичному рівні. Під час передавання інформаційні повідомлення групуються в транспортні блоки. Транспортний блок, навіть декілька блоків, передають через радіоінтерфейс в кожному часовому інтервалі. Саме технологія MIMO надає можливість транспортувати до чотирьох блоків в одному каналі.

3) Фізичні канали – ці канали виконують передачу повідомлень користувачів та керуючих повідомлень. Вони зазнають змін між потоками «вверх» та «вниз».

Фізичні, транспортні і логічні канали в напрямку «вниз» відображені на рисунку 17, а на рисунку 18 зображені ці ж самі канали в напрямку «вверх».

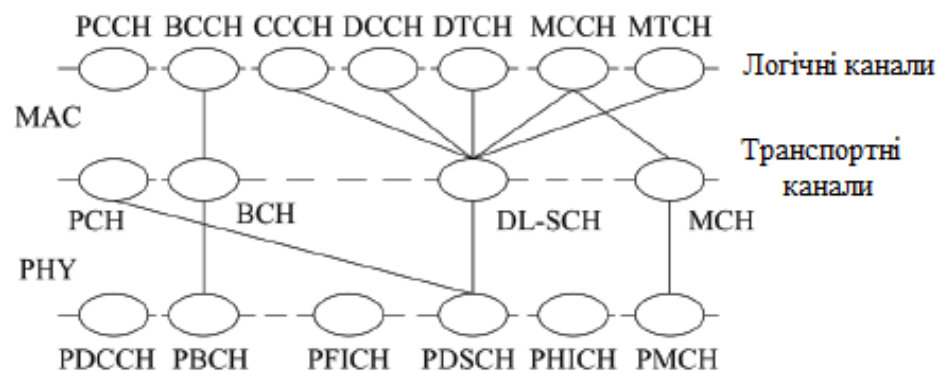


Рисунок 17 – Канали в напрямку «вниз»

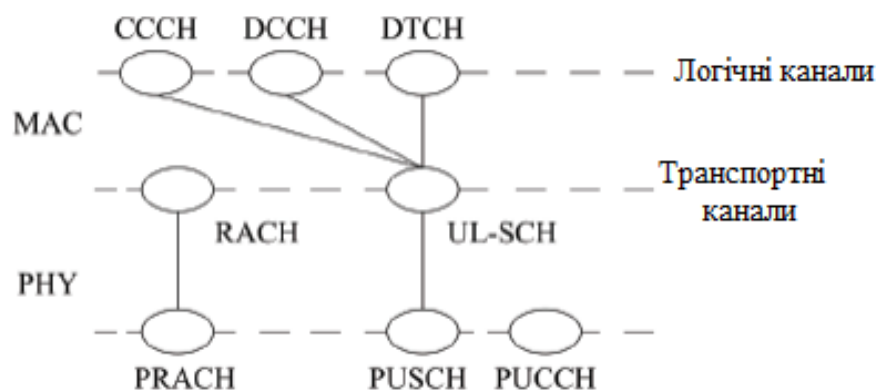


Рисунок 18 – Канали в напрямку «вверх»

Важливу роль, в специфікаціях мереж LTE, відіграє EPS-канал (EPS bearer, виділена пакетна система). Він забезпечує перенесення деяких параметрів якості обслуговування, які будуть встановлені між MS і шлюзом пакетної мережі.

Завдяки EPS-каналу є можливість встановлювати різним користувачам пріоритети і вони можуть бути абсолютно різні. Це відбувається за рахунок IP-пакетів, які приходять ззовні (Інтернет або будь-яка зовнішня мережа IP), потім цей пакет класифікується за допомогою вузла обслуговування по якості, на основі параметрів, які уже налаштовані, і буде знаходитися у відвіденому для нього EPS-каналі. Потім відбувається передача по радіоканалу між eNB і MS. І завдяки цьому між EPS-каналом і радіоканалом існує взаємно-безумовна відповідність [8].

2.4 Детальний огляд технології OFDMA

Використовується метод мультиплексування, для поділу смуги каналу на множину піднесучих частот, який має назву – Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM). Принцип дії цього методу зображено на рисунку 19. Дана методика являється однією із базових для забезпечення ортогонального багатостанційного доступу, в якому використовується частотний розподіл каналів OFDMA.

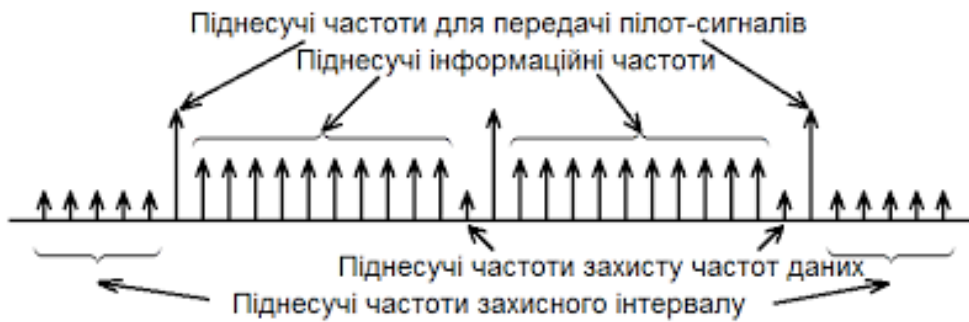


Рисунок 19 – Принцип розподілу піднесучих частот

Система OFDM функціонує за рахунок вхідних потоків даних, які діляться на визначену кількість паралельних підпотоків зі зниженою швидкістю транспортування. Цей процес відбувається через те що збільшується період кожного знаку, коли він поширюється на цій частоті.

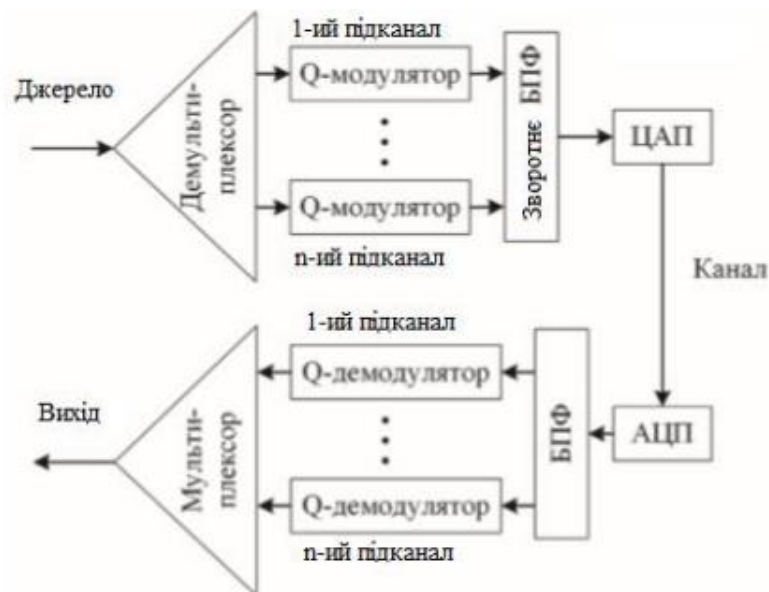


Рисунок 20 – Схема модуляції з декількома несучими

Для стабільної роботи OFDM необхідно збільшити тривалість одного символу, що призводить до зменшення максимального діапазону між тривалістю цих символів, які переселяються за рахунок різних несучих. Символом називають протокольну одиницю, яка транспортується за рахунок однієї несучої. Кожен підканал має власну несучу частоту. Якщо присвоїти

першу несучу частоту значенням ω , то подальша несуча матиме частоту 2ω , їх значення буде продовжене до n -ого каналу для якого частота буде прирівнюватися $n\omega$. Виконуючи квадратурну модуляцію для абсолютно кожного із n підпотоків, то можливе отримання n квадратурних (ортогональних) функцій, по типу $a_k \cos k\omega t + b_k \sin k\omega t$.

Під час підсумовування функції кожного підканалу отримуємо функцію, яка схожа на ряд Фур'є: $x(t) = a_0 + \sum_{k=1}^{N=1} [a_k \cos k\omega t + b_k \sin k\omega t]$. Але є значна відмінність від ряду Фур'є, а саме те що отримана функція має завершення. Для більшої зручності деякі значення ряду Фур'є позначаються як «префікс». Термін «префікс» - це додаток, що забезпечує більшу точність обробки та запобігає взаємного впливу в функції. Ці значення вводять до послідовності квадратурних сигналів [13].

Цей алгоритм забезпечує велику точність для отримання функції $x(t)$. Це дає змогу відділяти підканали один від одного з великою точністю. Сума функцій, що отримана за рахунок модуляції, «згортається» через зворотне перетворення Фур'є в єдину функцію $x(t)$, яка в свою чергу трансформується в цифрову форму, що передається по лінії.

На боці приймача цифрова форма перетворюється в аналогову, за допомогою прямого перетворення Фур'є, квадратурні функції демодулюються в кожному каналі, а потім вони формуються в одну послідовність. Може виникнути міжсимвольна інтерференція, для її запобігання інтегрується циклічний префікс (CP). Він буде знаходитися на початку кожного OFDM-символа [13].

Цей префікс являється циклічним повторенням закінченого символу. Завдяки наявності циклічного префіксу відбувається створення часових пауз між символами, які знаходяться окремо, і в наслідок багатопроменевого розповсюдження критична точка часу затримки сигналу може бути меншою ніж тривалість «захисного» інтервалу, що веде за собою повну відсутність міжсимвольної інтерференції.

Однак, циклічний префікс впливає на зменшення інформаційної швидкості, і відіграє роль надлишкової інформації, але він і на далі залишається тим самим захистом від міжсимвольної інтерференції. Сама ж надлишкова інформація чіпляється до символу, що передається в передавачі, та прибирається в приймачі на прийомі.

2.5 Технологія MIMO

Завдяки технології MIMO (Multiple Input Multiple Output) можливе зменшення помилок, які впливають в ході передачі даних по радіоканалу, а швидкість передачі, за умови великого перевідбиття сигналу, не змінюється.

В даній технології пристрої з багатoelementними антенами забезпечують: більші зони покриття радіосигналу, а кількість мертвих точок в них зменшена; зменшення проблем із завмираннями і відображеннями сигналу через те що використовується декілька шляхів поширення сигналу, підвищується ефективність на трасі; більшу пропускну здатність ліній зв'язку за допомоги фізично різних каналів [14].

Проста MIMO-антена – це сукупність двох несиметричних монополів (вібраторів), які встановлені до вертикальної осі орієнтовано під кут в 45 градусів. Даний кут поляризації забезпечує рівні умови для обох каналів. Приклад простої антени MIMO зображено на рисунку 21.



Рисунок 21 – Проста антена MIMO

За вертикально-горизонтального напрямлення одна з складових поляризації отримує значне згасання під час поширення по поверхні землі.

Випромінювані незалежні сигнали кожним монополю, поляризуються взаємно ортогонально з високим взаємним розв'язком по кроссполаризаційній складовій, яка складає не менше 20 дБ. Така сама антена використовується на стороні абонента. Принцип дії MIMO систем може бути організований як за принципом просторового ущільнення так і за принципом просторово-часового кодування. Сутність просторового ущільнення полягає в його способі передачі різних потоків інформаційних символів, також можлива передача інформаційних блоків, в різних передавальних антенах [15].

Транспортування даних з декількох антен відбувається паралельно. На стороні приймача відбувається прийом та поділ сигналів з різних антен, є можливість кратного збільшення максимальної швидкості передачі даних у мережі. Під час використання системи просторово-часового кодування забезпечується передача одного й того ж потоку даних, яка відбувається за рахунок усіх антен, які використовують схеми попереднього кодування, що забезпечує кращі характеристики прийому.

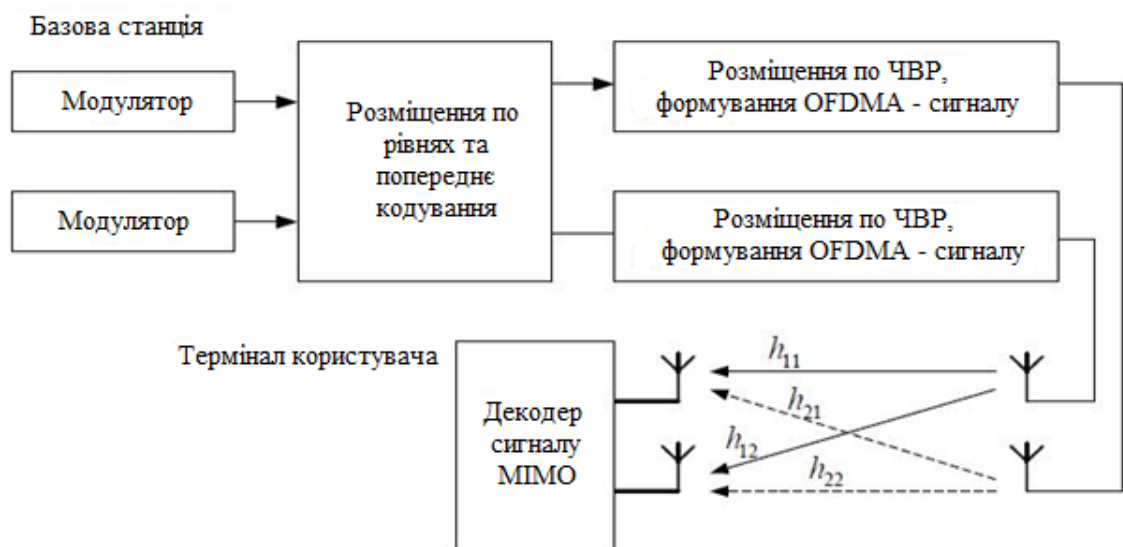


Рисунок 22 – Система MIMO 2x2

На рисунку 22 зображена структурна схема MIMO-системи, що має дві передавальні та дві приймаючі антени. Дана система створена за методом просторового ущільнення, який забезпечує підвищення максимального значення швидкості передачі даних у два рази.

Саме забезпечення мобільності при переміщенні термінального обладнання користувача між зонами обслуговування є найважливішою метою при взаємодії мережі LTE з мережами стільникового зв'язку інших стандартів 3GPP (UMTS/GSM/HSPA+). LTE взаємодіє з іншими 3GPP для представлення послуг телефонії за рахунок як класичної технології комутації каналів (TDM), так і на базі технологій сервісної підсистеми IMS [15].

Отже, побудову LTE мережі потрібно вести з повним розумінням діючої в регіоні інфраструктури та максимально використовувати вже наявні мережі 2G та 3G.

					<i>ЕЛІТ 6.172.234 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Аркш	№ Докум.	Підп.	Дата		35

3. РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ МЕРЕЖІ LTE, ЩО ПРОЕКТУЄТЬСЯ

3.1 Розгляд алгоритму проектування мережі LTE

Після проведення розгляду літератури [6, 15 – 18] можна стверджувати, що організація мережі радіодоступу стандарту LTE потребує особливого підходу, який має відмінності з методом проектування мереж стандарту GSM та CDMA. Потрібно враховувати новий метод організації багатостанційного доступу, який оснований на технології OFDM. Необхідно враховувати, що стандарт LTE має можливість використання двох типів дуплекса – частотного та часового. Технологія MIMO, яка теж використовується, може вносити деякі особливості під час розробки частотно-територіального плану мережі радіодоступу.

Отже, провівши аналіз літератури [6, 15 – 18] можна сформулювати основні етапи проектування мережі радіодоступу системи мобільного зв'язку 4G на прикладі стандарту LTE, опираючись при цьому на основні принципи проектування сучасних мереж, такі як: збільшення частотного діапазону безпроводних систем зв'язку; приймати особливі вимоги для частотно-територіального планування в зонах «щільної забудови», «збудови середньої щільності», «рідкої забудови», «відкритих місцевостей»; враховувати особливості нових технологій, які потрібні для підтримки високошвидкісного радіозв'язку (OFDM, MIMO); слідкувати за особливостями розрахунку пропускну здатності мережі та кількості абонентів, які одночасно обслуговуються в мережі.

Можливий варіант основних етапів проектування мережі радіодоступу системи стільникового зв'язку 4G LTE представлено у вигляді алгоритму:

Етап 1: Аналіз існуючих мереж

На вступному етапі моделювання мережі потрібно провести ретельний аналіз вже існуючої мережі радіозв'язку для забезпечення міжсистемної електромагнітної сумісності існуючої мережі з проектованою.

Етап 2: Вибір типу дуплексного каналу

В цій частині потрібно обрати тип реалізації дуплексних каналів в мережі, що проектується. Вибір способу реалізації дуплексного каналу один із важливих факторів, які спонукають на вибір частотного діапазону, який буде використовуватись в проектованій мережі.

Етап 3: Вибір обладнання мережі з необхідними технічними характеристиками

Обираємо обладнання для проектованої мережі на базі отриманих результатів від вище зазначених етапів та економічної складової.

Етап 4: Розрахунок параметрів енергетичного бюджету радіолінії

За рахунок інформації про основні технічні характеристики можливо розрахувати максимальні допустимі втрати.

Етап 5: Розрахунок кількості БС та параметрів стільника

На основі отриманих результатів розрахунку від попереднього етапу, розраховуємо радіус та площу стільника. Знаючи параметри стільника визначаємо кількість базових станцій, які потрібні для проектування мережі.

Етап 6: Розрахунок пропускної здатності

На останньому етапі розраховується пропускна здатність стільника та кількість абонентів, які одночасно обслуговуються в межах одного стільника та в усій мережі.

Таким чином, у даному розділі запропоновано алгоритм проектування мережі радіодоступу для системи зв'язку четвертого покоління стандарту LTE. Відповідно запропонованому алгоритму були розраховані первинні параметри мережі, визначено тип та необхідну кількість обладнання для побудови мережі радіодоступу LTE.

3.2 Розрахунок пропускної здатності мережі

З огляду на те, що за рахунок не дуже великого розміру міста Шостка щільність абонентів невисока. Тому і можливе розташування базових станцій на великій відстані одна від одної, що в свою чергу забезпечує кожному eNB більшу площу покриття. Необхідно вибрати радіочастотний спектр, який буде задовільний для наших вимог. Завдяки новим положенням можна використовувати спектр радіочастот у діапазоні 880-960 МГц (band 8) з частотним FDD видом дуплексу.

Саме цей варіант підходить для проектування мережі тому що місто має середню поверховість забудови, переважно низькі та невисокі будівлі, а чим нижче частота, тим більше поширення сигналу. В подальшому це допоможе суттєво скоротити матеріальні витрати.

Площа міста складає 43,69 квадратних кілометрів, населення цієї території приблизно 74000 осіб. За допомоги даної інформації можливе розрахування потенційної кількості трафіку. Для більшої точності розрахунків необхідно обрати кількість абонентів, які користуються послугами зв'язку, від загального числа потенційних абонентів. Це значення на рівні 40% - максимальна ємність ринку. Можна знайти потенційну кількість абонентів, які зацікавлені в користуванні послугами проектованої мережі. Розраховується за формулою [6]:

$$N_{\text{аб}} = N_{\text{жит}} * 0,40 = 74000 * 0,40 = 29600 \text{ чол.} \quad (3.2.1)$$

Тепер потрібно знайти пропускну здатність або ємність мережі. За деяких обставин вони залежні від середніх значень спектральної ефективності. Самі ж значення спектральної ефективності формують швидкість даних, які транспортуються у відповідних смугах частот.

Значення спектральної ефективності знаходяться як відношення швидкості передачі даних на 1 Гц смуги частот (біт/с/Гц).

Для різноманітних типів MIMO ширина смуги частот для частотного виду дуплексу (FDD) дорівнюватиме 20 МГц.

В таблиці 3 наведена середня спектральна ефективність для мережі LTE при різних конфігураціях MIMO.

Таблиця 3 – Конфігурації MIMO

Лінія	Схема MIMO	Середня спектральна ефективність (біт/с/Гц)
Uplink (UL)	1×2	1,254
	1×4	1,829
Downlink (DL)	2×2	2,93
	4×2	3,43
	4×4	4,48

Для знаходження необхідної середньої пропускної здатності одного сектора базової станції (eNB) для системи FDD необхідно помножити спектральну ефективність на ширину каналу [6]:

$$R = S * W, \quad (3.2.2)$$

де S – середня спектральна ефективність (біт/с/Гц);

W – ширина каналу, що становить 20 МГц.

Одержимо:

1) Для лінії «вгору» (UL): $R_{UL} = 1,254 * 20 = 25,08$ Мбіт/с;

2) Для лінії «вниз» (DL): $R_{DL} = 2,93 * 20 = 58,6$ Мбіт/с.

Пропускную здатність базової станції R_{eNB} можна обчислити за кількістю секторів, беремо кількість секторів у значенні $eNB = 3$. Формула для розрахунку [6]:

$$R_{eNB} = R_{DL/UL} * 3 \quad (3.2.3)$$

Отримуємо:

1) Для лінії «вгору» (UL): $R_{eNB,UL} = 25,08 * 3 = 75,24$ Мбіт/с ;

2) Для лінії «вниз» (DL): $R_{eNB,DL} = 58,6 * 3 = 175,8$ Мбіт/с.

Одним із важливих етапів є знаходження необхідної кількості базових станцій, яку повинна мати проєктована мережа. Потрібно знайти загальне число каналів, які необхідно виділити для розгортання мережі. Розрахунок цього числа ведеться за формулою [6]:

$$N_k = \left\lceil \frac{\Delta F}{\Delta F_k} \right\rceil, \quad (3.2.4)$$

де ΔF – смуга частот, яку виділяють для роботи мережі, $\Delta F = 75$ МГц;

ΔF_k – смуга частот одного радіоканалу, що для мереж LTE відповідає як ресурсний блок (БК) з шириною в 180 кГц.

$$N_k = \left\lceil \frac{75000}{180} \right\rceil \approx 417$$

Далі знаходимо необхідну кількість каналів в одному секторі одного стільника для обслуговування користувачів [6]:

$$N_{\text{к.сек}} = \left\lceil \frac{N_k}{N_{\text{кл}} \times M_{\text{сек}}} \right\rceil, \quad (3.2.5)$$

де N_k – загальна кількість каналів;

$N_{\text{кл}}$ – розмірність кластера, обирається з урахуванням кількості секторів eNB , що дорівнює трьом;

$M_{\text{сек}}$ – кількість секторів $eNB = 3$.

$$N_{\text{к.сек}} = \left\lceil \frac{417}{3 \times 3} \right\rceil \approx 47 \text{ (каналів)}$$

Тепер необхідно визначити кількість каналів трафіку в одному секторі одного стільника [6]:

$$N_{\text{кт.сек}} = N_{\text{кт1}} \times N_{\text{к.сек}}, \quad (3.2.6)$$

де $N_{\text{кт1}}$ – кількість каналів трафіку в одному радіоканалі, визначається за рахунок стандарту радіодоступу (для OFDMA $N_{\text{кт1}} = 1 \dots 3$). Для даного проєктування мережі LTE встановимо значення $N_{\text{кт1}}$ рівним одиниці.

$$N_{\text{кт.сек}} = 1 * 47 = 47 \text{ (каналів)}$$

Наступним кроком є знаходження допустимого навантаження в секторі одного стільника ($A_{\text{сек}}$), за допомоги таблиці Ерланга, при допустимому значенні ймовірності блокування, що представляє собою 1% та розрахованим

числом $N_{\text{кт.сек}}$. Отримали значення $A_{\text{сек}} = 35,21$ Ерл.

Кількість абонентів, що можуть обслуговуватися однією БС, знаходиться за формулою [6]:

$$N_{\text{аб.еNB}} = M_{\text{сек}} \times \left[\frac{A_{\text{сек}}}{A_1} \right], \quad (3.2.7)$$

де A_1 – середнє значення, за всіма видами трафіку, абонентського навантаження від одного абонента. Значення A_1 може становити (0,04...0,2) Ерл. Проектована мережа планується використовуватися для високошвидкісної передачі даних, тому значення A_1 приймемо рівним 0,1 Ерл. Таким чином:

$$N_{\text{аб.еNB}} = 3 \times \left[\frac{35,21}{0,1} \right] \approx 1057 (\text{абонентів}).$$

Розрахунок необхідної кількості БС для проекрованої мережі LTE проводиться за формулою [6]:

$$N_{\text{еNB}} = \left[\frac{N_{\text{аб}}}{N_{\text{аб.еNB}}} \right] + 1 = \left[\frac{29600}{1057} \right] + 1 \approx 28 \quad (3.2.8)$$

Далі знаходимо середню планову пропускну здатність мережі (R_N) за формулою нижче [6]:

$$R_N = (R_{\text{еNB,UL}} + R_{\text{еNB,DL}}) \times N_{\text{еNB}}, \quad (3.2.9)$$

$$R_N = (75,24 + 175,8) \times 28 = 7029,12 \text{ (Мбіт/с)} = 7,02912 \text{ (Гбіт/с)}.$$

Далі отримаємо перевіірочну оцінку ємності проекрованої мережі і порівняємо з розрахованою. Визначимо усереднений трафік одного абонента в час найбільшого навантаження (ЧНН) [6]:

$$R_{\text{Т.ЧНН}} = \frac{T_{\text{Т}} \times q}{N_{\text{ЧНН}} \times N_{\text{д}}}, \quad (3.2.10)$$

де $T_{\text{Т}}$ – середній трафік одного користувача в місяць, $T_{\text{Т}} = 25$ Гбайт/міс;
 q – коефіцієнт для даного типу місцевості, значення $q = 2$;

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

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

$$R_{\text{т.чнн}} = \frac{25 \times 2}{7 \times 30} = 0,238 \text{ (Мбіт/с)}.$$

Тепер можемо порахувати загальний трафік мережі в час найбільшого навантаження ($R_{\text{заг/чнн}}$) використовуючи формулу [6]:

$$R_{\text{заг/чнн}} = R_{\text{т.чнн}} \times N_{\text{акт.аб}}, \quad (3.2.11)$$

де $N_{\text{акт.аб}}$ – кількість активних абонентів мережі, візьмемо 70% від загального числа потенційних абонентів $N_{\text{аб}}$, тому $N_{\text{акт.аб}} = 20720$ абонентів.

$$R_{\text{заг/чнн}} = 0,238 \times 20720 = 4931,3 \text{ (Мбіт/с)} = 4,9313 \text{ (Гбіт/с)}.$$

Отже, порівнявши результати $R_N > R_{\text{заг/чнн}}$ можемо зробити висновок, що дана проєктована мережа не буде перевантажена.

3.3 Розрахунок зон радіопокриття проєктованої мережі

Перш за все потрібно визначитися з максимально допустимими втратами (МДП). Для вибраного діапазону в 880-960 МГц можна визначитися з такими значеннями запасу на проникнення як:

- 1) Для сільської місцевості дорівнюватиме -8 дБ.
- 2) В умовах рідкісної забудови дорівнюватиме -12 дБ.

Під час розрахунків будуть використовуватися наступні параметри для проєктованої мережі:

- 1) Базові станції будуть працювати на лінії «вниз» (DL) в режимі MIMO 2×2.
- 2) Системна смуга буде дорівнювати 20 МГц, для FDD = 10/10 (UL/DL).

Розрахунок максимальних допустимих втрат виконується за формулою:

$$L_{\text{мпд}} = P_{\text{евп.прд}} + S_{\text{ч.пр}} - G_{\text{А.прд}} - L_{\text{ф.прд}} - M_{\text{прон}} - M_{\text{зав}} - M_{\text{зат}} + G_{\text{хо}}, \quad (3.3.1)$$

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

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

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

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

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

$M_{зав}$ – запас на завади, для UL = 2,7 дБ, а для DL = 6,5 дБ;

$M_{зат}$ – запас на затінення, що буде дорівнювати 8,2 дБ;

$G_{хо}$ – виграш від хендовера, значення буде рівним 1,7 дБ.

Для знаходження $P_{свп.прд}$ використовуємо формулу [18]:

$$P_{свп.прд} = P_{вих.прд} + G_{А.ппрд} - L_{ф.прд}, \quad (3.3.2)$$

де $P_{вих.прд}$ - це вихідна потужність передавача. $P_{вих.прд}$ в лінії "вниз" (DL) в LTE залежить від ширини смуги частот стільників, значення якої може коливатися від 1,4 до 20 МГц. Якщо це число в межах до 5 МГц то краще вибрати передавачі TRX з потужністю 20 Вт (34 дБм), а у випадках понад 5 МГц – 40 Вт (46 дБм). $P_{вих.прд}$ для DL = 46 дБм, а UL = 30 дБм.

За рахунок отриманих значень можливо розрахувати еквівалентну випромінювану потужність передавача.

Одержимо:

1) Для лінії «вгору» (UL): $P_{свп.прд} = 30$ (дБм).

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

Тепер потрібно знайти величину чутливості приймача ($S_{ч.пр}$). Формула знаходження даної величини наведена нижче [18].

$$S_{ч.пр} = P_{тш.пр} + M_{всш.пр} + L_{пр.}, \quad (3.3.3)$$

де $P_{тш.пр}$ – це потужність теплового шуму приймача, які для DL = -173,9 дБм, а для UL = -104,1 дБм;

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

$L_{пр}$ – коефіцієнт шуму приймача, DL = 6,9 дБ, UL = 2,6 дБ.

Отримаємо:

1) Для лінії «вгору» (UL): $S_{ч.пр} = -104,1 + 0,62 + 2,6 = -100,88$ (дБм);

2) Для лінії «вниз» (DL): $S_{ч.пр} = -173,9 + (-0,25) + 6,9 = -167,25$ (дБм);

На цьому етапі тепер можливий розрахунок максимально допустимих втрат ($L_{мпд}$):

1) Для лінії «вгору» (UL): $L_{мпд} = 30 - (-100,88) - 12 - 2,7 - 8,2 + 1,7 = 109,68$ (дБ);

2) Для лінії «вниз» (DL): $L_{мпд} = 63,7 - (-167,25) - 18 - 0,3 - 12 - 6,5 - 8,2 + 1,7 = 187,65$ (дБ)

Далі необхідно обрати менше значення з них та відштовхуватися від обраного числа для подальших розрахунків дальності зв'язку та радіусу стільників. Обмежувальною лінією по дальності зв'язку, як правило, є лінія вгору. Тепер потрібно обрати модель поширення радіохвиль Окумура – Хата. Дана модель пропонує таку формулу для знаходження середнього загасання радіосигналу в умовах міста [18]:

$$L_M = 69,5 + 26,16 \log f_c - 13,82 \log h_t - A(h_r) + (44,9 - 6,55 \log h_t) \times \log d \quad (3.3.4)$$

Для місцевості з середньою забудовою формула буде дещо змінена [18]:

$$L_c = L_M - 4,78 (\log f_c)^2 + 17,33 \times \log f_c - 40,94, \quad (3.3.5)$$

де f_c – частота в діапазоні від 150 до 1500 МГц;

h_t – висота антени передавача, діапазон від 30 до 300 метрів;

h_r – висота антени приймача, можливе розташування на висоті від 1 до 10 метрів;

d – радіус стільника;

$A(h_r)$ – коефіцієнт для похибки висоти антени рухомого об'єкту.

Запишемо такі параметри для проектованої мережі:

1) Частота передачі: $f_c = 900$ МГц.

2) Висота антени передавача: $h_t = 36$ м.

3) Висоту антени приймача: $h_r = 6$ м.

Розрахунок коефіцієнта $A(h_r)$ для не щільно заселеної території відбувається за формулою [18]:

$$A(h_r) = (1,1 \times \log f_c - 0,7) \times h_r - (1,56 \times \log f_c - 0,8) = (1,1 \times \log 900 - 0,7) \times 6 - (1,56 \times \log 900 - 0,8) = 11,4 \quad (3.3.6.)$$

Для кінцевого результату необхідно вивести з формули (3.3.4) та (3.3.5) радіус стільника, отримуємо результат в $d \approx 1$ км. Маючи значення радіусу стільника обчислимо площу покриття стільника за формулою [18]:

$$S_{eNB} = 9 \frac{\sqrt{3}}{8} \times d^2, \quad (3.3.7)$$

$$S_{eNB} = 9 \frac{\sqrt{3}}{8} \times 1^2 \approx 1,95 \text{ (км}^2\text{)}.$$

3.4 Оцінка мовного трафіку

За рахунок вище знайденої кількості потенційних абонентів можна знайти число абонентів, які одночасно використовують мовний трафік. Розрахунок числа ведеться за формулою [18]:

$$A = A_{cp} \times N_{ab}, \quad (3.4.1)$$

де A_{cp} – це навантаження одного абонента в годину найбільшого навантаження, значення дорівнюватиме 0,05 Ерл;

$$N_{ab} = 29600 \text{ чол.}$$

$$A = 0,05 \times 29600 = 1480 \text{ (Ерл)}$$

Отже, отримане навантаження в 1480 Ерл є еквівалентним числу абонентів, які одночасно використовують мовний трафік.

4. ПРОЕКТУВАННЯ МЕРЕЖІ LTE В ПРОГРАМІ ATOLL

4.1 Програма ATOLL

На теперішній час існує задовільна кількість програмного забезпечення в якому можливе проектування безпроводних мереж. По всьому світу ІТ-компанії зацікавлені в розробці програм, що зможуть забезпечити користувача різними функціями для точного розрахунку покриття мережі, втрат, швидкості передачі даних та інших необхідних величин. Існує список програм, які задовольняють вимогам для проєктованої мережі. Перелік даних програм: RVA, RF3D WiFi Planner, ICS Telecom, Ekahau Site Survey, Atoll. В даній роботі буде використовуватися програмне забезпечення – Atoll.

Сама ж програма представляє собою мультитехнологічну платформу, яка відкрита та зрозуміла для користувача, масштабована та доволі гнучка. Технологічна база даної платформи виконує проектування та оптимізацію мережі, наявна підтримка технології безпроводних мереж на будь-якому етапі проєкту мережі. Гнучкість ПЗ забезпечує повне підлаштування робочого простору під кожного користувача індивідуально. Можливе інтегрування з іншими проєктами [5].

Програмою підтримуються наступні технології:

- GSM/GPRS/EDGE;
- UMTS/HSPA;
- CDMA2000 1xRTT/EV-DO;
- LTE;
- TD-SCDMA;
- WiMAX/BWA;
- Microwave links.

За допомогою Atoll можна проводити дослідження в широкому спектрі сценаріїв проектування. Це може бути як багатопотокове обчислення або

автономне та корпоративне розподілення конфігурацій.

Дане програмне забезпечення має суттєву кількість особливостей, які не представлені в конкурентів. Такі як:

- Більш ширші можливості в проектуванні мереж за рахунок великої кількості стандартів зв'язку;
- Ефективна робота інструментів для оптимізації;
- Відкрита архітектура;
- Сучасні засоби підтримки різноманітних форматів геоданих.

Підтримка великої кількості цифрових шарів моделі;

- Наявність інструментів для автоматичного планування стільників та частот;
- Широкий діапазон вибору бездротових телекомунікаційних систем;
- Є можливість налаштування типа антени, висоти, потужності передавача.

4.2 Моделювання мережі в місті Шостка

Невід'ємною частиною проектування мереж рухомого радіозв'язку абонентського доступу є процес частотно-територіального планування, що проходить за рахунок обирання структури мережі, розташування базових станцій та проектування плану розподілу радіоканалів для БС.

Для забезпечення точних результатів потрібно додати карти рельєфа міста Шостка. Це і буде першим етапом початку практичного моделювання. Завдяки рельєфній карти можна слідкувати за різницею висоти між стільниками, що веде за собою отримання більш чіткого уявлення про покриття сигналу проектованої мережі [5].

Для отримання необхідної карти можна використовувати веб-сайт – <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Даний сайт дає змогу отримати якісну карту висот необхідної місцевості. Процес вибору місцевості зображено на рисунку 23.

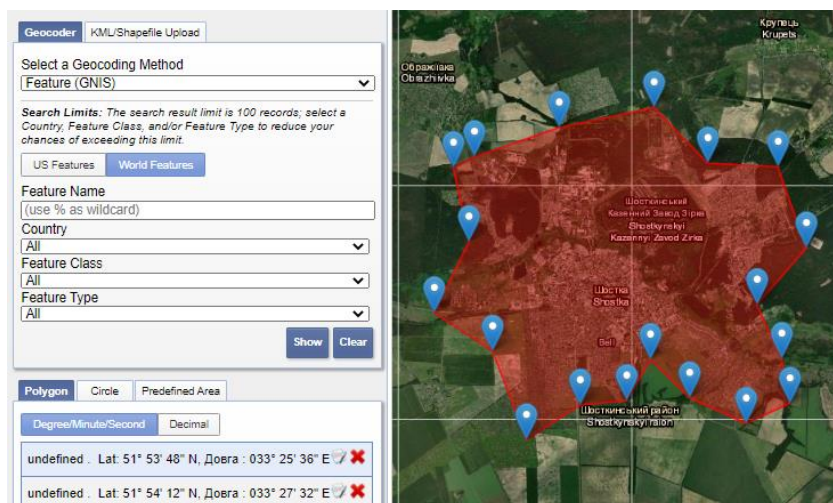


Рисунок 23 – Вибір необхідної місцевості

Після вибору необхідної ділянки потрібно завантажити карту рельєфа, що має параметри висоти. Це додасть максимальної реалістичності під час проектування мережі LTE. Отриманий файл не підтримується програмою Atoll, тому потрібно скористатися спеціальним програмним забезпеченням GlobalMapper для корвентування, щоб новий файл відкрився в Atoll. Додаток GlobalMapper використовується в сферах картографії та обробки карт, підтримує велику кількість типів файлів.

Отримана карта рельєфа після обробки в цій програмі має наступний вигляд, що зображений на рисунку 24.

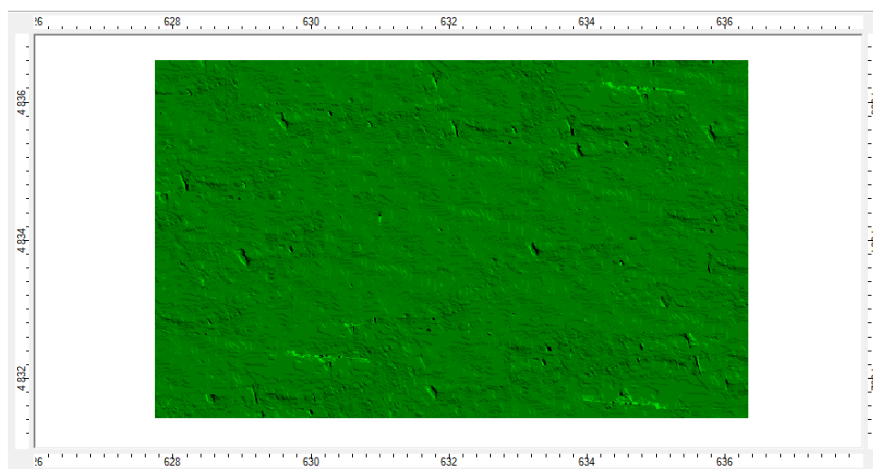


Рисунок 24 – Карта рельєфам м. Шостка та прилеглої території

Тепер необхідно додати схемотехнічну карту міста за допомогою вище сказаних програмних забезпечень. Завдяки можливостям ПЗ дана карта автоматично знайде своє місце на карті рельєфу за рахунок прив'язки по географічним координатам. Кінцевий результат зображений на рисунку 25.

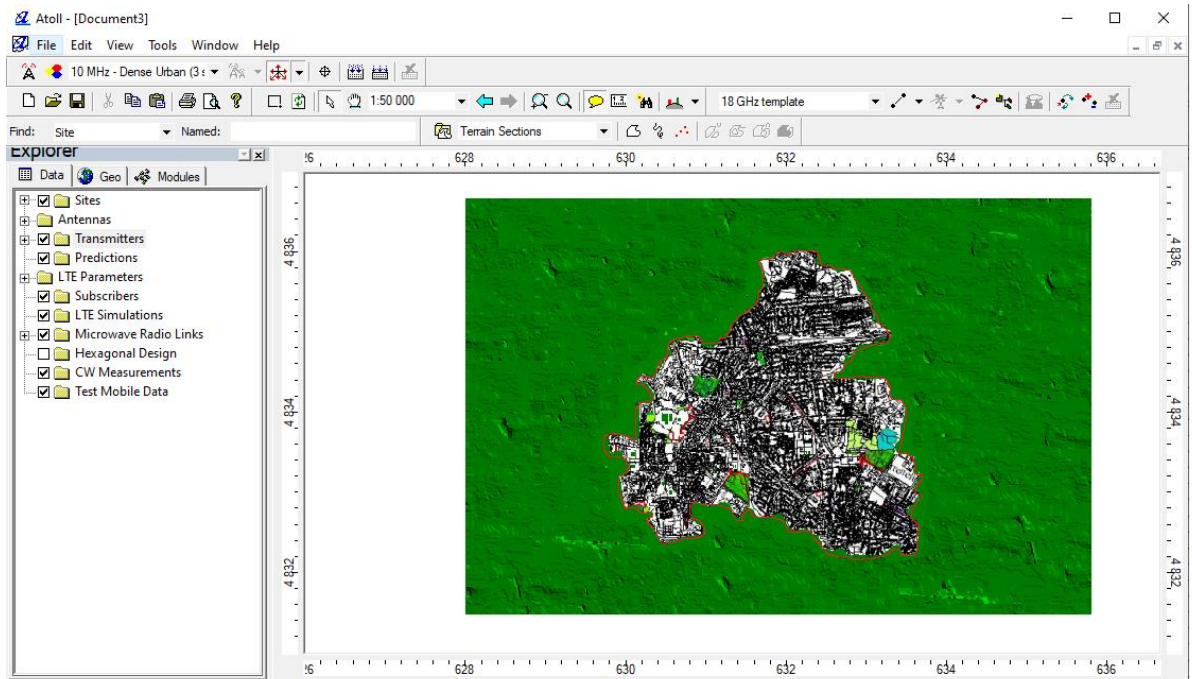


Рисунок 25 – Кінцевий вигляд карт у програмному середовищі Atoll

Уже все необхідне є для початку моделювання мережі. На даному етапі вже відома велика кількість параметрів, які можна налаштувати. Для початку потрібно створити новий файл та вибрати технологію «LTE», потім завантажити шари карт, які уже готові в одному файлі.

Наступним кроком є розташування БС на високих точках рельєфу або на найвищих будівлях. У вікні конфігурацій базової станції внесемо такі параметри як:

- 1) Обираємо приклад БС для міста – urban.
- 2) Кількість секторів буде дорівнювати трьом.
- 3) Радіус стільника буде рівний одному кілометру.
- 4) Висота підвісу антени дорівнює 36 метрів.

- 5) Встановлюємо значення частоти передачі – 900 МГц.
- 6) Із списку моделей поширення радіохвиль обираємо Окумура – Хата.

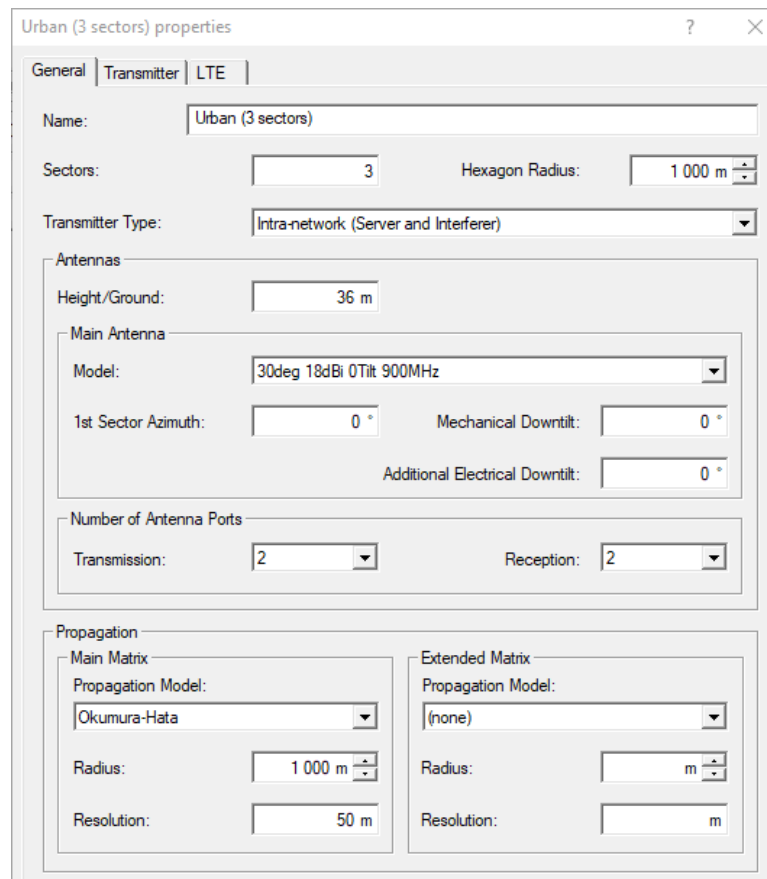


Рисунок 26 – Вікно конфігурації БС

Деякі параметри нам вже відомі з попередніх розділів. Після налаштування конфігурації можна починати розташовувати БС, таким чином щоб була охоплена уся територія міста. Звісно, в реальних умовах проектування рідко залишають таку кількість БС, оскільки це може бути не вигідним з фінансової точки зору. Але у межах даної роботи ведеться майже ідеальне моделювання мережі, щоб забезпечити максимальний результат пропускну здатності та зони покриття [5].

Ефективне розташування БС зображено на рисунку 27. Були використані усі базові станції, число яких було розраховане в попередніх розділах.

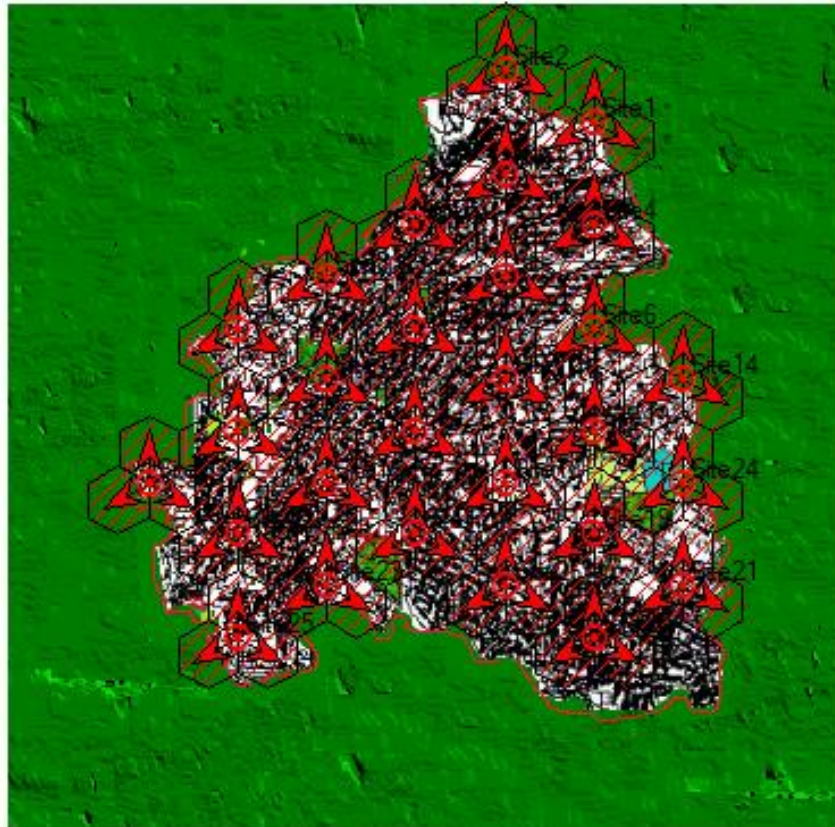


Рисунок 27 – Розташування БС у м. Шостка

Перед проведенням подальших експериментів потрібно переконатися в працездатності передавачів та чи покривають вони відведену їм територію. Обираємо необхідну функцію та чекаємо на результат, який зображено на рисунку 28.

Тепер можливе моделювання покриття мережі та перевірка рівня сигналу у місті. Завдяки можливостям Atoll розрахунок покриття відбувається автоматично з параметрами, які були задані раніше. В залежності від рівня сигналу карта покривається різними кольорами, що дуже зручно зображує на скільки чудовий сигнал. Після закінчення процесу ми отримуємо результат, який зображено на рисунку 29.

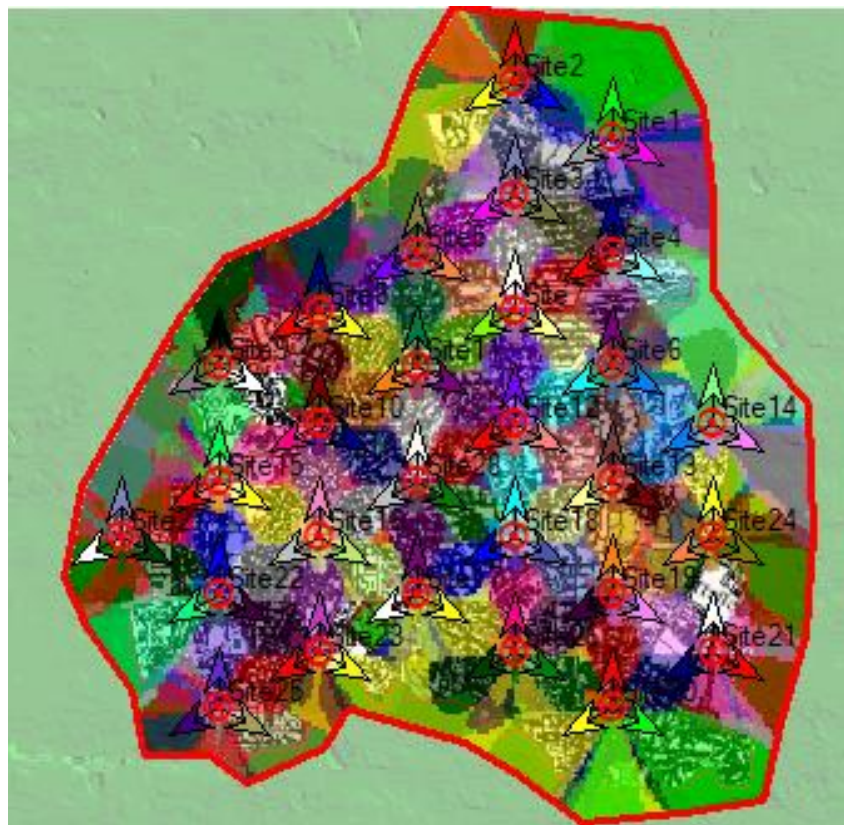


Рисунок 28 – Територія покриття передавачем

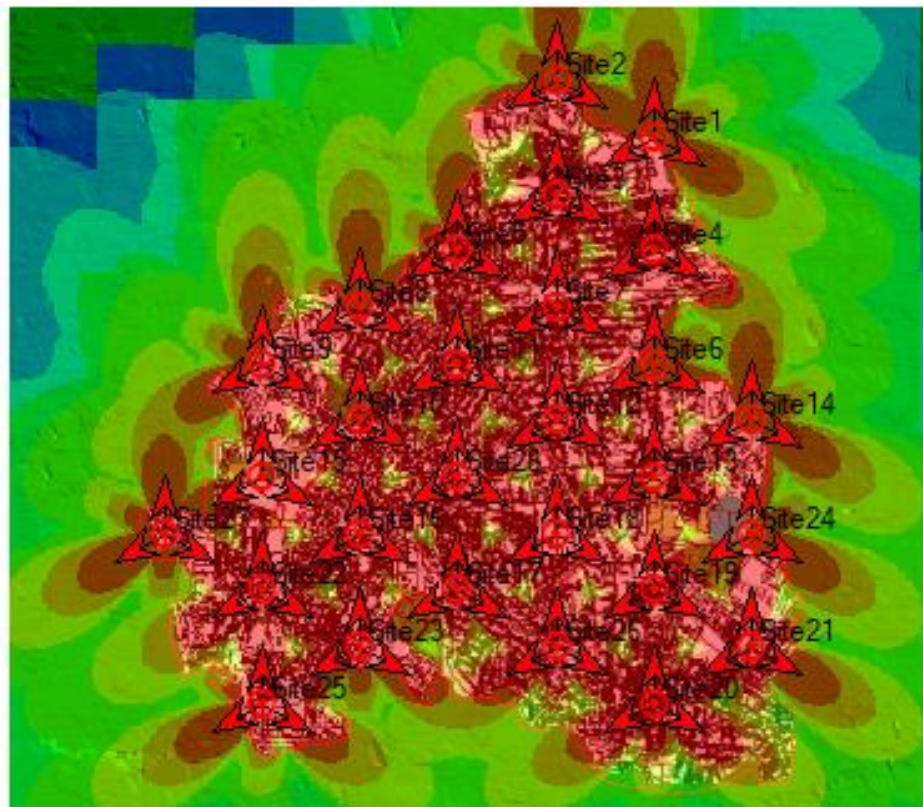


Рисунок 29 – Рівень покриття

Отже, на рисунку 29 чітко видно, що високий рівень сигналу переважає на всій території місцевості. При даному обладнанні рівня сигналу достатньо навіть при подальшому збільшенні території та населення. Дана проектована мережа може забезпечувати ресурси мережі на достатньому рівні протягом багатьох років. Рівень сигналу можна перевірити засобами Atoll, вся необхідна інформація буде доступна у зручному для аналізу форматі, результат зображено на рисунку 30.

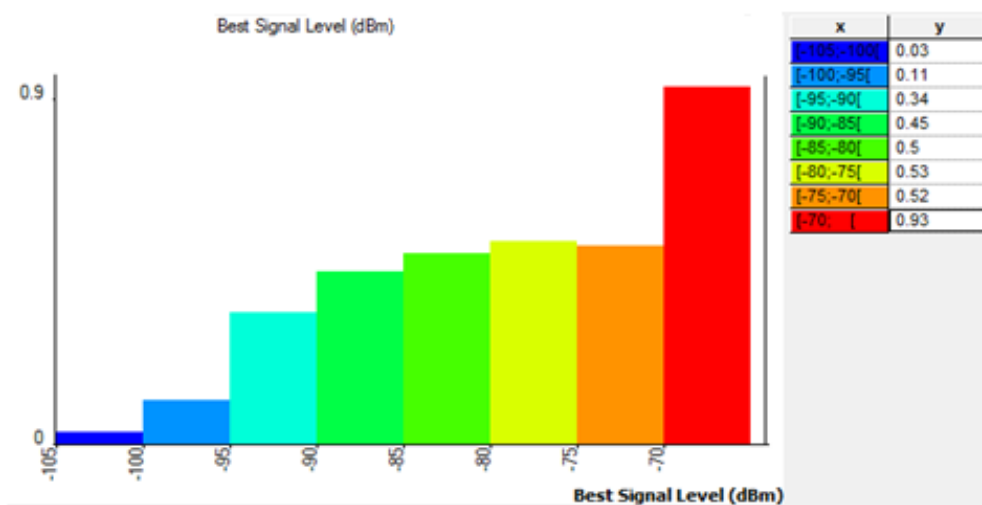


Рисунок 30 – Гістограма рівня сигналу на території м. Шостка

На гістограмі ми бачимо, що рівень сигналу в межах міста знаходиться в діапазоні від (-65) дБ до (-70)дБ, що є ідеальним результатом для проектованої мережі. З такими показниками рівня сигналу будуть задовольнятися усі потреби в засобах зв'язку, а перевантаження мережі буде майже неможливим. Для зібрання більшої кількості даних про проектовану мережу використовуємо більш ширші можливості ПЗ. Наприклад, можна знайти параметри покриття за пропускною здатністю з 28 БС [5]. На рисунках нижче зображена відсоткова статистика 4G LTE покриття за пропускною здатністю для лінії «вниз» та «вгору».

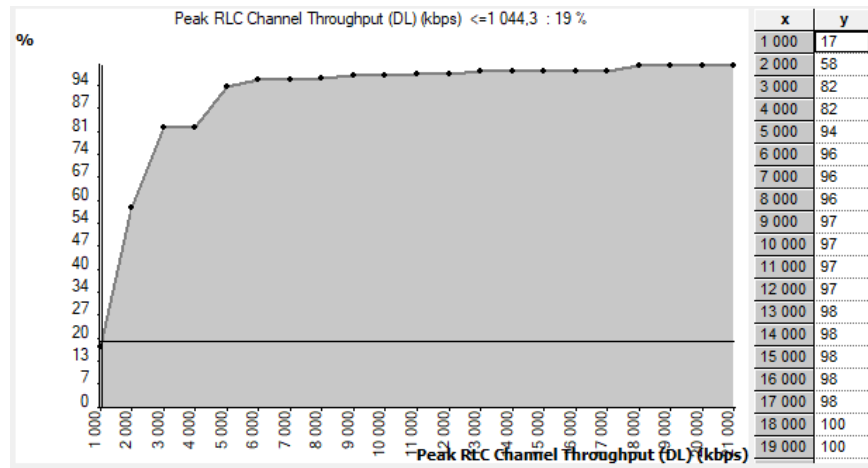


Рисунок 31 – Покриття за пропускною здатністю DL

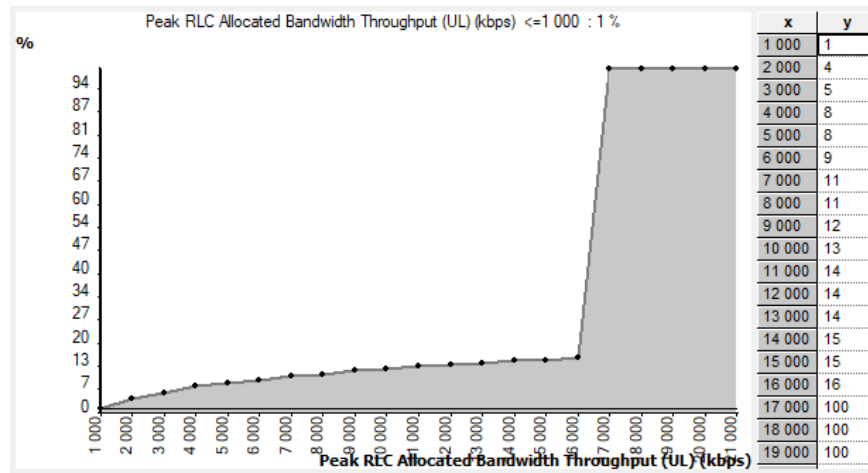


Рисунок 32 – Покриття за пропускною здатністю UL

Аналізуючи результати моделювання покриття з розмішеними базовими станціями, цілком очевидно, що проектована мережа забезпечує задовільне покриття мережею LTE територію міста. Абоненти залишаються підключеними як DL, так і в UL, що вказує на дуже гарний результат для даної мережі.

5. ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ ТА БАЗОВОЇ СТАНЦІЇ

Для реалізації транспортної мережі LTE буде використовуватися комутаційне обладнання компанії «Huawei». На теперішній час це найкращий вибір серед різних компаній. В даній роботі було обрано платформу базової мережі «eCNS600» LTE. Саме це обладнання має всі необхідні складові комутації мережі LTE.

Обладнання «eCNS600» – це корпоративна система базової мережі, яка було спроектована компанією «Huawei» для удосконалення пакетної бази мережі (EPC), та використовується тільки для архітектури типу LTE.

Дана система інтегрує такі функції як: управління абонентом SAE-HSS; Елемента управління мобільністю (MMO); шлюзу обслуговування (S-GW); правил та політики тарифікації.

Обслуговування та управління мережі eCNS600 відбувається централізовано. Система здатна підтримувати 200 тис. абонентів та 400 тис. операторів. Кількість операторів, які одночасно активовані зі сторони UE буде дорівнювати 11. 1,5 тис. базових станцій підтримується системою. Пропускна здатність до 40 Гбіт/с. Вхідне електроспоживання від -40 В до -57 В. Середній час напрацювання на відмову більше 300 тис. годин. Механізм резервного копіювання – 1+1 [10].

Для ефективної роботи та обслуговування мобільного зв'язку рекомендується використовувати платформу «Huawei iManagerM2000». Зовнішній вигляд «iManagerM2000» представлений на рисунку 33.

					<i>ЕЛІТ 6.172.234 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Аркш	№ Докум.	Підп.	Дата		55



Рисунок 33 – iManagerM2000

M2000 підтримує функції, які забезпечують високий рівень ефективності роботи інженерів з експлуатації та обслуговування, та зменшує загальні витрати. Такі функції включають в себе перевірку загальної працездатності мережі, дистанційне удосконалення, пакетне оновлення, автоматичне планування БС, оптимізація стільників, дистанційне курування БС, налаштування аварійної сигналізації режиму обслуговування.

Під час обиравання обладнання БС LTE необхідно переконатися в те, що дане обладнання буде підтримувати інші стандарти мобільного зв'язку та технічні характеристики. Для проектованої мережі, враховуючи її особливості, можна обрати обладнання компанії «Huawei». У ролі обладнання радіодоступу буде використовуватися БС «DBS3900 FDD».

DBS3900 складається з BBU3900 і RRU. BBU3900 характеризується невеликими габаритами, легкістю встановлення, а також невеликим енергоспоживання. RRU має компактний розмір та малу вагу. Його можна встановлювати дуже близько до антени, що скорочує довжину фідерного кабелю та підвищує зону покриття системи. Використовуючи дану БС буде низьке електроспоживання, буде дотримана ємність при зростанні мобільного трафіку та високі показники спектральної ефективності. «DBS3900» скорочує витрати на запасні частини та обслуговування за рахунок двох типів основних функціональних модулів. Основні модулі легко пристосовуються до умов середовища та майданчика, що забезпечує ефективне розгортання мережі. Віддалений радіомодуль забезпечує такі переваги [10]:

- Радіочастотний модуль DBS3900 може монтуватися на вежі, довжина лінії живлення значно скорочується і витрати на підвідні лінії також скорочуються.

- скорочення втрат на лініях живлення призводить до збільшення коефіцієнта посилення потужності від 3 до 5 дБ і підвищенню радіуса покриття більш ніж на 20 %;

В цілому DBS, як і сполучені з нею BBU та всі RRU, фактично представляють собою один стільник. Перевага подібної схеми полягає в зниженні числа хендверів між стільниками. Кожен RRU може виробляти радіосигнали та управляти ними незалежно, а пасивні перешкоди не накопичуються, та DBS може керувати єдиним інтерфейсом обслуговування.

Дана БС має такі характеристики як [16,18]:

- Максимальна смуга частот в одному стільнику буде рівна 20 МГц.
- Пропускна здатність низхідного каналу на рівні управління доступом до середовища (MAC) становить 150 Мбіт/с (2x2 MIMO).

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

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

Характеристики BBU3900 [18]:

- Має на платі один електричний порт FE/GE та один оптичний порт FE/GE.

- Вхідна потужність від -38 В до -57 В.

- Розмір (висота × ширина × глибина) – 86x442x310 мм.

- При повній конфігурації маса дорівнює 12 кг.

- Робоча температура від мінус 20 до плюс 20 °С при довгостроковій роботі.

- Клас захисту від зовнішніх факторів – IP-20/

Характеристики віддаленого радіоблоку RRU [18]:

- Вхідна потужність мінус 48 В, діапазон напруги від мінус 57 до мінус 36 В.

- Температура експлуатації від мінус 40 до плюс 50 °С.

- Відносна волога від 5 до 100%.

- Клас захисту від зовнішніх чинників – IP65.

На рисунку 34 зображено варіант встановлення DBS3900.

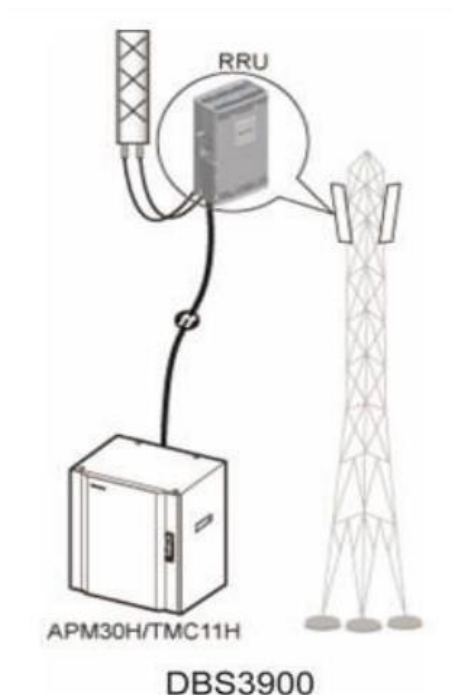


Рисунок 34 – Варіант встановлення DBS3900

В перелік обладнання БС мережі стандарту LTE входить [16,18]:

- три антени;
- базовий блок BBU3900LTE («Huawei Technologies», Китай);
- панель розподілу живлення;
- три радіомодуля RRU 3268 («Huawei Technologies», Китай).

Під час вибору обладнання були враховані усі нюанси проектування мережі за допомогою технології LTE. Використовуване обладнання дає можливість подальшого удосконалення мережі без виникнення труднощів.

ВИСНОВОК

У даній кваліфікаційній роботі розглядалося питання організації бездротового доступу LTE в місті Шостка, Сумська область. Сучасні технології бездротового доступу можуть забезпечити місто якісним рівнем покриття мобільного зв'язку четвертого покоління LTE, підтвердженням цього є спроектована мережа LTE за допомоги програмного забезпечення Atoll. Під час проектування мережі були отримані дані про пропускну здатність, зону покриття та рівень сигналу, які мали достатньо високі характеристики. Даних показників мережі вистачить навіть при подальшому збільшенні території міста та потенційних абонентів.

В ході виконання роботи були розглянуті основні технології та стандарти нині існуючих поколінь зв'язку. Але все таки більше уваги приділялось ключовій технології для моделювання мережі, а конкретно технології LTE. Було відведено цілий розділ для ознайомлення з характеристиками технології цього стандарту, а також були детально описані основні засоби, що використовуються при розробці мереж 4-го покоління, а саме технологія MIMO та OFDMA.

Для проектування мережі в місті Шостка використовувалось програмне забезпечення Atoll. Завдяки можливостям даного ПЗ моделювання мережі ведеться певною мірою приближене до реального, що в свою чергу забезпечує точні показники. Підсумком даного проектування стало розуміння того в яких випадках можливе створення мережі, для забезпечення потреб абонентів на території міста Шостка.

					<i>ЕЛІТ 6.172.234 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Аркш	№ Докум.	Підп.	Дата		59

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бойко Б. Р. Аналіз проблем впровадження мереж LTE // Тези науково-технічної конференції «Фізика, електроніка, електротехніка», СумДУ, 2021 р.
2. Системы мобильной связи : учеб.-метод. пособие для студентов специальности 1-98 01 03 «Программное обеспечение информационной безопасности» / Н. Н. Буснюк, Г. И. Мельянец. – Минск : БГТУ, 2018. – 153 с.
3. Современные средства связи : материалы XXIV Междунар. науч.-техн. конф., 17–18 окт. 2019 года, Минск, Респ. Беларусь ; редкол. : А. О. Зеневич [и др.]. – Минск: Белорусская государственная академия связи , 2019. – 250 с.
4. Сети и стандарты мобильной связи : учебное пособие / В. И. Данилов; СПбГУТ. – СПб., 2015. – 100 с.
5. LTE Radio Planning Using Atoll Radio Planning and Optimization Software. Marwa Elbagir Mohammed, Khalid Hamid Bilal.
6. Description of Models and Tool, Coverage and Capacity Estimation of 3GPP Long Term Evolution radio interface. Abdul Basit, Syed.
7. How 4G Works [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://electronics.howstuffworks.com/4g.htm/printable>
8. Д. С. Кулябов, А. В. Королькова. Архитектура и принципы построения современных сетей и систем телекоммуникаций.
9. Тихвинский В.О. Сети мобильной связи LTE: технологии и архитектура / Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Юрчук А.Б. – М.: Еко-Трендз, 2010. – 284 с.
10. Пилипенко А.М., Ефремов С.А. Проектирование беспроводной городской сети связи четвертого поколения // Современные научные исследования и инновации. 2015.

11. Мобильная связь: стандарты, структура, алгоритмы, планирование. Лохвицкий М. С., Сорокин А. С., Шорин О. А., 2018. – 264с.
12. Системи рухомого зв'язку. Навчальний посібник / О. О. Семенова, А. О. Семенов, В. С. Белов. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 185 с.
13. Ратынский М.В. Основы сотовой связи / Под ред. Д.Б. Зимина.-2-е изд., перераб. и доп.- М.: Радио и связь, 2000.- 248с.: ил.
14. Сайко В.Г., Амірханов Е.Д. Основы мережі цифрового радіозв'язку і радіодоступу нового покоління. – К.: ДУТ, 2015. – 77 с.
15. 4G vs LTE: What's the difference? [Електронний ресурс].—Режим доступу: <https://www.techadvisor.co.uk/feature/mobile-phone/4g-vs-lte-whats-the-difference>три605656
16. 4G LTE-Advanced Pro and The Road to 5G (Third Edition) / Erik Dahlman, Stefan Parkvall and Johan Skold – Academic Press – 2016. – 616 p.
17. LTE RF Planning [Електронний ресурс].— Режим доступу: <https://sites.google.com/site/lteencyclopedia/lte-radio-link-budgeting-and-rf-planning/lte-rf-planning>
18. LTE radio network deployment design in urban environments under different traffic scenarios // António Bernardo Barreiros de Alcobia, May 2017, 110 p.