

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Інститут електроенергетики
Факультет інформаційних технологій
Кафедра безпеки інформації та телекомунікацій

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеня бакалавра

галузь знань 17 Електроніка та телекомунікації

спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка

освітній рівень бакалавр

На тему: Планування мережі стільникового зв'язку для сільської місцевості за стандартом «LTE 900»

Виконав: студент 3 курсу, група 172-19ск-1

Лук'яненко Вадим Юрійович

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
Кваліфікаційної роботи	к.т.н., доц. Галушко О.М.			
Розділів:				
Спеціальний	к.т.н., доц. Галушко О.М.			
Економічний	к.е.н., доц. Романюк Н.М.			
Рецензент				
Нормоконтроль	к.т.н., доц. Галушко О.М.			

Дніпро
2022

**Міністерство освіти і науки України
Державний вищий навчальний заклад
Національний технічний університет
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

**Інститут електроенергетики
Факультет інформаційних технологій
Кафедра безпеки інформації та телекомунікацій**

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри
безпеки інформації та телекомунікацій
д.т.н., професор Корнієнко
В.І.

« _____ » _____ 2022 року

**ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеня бакалавра**

спеціальність

172 Телекомунікації та радіотехніка

(код і назва спеціальності)

студента

172-19ск-1

Лук'яненко Вадим Юрійович

(група)

(прізвище ім'я по-батькові)

Тема: Планування мережі стільникового зв'язку для сільської місцевості за стандартом «LTE 900»

Наказ ректора Державного ВНЗ НТУ «ДП» від 18.05.2022 р. № 268-с

Розділ	Зміст	Термін виконання
Стан питання, постановка задачі	Огляд технології LTE, опис сфери використання, принципу роботи та архітектури мережі.	18.03 2022 – 17.04 2022
Спеціальна частина	Розрахунок параметрів мережі для умов сільської місцевості, визначення показників надійності.	17.04 2022 – 23.05 2022
Економічний розділ	Розрахунок вартості планування мережі мобільного зв'язку.	23.05.2022 – 09.06.2022

Завдання видав

_____ (підпис керівника)

Галушко О.М.

(прізвище, ініціали)

Завдання прийняв

_____ (підпис)

Лук'яненко Вадим Юрійович

(прізвище, ініціали)

Дата видачі завдання: 18 березня 2022 р

Строк подання дипломного проекту до ДЕК: 12 червня 2022 р.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 74 с., 13 рис., 12 табл., 5 додатків, 32 джерела.

Об'єкт розроблення: мережа стільникового зв'язку.

Мета роботи: «Планування мережі стільникового зв'язку для сільської місцевості за стандартом «LTE 900»

Швидкий мобільний Інтернет — це глобальна зміна якості життя в країні. Швидкий зв'язок впливає на багато сфер, починаючи з розвитку мобільної комерції і закінчуючи можливістю отримувати повноцінну онлайн-освіту в будь-який зручний час. У 2020 році в Україні розпочався проєкт "LTE 900", мета якого - розширити покриття мобільного зв'язку в сільській місцевості.

У першому розділі кваліфікаційної роботи наведені основні відомості про розвиток поколінь мобільного зв'язку, еволюцію радіо технологій, принципи мережевої архітектури LTE та позиціонування користувача в цій мережі. Сформульовані задачі кваліфікаційної роботи бакалавра.

У спеціальній частині обрано об'єкт планування мережі LTE - райцентр з населенням до 15000 мешканців, з площею до 20 кв. км. та розраховано параметри мережі LTE для умов сільської місцевості: кількість абонентів, яке обслуговуватиметься однією eNB, кількість базових станцій, загальний трафік мережі в ГНН, максимальна дальність зв'язку та сумарне навантаження каналів даних та мовного. Визначено напрацювання на відмову системи, яка склала значення менш нормативного.

В економічному розділі виконано розрахунок капітальних витрат на виконання робіт з планування мережі стандарту LTE 900.

Практичне значення роботи полягає у встановленні показників мережі LTE для умов сільської місцевості у характерних параметрах районного центру.

Ключові слова:

МОБІЛЬНИЙ ЗВ'ЯЗОК, СТАНДАРТИ, LTE 900, ПЛАНУВАННЯ, СТІЛЬНИК, ТРАФІК, НАВАНТАЖЕННЯ, ВТРАТИ, ПОТУЖНІСТЬ, ДАЛЬНІСТЬ, БЕЗВІДМОВНІСТЬ.

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка: 74 с., 13 рис., 12 табл., 5 приложений, 32 источника.

Объект разработки: сеть мобильной связи.

Цель работы: «Планирование сети сотовой связи для сельской местности по стандарту «LTE 900»».

Быстрый мобильный Интернет – это глобальное изменение качества жизни в стране. Быстрая связь влияет на многие сферы, начиная с развития мобильной коммерции и заканчивая возможностью получать полноценное онлайн-образование в любое удобное время. В 2020 году в Украине начался проект "LTE 900", цель которого – расширить покрытие мобильной связи в сельской местности.

В первом разделе квалификационной работы приведены основные сведения о развитии поколений мобильной связи, эволюции радиотехнологий, принципах сетевой архитектуры LTE и позиционировании пользователя в этой сети. Сформулированы задачи квалификационной работы бакалавра.

В специальной части выбран объект планирования сети LTE – райцентр с населением до 15000 жителей, с площадью до 20 кв. км. и рассчитаны параметры сети LTE для условий сельской местности: количество абонентов, обслуживаемых одной eNB, количество базовых станций, общий трафик сети в ЧНН, максимальная дальность связи и суммарная нагрузка каналов данных и речевого. Определена наработка системы на отказ, которая составила значение менее, чем нормативное.

В экономическом разделе выполнен расчет капитальных затрат на выполнение работ по планированию сети стандарта LTE 900.

Практическое значение работы заключается в установлении показателей сети LTE для условий сельской местности в характерных параметрах районного центра.

Ключевые слова:

МОБИЛЬНАЯ СВЯЗЬ, СТАНДАРТЫ, LTE 900, ПЛАНИРОВАНИЕ, СОТА, ТРАФИК, НАГРУЗКИ, ПОТЕРИ, МОЩНОСТЬ, ДАЛЬНОСТЬ, БЕЗОТКАЗНОСТЬ.

ABSTRACT

Explanatory note: 74 pages, 13 figures, 12 tables, 5 appendices, 32 sources.

Development object: cellular network.

Objective: "Planning a cellular network for rural areas according to the standard" LTE 900 "

High-speed mobile Internet is a global change in the quality of life in the country. Fast communication affects many areas, from the development of mobile commerce to the opportunity to receive a full online education at any convenient time. In 2020, the LTE 900 project was launched in Ukraine, aimed at expanding mobile coverage in rural areas.

The first section of the qualification work provides basic information about the development of generations of mobile communications, the evolution of radio technologies, the principles of LTE network architecture and user positioning in this network. The tasks of the bachelor's qualification work are formulated.

In the special part, the object of LTE network planning is selected - the district center with a population of up to 15,000 inhabitants, with an area of up to 20 square meters. km. and the parameters of the LTE network for rural conditions are calculated: the number of subscribers served by one eNB, the number of base stations, the total network traffic in the CNN, the maximum communication range and the total load of data and voice channels. The time of failure of the system, which was less than the normative value, was determined.

In the economic section, the calculation of capital costs for the implementation of work on the planning of the network standard LTE 900.

The practical significance of the work is to establish the indicators of the LTE network for rural conditions in the characteristic parameters of the district center.

Keywords:

MOBILE COMMUNICATION, STANDARDS, LTE 900, PLANNING, CELLULAR, TRAFFIC, LOADING, LOSSES, POWER, RANGE, FAILURE.

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

AIPN - All IP Network;
ASN – Access Service Network;
BPSK - Binary Phase-shift Keying;
BWA - Broadband Wireless Access;
CN - Core CSN – Connectivity Service Network;
DP - Decision Point;
DSL – Digital Subscriber Line;
EPC - Evolved Packet Core;
FDD – Frequency Division Duplex;
GSM - Global System for Mobile Communications;
IDU - In-Door Unit;
IETF - The Internet Engineering Task Force;
IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers;
IP – Internet Protocol;
KEK - Key Encryption Key;
LTE - Long-Term Evolution;
MAC – Medium Access Control;
MME – Mobility Management Entity
NAP - Network Access Point;
NGN - Next Generation Network;
NLOS - Non-line-of-sight;
NAS - Non-Access Stratum;
NSP – Network Service Provider;
ODU - Outdoor Unit;
OFDM – Orthogonal frequency-division multiplexing;
PGW - Packet Data Network Gateway;
PKM - Privacy Key Management;
PCRF - Policy and Charging Rules Function -;
PLMN - Public Land Mobile Network;

QAM - Quadrature Amplitude Modulation;
QoS - Quality of service;
QPSK - Quadrature Phase Shift Keying;
RAN — radio access network;
SAE - System Architecture Evolution;
SGW - Serving Gateway;
SINR (Signal to Interference + Noise Ratio);
TDD – Time Division Duplex;
TDMA - Time Division Multiple Access;
TEK - Traffic Encryption;
UE - User Equipment;
Wi-Fi - Wireless Fidelity;
WLAN – Wireless Local Area Network;
АС – Абонентська станція;
БМ – Базова модель;
БС — Базова станція;
МДВ – Модуль доступу виносний;
МС – Мобільна станція;
МСМ – Мультисервісна мережа;

ЗМІСТ

	С.
ВСТУП.....	10
1 СТАН ПИТАННЯ, ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.....	12
1.1 Вимоги до сучасних і перспективних ТКС	12
1.2 Розвиток поколінь мобільного зв'язку.....	16
1.3 Еволюція радіотехнологій.....	18
1.4 Побудова радіоінтерфейса за технологією LTE	20
1.5 Принципи мережевої архітектури LTE.....	22
1.6 Архітектура SAE	24
1.6.1 Розподіл інтелекту у SAE.....	27
1.7 Інтерфейси мережі стандарту LTE	28
1.8 Позичонування користувача в LTE.....	29
1.9 Передача голосу по мережі VoLTE.....	30
1.10 Постановка задачі.....	31
1.11 Висновок	32
2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	33
2.1 Загальні питання щодо вибору об'єкту планування мережі LTE	33
2.2 Радіочастотний спектр технології LTE.....	34
2.3 Розрахунок параметрів мережі	36
2.3.1 Розрахунок частотних каналів	38
2.3.2 Визначення розмірності стільника.....	43
2.4 Розрахунок дальності зв'язку	46
2.4.1 Розрахунок максимально можливих втрат.....	46
2.4.2 Розрахунок радіусу зони покриття.....	50
2.4.3 Розрахунок кількості базових станцій	51
2.4.4 Розрахунок ємності мережі	52
2.4.5 Розрахунок інформаційних навантажень мережі LTE	52
2.5 Розрахунок надійності мережі стільникового зв'язку	54

2.6 Висновок	59
3 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	60
3.1 Загальні відомості щодо ефективності планування мережі LTE 900.....	60
3.2 Складання кошторису витрат на виконання робіт	61
3.3 Розрахунок заробітної плати.....	61
3.4 Визначення суми соціального відрахування.....	62
3.5 Розрахунок витрат на обслуговування та ремонт обладнання.....	63
3.6 Інші витрати.....	63
3.7 Висновок	63
ВИСНОВКИ	64
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	66
ДОДАТОК А	70
ДОДАТОК Б	71
ДОДАТОК В.....	72
ДОДАТОК Г	73
ДОДАТОК Д.....	74

ВСТУП

Швидкий мобільний Інтернет — це не тільки зручність для окремих за потребами користувачів але і глобальна зміна якості життя в країні. Швидкий зв'язок впливає на багато сфер, починаючи з розвитку мобільної комерції і закінчуючи можливістю отримувати повноцінну онлайн-освіту в будь-який зручний час і без прив'язки до домашнього або робочого комп'ютера [1].

Лавиноподібне збільшення кількості користувачів Інтернету сприятиме подальшому зростанню обсягів даних, що пересилаються. Збільшенню обсягів трафіка даних сприяє ще ціла низка тенденцій:

- підвищення «інтелекту» кінцевих пристроїв: нетбуків, планшетів, смартфонів стрімко зростає; користувачі цих пристроїв «генерують» в 4–10 разів більше трафіка, ніж всі власники мобільних телефонів;
- «Хмарні» сервіси. У міру того як інформація і додатки переміщуються в мережеві інфраструктури, можливості компактних мобільних терміналів значно поширюються. Споживачі можуть зберігати в «хмарах» свій цифровий контент, що дозволяє розвантажити абонентський пристрій. Для бізнес-користувачів «хмари» стають надійними майданчиками для зберігання критично важливих даних;
- надання сервісів за принципом SaaS. Завдяки реалізації сервіс-провайдерами моделі «програмне забезпечення як сервіс» (Software-as-a-Service, SaaS) будь-який користувач (співробітник підприємства або приватна особа) має можливість орендувати необхідні йому додатки і таким чином отримати суттєву економію. Наприклад, підприємство малого бізнесу, для якого придбання повного програмного пакету за традиційною схемою є занадто витратною справою, може за привабливою ціною орендувати необхідне ПО;
- Mashup. Це поняття припускає, що додаток задіє контент з різних джерел. Одним із прикладів цього є використання на Web-сайті картографічних даних Google Map спільно з локальною базою даних;

- збільшення числа сеансів зв'язку. Сеанси зв'язку будуть все частіше ініціюватися не тільки користувачами, але й різними додатками в автоматичному режимі. Зокрема, браузері мобільних терміналів будуть ініціювати безліч підключень (з одного терміналу) для завантаження доповнень до систем безпеки, оновлення локальних міні-баз даних, підтримки додатків mashup.

У нашій країні є майже 19 тисяч населених пунктів, де мешкає менше, ніж 500 осіб. Тож задля їх покриття високошвидкісним Інтернетом треба побудувати силу-силенну базових станцій [2].

У 2020 році розпочався проєкт "LTE 900", мета якого — розширити покриття мобільного зв'язку в сільській місцевості.

У липні цього ж року мобільним операторам надали оновлені ліцензії для діапазону радіочастот 900 МГц. Це дозволило надавати послуги в сучасній технології 4G.

Оскільки ці частоти входять за своїми технічними характеристиками до так званих частот "покриття", їх доцільно використовувати в сільській місцевості, охоплюючи відносно велику площу на кілька кілометрів.

Разом із ліцензіями у операторів з'явилися також певні зобов'язання:

- 1) до 1 липня 2022 року охопити мережею кожний населений пункт із кількістю мешканців більше 2000 осіб та не менше 90% населення України загалом;
- 2) до 1 січня 2023 року — покрити міжнародні автомобільні шляхи;
- 3) до 1 липня 2024 року — покрити національні автомобільні шляхи.

Станом на лютий 2022 року, завдяки проєкту "LTE 900" вже 2,7 мільйони громадян країни вперше отримали та почали використовувати технологію 4G у більше ніж 8 тисячах населених пунктах.

1 СТАН ПИТАННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Вимоги до сучасних і перспективних ТКС

Постійний розвиток телекомунікаційних систем, що забезпечують різноманітні сервіси для населення, висунули для них й основні вимоги.

Весь комплекс вимог до сучасних і перспективних ТКС слід поділити на групи функціональних, організаційних і технологічних вимог - рис. 1.1) [11].

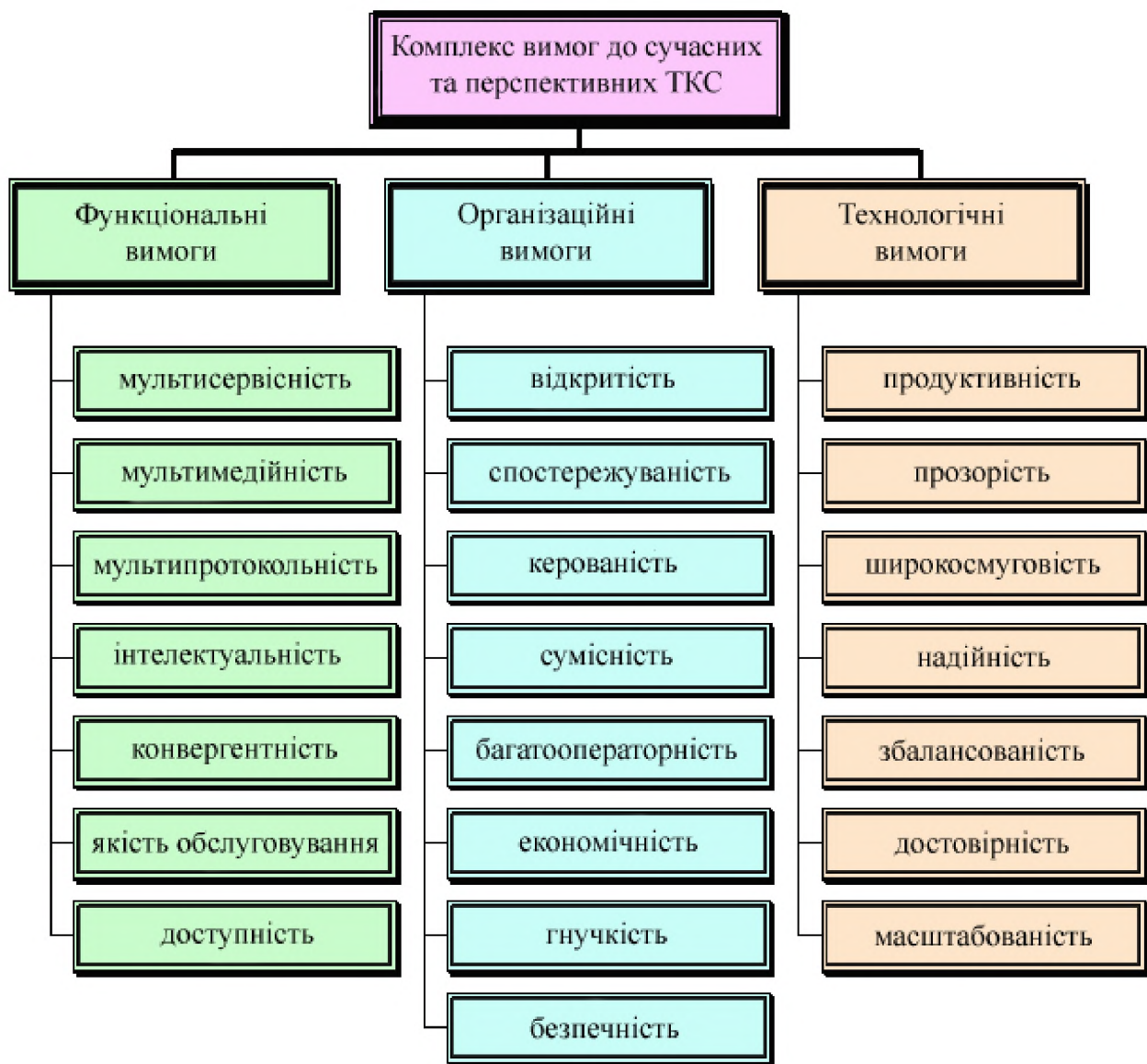


Рисунок 1.1 – Основні вимоги щодо існуючих та перспективних телекомунікаційних систем

До *функціональних вимог* належать такі:

- мультисервісність - це надання якомога більшого набору послуг і сервісів із забезпеченням незалежності технологій надання послуг від транспортних технологій;
- мультимедійність - це здатність ТКС передавати багатокomпонентну інформацію (мова, дані, відео, аудіо) з необхідною синхронізацією цих компонент в реальному часі і використанням складних конфігурацій з'єднань;
- мультипротокольність, під якою розуміється властивість забезпечувати перенесення (транспортування) різних видів інформації з використанням різних протоколів передачі і підтримкою сервісів як зі встановленням, так і без встановлення з'єднання;
- інтелектуальність, під якою розуміється можливість управління послугою, викликом і з'єднанням з боку користувача (постачальника) послуг;
- гетерогенність і інтегрованість (конвергентність), тобто мережа, що складається з різнотипних елементів, має функціонувати скоординовано і погоджено, як єдине ціле;
- забезпечення широкого спектру градацій якості обслуговування користувачів, підтримка класів обслуговування, поєднуючи жорстке і м'яке виділення ресурсів, синхронне й асинхронне мультиплексування; мобільність і персоналізація послуг, можливість гнучкого і швидкого створення нових послуг;

До *організаційних вимог* належать такі:

- доступність або «інваріантність доступу», що виявляється в тому, що інфокомунікаційні послуги мають надаватися користувачам незалежно від способів доступу (технології, що використовується);
- відкритість архітектури, тобто комунікаційні мережі мають будуватися на основі концепції відкритих систем, що дозволяють і надалі включати в них нові технології, що розвиваються;

- сумісність, тобто нові технології мають бути сумісні із системами, що застосовуються нині, і системами, інтегрованими в них еволюційним шляхом, що виключає масову заміну комунікаційного обладнання; системи мають створюватися на основі загальних стандартів, щоб в умовах багатооператорності вони забезпечували повну сумісність обладнання для досягнення узгодженості дій учасників операцій, у тому числі електромагнітну сумісність; такий підхід вимагає значних зусиль щодо міжнародного планування, координації і стандартизації, які передують процесам розробки і придбання систем зв'язку на рівні окремих держав;
- багатооператорність, під якою розуміється можливість участі декількох операторів в процесі надання послуги і розподілу їх відповідальності відповідно до їх спектру діяльності;
- економічність, тобто створення і впровадження нових систем і (або) послуг має здійснюватися з мінімальними фінансовими витратами й із застосуванням технічних рішень, що «масштабуються», при мінімальній стартовій вартості обладнання при реалізації довго строковості функціонування;
- забезпечення взаємодії вузлів постачальників послуг для їх спільного надання;
- здатність до реконфігурації системи з метою забезпечення умов стійкого функціонування (для військових ТКС — адаптація до умов можливих військових операцій і сценаріїв розгортання збройних сил);
- безпека зв'язку з урахуванням особливостей середовища передачі с завадами та спотвореннями;
- необхідна прихованість при функціонуванні в умовах антагоністичного середовища за рахунок резервування обладнання, мобільності, використання спеціальних засобів захисту від дії супротивника, що забезпечують стійкість засобів зв'язку, низьку ймовірність перехоплення і виявлення.

Основними *технологічними* вимогами є:

- висока продуктивність (пропускна здатність) ТКС;
- семантична і часова прозорість ТКС, тобто система має бути інваріантною до структури трафіка існуючих мережних технологій і забезпечувати в заданих межах значення ймовірнісно-часових показників якості його обслуговування;
- «широкосмуговість», під якою розуміється можливість гнучкої і динамічної зміни швидкості передачі інформації в широкому діапазоні залежно від поточних потреб користувача;
- ефективність використання мережних ресурсів (канальні, фізичні ресурси і ресурси мережного обладнання);
- надійність ТКС як на експлуатаційному рівні (відмовостійкість), так і на рівні доставки пакетів (імовірність доставки) – відповідно нормативним вимогам в галузі;
- масштабованість, тобто здатність ТКС нарощувати кількість вузлів і протяжність зв'язків в дуже широких межах із збереженням продуктивності мережі в заданих межах, що досягається сегментацією ТКС і використанням ієрархічних структур.
- У кількісному вигляді основні вимоги, що висуваються до сучасних ТКС, можна охарактеризувати таким чином:
- експлуатаційна надійність (відсоток часу, упродовж якого ТКС у повному обсязі виконує покладені на неї функції) з розвитком цифрових систем має складати не менше 99,9999 %, тоді як для аналогових систем вона складала не менше 99,9 %;
- середня затримка в доставці повідомлень (пакетів) у мережі не може перевищувати 0,001 с; варіація середньої затримки (джиттер) — не більше 0,001 с;
- імовірність помилки при побітовому прийомі повинна бути не більше 0,005%.

1.2 Розвиток поколінь мобільного зв'язку

Всі мережі першого стандарту мобільного телефонії 1G були аналоговими і дозволяли передавати лише звуковий сигнал. Перші стільникові телефони і мережі для їх обслуговування з'явилися в США і Канаді, трохи пізніше свої аналоги розробили європейські країни. Частота роботи цих мереж була від 120 до 900 МГц [12].

Стандарт 2G, розроблений в 1992 використовував цифрову передачу даних. Стала можливою передача тексту. Для передачі інформації використовували протоколи GPRS* (до 53,6 Кб/сек) або EDGE ** (до 200 Кб / сек) залежно від конкретного оператора і технічного оснащення його мережі. За сьогоднішніми мірками це вкрай повільно. Повноцінну інтернет сторінку 2G не "тягнув" доводилося користуватися "полегшеними" wap-сайтами.

У 2000 році з'явився 3G – стандарт мобільного радіозв'язку що називався UMTS. Він дозволяв розвинути швидкість передачі даних до 384 кбіт/с. Пізніше були розроблені HSDPA і HSDPA + – оновлення стандарту 3.5G, що давали змогу досягнути 7,2 Мбіт/с і 42 Мбіт/с відповідно.

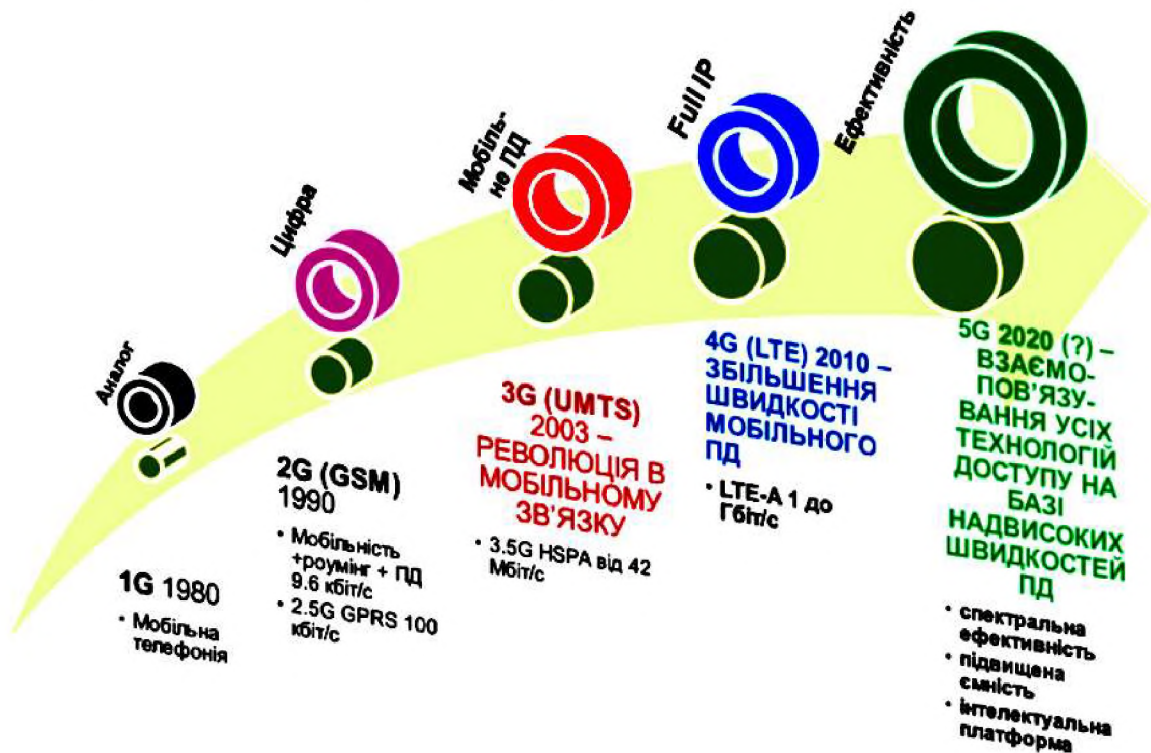


Рисунок 1.2 – Шлях розвитку поколінь мобільного зв'язку [5]

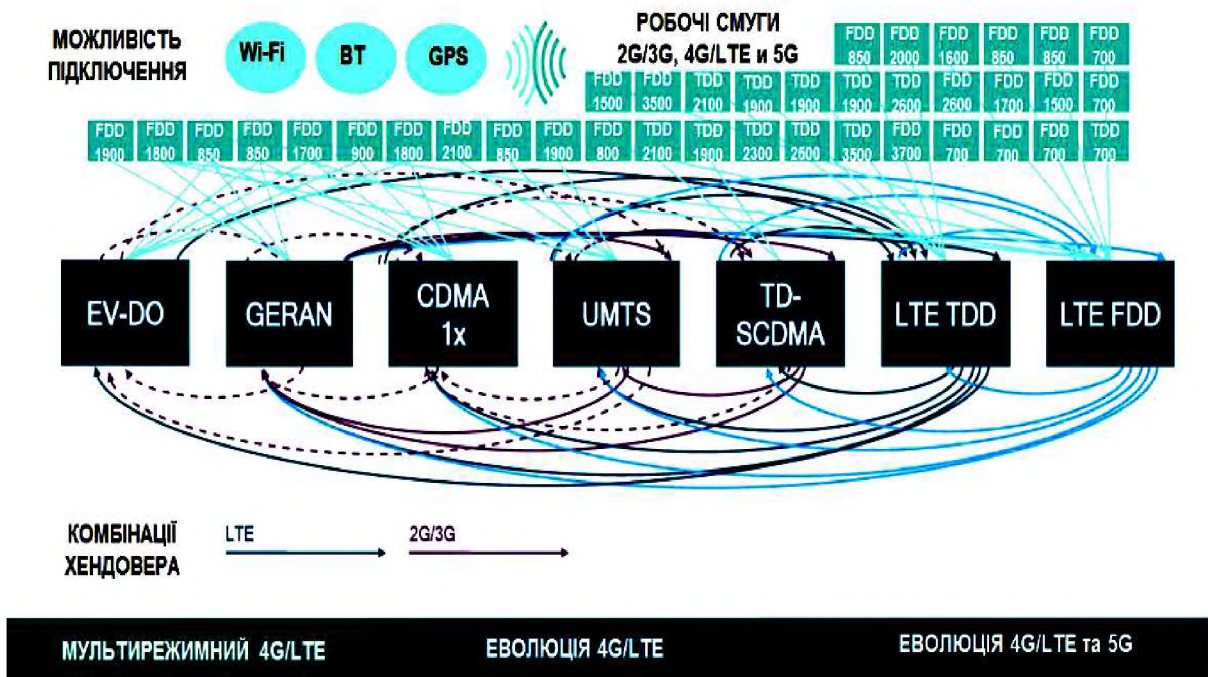


Рисунок 1.3 – Різноманіття взаємозв'язку ТКС

Long Term Evolution (LTE) — «довготерміновий розвиток»), маркетингова назва 4G LTE — назва мобільного протоколу передачі даних; проект 3GPP, стандарт з удосконалення UMTS для задоволення майбутніх потреб у швидкості.

Мережі 4G на основі стандарту LTE працюють у всіх існуючих діапазонах частот, що виділені для стільникового зв'язку по всьому світу. Швидкість завантаження за стандартом 3GPP LTE в теорії досягає 326,4 Мбіт/с (download), і 172,8 Мбіт/с на віддачу (upload).

Практично вона забезпечує швидкість передачі даних від базової станції до пристрою абонента до 100 Мбіт/с і швидкість від абонента до базової станції — до 50 Мбіт/с.

Мережа LTE складається з двох найважливіших компонентів: мережі радіодоступу E-UTRAN і базової мережі SAE (System Architecture Evolution) або EPC (Evolved Packet Core Network) (рис. 1) [12].

1.3 Еволюція радіотехнологій

Концепція Single RAN — це можливість підтримки існуючих і майбутніх технологій на одній апаратній платформі [1]. Вона дозволяє модернізувати мережу оператора без заміни технічного обладнання (hardware), а лише оновивши програмне забезпечення.

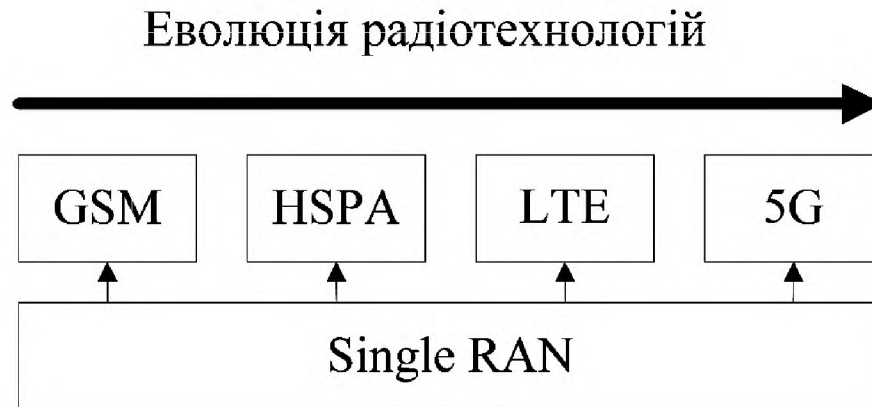


Рисунок 1.4 - Концепція Single RAN в контексті розвитку радіотехнологій

Single RAN дає змогу базовим станціям радіомережі працювати одночасно на декількох стандартах: наприклад, GSM і 3G або GSM і LTE. Single RAN дає змогу базовим станціям радіомережі працювати одночасно на декількох стандартах: наприклад, GSM і 3G або GSM і LTE. Це важливо враховувати на майбутнє, оскільки після запуску мережі LTE вона буде довгий час співіснувати з GSM. Але з Single RAN при впровадженні LTE всі користувачі GSM-пристроїв будуть також залишатися на зв'язку. Така мінімізація та уніфікація стала можлива завдяки тривалій праці, яка виконувалась виробниками обладнання для мобільних мереж, процесу стандартизації, яка постійно проводиться в спеціальних організаціях і досягненням в галузі сучасної мікроелектроніки.

Тепер один передавач у будь-якому діапазоні може одночасно працювати в декількох стандартах на заданій частоті, а один блок управління, після додавання невеликої плати здатний обробляти трафік від цих

мультистандартних передавачів і відправляти його по загальному транспортному каналу на сайт оператора. Звичайно, в концепцію Single RAN входять також і вимоги до обладнання в мережі оператора, такому як BSC/RNC/MSC/SGSN, системам управління і транспортних мереж, і всі вони дозволяють мінімізувати кількість обладнання і використовувати його з максимальною ефективністю для розвитку мобільної мережі. Підсумовуючи, можна сформулювати переваги використання даної концепції:

- доступність версій програмного забезпечення для GSM, WCDMA і LTE;
- покращена рівноцінність функцій;
- зменшення часу тестування обладнання.

Найбільшого поширення в Європі набули стандарти 800, 900, 1800, 2100 та 2600 МГц. Крім того, останнім часом все більше смуг частот виділяється в околі частоти 2600 МГц. З огляду на це та враховуючи особливості радіочастотного спектру в Україні, можна запропонувати наступний сценарій розгортання мереж LTE - рис. 1.5.

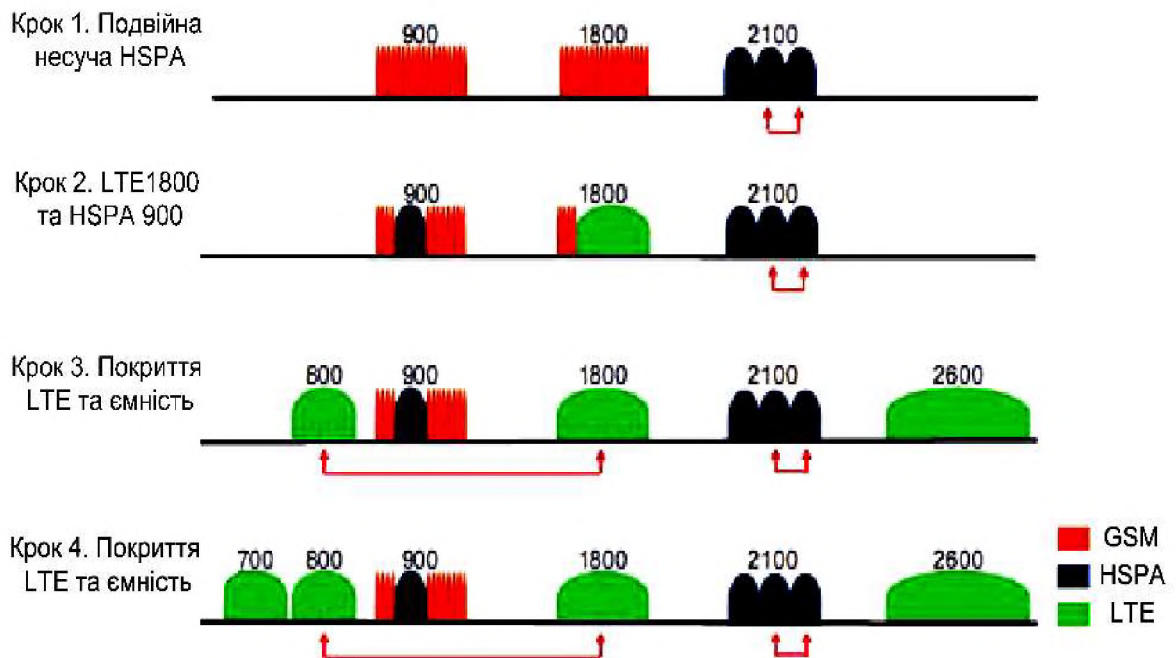


Рисунок 1.5 - Стратегія впровадження технології LTE на радіочастотному спектрі

Проте, запропонований сценарій в Україні поки що дуже важко реалізувати. У короткостроковій та довгостроковій перспективі для розгортання мереж LTE можливим є використання лише смуг 900 та 1800 МГц. Таким чином, першим реальним кроком на шляху впровадження технології LTE в смугах частот 900 та 1800 МГц є внесення змін в План використання радіочастотного ресурсу про дозвіл спільного використання радіотехнологій GSM/UMTS/LTE, згідно із рішенням Європейської комісії 2009/706/EC та 2011/251/EU.

1.4 Побудова радіоінтерфейса за технологією LTE

LTE базується на трьох основних технологіях: мультиплексування за допомогою ортогональних несучих OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing), багатоантенні системи MIMO (Multiple Input Multiple Output) та еволюційна системна архітектура мережі (System Architecture Evolution) [14].

Важливо, що дуплексний поділ каналів можливо здійснити як частотним (FDD), і тимчасовим (TDD) засобом. Це дозволяє операторам дуже гнучко використати частотний ресурс. Таке рішення відкриває шлях на ринок тим компаніями, які не мають спарених частот. З іншого боку, підтримка FDD дуже зручна для традиційних стільникових операторів, оскільки у них спарені частоти є "за визначенням" - так організовані практично всі існуючі системи стільникового зв'язку. Сама ж по собі система FDD істотно більш ефективна в плані використання частотного ресурсу, ніж TDD, - в ній менше накладних витрат (службових полів, інтервалів тощо). кадрів (у термінології LTE – радіокадр) Тривалість радіокадра – 10 мс. Усі тимчасові параметри у специфікації LTE прив'язані до мінімального тимчасового кванту -

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

де f – крок між піднесучими, стандартно – 15 кГц.

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

Стандарт LTE передбачає два типи радіокадрів [14]. Тип 1 призначений для частотного дуплексування - як для повного дуплексу, так і для напівдуплексу. Такий кадр складається з 20 слотів (тривалістю 0,5 мс), що нумеруються від 0 до 19. Два суміжні слоти утворюють субкадр – рис. 1.6.



Рисунок 1.6 – Структура кадру LTE при частотному поділенні дуплексних каналів

Як відомо, у LTE використовується модуляція OFDM, добре досліджена в системах DVB, Wi-Fi та WiMAX. Ця технологія OFDM передбачає передачу широкопasmового сигналу за допомогою незалежної модуляції вузькосmугових піднесучих видів $S_k(t) = a_k \cdot \sin [2\pi (f_0 + k\Delta f)]$, розташованих з певним кроком по частоті Δf . Один OFDM символ містить набір модульованих піднесучих. У часовій області OFDM-символ включає поле даних (корисна інформація) і так званий циклічний префікс CP (Cyclic Prefix) – фрагмент кінця попереднього символу, що повторно передається. Призначення префікса - боротьба з міжсимвольною інтерференцією у приймачі внаслідок багатопроменевого поширення сигналу. Відбитий сигнал, що надходить із затримкою, потрапляє у зону префікса і накладається на корисний сигнал.

У LTE прийнято стандартний крок між піднесучими - $\Delta f = 15$ кГц, що відповідає тривалості OFDM-символу 66,7 мкс.

Кожному абонентському пристрої (АП) у кожному слоті призначається

певний діапазон каналних ресурсів у частотно-тимчасовій області-ресурсна сітка, осередок якої – так званий ресурсний елемент – відповідає одній піднесучій у частотній області та одному OFDM-символу у часовій. Ресурсні елементи утворюють ресурсний блок - мінімальну інформаційну одиницю в каналі. Ресурсний блок займає 12 піднесучих (тобто 180 кГц) і 7 або 6 OFDM-символів, залежно від типу циклічного префікса (таблиця 2) -так, щоб загальна тривалість слота становила 0,5 мс. Число ресурсних блоків NRB в ресурсній сітці залежить від ширини смуги каналу і становить від 6 до 110 (ширина частотних смуг висхідного/низхідного каналів LTE - від 1,4 до 20 МГц).

1.5 Принципи мережевої архітектури LTE

Головними принципами побудови мережної архітектури LTE-SAE є загальна опорна точка і вузол шлюзу (Gateway Node, GW) для всіх інших технологій доступу – рис. 1.7 [15].

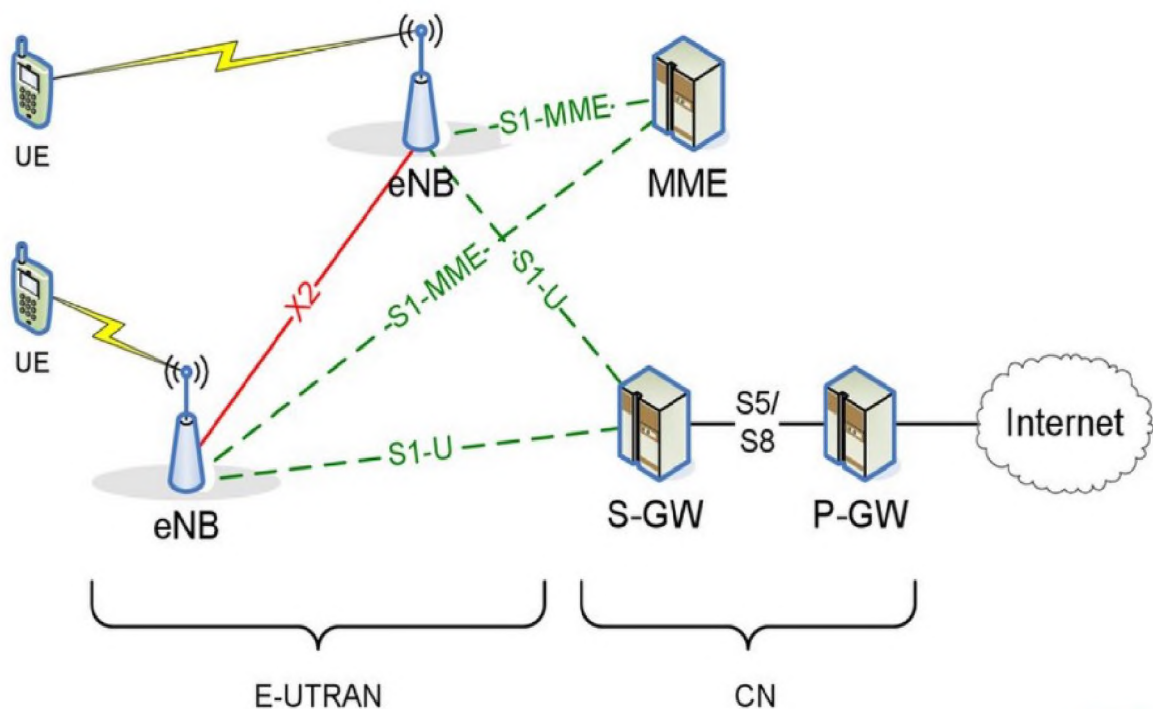


Рисунок 1.7 - Архітектура мережі LTE

Архітектура оптимізована в площині на функціональному рівні для користувача. У всіх інтер'єрах реалізуються протоколи на базі IP. Інтеграція технологій доступу, що відносяться до 3GPP, реалізується на базі IP як у абонента, так і в мережі.

Основними нововведеннями у мережі LTE були такі [13]:

- режим багатоадресної трансляції мультимедійних потоків MBMS (Multimedia Broadcast Multicast Services), що дозволило значно розвантажити опорну мережу та підвищити швидкість доступу;
- LTE MIMO (Multiple In Multiple Out): формування променя через кілька антен, як на передавачі, так і приймачі. Такий режим дозволяє значно підвищити швидкість доступу, а також підвищити надійність з'єднання за рахунок більшої кількості спрямованих каналів в промені (beamforming) на одному з'єднанні;
- позиціонування LTE (LTE positioning), що дозволяє точніше визначити місцезнаходження пристрою користувача;
- система загального оповіщення PWS (Public Warning System), що дозволяє оперативно сповіщати користувачів про настання надзвичайної ситуації.
- оптимізація розподілу діапазону радіочастот: використання декількох діапазонів для одного каналу;
- базові станції, що підтримують різні радіотехнології доступу RAT (Radio Access Technology);
- базові станції eNodeB для домашнього використання, фемто-стілники;
- самоорганізовані мережі SON (Self-Organizing Networks).

Для технології LTE консорціум 3GPP запропонував нову мережну інфраструктуру (SAE – System Architecture Evolution) [7].

Мета та сутність концепції SAE – ефективна підтримка широкого комерційного використання будь-яких послуг на базі IP та забезпечення безперервного обслуговування абонента при його переміщенні між мережами

бездротового доступу, які не обов'язково відповідають стандартам 3GPP (GSM, UMTS, WCDMA та інше).

SAE – Еволюція системної архітектури – архітектура ядра мережі, яка розроблена консорціумом 3GPP для стандарту бездротового зв'язку LTE

SAE є еволюційним продовженням ядра мережі GPRS, з деякими відмінностями:

- спрощена архітектура – архітектура SAE знижує експлуатаційні та капітальні витрати. Нова, плоска модель означає, що потрібно підвищити пропускну здатність вузлів тільки двох типів (базових станцій і шлюзів), щоб вони впоралися з трафіком у разі його значного зростання;
- повністю побудована на IP (All IP Network - AIPN) - Перші концепції 3G були розроблені, щоб голос як і раніше передавався по системі з комутацією каналів. З того часу спостерігався перехід до IP-мереж. Відповідно, архітектура SAE побудована на базі IP-мережі;
- забезпечує велику пропускну здатність на мережі радіодоступу (radio access network — RAN) — передбачається, що низхідний канал (Down Link) буде зі швидкістю понад 100 Мбіт/с, і основна увага системи буде зосереджена на мобільності смуги пропускання, від мережі потрібно підтримувати набагато більше рівнів даних;
- забезпечує меншу затримку RAN – зі збільшенням необхідних рівнів взаємодії та швидших відповідей, концепція SAE забезпечить рівень затримки в районі 10 мс.;
- підтримує мобільність між декількома гетерогенними RAN, що включають підтримку як систем типу GPRS, так і не-3GPP систем (наприклад WiMAX).

1.6 Архітектура SAE

Основним компонентом архітектури SAE є Evolved Packet Core (EPC). EPC є еквівалентом мережі GPRS – рис. 1.8 [13].

Крім компонентів цієї архітектури необхідно приймати до уваги розвинуту систему інтерфейсів, що забезпечують її функціонування.

Ці інтерфейси забезпечують також стик модулів LTE з мережами інших стандартів.

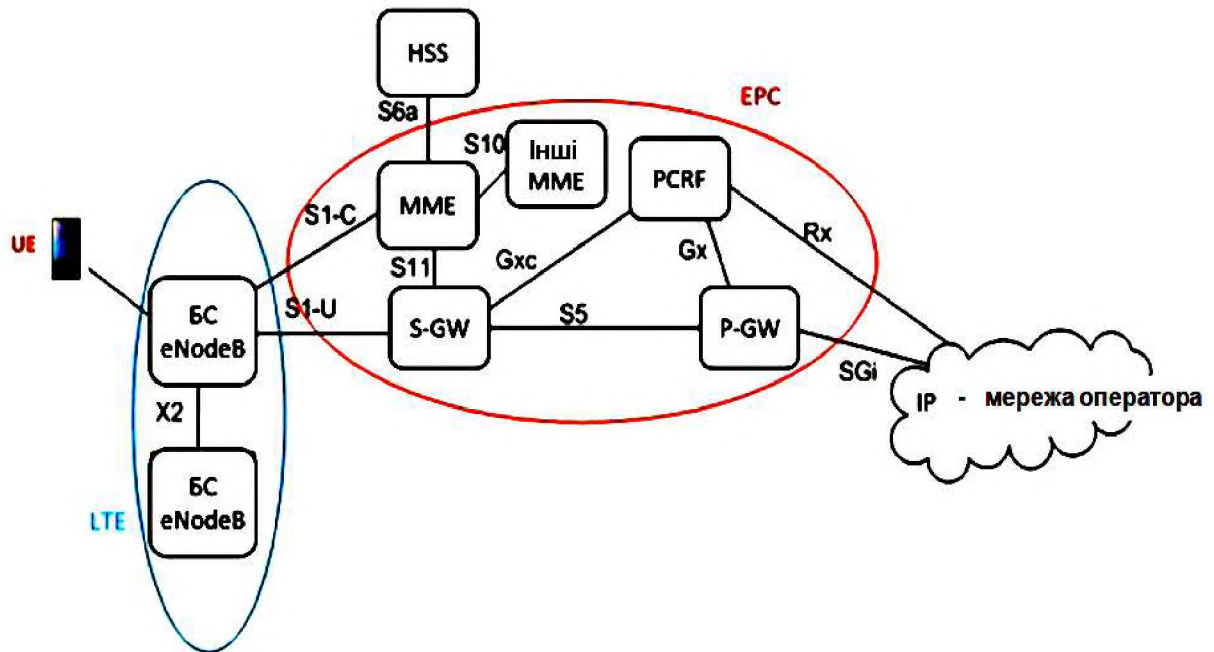


Рисунок 1.8 – Опорна мережа EPC для LTE

Компонентами EPC є:

- MME (Вузол управління мобільністю – Mobility Management Entity) – це ключовий контрольний модуль для мережі доступу LTE. Він відповідає за процедури забезпечення мобільності, хендовера, стеження та пейджингу UE (Користувача — User Equipment). Він бере участь у процесах активації/деактивації мережевих ресурсів і відповідає за вибір SGW для UE при початковому підключенні і при хендовері всередині LTE з зміною вузла Ядра Мережі (Core Network - CN). Він відповідає за автентифікацію користувача (при взаємодії з HSS). Сигналізація Шару Без Доступу (Non-Access Stratum - NAS) закінчується в MME і цей вузол також відповідає за генерацію та розподіл тимчасових ідентифікаторів

для UE. Він перевіряє авторизацію UE для доступу до сервіс-провайдерів мобільних мереж (Public Land Mobile Network – PLMN) та реалізує роумінгові обмеження для UE. MME є заключною точкою мережі для шифрування/захисту цілісності сигналізації NAS та відповідає за управління безпекою. Правомірний перехоплення сигналізації також забезпечується MME. MME надає площину функцій контролю для забезпечення мобільності між LTE та мережами доступу 2G/3G через інтерфейс S3, встановлений до MME від SGSN. MME також з'єднаний інтерфейсом S6a із домашнім HSS для роумінгу UE.

- SGW (Обслуговуючий Шлюз — Serving Gateway): Призначений для обробки та маршрутизації пакетних даних базових станцій, що надходять з/в підсистему. SGW маршрутизує і направляє пакети з даними користувача, в той же час виконуючи роль вузла управління мобільністю (mobility anchor) для даних користувача при хендовері між базовими станціями (eNodeB), а також як вузол управління мобільністю між мережею LTE і мережами з іншими технологіями 3GPP. Коли UE вільний і не зайнятий викликом, SGW відключає низхідний канал даних (Down Link - DL) і робить пейджинг, якщо потрібно передати дані по DL у напрямку UE. Він керує та зберігає стани UE (наприклад, вимоги щодо пропускної спроможності для IP-сервісів, внутрішню інформацію з мережевої маршрутизації). Він також надає копію даних користувача при правомірному перехопленні (lawful interception).
- PGW (Пакетний шлюз — Packet Data Network Gateway): Пакетний шлюз забезпечує з'єднання від UE до зовнішніх пакетних мереж даних, як точка входу та виходу трафіку для UE. UE може мати одночасно з'єднання з більш ніж одним PGW для підключення до кількох мереж. PGW виконує функції захисту, фільтрації пакетів для кожного користувача, підтримку білінгу, правомірного перехоплення та сортування пакетів. Інша важлива роль PGW — бути вузлом управління мобільністю між 3GPP та не-3GPP технологіями, такими як WiMAX та 3GPP2 (CDMA 1X та EvDO).

- PCRF (Вузол виставлення рахунків абонентам – Policy and Charging Rules Function)): Це – загальна назва для пристроїв у рамках SAE EPC, які відстежують потік послуг, що надаються, та забезпечують тарифну політику. Додатки, які потребують контролю або нарахування плати в режимі реального часу, можуть використовувати додатковий мережевий елемент під назвою Applications Function (AF).

1.6.1 Розподіл інтелекту у SAE

Для дотримання вимог до збільшення пропускнуої спроможності та зменшення часу відгуку, а також для переходу до all-IP мережі необхідно використовувати новий підхід до структури мережі.

Раніше мережа радіодоступу 3G складалася з Node B (базових станцій) та Контролерів Радіомережі (Radio Network Controllers - RNC). Декілька Node B були підключені за принципом «зірка» до RNC, який ніс основне навантаження з управління радіоресурсом. У свою чергу RNC були підключені до ядра мережі і через нього з'єднувалися між собою.

Для забезпечення необхідної функціональності в рамках LTE, структурі SAE, шар управління зсувається від ядра до периферії. Керуючі вузли RNC видаляються та управління радіочастотним ресурсом передається базовим станціям. Новий тип базових станцій отримав назву eNodeB чи eNB, який підключається безпосередньо до шлюзу основної мережі через новий "інтерфейс S1". На додаток до нього нові eNB з'єднуються з сусідніми eNB за принципом мережі через «інтерфейс X2». Це забезпечує набагато вищий рівень прямої взаємодії. Дане підключення також дозволяє надсилати багато дзвінків безпосередньо, оскільки велика кількість дзвінків і з'єднань в мережі призначаються для мобільних пристроїв у тій же або сусідніх стільниках. Нова структура дозволяє спрямовувати виклики за більш коротким маршрутом і з мінімальним використанням ресурсу ядра мережі.

На додаток до реалізації 1 і 2-го рівнів OSI, eNB управляє рядом інших функцій, які включають контроль радіо ресурсів (включаючи керування

доступом), балансування навантаження та керування мобільністю, включаючи прийняття рішень про хендовери для мобільних користувачів або обладнання (UE).

Додаткові рівні гнучкості та функціональності означають, що нові станції eNB є складнішими, ніж станції UMTS або базові станції попередніх поколінь. Однак нова структура мережі SAE дозволяє забезпечити продуктивність набагато вищого рівня. Крім того, гнучкість, закладена в eNB, дозволяє їм підтримати подальше розширення функціональності для переходу від LTE до LTE Advanced.

1.7 Інтерфейси мережі стандарту LTE

Між вузловими елементами в мережах стандарту LTE існують інтерфейси різного призначення – рис. 1.9 [15].

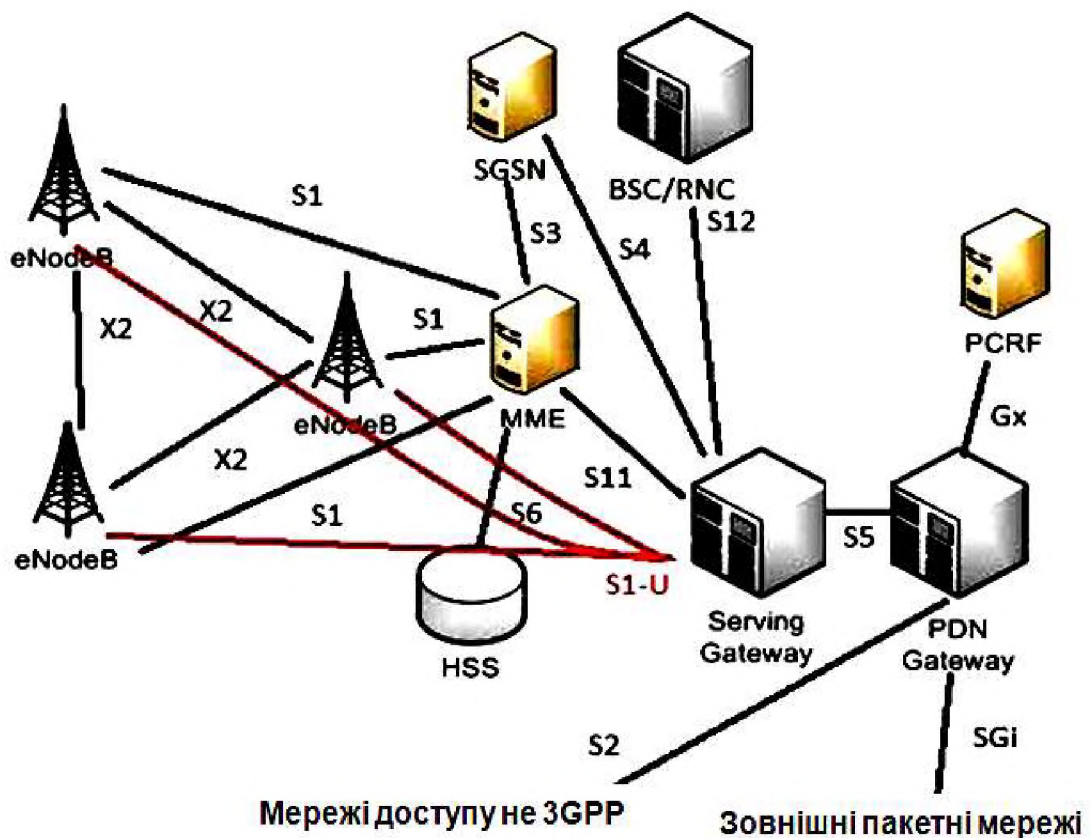


Рисунок 1.9 - Інтерфейси між вузловими елементами в мережах стандарту LTE

Інтерфейси мережі стандарту LTE:

- X2 – інтерфейс між eNodeB. Базові станції у мережі LTE з'єднані за принципом «кожний з кожним»;
- S1 – інтерфейс, що зв'язує підсистему базових станцій E-UTRAN і MME. За цим інтерфейсом передаються дані управління;
- S1-U інтерфейс між E-UTRAN та SAE за яким передаються дані користувачів;
- S2 – інтерфейс для організації з'єднання між PON-Gateway та мережами доступу, які не розроблялись 3GPP;
- S3 – інтерфейс, що створює пряме з'єднання SGSN та MME. Він призначений для передачі даних управління щодо забезпечення мобільності між LTE та 2G/3G мережами;
- S4 – інтерфейс, що зв'язує SAE та SGSN. Він забезпечує передачу даних користувачів для створення мобільності між LTE та 2G/3G мережами;
- S5 – інтерфейс, що забезпечує передачу даних користувачів між SAE та PON-Gateway;
- S6 – інтерфейс між MME та HSS. Він використовується для передачі даних абонентського профілю, а також здійснення процедур аутентифікації у мережі LTE;
- Gx – інтерфейс між PDN-Gateway та PCRF. Він потрібен для передачі правил тарифікації від PCRF до PDN-Gateway;
- SGi - інтерфейс між PDN-Gateway та зовнішніми IP-мережами.

1.8 Позиціонування користувача в LTE

Одна з переваг 4G LTE перед 3G – покращені можливості позиціонування користувача, що дозволяє підвищити якість його обслуговування [13].

Метод позиціонування LTE може базуватися як на сигналах з супутника, так і на сигналах від найближчих базових станцій, причому обидва методи можуть працювати одночасно.

В LTE використовується метод різниці в часі прибуття сигналу OTDOA (Observed Time Difference Of Arrival), в якому пристрій користувача UE вимірює час прибуття сигналу TOA (Time Of Arrival) від декількох базових станцій eNodeB.

Чим більше базових станцій вимірюють затримку сигналу τ , тим точніше можна обчислити місцезнаходження пристрою користувача в ММЕ.

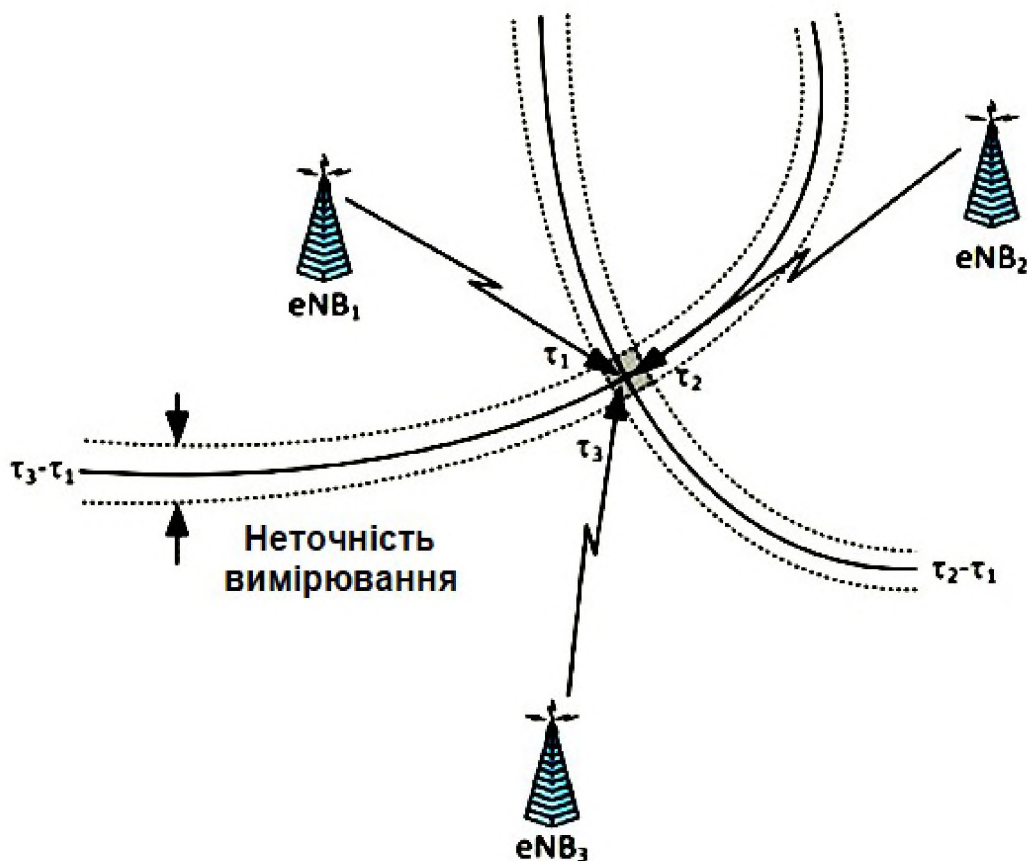


Рисунок 1.10 - Метод позиціонування в LTE по різниці у часі прибуття сигналу τ_i , де i – номер eNodeBi (джерело: qualcomm.com).

1.9 Передача голосу по мережі VoLTE

Voice over LTE – дозволяє за наявності підсистеми мультимедійних IP-послуг IMS (IP Multimedia Subsystem), передавати голос безпосередньо по пакетній мережі. Справа в тому, що в мережах 2.5/3G, при здійсненні

голосового виклику, він перемикався на звичайну «голосову» мережу GSM, тому користувачеві, якщо він знаходився в мережі 3G, були потрібні 2-3 секунди, щоб таке перемикання сталося, і при цьому мобільний Інтернет йому ставав недоступним.

VoLTE дозволяє надавати голосові послуги як потоку пакетних даних через мережу радіодоступу LTE. Якість звуку при цьому стає набагато кращою. Крім того, інші послуги передачі даних під час здійснення виклику VoLTE.

Схема надання послуги VoLTE наведена на рисунку 1.11.

Послуга VoLTE надається за допомогою сервера програми телефонії TAS (Telephony Application Server). Він працює на рівні програм підсистеми мультимедійних IP-послуг IMS.

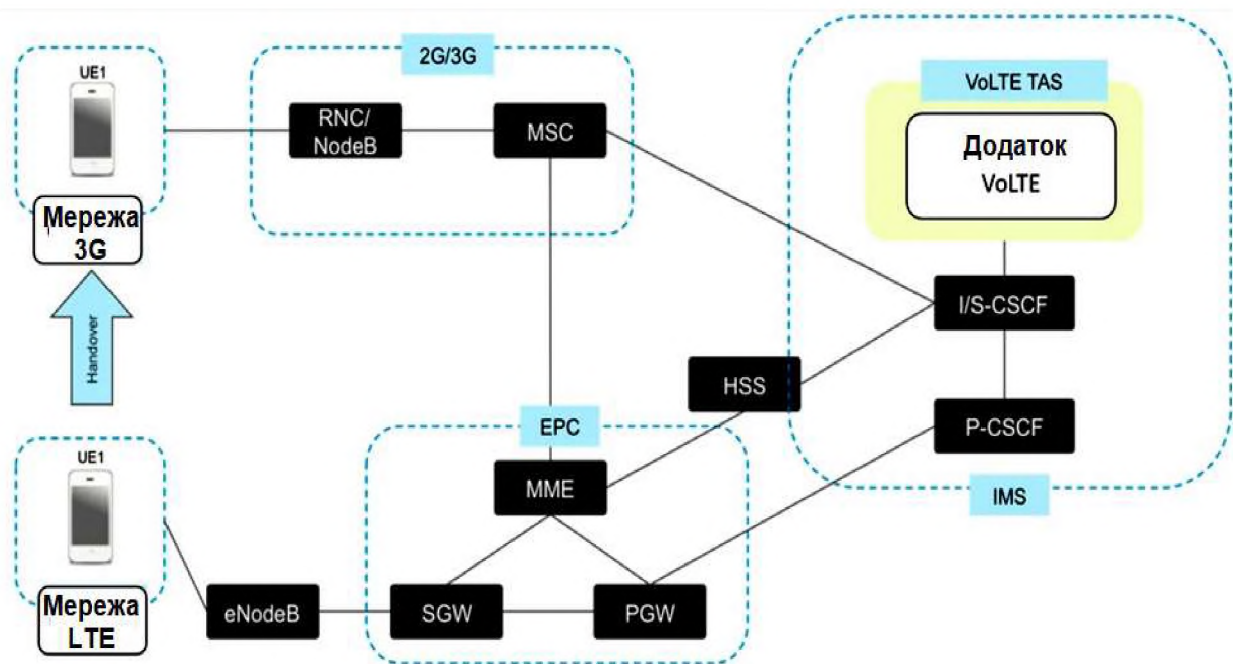


Рисунок 1.11 - Схема надання послуги VoLTE (джерело: metaswitch.com)

1.10 Постановка задачі

При виконанні кваліфікаційної роботи бакалавра, для досягнення поставленої мети всієї роботи необхідно вирішення цілої низки наступних

задач:

- обрати об'єкт планування мережі LTE;
- розрахувати параметри мережі, що планується;
- визначити втрати рівню сигналу по трасі розповсюдження;
- встановити максимальну дальність зв'язку для різних умов поширення сигналу;
- зробити оцінку надійності функціонування мережі.

1.11 Висновок

У першому розділі наведені основні відомості про розвиток поколінь мобільного зв'язку, вимоги до сучасних і перспективних ТКС, еволюцію радіо технологій. Відображено принципи мережевої архітектури LTE, інтерфейси цієї мережі, архітектура SAE, позиціонування користувача в LTE та передача голосу по мережі VoLTE. , Сформульовані задачі кваліфікаційної роботи бакалавра.

2. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Загальні питання щодо вибору об'єкту планування мережі LTE

Планування мережі стільникового зв'язку для конкретної місцевості спочатку потребує визначення її характеристик.

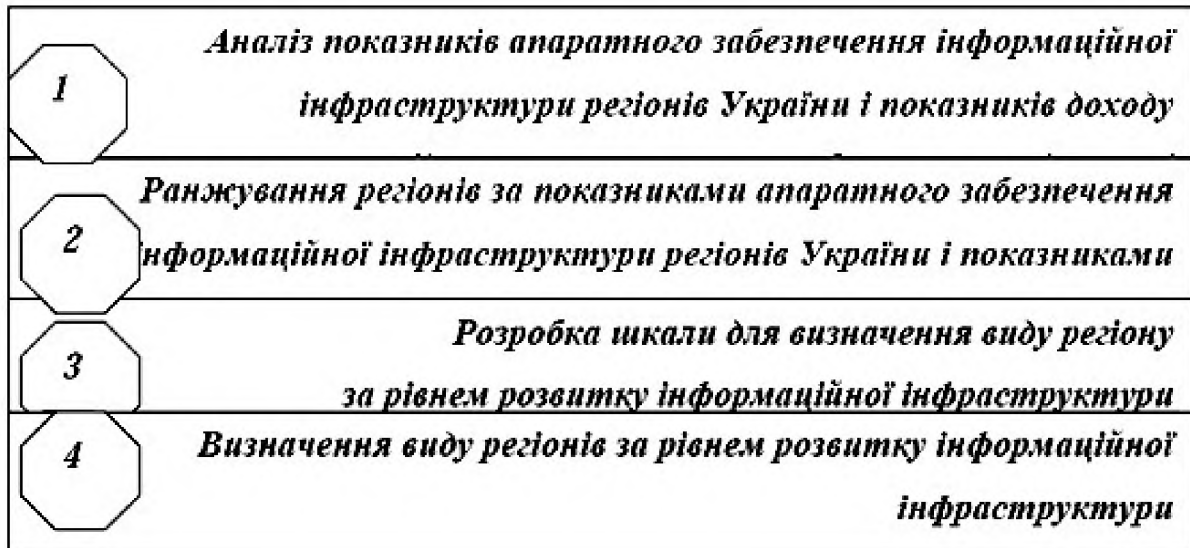


Рисунок 2.1 - Процедура визначення виду регіону в залежності від рівня розвитку інформаційної інфраструктури [3]

Перший крок. Апаратне забезпечення інформаційної інфраструктури регіону включає: комп'ютери настільні, портативні, ноутбуки, персональні цифрові апарати, міні комп'ютери, універсальні OEM, устаткування, обладнання обчислювальними здібностями, модеми, мобільні телефони, телевізори, відеоапаратура, електронні машини, які контролюються комп'ютером, устаткування мережевого зв'язку тощо.

Технологічне забезпечення інформаційної інфраструктури регіону включає: технології використання широкосмугових, цифрових та бездротових технологій, таких як комутований доступ (Dial-Up), вузько смуговий зв'язок (ISDN), широкосмуговий зв'язок (DSL, xDSL, ADSL, SDSL), технології Frame-Relay, технології зв'язку лініями електропередачі PLC, технології мобільного зв'язку (GSM, GPRS, UITS, EDGE, CDMA 2000 1xEVDO), технології Wi-fi та

Bluetooth, технології використання радіочастот, інфрачервоних променів, електромагнітних хвиль, мікрохвиль або акустичних хвиль для тривалого зв'язку між пристроями користувачів, магістральні лінії LAN.

Цільове використання інформаційної інфраструктури регіону включає використання інформаційних технологій задля: здійснення автоматизованого обміну даними, надсилання замовлень постачальникам, отримання електронних рахунків, отримання замовлень від клієнтів, відправлення електронних рахунків-фактур, відправлення або отримання інформації про продукцію (каталоги, прейскуранти), відправлення або отримання транспортної документації, надання платіжних доручень фінансовим установам, отримання або відправлення даних для/від державних установ.

Проте за умов відсутності статистичної інформації по багатьом показникам, пропонується для аналізу використати такі показники як показники апаратного забезпечення інформаційної інфраструктури і показники доходу від використання цього забезпечення.

Разом з тим, з метою забезпечення максимального покриття території України мережами рухомого (мобільного) зв'язку третього та четвертого поколінь, надання широкосмугового доступу до мережі Інтернет, отримання повсюдно громадянами України переваг та можливостей цифрового світу, насамперед у сферах освіти, медицини, електронної комерції, адміністративних послуг, розвитку електронної демократії, Указом Президента України від 08.07.2019 № 497/2019 були затверджені Заходи з покращення доступу до мережі мобільного Інтернету, що спрямовані на впровадження нових радіотехнологій третього та четвертого поколінь в діапазонах радіочастот 790 – 960 МГц [4].

2.2 Радіочастотний спектр технології LTE.

Взагалі LTE включає в себе режим роботи FDD (розділення за частотою) і режим роботи TDD (дуплексний режим). LTE TDD, який також називається TDLTE, забезпечує довготривалий шлях еволюції для TD-SCDMA-мереж.

Технологія FDD (frequency division duplex) передбачає використання парного спектра, тобто двох частотних діапазонів - одного для каналу uplink і іншого для каналу downlink. Технологія TDD (time division duplex) використовує один частотний діапазон для каналів uplink/downlink з поділом їх за часом. Зараз прийнято, що смуги частот для LTE з номерами від 1 до 22 використовуються для парного спектра (FDD), а смуги від 33 до 43 - для непарного спектра (TDD).

Таблиця 2.1 – Діапазони робочих частот обладнання стандарту LTE, які виділені для України [18]

№ 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

№ band (діапазону)	Діапазон робочих частот UL, МГц	Діапазон робочих частот DL, МГц	Режим
38	2570 – 2620	2570 – 2620	TDD
40	2300 – 2400	2300 – 2400	TDD
68	698 – 728	753 – 783	FDD

Діапазон частот за №8 відповідає проекту "LTE 900", який розпочався в Україні у 2020 році. Його параметри детальніше наведено у таблиці 2.2[16].

Таблиця 2.2 Параметри стандарту LTE 900 з FDD

Дуплекс режим	f (МГц)	Поширене ім'я	Висхідна лінія зв'язку(МГц)	Downlink (МГц)	Дуплексний інтервал (МГц)	Пропускна здатність каналу (МГц)
FDD (band 8)	900	розширений GSM	880 – 915	925 – 960	45	4, 3, 5, 10

Вхідними даними для планування мережі мобільного зв'язку взагалі є основні характеристики як місцевості, так і її потенціалу з точки зору вимог до сервісу.

Територія зони - сільська місцевість. Для центральних регіонів України в у районних центрах цій місцевості характерною кількістю мешканців є значення від 8000 до 15000 із загальною площиною зони районного центру у 12 – 20 кв.км.

Використовуваний стандарт - «LTE 900».

Для планування мережі також потрібні дані про:

- змішаний трафік і аналіз робочих годин;
- щільність абонентів;
- обсяг даних на користувача;
- пікова та середня швидкість передачі даних;
- щоденні профілі трафіка.

Частково такі дані відомі до початку планування, а частково приймаються при розрахунках у межах значень для аналогічних умов.

Застосування багатоантенних систем дозволяє реалізувати наступні технології:

- рознесений прийом (одна передавальна антена і кілька прийомних); - просторово-часове кодування (кілька передавальних антен і одна або декілька приймальних антен);
- просторове мультиплексування (кілька передавальних і кілька прийомних антен).

2.3 Розрахунок параметрів мережі

Процес планування радіомереж LTE має ряд відмінностей від процесу планування інших технологій бездротового радіодоступу. Головна відмінність - це використання нового типу багатостанційного доступу на базі технології OFDMA, у зв'язку з чим з'являються нові поняття та змінюються алгоритми проектування.

При цьому процес планування радіомережі складається із двох етапів:

- формування максимальної площі покриття;
- забезпечення необхідної ємності.

У відповідності темі кваліфікаційної роботи бакалавра планування радіомережі LTE проводитиметься у сільській місцевості, що означає наявність невисокої щільності абонентів і базові станції повинні встановлюватися не на максимальній близькості одне від одного. У зв'язку з цим потрібно підібрати відповідний частотний діапазон. В даному випадку потрібно керуватися правилом, що чим нижча частота, тим більше поширення радіосигналу. Частотний діапазон 880 – 915 МГц для висхідного каналу зв'язку та 925 – 960 МГц для низхідного каналу цілком підійде для виконання цього завдання. Дуплекс обрано частотний - FDD.

Перелік параметрів, які необхідно враховувати під час планування мереж рухомого радіозв'язку та абонентського доступу, наведено нижче.

Запланована територія

Площа зони покриття, чисельність населення для обраного району/міста/області;

Тип місцевості: міська, заміська, сільська;

Параметри навантаження

Навантаження одного абонента;

Щільність абонентів на території, що планується;

Вимоги до зростання навантаження;

Початкова ємність мережі;

2.3.1 Розрахунок частотних каналів

Пропускна здатність, або ємність, мережі оцінюють, базуючись на середніх значеннях спектральної ефективності стільники за певних умов.

Методика розрахунку використана відповідно до [21].

Спектральна ефективність систем мобільного зв'язку є показник, що обчислюється як відношення швидкості передачі даних на 1 Гц

використовуваної смуги частот (біт/с/Гц). Вона є показником ефективності використання частотного ресурсу, а також характеризує швидкість передачі у заданій смузі частот. Спектральна ефективність може розраховуватися як відношення швидкості передачі даних всіх абонентів мережі у певній географічній області (стіні, зоні) на 1 Гц смуги частот (біт/с/Гц/сота), а також як відношення максимальної пропускної спроможності мережі до ширини смуги одного частотного каналу.

Середня спектральна ефективність для LTE, ширина смуги частот якої дорівнює 20 МГц, для частотного типу дуплексу FDD на підставі стандарту 3GPP Release 9 для різних конфігурацій MIMO представлена таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 Середня спектральна ефективність у макромережі

Лінія	Схема MIMO	Середня спектральна ефективність (біт/с/Гц)	
		Сценарій 1	Сценарій 3
UL	1 x 2	0,735	0,681
	1 x 4	1,103	1,038
DL	2 x 2	1,69	1,56
	4 x 2	1,87	1,85
	4 x 4	2,67	2,41

Місткість, або пропускну здатність мережі оцінюють, базуючись на середніх значеннях спектральної ефективності стільники за певних умов.

У Табл. 2.3 наведено значення середньої спектральної ефективності стільнику LTE FDD макромережі для двох випадків специфікованих 3GPP як сценарій 1 (відстань між сайтами 500 м), та сценарій 3 (відстань між сайтами 1732 м) [21].

Зона покриття стільникового зв'язку (яку ми вважаємо гексагональною) залежить від конфігурації сайту.

Існують наступні конфігурації для побудови мережі – рис. 2.2.

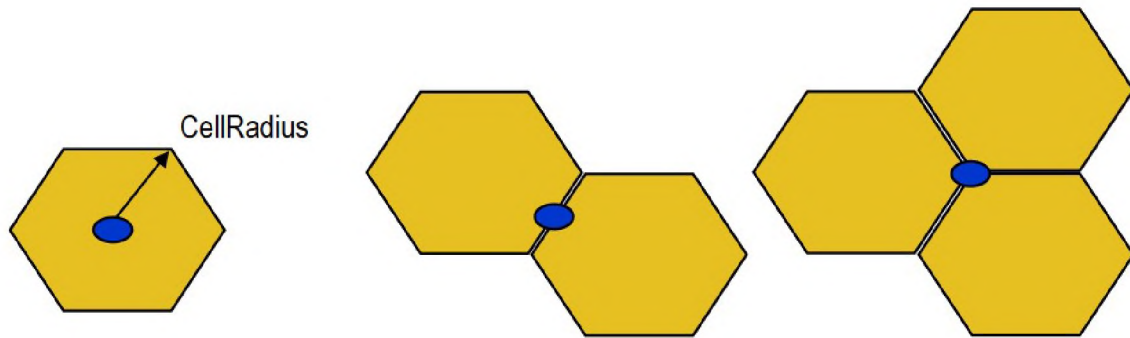


Рисунок 2.2 - Три різні типи сайтів (всеспрямований, двосекторний, трисекторний) [16]

Для системи FDD середня пропускна здатність одного сектора eNB може бути отримана шляхом прямого множення ширини каналу на спектральну ефективність каналу:

$$R = \gamma \cdot \Delta F; \quad (2.1)$$

де: γ – середня спектральна ефективність, біт/с/Гц; ΔF – ширина каналу МГц, ($\Delta F = 10$ МГц);

Для лінії DL: $R_{DL} = 3.43 \cdot 10 = 34.3$ Мбіт / с.

Для лінії UL: $R_{UL} = 1.82 \cdot 10 = 18.2$ Мбіт / с.

Середня пропускна здатність базової станції R_{eNB} обчислюється шляхом множення пропускної спроможності одного сектора на кількість секторів базової станції.

Кількість секторів eNB приймемо рівним трьом, тоді:

$$R_{eNB} = 3 * R_{DL, UL} \quad (2.2)$$

Для лінії DL: $R_{eNB,DL} = 34.3 * 3 = 102.9$ Мбіт/с.

Для лінії UL: $R_{eNB,UL} = 18.2 * 3 = 54.87$ Мбіт / с.

Результати розрахунку пропускної спроможності трисекторних базових станцій наведено в Табл. 2.4.

Таблиця 2.4 Середня пропускна здатність БС на три сектори

Конфігурація системи	FDD 10 -10 МГц	
	DL	UL
Лінія	DL	UL
Співвідношення тривалості кадрів	100%	100%
Спектральна ефективність, біт/с/Гц	1,69	0,735
Середня пропускна здатність стільника, Мбіт/с	16,9	7,35
Середня пропускна здатність БС, Мбіт/с	50,7	22,05

Для розрахунку кількості стільників у мережі необхідно визначити загальну кількість каналів, що виділяються для розгортання мережі LTE, яка планується.

Загальна кількість каналів N_k розраховується за такою формулою:

$$N_k = \text{int}(\Delta F \cdot p / F_k), \quad (2.3)$$

де $\text{int}(x)$ – ціла частина числа x ; ΔF - смуга частот, виділена для роботи мережі та дорівнює 45 МГц (таблиця 2.2); p – коефіцієнт використання частот секторами eNB (LTE-A $p = 3$); F_k – смуга частот одного радіоканалу; під радіоканалом у мережах LTE визначається таке поняття як ресурсний блок - РБ, який має ширину 180 кГц, $\Delta F_k = 180$ кГц.

Таким чином:

$$N_k = \text{int}(60000 \cdot 3 / 180) - 1\% = 990,$$

У цьому виразу 1% - це запас частот на передачу інформації в режимі придушення перешкод eNB, коли абонент дуже віддалений від eNB.

Визначаємо число каналів $N_{k.сек}$, яке потрібно використовувати для обслуговування абонентів в одному секторі одного стільнику:

$$N_{K_{сек}} = \text{int}(N_K / N_{Kл} \times M_{сек}); \quad (2.4)$$

де N_k - загальна кількість каналів; $N_{кл}$ – розмірність кластера, що обирається з урахуванням кількості секторів eNB, прийнято рівним трьом; $M_{сек}$ – кількість секторів eNB, також прийнята рівним трьом.

$$N_K = \text{int}(990/3 \times 3) = 110$$

Тепер визначається кількість каналів трафіка в одному секторі одного стільнику $N_{кт.сек}$. Кількість каналів трафіка розраховується за формулою:

$$N_{K_{mсек}} = N_{KT1} \times N_{kmсек}; \quad (2.5)$$

де $N_{кт1}$ - кількість каналів трафіка в одному радіоканалі, що визначається стандартом радіодоступу (для OFDMA $N_{кт1} = 1...3$); для мережі LTE обрано $N_{кт1} = 1$.

$$N_{K_{mсек}} = 1 \times 100 = 110;$$

Використовуючи модель Ерланга [22] для залежності між навантаженням, числом каналів і ймовірністю втрат - Додаток Г, визначаємо допустиме навантаження в секторі одного стільнику $A_{сек}$ при допустимому значенні ймовірності блокування 1% і розрахованим вище значенні $N_{кт.сек}$.

Маємо, що $A_{сек} = 92$ Ерл.

Кількість абонентів, яке обслуговуватиметься однією eNB, визначається за формулою:

$$N_{аб.eNB} = M_{сек} \cdot \left[\frac{A_{сек}}{A_1} \right], \quad (2.6)$$

де $A1$ – середнє за всіма видами трафіка абонентське навантаження від одного абонента; значення $A1$ може становити $(0,04...0,2)$ Ерл.

Оскільки мережа, що планується може бути використана для високошвидкісного обміну інформацією, але ж у сільській місцевості, то значення параметру $A1$ прийнято рівним $0,15$ Ерл. Таким чином:

$$N_{аб.еNB} = 3 \cdot (92 / 0,15) \approx 1840 \text{ абонентів}$$

Кількість базових станцій з eNB у мережі, що планується визначається за формулою:

$$N_{eNB} = (N_{аб} / N_{аб.еNB}) + 1; \quad (2.7)$$

де $N_{аб}$ – кількість активних абонентів.

Кількість активних абонентів може бути визначимо, як 20 % від загальної кількості мешканців, відповідно до середньостатистичного початкового навантаження.

$$\text{Загальна кількість мешканців} = N_{аб.еNB} / 0,3 = 1840 / 0,3 = 9200.$$

Цей результат досить близький до значення середньої кількості мешканців у райцентрах.

Таким чином кількість базових станцій eNB у мережі LTE, що планується, дорівнюється:

$$N_{eNB} = (9200 / 1840) + 1 = 6 \text{ eNB};$$

$$\text{Для линии DL: } R_{eNB.DL} = 34,3 \cdot 3 = 102,9 \text{ Мбит/с.}$$

$$\text{Для линии UL: } R_{eNB.UL} = 18,2 \cdot 3 = 54,87 \text{ Мбит/с.}$$

Середню плановану пропускну здатність R_N мережі, що планується визначаємо шляхом множення кількості eNB на середню пропускну здатність eNB . Формула для розрахунку має вигляд:

$$R_N = (R_{eNB.DL} + R_{eNB.UL}) \cdot N_{eNB} = (102,9 + 54,87) \cdot 6 = 946,62 \text{ Мбіт/с};$$

Необхідно виконати оцінку ємності планованої мережі та порівняти з розрахунком. Визначаємо усереднений трафік одного абонента в ГНН:

$$R_{T.ГНН} = T_T \cdot q / (N_{ГНН} \cdot N_D) = 20 \cdot 2 / 4 \cdot 30 = 0,33 \text{ Мбіт/с};$$

де: T_T – середній трафік одного абонента на місяць, $T_T = 20$ Гбіт/міс для мешканців сільської місцевості; q – коефіцієнт місцевості, $q = 2$; $N_{ГНН}$ – число ГНН у день, $N_{ГНН} = 4$; N_D - число днів на місяці, $N_D = 30$;

Загальний трафік мережі в ГНН визначається за формулою:

$$R_{заг.ГНН} = R_{T.ГНН} \cdot N_{акт.аб} \quad (2.8)$$

де $N_{акт.аб}$ - кількість активних абонентів у мережі, яке можна прийняти як 70% від загальної кількості потенційних абонентів $N_{аб}$, тобто:

$N_{акт.аб} = 0,7 \times 1840 = 1288$ абонентів. Приймаємо $N_{акт.аб} = 1300$ аб.

Таким чином загальний трафік дорівнюється:

$$R_{заг.ГНН} = 0,33 \cdot 1300 = 430 \text{ Мбіт/с}$$

Як бачимо $R_N > R_{заг. ГНН}$. Виконання цієї умови свідчить про те, що мережа, яка планується, не буде піддаватися перевантаженням.

2.3.2 Визначення розмірності стільника

При частотно-територіальному плануванні мереж стільникового зв'язку використовується поняття кластера. Кластером називається сукупність найближчих осередків, в яких використовуються різні частотні канали. Розмірністю кластера називається кількість стільників, що входять до його складу.

Підставою для вибору кластера є виконання умови, за якої відношення сигнал/перешкода (С/П) у точці прийому перевищує мінімально допустиму величину сигнал/шум протягом часу.

Перешкоди створюють, перш за все, станції сусідніх кластерів, що працюють на частоті основного каналу (соканалні перешкоди).

Для вибору кластера необхідно також поставити вимоги до ймовірності події, коли відношення сигнал/перешкода в точці прийому виявиться нижче значення порогу. Ця величина оцінює стійкість зв'язку під час переміщення рухомого абонента у зоні обслуговування мережі. Зазвичай цю можливість задають лише на рівні 0,1...0,15.

У кластерах з несекторизованими стільниками таких близько розташованих станцій шість, за наявності 3-х секторів у соті – дві, 6-ти секторів – одна (мал.3.3). Рівень перешкод залежить від розмірності кластеру C ($C=3,4,6,7$), радіусу стільників - R_0 і відстані між ними з частотами D , що повторюються, і пов'язаний із захисним співвідношенням:

$$d = D/R_0 = \sqrt{3C} \quad (2.9)$$

Найчастіше поширення сигналів у наземних системах зв'язку з рухомими об'єктами обернено пропорційно d^4 , де d – відстань джерела сигналу. Таким чином, можна оцінити відносний рівень перешкод по основному каналу прийому для абонентської станції (MS), що знаходиться на межі стільнику, яка становить для стільників з ненаправленою антеною ($M=1$).

$$\beta_1 = \beta_2 = (q-1)^{-4}; \quad \beta_3 = \beta_{41} = q^{-4}; \quad \beta_5 = \beta_6 = (q+1)^{-4}, \quad (2.10)$$

для стільників з трьома секторами при $M=3$ маємо:

$$\beta_1 = (q+0,7)^{-4}; \quad \beta_2 = q^{-4}, \quad (2.11)$$

для стільників з шістьма секторами при $M=6$ маємо:

$$\beta_1 = (q + 1)^{-4}, \quad (2.12)$$

Таким чином, у несекторизованих стільникових структурах та в структурах з трьома секторами соканальна перешкода є сумою шести або 2-х заважають сигналів сусідніх кластерів.

Кластери, які реалізуються у мережах з невеликою щільністю розміщення абонентів, тобто у сільських місцевостях, є найбільш простими.

Якщо число секторів в осередку $M = 1$ - антена не має направлення і ширина діаграми спрямованості (ДС) за рівнем половинної потужності становить $2\theta^{0,5} = 360^\circ$,

В цьому випадку відношення сигнал / шум складає не менш 9 дБ.

Стільник - найменша структурна одиниця мережі мобільного зв'язку - це зона радіопокриття антени базової станції (БС), в якій використовується зазвичай 1-3 закріплених за нею радіоканалів. Залежно від характеру діаграми спрямованості (ДС) антени БС стільника може бути кругової (ширина ДС 360°) або секторної (ширина ДС 120° або 60°). В даний час найбільш поширені секторні 120 градусні стільники.

Розмір стільників характеризується радіусом R , що визначає зону обслуговування даної БС. При цьому радіовипромінювання БС поширюється помітно далі відстані R .

Так як в одному частотному каналі існують 8 незалежних фізичних каналів, то згідно [23] можна визначити число каналів трафіка.

Вибравши число каналів, визначаємо допустимий трафік у стільнику на основі статистики абонентів по таблиці Ерланга та залежності - Додаток Д.

Формула Ерланга пов'язує число каналів трафіка в стільнику M_{CT} , допустимий трафік в стільнику A_{CT} в Ерл. і ймовірність відмови абоненту в наданні каналу зв'язку у годину найбільшого навантаження (ГНН) – $P_{відм}$.

Далі, задаючись середнім значенням трафіка одного абонента у ГНН - $A_1 = 0,015-0,025$ Ерл, визначаємо за (2.6) допустиму кількість абонентів у стільнику.

2.4 Розрахунок дальності зв'язку

Розрахунок дальності зв'язку виконується між обладнанням користувача (MS) та базовою станцією (BTS)

У цьому розділі здійснюється розрахунок зони покриття для кожного сектора базової станції або, іншими словами, дальності зв'язку. Шляхом зіставлення результатів можна зробити висновок про оптимальне охоплення сектора, а також визначитися зі схемою розміщення станцій у межах місцевості, для якої планується мережа.

2.4.1 Розрахунок максимально можливих втрат.

Під час розрахунку радіуса зони покриття користуються різними моделями. У кожному окремому випадку при розрахунках роблять вибір одного з них залежно від діапазону робочих частот, виду планованого ландшафту, протяжності траси та інше. Але в загальному випадку всі моделі зводяться до розрахунку максимально можливих втрат на лінії поширення за умови достатнього рівня сигналу на прийомі.

У будь-якій моделі кінцевий розрахунок зводиться до обчислення рівня сигналу на прийомі за формулою [28]:

$$P_C = P_{РПД} + G_{РПД} + G_{РПМ} - U_{РПД} - U_{РПМ} - L(R), \quad (2.13)$$

де: $P_{РПД}$ - потужність передавача, дБ; $G_{РПД}$, $G_{РПМ}$ - коефіцієнти посилення передавальної антени у напрямку передавача (приймача), дБ; $G_{РПМ}$ ($PПД$) - коефіцієнти посилення приймальної антени у напрямку на приймач (передавач), дБ; $U_{РПД}$, $U_{РПМ}$ - загасання в антенно-фідерних трактах передавача та приймача, дБ; $L(R)$ - втрати на трасі поширення сигналу, дБ.

Таким чином, максимально можливі втрати можна розрахувати за такою формулою:

$$Lp_{\max} = EIBП - P_C, \quad (2.14)$$

де $EIBП$ - ефективна ізотропно-випромінювана потужність, дБ;

P_C - рівень корисного сигналу на вході приймача, дБ.

При цьому розрахунок $EIBП$ виробляють, виходячи з вимог до рівності дальності зв'язку між лінією «вгору» та лінією «вниз».

Таким чином, формула для розрахунку лінії «донизу», тобто від базової станції до мобільного терміналу набуде наступного вигляду:

$$EIBП = P_{вих\,BTS} + G_{a\,BTS} - L_f, \quad (2.15)$$

де $P_{вих\,BTS}$ - потужність виході передавача БС, дБм; $G_{a\,BTS}$ - коефіцієнт посилення передавальної антени, дБ; L_f - втрати в антенно-фідерному тракті, дБ.

Рівень корисного сигналу на вході приймача можна розрахувати за такою формулою:

$$P_C = P_{in\,MS} - G_{a\,MS} + L_{f\,MS} + SNR + RF + IF + L_D - G_p, \quad (2.16)$$

де: $P_{in\,MS}$ - вхідна потужність або чутливість приймача, дБ;

$G_{a\,MS}$ - посилення приймальної антени, дБ;

$L_{f\,MS}$ - втрати в антенно-фідерному тракті приймача, дБ;

SNR - необхідне відношення сигнал-шум на вході приймача, дБ;

IF - запас на завмирання від інтерференції сигналів, дБ;

L_D - втрати, що залежать від середовища розповсюдження сигналу, дБ;

G_p - енергетичний вигравш у процесі, дБ.

За умови, що у всіх мобільних станцій діаграма спрямованості становить 360 град, що відповідає коефіцієнту посилення, що дорівнює 0 дБ, і втрати у фідері також становлять 0 дБ, формулу 2.16 можна привести до вигляду:

$$P_C = P_{inMS} + SNR + RF + IF + L_D - G_p, \quad (2.17)$$

При розрахунку рівня сигналу P_C енергетичний виграш у процесі не враховується для 4G LTE. Справа в тому, що енергетичний виграш показує, яка кількість енергії вивільняється за рахунок того, що швидкість будь-якого процесу (передачі даних, голосу і тому подібне) менша за швидкість передачі інформації:

$$G_p = 10 \log(R_b/R_p), \quad (2.18)$$

де R_b - швидкість передачі інформації в каналі, біт/с;

R_p - це швидкість процесу, біт/с.

У випадку LTE ці швидкості рівні, що в результаті дає виграш 0 дБ, тому в розрахунках даний параметр не враховується. Втрати, що залежать від середовища розповсюдження сигналу, розраховуються за такою формулою:

$$L_D = L_{log} + \sum LP_i, \quad (2.19)$$

де L_{log} - запас на логарифмічно нормальне завмирання, дБ;

LP_i - втрати проходження через перешкоди (людське тіло, стіни будівель, корпус автомобілів), дБ.

Відповідно до умов моделі для сільської місцевості слід задати значення $L_{log} = 8$ дБ. Інші втрати регламентовані і за розрахунках використовують значення, наведені у таблиці 2.5 [28].

Що стосується чутливості приймача мобільної станції, то, у випадку мережі 4G (LTE) стандарту, вона залежить від класу потужності терміналу, і може перебувати в діапазоні від -107 дБ до -113 дБ. Можна прийняти середнє значення -110 дБ, тому у подальших розрахунках приймається дане значення чутливості для приймача мобільної станції LTE.

Значення параметрів для розрахунку рівня сигналу

Параметр	Позначення	Величина
Відношення сигнал-шум, дБ	SNR	10
Запас на релєєвське завмирання, дБ	RF	3
Запас на завмирання від інтерференції, дБ	IF	2
Запас на логарифмічно-нормальне завмирання, дБ	$Llog$	8
Втрати при проходженні скрізь людське тіло, дБ	LP_{body}	3
Втрати при проходженні скрізь корпус автомобіля, дБ	LP_{car}	6
Втрати при проходженні скрізь стіни будівель, дБ	LP_{build}	12

За спрощеною формулою (2.17) для лінії «донизу» знаходимо необхідну потужність сигналу на вході приймача мобільного обладнання:

$$P_c = -110 + 8 + 3 + 2 + 13 = -84 \text{ дБ}$$

За формулою (2.15) розраховуємо ЕІМ, що випромінюється обладнанням базових станцій:

$$EIBП = 46 + 20 + (-0,04 \cdot 32 + 0,6 \cdot 2) = 68,48 \text{ дБ}$$

Виходячи з того, що довжина фідера становить 30 м (висота підвісу антен базової станції), задаємося значенням 32 м, тобто із запасом на з'єднання. Також враховуємо втрати у сполучних елементах – мінімально по 2 конектори на фідер.

За формулою (2.14) виконуємо заключний розрахунок максимально можливих втрат при поширенні у вільному просторі:

$$Lp_{\max} = 68,48 - (-84) = 152,48 \text{ дБ}$$

Для випадків обчислення втрат при розповсюдженні сигналу в автомобілі або всередині будівель та будівель робимо аналогічні розрахунки:

$$Lp_{car} = 68,48 - (-76) = 144,48 \text{ дБ}$$

$$Lp_{build} = 68,48 - (-70) = 138,48 \text{ дБ}$$

2.4.2 Розрахунок радіусу зони покриття.

Для розрахунку радіусу зони покриття або, іншими словами, дальності зв'язку між БС та МС в умовах поширення сигналу серед сільських забудов найбільше підходить модель Хата [16]. Скористаємося цим методом розрахунку для визначення оптимального варіанту для радіусу стільнику в стандарті LTE 900.

У діапазоні частот 900 МГц слід використовувати рекомендації [Rec. ITU-R P. 529-2]. Умови застосування моделі $f = 150 - 1500$ МГц; НБС = 30 - 200 м; НАС = 1-10 м [26].

У приміській зоні, яка відповідає районним центрам втрати потужності по трасі поширення сигналу визначаються за виразом:

$$L_p = 63,35 + 27,72 \lg f - 13,82 \lg h_b - ah_m + (44,9 - 6,55 \lg h_b) \lg d - 2(\lg f / 28)^2 \quad (2.20)$$

У цьому виразі є коригувальний фактор, який визначається за виразом:

$$ah_m = (1,1 \lg f - 0,7) h_m; \quad (2.21)$$

де: h_b – ефективна висота підйому антени базової станції, м; h_m – висота антени рухомої станції (абонентського терміналу) над землею, м; d – відстань між передавачем та приймачем, км; f – частота сигналу, МГц.

При використанні найбільш характерних значень: $h_b = 30$ м; $h_m = 1,5$ м; $f = 900$ МГц, отримаємо з формул (2.20) та (2.21) наступний вираз:

$$L_p = 116,434 + 35,22 \lg d \quad (2.22)$$

На підставі отриманого виразу можна визначити максимальну дальність зв'язку для мережі, що планується, за формулою:

$$d = 10^\alpha, \quad (2.23)$$

де

$$\alpha = \frac{L_p - 116,434}{35,22},$$

Таким чином, максимальна дальність зв'язку у вільному просторі, в автомобілі та всередині будівель відповідно дорівнюються:

$$d_{\max} = 10,54 \text{ км}, \quad d_{\text{car}} = 6,256 \text{ км}, \quad d_{\text{build}} = 4,23 \text{ км}.$$

Радіуси секторів для вказаних категорій дорівнюються половині від наведених значень кожної дальності.

2.4.3 Розрахунок кількості базових станцій

Площу зони покриття однієї базової станції можна розрахувати за такою формулою:

$$S = \frac{3}{2} \cdot R^2 \sqrt{3}, \quad (2.24)$$

де R – приймається як половина від найменшого значення радіусу сектору, тобто $R = 1,12$ км.

Тепер маємо:

$$S = \frac{3}{2} \cdot R^2 \sqrt{3} = 1,5 \cdot 1,254 \cdot 1,73 = 3,254 \text{ км}^2,$$

Звідси кількість базових станцій розраховується за формулою:

$$N_{BS} = \frac{S_{LTE}}{3 \cdot S}, \quad (2.25)$$

де S_{LTE} – площа населеного пункту. Для райцентрів з урахуванням реальних природничих умов цю площу можна прийняти рівною 20 кв.км.

Маємо:

$$N_{BS} = \frac{S_{LTE}}{3 \cdot S} = \frac{20}{3 \cdot 3,254} = 2,05,$$

Таким чином, для покриття площі райцентру потрібно 2 або з перспективою – 3 базових станції.

2.4.4 Розрахунок ємності мережі

Загальна ємність визначатиметься сумарною ємністю мережі LTE. При цьому ємність мережі визначатиметься кількістю секторів, а також максимально можливим навантаженням на кожному з них. У результаті розрахунок загальної ємності може бути зведено до обчислення за такою формулою:

$$C_{LTE} = N_{c_{BTS}} \cdot C_{BTS} / A_{аб ГНН}, \quad (2.26)$$

де: C_{LTE} - ємність мережі LTE; $A_{аб.ГНН}$ - навантаження від одного абонента в ГНН, Ерл. (для стільникових мереж $A_{аб.ГНН} = 0,05$ Ерл.); $N_{c_{BTS}}$ – кількість секторів у мережі LTE; C_{BTS} - ємність сектора LTE (кількість абонентів на сектор);

У системі LTE число абонентів на сектор може становити до 200 – 400 абонентів. Візьмемо середнє значення 300 абонентів сектор.

Використовуючи обчислені ємності секторів, визначимо ємність мережі:

$$\text{Кількість секторів} = 3 * N_{BS} = 9;$$

$$\text{Ємність сектора,} - 300 \text{ аб./сек.};$$

$$\text{Загальна кількість абонентів у ГНН} - 2700 \text{ аб.};$$

$$\text{Ємність мережі LTE} - 54000 \text{ аб.}$$

2.4.5 Розрахунок інформаційних навантажень мережі LTE

Для стільникових мереж із застосуванням технології LTE можливе узагальнення параметра для абонентського трафіка, що включає передачу мовної інформації та пакетну передачу даних з об'єднанням тайм-слотів у радіоканалі. При цьому насамперед визначаються і приводяться у відповідність первинні параметри трафіка.

Використання цього принципу може бути розглянуто на прикладі визначення величини «додатку» до середнього навантаження в ГНН на одного абонента мережі з мовного трафіка з допомогою передачі.

Середнє навантаження в ГНН на одного абонента мережі з мовного трафіка складає:

$$y_0 = \frac{C_{сер} \cdot t_{сер}}{3600} \quad (2.27)$$

де $C_{сер}$ – середня кількість викликів у ГНН на одного абонента мережі для передачі мовних повідомлень; $t_{сер}$ – середній час розмови.

Середнє навантаження в ГНН на одного абонента мережі передачі даних визначається за аналогічною (2.27) формулою.

Отримане навантаження по каналу даних додається до абонентів, які розмовляють одночасно, та розраховується сумарне навантаження каналу даних та мовного каналу.

Навантаження у ГНН від абонентів, які розмовляють одночасно:

$$A_p = A_{сер} \cdot N_{акт.аб} ,$$

Раніше прийнято $N_{акт.аб} = 1300$ аб., $A_{сер} = 0,05$ Ерл.

Маємо:

$$A_p = 0,05 \cdot 1300 = 65 \text{ Ерл.} ,$$

Розрахунок проведено за формулою (2.27) на підставі параметрів для наступних вихідних даних:

- середня кількість викликів у ГНН на одного абонента мережі для передачі мовних повідомлень $C_{сер}$ [викл./год.] – 0,7.
- середня кількість викликів у ГНН на одного абонента мережі для передачі даних $C^*_{сер}$ [викл./год] - 5,0;
- середня тривалість сеансу зв'язку для мовного трафіка $t_{сер}$ [с] – 90;
- середній обсяг повідомлень при передачі даних $I_{сер}$ [кбіт] - 2500;
- середня швидкість передачі даних у радіоканалі R [кбіт/с] - 32;

- середнє навантаження в ГНН на одного абонента мережі з мовного трафіка y_0 [мЕрл.].

$$y_0 = 0,7 \cdot 90 / 3600 = 17,5 \text{ мЕрл}$$

Середнє навантаження в ГНН на одного абонента мережі передачі даних:

$$y_0^v = C_{сер}^v \cdot t_{сер}^v / 3600 = 5,0 \cdot 78,1 / 3600 = 108,5 \text{ мЕрл},$$

де $t_{сер} = I_{сер} / R = 2500 / 32 = 78,1$ с.

Сумарне значення середнього навантаження у ГНН від одного абонента у мережі, Y_0 [мЕрл.]:

$$Y_0 = y_0 + y_0^v = 17,5 + 108,5 = 126 \text{ мЕрл},$$

Кількість абонентів трафіка даних дорівнюється 1840, тому середнє навантаження у мережі при передачі даних дорівнюється:

$$Y_0^v = y_0^v \cdot N_{LTE} = 108,5 \cdot 10^{-3} \cdot 1840 = 199,64 \text{ Ерл},$$

Сумарне навантаження каналу даних та мовного каналу:

$$A^v = A + Y_0^v = 65 + 199,64 = 264,64 \approx 265 \text{ Ерл},$$

2.5 Розрахунок надійності мережі стільникового зв'язку

Планування мереж стільникового зв'язку висуває необхідність вибору пристроїв і вузлів, які забезпечують виконання всіх покладених на них функцій протягом тривалого терміну служби обладнання. Вирішення цієї проблеми можливе лише при комплексному підході до питань надійності на всіх стадіях проектування і експлуатації [23].

Надійність - це властивість системи забезпечувати нормальне виконання заданої функції, забезпечувати початкові технічні характеристики протягом певного часу в заданих межах допуску. Вона характеризується: безвідмовністю, довговічністю та ремонтпридатністю.

Безвідмовність - властивість системи зберігати працездатність в певних умовах і режимах експлуатації.

Довговічність - властивість системи зберігати працездатність в перервах між плановим технічним обслуговуванням і ремонтом до граничного стану.

Ремонтпридатність - властивість системи, яка полягає в пристосованості до попередження про порушення і усунення відмов шляхом планового технічного обслуговування і ремонту.

В основі поняття надійності лежить поняття відмови. Відмова – це порушення працездатності системи, що полягає у припиненні виконання заданих функцій або виході робочих показників за задані межі.

Збій в роботі мережі стільникового зв'язку може бути викликаний різними причинами: природними явищами, виходом з ладу обладнання, обривом ліній зв'язку.

При цьому для користувачів послуг не має значення, внаслідок чого порушується зв'язок, так що абонент повинен бути гарантований на досить великий проміжок часу в тому, що протягом якого показники якості обслуговування не будуть нижче заданих.

Простої, викликані збоями в роботі мережі, можуть супроводжуватися значними втратами прибутку підприємств зв'язку. Таким чином, актуальними є питання скорочення часу простою, втрат, викликаних простоями та витрат на мінімізацію цих втрат.

З цього існує необхідність у кількісній оцінці надійності і в теорії надійності вводяться певні кількісні характеристики і встановлюється зв'язок між ними, розробляються методи, що дозволяють аналізувати фізичні причини відмов і прогнозувати надійність систем.

Різновиди відмов [29].

Раптові відмови виникають у результаті різкої стрибкоподібної зміни основних параметрів під впливом багатьох випадкових факторів, пов'язаних із внутрішніми дефектами елементів, порушенням робочих режимів, помилками обслуговуючого персоналу й інших несприятливих впливів.

Для *поступових відмов* характерно плавна зміна параметрів у результаті старіння або зношування елементів. Слід зазначити, що появі раптових відмов

передують схована зміна властивостей деталей або компонентів у часі, які незавжди вдається виявити. Тому поділ відмов на раптові поступові носить умовний характер.

До *стійких відносять відмови*, які усуваються тільки в результаті регулювання, проведеного ремонту або у випадку заміни елемента, що відмовив.

Тимчасові відмови можуть мимовільно зникати без втручання обслуговуючого персоналу внаслідок усунення їхньої причини, що викликала. Причинами таких відмов часто є ненормальні режими або умови роботи апаратури, наприклад, відхилення температури або вологості, зниження напруги мережі й тому подібне.

Час напрацювання на відмову - $T_{сер}$ і середній час відновлення після збою $T_{в}$ є основними параметрами, які враховуються при вирішенні завдання забезпечення надійного і стабільного сервісу.

Параметрами безвідмовності є: інтенсивність відмов системи, напрацювання на відмову системи, ймовірність безвідмовної роботи.

Знаючи $T_{сер}$ кожного елемента системи, можна визначити інтенсивність відмов λ , [1/год], кожного елемента за формулою:

$$\lambda = 1/T_{сер} \quad (2.28)$$

Необхідні значення зазначених параметрів наведені в таблицях 2.6,2,7.

Таблиця 2.6 - Інтенсивність відмов та встановлення елементів системи [30]

№ п.п.	Пристрій	Інтенсивність	
		Відмов λ , 1/год.	Відновлений μ , 1/год.
1	Центральний процесор	10^{-5}	0,1
2	Оперативна пам'ять	10^{-4}	1
3	Системний інтерфейс	10^{-6}	0,1
4	Зовнішнє ЗУ	10^{-4}	0,1

Таблиця 2.7– Параметри оцінки працездатності [23]

Середній час напрацювання на відмову $T_{сер}$, тис. год.			Середній час відновлення T_v , год.
БС	Контролер	Мультиплексор	
26...38 = 32	50...68 = 59	42...54 = 48	2...14 = 8

Таблиця 2.8 - Середнє значення інтенсивності відмов радіоелементів [29]

№ п.п.	Групи елементів	Середньо-групові значення інтенсивності відмов $\lambda \cdot 10^{-6}$ 1/год.
1	Мікросхеми інтегральні цифрові	0,21
2	Індикатори графічні	0,53
3	Індикатори LCD	0,88

Приймаючи до уваги, що серед елементів, які працюють у одному пристрої, відмова всього пристрою має місце при відмові хоча б одного елемента, у розрахунках використані найменші значення середнього часу напрацювання на відмову.

Інтенсивність відмов базової станції (БС):

$$\lambda_{БС} = 1/32000 = 31,25 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год}$$

Інтенсивність відмов контролера:

$$\lambda_K = 1/59000 = 16,95 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год}$$

Інтенсивність відмов мультиплексора:

$$\lambda_M = 1/48000 = 20,8 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год}$$

Інтенсивність відмов всієї системи в цілому розраховується [23] за формулою:

$$\lambda_C(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_i, \quad (2.29)$$

де λ_i – інтенсивність відмов кожного елемента системи:

$$\lambda_C(t) = (31,25 + 16,95 + 20,8) \cdot 10^{-6} = 69,0 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год.}$$

Отримавши інтенсивність відмов всієї системи, можна визначити напрацювання на її відмову:

$$T_{сер.с} = 1 / \lambda_C(t) = 1 / 69,0 \cdot 10^{-6} = 14493 \text{ год} = 604 \text{ доби} = 1,654 \text{ року}$$

Напрацювання на відмову системи згідно нормативних показників повинна бути не менш ніж 350 діб [23]. Таким чином, розрахований результат відповідає нормативним вимогам.

Ймовірність безвідмовної роботи – це імовірність того, що протягом заданого часу не відбудеться відмови в системі. Її значення визначається за формулою:

$$P_C(t) = e^{-\lambda t}, \quad (2.30)$$

де t - час випробування, год.;

λ - інтенсивність відмов системи.

Час випробування може набувати таких значень: 24, 720, 2172, 8760 годин.

Результати розрахунку ймовірності відмови за формулою (2.30) зведені в таблицю 2.9

Таблиця 2.9 Імовірності відмов при різному часі випробувань

Час випробувань, год.	24	720 (1 мес)	2172 (3 мес)	8760 (1 год)
Імовірність відмов	0,9983	0,9514	0,86	0,546

2.6 Висновок

У спеціальній частині кваліфікаційної роботи бакалавра обрано об'єкт планування мережі LTE - райцентр з населенням до 15000 мешканців, з площею до 20 кв. км. та розглянуто радіочастотний спектр цієї технології.

Розраховано параметри мережі LTE для умов сільської місцевості:

- кількість абонентів, яке обслуговуватиметься однією eNB – 1840;
- кількість базових станцій у мережі LTE, що планується, дорівнюється – 3;
- середня пропускна здатність eNB - 946,62 Мбіт/с;
- загальний трафік мережі в ГНН - 430 Мбіт/с;
- максимально можливі втрати при поширенні у вільному просторі - 152,48 дБ;
- максимальна дальність зв'язку у вільному просторі, в автомобілі та всередині будівель:

$$d_{\max} = 10,54 \text{ км}, \quad d_{\text{car}} = 6,256 \text{ км}, \quad d_{\text{build}} = 4,23 \text{ км}.$$

- сумарне навантаження каналу даних та мовного каналу – 265 Ерл.

Зроблено оцінку надійності мережі в цілому. Визначено напрацювання на її відмову, яке склало 604 доби при нормативному показнику не менш 350 діб.

РОЗДІЛ 3. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Загальні відомості щодо ефективності планування мережі LTE 900

Для сільської місцевості, де планування мереж мобільного зв'язку здійснюється для районних центрів, удосконалення та розширення цих мереж дає можливість операторам здійснювати більш дешеві і якісні рішення для забезпечення зростаючих потреб населення, а також підвищення конкурентоспроможності на ринку послуг.

Кваліфікаційна робота бакалавра являє собою варіант планування мережі стандарту LTE 900 та розрахунку її параметрів в сільській місцевості з кількістю мешканців до 15000.

Термін первинного планування прийнято рівним у 24 робочих дні.

Першим і найважливішим параметром при виконанні яких би то ні було робіт є капітальні вкладення.

Капітальні вкладення - це витрати на створення нових, реконструкцію і технічне переозброєння діючих основних засобів.

Таблиця 3.1 Розрахунок вартості обладнання для виконання робіт

№	Найменування	Кількість	Сума вартості товару (грн.)	Загальна сума (грн.)
1.	Ноутбук Lenovo IdeaPad 3 15IML05	1	15999	15999
2.	Маршрутзатор інтернет WiFi5 TP-Link Archer C20	1	879	879
3.	Принтер Pantum P2207	1	3570	3570
4.	Картридж для принтеру Pantum P2207 BASF-КТ-PC211EV	1	1084	1084
5.	Папір офісний А4 Eco Lettura ISO 60, 500 арк/пач.	3	170,91	512,73
6.	Витрати на оплату Інтернету 100мб/с	1 міс	185	185
7	Транспортні витрати		1200	1200
Разом			23087,91	23429,73

3.2 Складання кошторису витрат на виконання робіт

До річних експлуатаційних витрат відносимо:

- амортизаційні відрахування;
- витрати на оплату праці;
- єдиний соціальний внесок;
- витрати на електроенергію
- інші витрати.

Амортизаційні відрахування складають 40% за рік від суми капітальних витрат [31]:

$$Ca = K \times 0,4 \quad (3.1)$$

$$Ca = 23429,73 \times 0,4 = 9371,89 \text{ (грн.)}$$

Для розрахунку фонду оплати праці виробничого персоналу визначаємо його чисельність по відділах, посадовий оклад, встановлений для кожного працівника.

3.3 Розрахунок заробітної плати:- таблиця 3.2

Таблиця 3.2 - Заробітна плата персоналу

Посада	Кількість робітників	Заробітна плата за місяць (25 робочих днів) на одиницю, грн.	Заробітна плата за термін виконання проектних робіт. (20 робочих днів), грн	Сума фонду оплати праці за рік, грн.
Оператор	1	12500	12000	12000
Разом				12000

3.4 Визначення суми соціального відрахування [32]:

Соціальне відрахування становить 37,5 % від річного фонду оплати праці:

$$C_c = C_z \times 0,375$$

де C_c – відрахування на соціальні заходи від заробітної плати;

C_z – заробітна плата обслуговуючого персоналу;

$$C_c = 12000 \times 0,375 = 4500 \text{ (грн.)}$$

Оплата праці з відрахуванням:

$$O_n = C_z + C_c, \quad (3.2)$$

де O_n – Оплата праці з відрахуванням.

$$O_n = 12000 + 4500 = 16500 \text{ (грн.)}$$

Витрати з оплати електроенергії для виробничих потреб:

$$V_{итрЕл} = C * Tар, \quad (3.3)$$

де $V_{итрЕл}$ – витрати електроенергії при виконанні роботи:

$$V_{итрЕл} = 86,4 \times 1,68 = 145,15 \text{ грн.}$$

C – загальній обсяг потреб електроенергії. (кВт*год):

$$C = Tд * Tр (Pн + Pп + Pм + Pо + Pдод), \quad (3.4)$$

де: $Tд$ – термін роботи у добу, год; $Tр$ - термін роботи, діб;

$Pн$ – потужність ноутбука, кВт; $Pп$ – потужність принтера, кВт;

$Pм$ – потужність маршрутизатора, кВт; $Pо$ – потужність освітлення приміщення, кВт; $Pдод$ – потужність додаткових пристроїв.

$$C = 10 * 24 * (0,1 + 0,15 + 0,05 + 0,06) = 86,4 \text{ кВт*год}$$

$Tар$ – тариф на електроенергію.

Усі пристрої будуть працювати 24 робочих дні по 10 годин на добу.

Таким чином загальні витрати на оплату електроенергії за час виконання роботи складають – 145,15 грн.

3.5 Розрахунок витрат на обслуговування та ремонт обладнання:

Витрати на ремонт та обслуговування обладнання становлять 2% від його вартості:

$$V_{итр.р} = 23429,73 \times 0,02 = 468,59 \text{ (грн.)}$$

3.6 Інші витрати:

Інші витрати визначаються в розмірі 4% від річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу:

$$C_{ін} = C_з \times 0,04 = 4500 \times 0,04 = 180 \text{ (грн.)}$$

Загальні витрати на виконання робіт з планування мережі

Найменування витрат	Сума, грн.
Капітальні витрати	23429,73
Амортизація	9371,89
Фонд оплати праці з відрахуваннями	12000
Єдиний соціальний внесок	4500
Витрати на оплату електроенергії	145,15
Витрати на ремонт і обслуговування	468,59
Інші витрати	180
Усього	50095,36

3.7 Висновок

Визначення економічної ефективності кожної роботи здійснюється на підставі порівняння витрат на неї з витратами на аналогічні роботи. Таке порівняння в цьому конкретному випадку неможливо з причини відсутності планування подібної мережі при конкретизації характерних параметрів.

Аналіз отриманих при розрахунку всіх видів витрат показав, що капітальні витрати на виконання робіт з планування мережі стандарту LTE 900 за 24 робочих дні, становить – 50095,36 грн.

ВИСНОВКИ

У першому розділі кваліфікаційної роботи бакалавра наведені основні відомості про розвиток поколінь мобільного зв'язку, вимоги до сучасних і перспективних ТКС, еволюцію радіо технологій. Відображено принципи мережевої архітектури LTE, інтерфейси цієї мережі, архітектура SAE, позиціонування користувача в LTE та передача голосу по мережі VoLTE. , Сформульовані задачі кваліфікаційної роботи бакалавра.

У спеціальній частині обрано об'єкт планування мережі LTE - райцентр з населенням до 15000 мешканців, з площею до 20 кв. км. та розглянуто радіочастотний спектр цієї технології.

Розраховано параметри мережі LTE для умов сільської місцевості:

- кількість абонентів, яке обслуговуватиметься однією eNB – 1840;
- кількість базових станцій у мережі LTE, що планується, дорівнюється – 3;
- середня пропускна здатність eNB - 946,62 Мбіт/с;
- загальний трафік мережі в ГНН - 430 Мбіт/с;
- максимально можливі втрати при поширенні у вільному просторі - 152,48 дБ;
- максимальна дальність зв'язку у вільному просторі, в автомобілі та всередині будівель:

$$d_{\max} = 10,54 \text{ км}, \quad d_{\text{car}} = 6,256 \text{ км}, \quad d_{\text{build}} = 4,23 \text{ км}.$$

- сумарне навантаження каналу даних та мовного каналу – 265 Ерл.

Зроблено оцінку надійності мережі в цілому. Визначено напрацювання на її відмову, яке склало 604 доби при нормативному показнику не менш 350 діб.

Визначення економічної ефективності кожної роботи здійснюється на підставі порівняння витрат на неї з витратами на аналогічні роботи. Таке порівняння в цьому конкретному випадку неможливо з причини відсутності планування подібної мережі при конкретизації характерних параметрів.

Аналіз отриманих при розрахунку всіх видів витрат показав, що капітальні витрати на виконання робіт з планування мережі стандарту LTE 900 за 24 робочих дні, становить – 50095,36 грн.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Одарченко Р.С. Стратегії розвитку операторів стільникового зв'язку в Україні // Наукоємні технології Том 26, № 2 (2015). — С. 141-148.
2. Почему мобильную связь в селах можно было ждать годами и при чем здесь земля? (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <https://www.epravda.com.ua/rus/columns/2022/02/18/682488/> – Загол. з екрана.
3. Процедура визначення виду регіону в залежності від рівня розвитку інформаційної інфраструктури. (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=5153> – Загол. з екрана.
4. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сфері зв'язку та інформатизації. (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: https://nkrzi.gov.ua/image/upload/142/9088/Zvit_2019_139_31032020.pdf?fbclid=IwAR07zL87Pbz18v4ZILbyToe1-4-kYJzU_cb792cDclI2om0IYFudu1XQ3o – Загол. з екрана.
5. О.П. Проживальський Технічні, нормативно-правові та економічні аспекти впровадження технологій мобільного зв'язку 4-го (4G) та 5-го (5G) поколінь. (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: https://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/CIS/Documents/Events/2016/11_Kiev/Oleg%20Prozhivalsky.pdf – Загол. з екрана.
6. Дослідження архітектури мереж стільникового зв'язку в Україні та можливості їх переходу до мережі LTE. Р. С. Одарченко, канд. техн. наук, доц.; Н. В. Дика, Наукоємні технології № 3 (31), 2016.
7. System Architecture Evolution (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/System_Architecture_Evolution - Загол. з екрана.
8. Сетевая архитектура LTE. (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <https://coderlessons.com/tutorials/telekom/uznaite-lte/setevaia-arkhitektura-lte> – Загол. з екрана.

9. Архитектура сети LTE. (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <https://russianblogs.com/article/1295174466/> – Загол. з екрана.
10. EPC evolved packet core. (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: https://osnova-telecom.ru/tehnology_4g/epc/ – Загол. з екрана.
11. Телекомунікаційні системи та мережі. Том 1.1.5.1 Вимоги до сучасних і перспективних ТКС. (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <https://www.znanius.com/3566.html?&L=0> – Загол. з екрана.
12. Стандарти мобільного зв'язку 4G-5G-6G – подібність, відмінності, перспективи. (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <https://www.itbox.ua/ua/blog/Standarti-mobilnogo-zvyazku-4G5G6G--podibnist-vidminnosti-perspektivi/> – Загол. з екрана.
13. Ликбез 11-4. Поколения сотовой связи (4G LTE) - Алексей Шалагинов. (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <https://shalaginov.com/2020/01/09/6815/> - Загол. з екрана.
14. Х. Кааранен, А. Ахтиайнен, Л. Лаитинен Сети UMTS. Архитектура, мобильность, сервисы. – М.: Техносфера, 2007, 464 с.
15. 3GPP Long Term Evolution (LTE). Обзор физического уровня. (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <https://ppt-online.org/196207> - Загол. з екрана.
16. Abdul Basit, Dimensioning of LTE Network. Description of Models and Tools, Coverage and Capacity Estimation of 3GPP Long Term Evolution. 2009, p. 71.
17. E-UTRA. (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <https://uk.upwiki.one/wiki/E-UTRA> - Загол. з екрана.
18. Діапазони частот LTE. (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: https://uk.upwiki.one/wiki/LTE_frequency_bands#Frequency_bands_and_channel_bandwidths - Загол. з екрана.
19. Пилипенко, А. М. Проектирование беспроводной городской сети связи четвертого поколения. / А. М. Пилипенко, С. А. Ефремов // Современные научные исследования и инновации. – 2015. – № 12. (Електрон. ресурс) /

- Спосіб доступу: URL: <http://web.snauka/issues/2015/12/61436>. - Загол. з екрана.
20. LTE Краткое руководство. Ноябрь 29, 2018. (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <https://coderlessons.com/tutorials/telekom/uznaite-lte/lte-kratkoe-rukovodstvo> - Загол. з екрана.
21. Бабков В. Ю., Вознюк М. А., Михайлов П. А. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование. Учебное пособие для ВУЗов. – М: Горячая линия – Телеком, 2007.
22. И. Р. Гершман Модели и методы расчёта абонентской нагрузки в сотовых сетях. (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <https://telecomproject.tripod.com/nagr.htm> - Загол. з екрана.
23. Колодезная, Г.В. Основы теории связи с подвижными объектами : метод. пособие по курсовому проектированию / Г.В. Колодезная. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2012. – 26 с.: ил.
24. Основы сотовой связи стандарта GSM. 7.3 Принципы радиопокрытия зон обслуживания. Ж-л Антенно-фидерные устройства(Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <http://afu.com.ua/gsm7/principy-radio-pokrytiya-zon-obsluzhivaniya> - Загол. з екрана.
25. Элементы частотно-территориального планирования сетей сотовой связи. Методическое руководство к лабораторной работе № 65 (для специальностей 7.090703, 7.092402, 7.092401). Составители: Драганов В.М., Маковеев Д.А., Одесская национальная академия связи им. А. С. Попова, Одесса 2009., 32 с., ил.
26. Комашинский, В.И. Системы подвижной радиосвязи с пакетной передачей информации / В.И. Комашинский, А.В. Максимов. – М. : Горячая линия – Телеком, 2007. – 173 с.
27. Электродинамика и распространение радиоволн : учебник / И. П. Соловьянова, Ю. Е. Мительман, С. Н. Шабунин ; под общ. ред. доц., канд. техн. наук И. П. Соловьяновой и доц., канд. техн. наук Ю. Е. Мительмана;

Мин.-во науки и высш. образования РФ. - Екатеринбург : Изд. Урал. Ун-та, 2020, 412 с.

28. А.А. Лапцевич, С.И. Половения Проектирование системы мобильной связи стандарта LTE при создании эталонной сети сотовой подвижной электросвязи на территории республики Беларусь. «ПРОБЛЕМЫ ИНФОКОММУНИКАЦИЙ» № 1(9), 2018.
29. СТАТИСТИЧНІ МЕТОДИ КОНТРОЛЮ І ТЕОРІЯ НАДІЙНОСТІ РЕА. (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: http://radio-rtc.inf.ua/Quality/L4_5.pdf - Загол. з екрана.
30. Вдовенко, В. В. Надежность информационных систем : лаборатор. практикум для студентов направления 230200.62 «Информационные системы» очной формы обучения ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск, 2012. – 72 с.
31. Економіка та організація виробничої діяльності підприємства. § 5.5 Розрахунки норм і сум амортизаційних відрахувань. (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fmib/17nebava_ekonomika_organizaciya_vi_robnichoyi_diyalnosti/55.htm - Загол. з екрана.
32. Буковинська бібліотека. 10.5. Витрати підприємства на соціальні заходи. (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: [https://buklib.net/books/27986/.](https://buklib.net/books/27986/) - Загол. з екрана.

ДОДАТОК А. Відомість матеріалів кваліфікаційної роботи

№	Формат	Найменування	Кількість листоків	Примітки
<i>Документація</i>				
1	A4	Реферат	3	
2	A4	Список умовних скорочень	2	
3	A4	Зміст	2	
4	A4	Вступ	2	
5	A4	Стан питання. Постановка задачі.	21	
6	A4	Спеціальна частина	27	
7	A4	Економічний розділ	4	
8	A4	Висновки	2	
9	A4	Перелік посилань	4	
10	A4	Додаток А	1	
11	A4	Додаток Б	1	
12	A4	Додаток В	1	
13	A4	Додаток Г	1	
14	A4	Додаток Д	1	

ДОДАТОК Б. Перелік документів на оптичному носії

- 1 Електронна версія пояснювальної записки (Пояснювальна записка Лук'яненко В.doc та Пояснювальна записка Лук'яненко В.pdf)
- 2 Електронна версія демонстраційного матеріалу (Презентація Лук'яненко В. Power Point)

ДОДАТОК В. Відгук керівника економічного розділу

ВІДГУК

Керівник розділу

(підпис)

Романюк Н.М.

ДОДАТОК Г. Відгук керівника кваліфікаційної роботи

ВІДГУК

**на кваліфікаційну роботу бакалавра за темою:
на тему: «Планування мережі стільникового зв'язку для сільської
місцевості за стандартом «LTE 900»
студента групи 172-19ск-1 Лук'яненко Вадим Юрійович**

Кваліфікаційна робота бакалавра представлена пояснювальною запискою на 74 с., 13 рис., 12 табл., 5 додатків, 32 джерел.

Мета кваліфікаційної роботи - планування мережі стільникового зв'язку за стандартом LTE 900 актуальна за необхідністю значного поліпшення комунікацій в сільських районах нашої країни.

Кваліфікаційна бакалаврська робота студента Лук'яненко В. Ю. виконана у повному обсязі, у встановлений термін, згідно існуючим вимогам до оформлення, зміст роботи відповідає темі.

У першому розділі роботи автором наведені вимоги до сучасних і перспективних ТКС, відомості про розвиток поколінь мобільного зв'язку, принципи мережевої архітектури LTE, її інтерфейси та позиціонування користувача в цій мережі. Сформульовані задачі для досягнення поставленої мети кваліфікаційної роботи бакалавра.

У другому розділі роботи обрано об'єкт планування мережі LTE - характерний за кількістю населення районний центр та розраховано параметри мережі LTE: кількість базових станцій, кількість абонентів, яка обслуговуватиметься однією БС, загальний трафік мережі в ГНН та максимальна дальність зв'язку. Визначено термін вірогідної відмови системи, який значно менше ніж мінімально допустимий.

В економічному розділі виконано розрахунок капітальних витрат на виконання робіт з планування мережі стандарту LTE 900.

Практичне значення роботи полягає у розрахунку показників мережі LTE для обраного об'єкту планування, що дозволяє у перспективі мати орієнтири при плануванні мереж для конкретних об'єктів.

До недоліку роботи слід віднести відсутність частотно-територіального планування мережі, оскільки автором обрано узагальнений об'єкт планування.

В цілому кваліфікаційна робота бакалавра виконана успішно, вона заслуговує оцінки 85 балів - «*добре*», а її автор Лук'яненко В. Ю. присвоєння йому кваліфікації «Бакалавр з телекомунікацій та радіотехніки».

Керівник дипломної роботи,

доцент _____ Галушко О.М.
(підпис)

ДОДАТОК Д. Залежність між навантаженням, числом каналів і ймовірністю втрат у мобільному зв'язку [22]

