

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ інфокомунікацій
(повна назва)

Кафедра _____ інформаційно-мережної інженерії
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти _____ другий (магістерський)

Модернізація телефонної мережі для запровадження сучасних послуг

(тема)

Виконав:

здобувач 2 року навчання,
групи ІМ-23-1

Славгородський Я.В.

(прізвище, ініціали)

Спеціальність 172 «Електронні комунікації
та радіотехніка»

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Інформаційно-мережна
інженерія

(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. Харченко Н.А.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри _____

(підпис)

Безрук В.М.

(прізвище, ініціали)

2025 р.

Не містить відомостей заборонених до відкритого публікування

Студент _____ / Славгородський Я.В./

Керівник _____ / Харченко Н.А./

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ інфокомунікацій _____
Кафедра _____ інформаційно-мережної інженерії _____
Рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) _____
Спеціальність _____ 172 Електронні комунікації та радіотехніка _____
Тип програми _____ освітньо-професійна _____
(код і повна назва)
Освітня програма _____ інформаційно-мережна інженерія _____
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

« _____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві _____ Славгородському Ярославу В`ячеславовичу _____
(прізвище, ім`я, по батькові)

1. Тема роботи Модернізація телефонної мережі для запровадження сучасних послуг

затверджена наказом університету від 28 жовтня 2024 р. № 1148 Ст

2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії 14 січня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Провести аналіз методик розвитку телекомунікаційних мереж у районах з низькою щільністю населення, на основі аналізу вибрати оптимальну технологію, що здатна надавати користувачам сучасні послуги Triple Play. Для модернізації обрати мережу телефонного зв'язку, що повинна огорнути наступні населені пункти: Ротмистрівка, Ковалиха, Мельниківка, Куцівка, Носачов, Ташлик, Тернівка, Попівка, Санжариха, Сердюківка, Самгородок, Макіївка.

Виконати розрахунок кількості потенційних абонентів та зон радіопокриття, побудувати топологічну схему мережі.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____
Вступ

1. Концепція розвитку телекомунікаційних мереж та послуг Triple Play

2. Аналіз стратегії розвитку телекомунікаційних мереж для регіонів із низькою щільністю населення

3. Основні відомості та характеристики технології LTE

4. Розрахунок кількості потенційних абонентів мережі, вибір обладнання

5. Розрахунок зон радіопокриття для мережі LTE на території Смілянського району

Висновки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) _____

Слайди у форматі Power Point (назва та мета роботи, концепція мереж NGN, рівні мережі NGN, розвиток концепцій послуг та технологій NGN, формування послуг Triple Play, вибір сценарію розвитку мереж зв'язку у сільській місцевості, планування модернізації телефонної мережі через модель випадкового графа, мережева архітектура LTE, архітектура базової мережі SAE, модель мультисервісної мережі в сільській місцевості Смілянського району, схема модернізованої мережі LTE у Смілянському районі, висновки)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Ознайомлення із завданням. Уточнення ТЗ.	28.10.2024	виконано
2	Підбір літератури за темою роботи	29.10-10.10.2024	виконано
3	Концепція розвитку телекомунікаційних мереж та послуг Triple Play	11.10-20.10.2024	виконано
4	Аналіз стратегії розвитку телекомунікаційних мереж для регіонів із низькою щільністю населення	21.10-06.11.2024	виконано
5	Основні відомості та характеристики технології LTE	07.11-19.11.2024	виконано
6	Розрахунок кількості потенційних абонентів мережі, вибір обладнання	20.11-09.12.2024	виконано
7	Розрахунок зон радіопокриття для мережі LTE на території Смілянського району	10.12-29.12.2024	виконано
8	Оформлення презентаційного матеріалу, підготовка до захисту у ЕК	30.12.2024-13.01.2025	виконано

Дата видачі завдання 28 жовтня 2024 р.

Здобувач _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

доц. Харченко Н.А.
(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 72 с., 18 рис., 3 табл., 2 додатки, 23 джерела.

Об'єкт дослідження – мережа абонентського радіодоступу.

Мета роботи – модернізація мережі абонентського радіодоступу для розвитку сільської мережі зв'язку.

В роботі розглянуто концепцію розвитку телекомунікаційних мереж і запровадження сучасних послуг Triple Play. Проведено аналіз стратегії розвитку мереж зв'язку для регіонів з низькою щільністю населення. Визначено переваги бездротових технологій. В якості такої що може надавати комплекс послуг Triple Play обрано технологію LTE. Для неї обрано необхідне обладнання і проведені розрахунки для побудови мережі. Вибрано її топологію для населених пунктів Смілянського району Черкаської області.

БАЗОВА СТАНЦІЯ, ПЕРЕДАВАЧ, ПРИЙМАЧ, АБОНЕНТСЬКИЙ РАДІОДОСТУП, АНТЕНА, LTE, NGN, TRIPLE PLAY.

THE ABSTRACT

Explanatory note: 72 p., 18 fig, 3 tables, 23 sources, 2 app.

The object of research is the network of subscriber radio access.

The purpose of the work is to modernization a network of subscriber radio access for the development of the rural communication network.

The paper discusses the concept of telecommunications network development and the introduction of modern Triple Play services. An analysis of the strategy for the development of communication networks for regions with low population density is carried out. The advantages of wireless technologies are identified. LTE technology was chosen as the one that can provide a range of Triple Play services. The necessary equipment was selected and calculations were made to build the network. Its topology for the settlements of the Smelyansky district of Cherkasy region was selected.

BASE STATION, A TRANSMITTER, A RECEIVER, SUBSCRIBER RADIO, ANTENNA, LTE, NGN, TRIPLE PLAY.

ЗМІСТ

	С.
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	10
1 КОНЦЕПЦІЯ РОЗВИТКУ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ ТА ПОСЛУГ TRIPLE PLAY.....	13
1.1 Коцепція мереж NGN.....	13
1.2 Архітектура мережі NGN.....	15
1.3 Вплив абонентських послуг на розвиток мереж NGN.....	18
1.4 Концепція Triple Play.....	20
2 АНАЛІЗ СТРАТЕГІЇ РОЗВИТКУ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ ДЛЯ РЕГІОНІВ ІЗ НИЗЬКОЮ ЦІЛЬНІСТЮ НАСЕЛЕННЯ.....	24
2.1 Аналіз вимог до мереж зв'язку у сільській місцевості.....	24
2.2 Вибір сценарію розвитку мереж зв'язку у сільській місцевості.....	26
2.3 Планування модернізації телефонної мережі через модель випадкового графа.....	30
3 ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕХНОЛОГІЇ LTE.....	32
3.1 Розвиток технології LTE.....	32
3.2 Огляд основних параметрів технології LTE.....	32
3.3 Мережева архітектура стандарту LTE.....	33
3.4 Використання технології MIMO у мережах LTE.....	35
4 РОЗРАХУНОК КІЛЬКОСТІ ПОТЕНЦІЙНИХ АБОНЕНТІВ МЕРЕЖІ, ВИБІР ОБЛАДНАННЯ.....	37
4.1 Розрахунок кількості потенційних абонентів.....	38
4.2 Вибір керуючого обладнання мережі LTE.....	40
4.3 Вибір обладнання базової станції ENODE BAND LTE.....	43
5 РОЗРАХУНОК ЗОН РАДІОПОКРИТТЯ ДЛЯ МЕРЕЖІ LTE НА ТЕРИТОРІЇ СМІЛЯНСЬКОГО РАЙОНУ.....	46
5.1 Аналіз радіопокриття.....	46
5.2 Частотно-територіальний поділ та ситуаційне розташування eNB на території Смілянського району.....	50
ВИСНОВКИ.....	54
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	55
ДОДАТОК А ПУБЛІКАЦІЇ.....	57
ДОДАТОК Б СЛАЙДИ ПРЕЗЕНТАЦІЇ.....	65

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- 3 GPP – 3G Partnership Project – мобільні мережі третього покоління;
- AAA – authentication, authorization і accounting – процес персоніфікації зв'язку;
- DL – Downlink – прямий канал;
- E-UTRA – Evolved UMTS Terrestrial Radio Access – універсальна наземна мережа радіодоступу, що розвивається;
- EDGE – Enhanced Data Rates for GSM Evolution – технологія передачі даних, що забезпечує передачу інформації в мережі мобільного зв'язку;
- eNB – Evolved Node B – тип стільникової базової станції, що використовується в мережах LTE;
- GSM – System for Mobile Communications – стандарт мобільних мереж другого покоління 2G;
- GW – Gateway – мережевий шлюз;
- HSPA – High Speed Packet Access, HSPA – протокол високошвидкісного пакетного доступу мобільного зв'язку 3-го покоління;
- HSS – Home Subscriber Server – сервер абонентських даних;
- IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers – інститут інженерів з електротехніки та електроніки;
- IMS – Internet Multimedia Subsystem – мультимедійна підсистема на основі протоколу IP;
- ISDN – Integrated Services Digital Network – цифрова мережа з інтеграцією служб;
- LTE – Long Term Evolution – технологія побудови мереж бездротового зв'язку;
- MIMO – Multiple Input Multiple Output (множинний вхід – множинний вихід) – технологія, яка є бездротовим доступом, що передбачає використання кількох передавачів та приймачів для одночасної передачі даних;
- MME – Mobility Management Entity – блок управління мобільністю;
- NGN – Next Generation Network – мережі зв'язку наступного покоління;
- OFDM – Orthogonal Frequency-Division Multiplexing – мультиплексування з ортогональним частотним розділенням каналів;
- PCRF – Policy and Charging Rules Function – вузол виставлення рахунків абонентам за надані послуги;
- PES – Public switched telephone network Emulation Subsystem – емуляція підсистеми телефонної мережі загального користування;
- PGW – Public Data Network Gateway – шлюз від/до мереж інших операторів;

SAE – System Архітектура Evolution, або EPC – Evolved Packet Core – базова мережа передачі даних;

SGW – Serving Gateway – обслуговуючий шлюз мережі LTE;

SN – switching node – вузол комутації;

UL – Uplink – зворотний канал;

UMTS – Universal Mobile Telecommunications System – універсальна мобільна телекомунікаційна система;

UPE – User Plane Entity – логічний елемент, що відповідає за передачу даних користувачів згідно з протоколами площини користувача U-plane;

VLAN – Virtual Local Area Network віртуальна комп'ютерна мережа;

VoIP – Voice over IP – передавання голосу на базі протоколу IP;

БС – базова станція;

ЕІВП – еквівалентною ізотропна випромінювана потужність;

МДВ – максимально допустимі втрати;

ПАД – пристрій абонентського доступу;

ТД – точка доступу;

ТМЗК – телефонна мережа загального користування.

ВСТУП

З бурхливим розвитком телекомунікації у сучасному світі суспільство неухильно йде до ускладнення взаємозв'язку між різними ланками виробництва, збільшення інформаційних потоків у технічній, науковій, політичній, культурній, побутовій та інших сферах суспільної діяльності [1].

В процесі еволюції телекомунікаційних мереж бачимо тенденцію до домінування трафіку даних над класичними послугами мереж зв'язку. Більше того, із трафіку даних левову частку вже з 2015 року займають відеодані. Відповідно для забезпечення постійно зростаючих потреб користувачів доводиться постійно модернізувати мережне обладнання або і, взагалі, всю мережу. Такі тенденції розвитку мереж призводять до поступового переходу мереж різного профілю до об'єднання у конвергентні мережі.

Конвергенція телекомунікаційних мереж – це процес перспективного розвитку телекомунікації в рамках проекту мереж наступних поколінь NGN, що полягає в забезпеченні реалізації загальних архітектурних принципів телекомунікаційних мереж, підтримки єдиних сумісних протоколів апаратно-програмних засобів телекомунікації, реалізації єдиних підходів до використання телекомунікаційних технологій і надання телекомунікаційних послуг. Конвергенція дозволяє реалізувати велику кількість нових телекомунікаційних послуг типу “людина-людина”, “людина-контент” і “контент-людина” [2].

Конвергенція зумовлена прагненням мати однорідну інфраструктуру для тих чи інших послуг, навіть коли ці послуги підтримуються різними технічними рішеннями. Ці рішення можуть бути засновані на телекомунікаційних або інформаційних технологіях. Важливо відзначити, що конвергенція послуг призводить також до значного збільшення можливостей однієї окремо взятої послуги, як це відбувається, наприклад, у мультимедійних комунікаціях. Закономірно, що конвергенція послуг завжди припускатиме певний рівень конвергенції в технічних системах, які забезпечують ці послуги [2].

На сьогодні розвиток інфокомунікаційних мереж характеризується їх орієнтацією на конвергенцією та переходу до мереж наступного покоління

NGN. Що головною метою ставлять побудову універсального середовища, що буде надавати всі можливі сучасні послуги по одній мережі.

При цьому якщо мова йде про жителів міст, то тут є багато варіантів і підключень до глобальної мережі і тарифів від різних провайдерів, все залежить тільки від конкретних потреб споживача. Ситуація в сільській місцевості ж дещо інша. Тут присутній, переважно, тільки один оператор і якість зв'язку чи перелік надаваних послуг можуть бути недостатніми для задовільнення усіх потреб користувачів.

Є декілька варіантів щоб вирішити дану проблему. По-перше для доступу до Інтернет можна використовувати супутниковий зв'язок. Перевагою такого методу є можливість підключення з будь-якої точки, але недоліком є досить невелика швидкість та висока ціна. Тож такий варіант буде підходити не для всіх потреб. По-друге, можна використовувати проводові лінії. Але в такому варіанті при наявності мідних кабелів якість передачі скоріше за все буде недостатньою, а оптичний кабель, який надасть змогу якісного і швидкого з'єднання, треба прокладувати до абонента, тобто створювати нові лінії, що досить дорого і не завжди рентабельно.

Третій варіант – це доступ за допомогою мобільного зв'язку став можливим з приходом стандартів EDGE/GSM та UMTS/HSPA, але швидкість першого надто мала для комфортної роботи в мережі Інтернет, а дія другого часто не поширюється на сільську місцевість з двох причин: по-перше, мобільні оператори, насамперед намагаються охопити міську місцевість і, по-друге, дальність дії сигналу в діапазоні 1920-2100 МГц не висока, тому, щоб охопити великі території, доведеться будувати величезну кількість базових станцій, що економічно не вигідно [1].

Для забезпечення якісними послугами абонентів у сільській місцевості наразі найкраще підходить мобільний зв'язок четвертого покоління (4G), що працює на технології LTE.

LTE (від англ. Long Term Evolution – еволюція у довгостроковій перспективі) – технологія побудови мереж бездротового зв'язку, створена в рамках проекту співробітництва у створенні мереж третього покоління 3 GPP (3G Partnership Project). Основними цілями розробки технології LTE є зниження вартості передачі даних, збільшення швидкості передачі даних, можливість надання більшого спектра послуг за нижчою ціною, підвищення гнучкості мережі та використання вже існуючих систем мобільного зв'язку. Головна

відмінність стандарту LTE від інших технологій мобільного зв'язку полягає у повній побудові мережі на базі IP-технологій. Радіоінтерфейс LTE забезпечує покращені технічні характеристики, включаючи максимальну швидкість передачі даних більше 300 Мбіт/с, час затримки пересилання пакетів менше 5 мс, а також значно більшу спектральну ефективність у порівнянні з існуючими стандартами бездротового мобільного доступу третього покоління (3G) [1].

Тому метою кваліфікаційної роботи є модернізація телефонної мережі, яка б забезпечувала не тільки зв'язком селища поблизу м. Сміла Смілянського району Черкаської області, а і могла надавати сучасні послуги передачі даних Triple Play.

1 КОНЦЕПЦІЯ РОЗВИТКУ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ ТА ПОСЛУГ TRIPLE PLAY

Ширококутові технології надання доступу до Інтернет стали однією з найбільш перспективних телекомунікаційних послуг на сьогоднішній день. В плані розвитку вони стали базовими в концепції NGN (Next Generation Network) - мереж зв'язку наступного покоління.

Перспективна архітектура мереж нового покоління (NGN) припускає створення мультисервісної мережі з винесенням функціональності послуг в граничні вузли мережі, створення спеціальної підсистеми керування послугами у вигляді окремої мережевої підсистеми, а також розширення номенклатури інтерфейсів для підключення устаткування постачальників послуг [1].

Сутність мереж NGN полягає у переході від багатоплатформності до простої та ефективної мережі, розробленої спеціально для того, щоб надавати всі види послуг. У результаті можна одержати мережі, що пристосовані до всіх видів послуг. Цими мережами буде набагато легше керувати, і водночас контроль за якістю послуг великою мірою перейде до самих клієнтів [1].

1.1 Коцепція мереж NGN

Основними напрямками конвергенції в телекомунікаціях в даний час є: у фіксованих мережах – передавання голосу і відео на базі протоколу IP (Voice over IP, IPTV), яка передбачає доставку голосового трафіку пакетами (VoIP) в режимі реального масштабу часу мережами передаванні даних за допомогою транспортних механізмів протоколів TCP/IP. Таким чином, забезпечується можливість інтеграції голосового трафіку й даних в одній мережі, що в свою чергу дозволяє спростити мережеву інфраструктуру, відмовившись від непотрібних мережевих платформ. В області мобільних мереж – конвергенція з фіксованими мережами на базі платформи IMS (Internet Multimedia Subsystem). Мультимедійність даної архітектури дає можливість оператору надавати різноманітні послуги абонентам. А використання в основі протоколу IP дає можливість побудувати гнучку мережу з низькими операційними витратами [3].

Конвергенція мереж призводить до появи нової архітектури, що тепер складається з магістрального сегменту, який є системою передачі інформації, мережних вузлів, які виконують функції комутації та маршрутизації, та мереж доступу, які виконують підключення абонентів до мережі.

Теоретично фундаментом побудови NGN мережі (рис.1.1) наступного покоління може стати будь-яка експлуатована телекомунікаційна система: телефонна, обміну даними, телевізійного мовлення. При виборі в якості основи для створення NGN експлуатованої мережі електрозв'язку слід враховувати ряд важливих вимог: підтримка діалогового режиму для обміну інформацією, можливість розвитку системи і плану нумерації, велика кількість підключених абонентів, наявність сучасної інфраструктури [3].

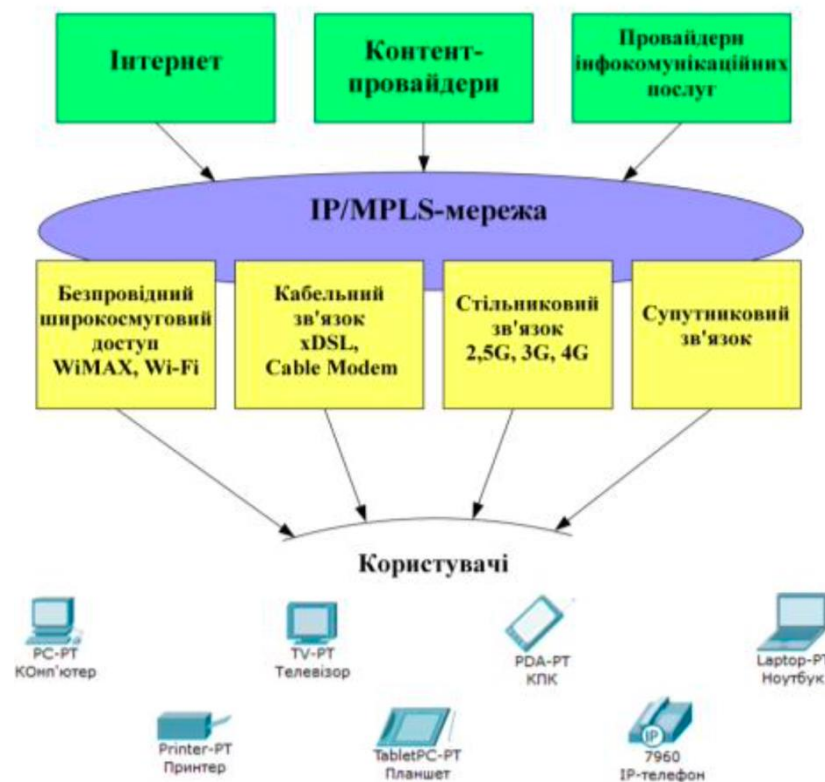


Рисунок 1.1 – Загальна концепція побудови конвергентної мережі

До складу вузлів конвергентної мережі, на етапі її організації і для забезпечення поступового переходу до NGN, можуть входити елементи мереж NGN, побудовані на платформах PES (Public switched telephone network Emulation Subsystem – емуляція підсистеми телефонної мережі загального користування) і IMS. Зазвичай на перших етапах побудови конвергентної мережі побудова мережі здійснюється на базі технології Softswitch [6].

1.2 Архітектура мережі NGN

На сьогоднішній день область телекомунікаційних послуг переживає кардинальні зміни в підході до надання послуг, адже підсилена «інтернетизація» суспільства призводить до постійного прискорення темпів розвитку інформаційних технологій, що переходить у третю, за історію, науково-технічну революцію.

В еру NGN, як було зазначено раніше, дані переважають над мовою, комутація пакетів і IP трафік стали важливішими за комутацію каналів і мовний трафік.

Як показують якісні критерії оцінки, частка мовного трафіку в телекомунікаційних мережах в середньому стабільна. А от доля трафіку даних, і особливо якщо брати протокол IP, зростає експоненціально і постійно.

NGN необхідно розглядати як ідеологічну доктрину, що опирається на стратегічний постулат:

1) комп'ютер для майбутнього людства важливіше телефону і його необхідно поставити в центр нових технологій зв'язку;

2) для нормальної роботи мережі, орієнтований на комп'ютери, а не на телефони, необхідна корінна модернізація мереж зв'язку. Трафік даних ріс по мірі розвитку комп'ютеризації і інформатизації, і по міркам історії, зміна пріоритетів пройшла дуже швидко, але і в цього процесу була передісторія. Для того, щоб показати, на скільки змінились основи створення сучасних мереж, дослідимо еволюцію принципів створення систем зв'язку до і після прийняття основного постулату NGN [3].

Традиційно в основі створення класичної системи електрозв'язку лежить первинна мережа, що включає в себе середовище поширення сигналів і апаратуру передачі сигналів, що забезпечує створення типових каналів і трактів первинної мережі. Ці канали використовуються потім вторинними мережами для забезпечення послуг зв'язку. Первинна мережа у свою чергу поділяється на два підрівні (транспортний і обладнання передачі), оскільки методично процедури експлуатації середовища поширення сигналів (волоконно-оптичних ліній зв'язку, металевих кабелів і ресурсу радіочастотного спектру) відрізняються від процедур експлуатації первинної мережі як уніфікованого

банку цифрових каналів. Цифрова первинна мережа може будуватися на основі принципів плезіохронної (PDH) або синхронної цифрової ієрархії (SDH). [3].

Таким чином виникла ситуація коли первинні мережі є або незмінними, або їх розвиток був досить повільним. А от мережі доступу навпаки відрізнялися бурхливим розвитком останні десятиліття. Це і призвело до необхідності переходу до NGN. Тобто революція в телекомунікаціях почалася не через внутрішні потреби, а через зовнішній вплив через зміну пріоритетів у розвитку світової цивілізації.

Таким чином, дуалізм традиційних телекомунікаційних мереж (первинна мережа – вторинні мережі) зовсім не стримував розвитку технології і не сприяв революційної ситуації, яка привела до NGN.

Відповідно до її концепції, мережа NGN може бути умовно розділена на чотири рівні (рис. 1.2):

- 1) рівень доступу А (Access) надає доступ до ресурсів користувачам;
- 2) рівень транспорту Т (Transport) забезпечує передачу інформації між користувачами;
- 3) рівень управління С (Control) представляє концепцію комутації, засновану на застосуванні технології комп'ютерної телефонії та Softswitch;
- 4) рівень послуг S (Service) визначає склад інформаційного наповнення мережі. Тут знаходиться корисне навантаження мережі у вигляді послуг з доступу користувачів до інформації [3].

Для швидкої комутації у центрі мережі використовують високопродуктивні технології та пристрої що підтримують динамічну маршрутизацію та забезпечують підключення до різних провайдерів (рис. 1.3). Рівень послуг виконує керування та обслуговування трафіку, забезпечує необхідну якість та інтеграцію з іншими мережами. Транспортний рівень проводить перерозподіл трафіку по мережам доступу, тут треба забезпечувати високу швидкість обробки та доставки даних. На рівні доступу, відповідно, інформація передається до конкретних користувачів мережі.

1.3 Вплив абонентських послуг на розвиток мереж NGN

З точки зору архітектури NGN протоколи і принципи організації послуг перебувають на четвертому рівні моделі SCTA. Але при цьому нова концепція послуг впливає на всі рівні моделі SCTA. Так концепція управління новими послугами неминуче вимагає уточнення принципів роботи рівня управління. Оскільки нові послуги можуть привести до зміни структури трафіку і принципів його маршрутизації, а також параметрів гарантованої якості послуг (QoS) для трафіку різної категорії, то виникає необхідність перегляду стандартів рівня транспорту [4].

На рівні доступу вплив нових концепцій послуг тим більше явний. Наприклад, нові послуги можуть висунути вимогу істотного збільшення смуги пропускання абонентського каналу. У такому випадку потрібно вдосконалення технології «останньої милі» або створення принципово нових технологій, що в історії NGN вже кілька разів мало місце. Більш того, можна вказати на той факт, що з історичної точки зору саме зміна концепцій ГІО і введення нових послуг визначало напрямок розвитку технології NGN в цілому. Для того, щоб ілюструвати процес такого впливу послуг на формування стандартів і технологій, що входять в сімейство NGN [4].

Концепція послуг NGN змінювалася в залежності від розвитку та розуміння інформаційного суспільства (рис. 1.4).

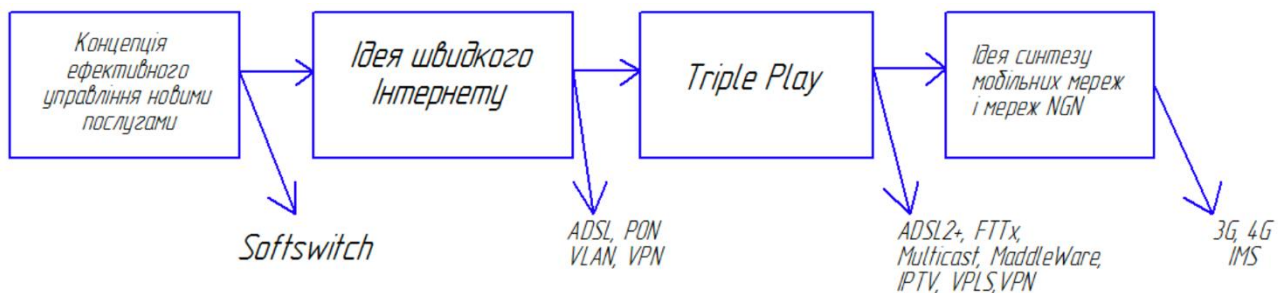


Рисунок 1.4 – Розвиток концепцій послуг і технологій в NGN

При розгортанні нових телефонних послуг, таких як телеголосування, передплачені послуги та інше, була сформульована концепція інтелектуальної мережі (IN). Внаслідок з'єднання концепції інтелектуальної мережі та принципу

децентралізації привели до появи технології декомпозиції шлюзів, що і створило Softswitch [4].

Поява послуг широкополосного доступу пов'язане з ідеєю «інтернетизації суспільства». Вирішення цієї задачі в рамках традиційної телефонної мережі призвело до появи концепції ISDN, але швидкість передачі, яку забезпечувала ця технологія для абонентів (128 кбіт/с), не можна було признати достатньою. Нова концепція послуг вимагала, щоб швидкість передачі даних до абонента перевищувала 1...1,5 Мбіт/с. З'явилися нові технології ширококутового абонентського доступу: HDSL, FTTx, PON/Ethernet, Gigabit Ethernet, Wi-Fi. Оскільки відповідно до нової концепції передбачалося істотне збільшення об'ємів трафіку, на рівні транспортних мереж були впроваджені модернізування технології NGSDH, 10 Gigabit Ethernet. Необхідність забезпечення якості призвело до технології MPLS. Для об'єднання абонентів у локальні групи і кластери були створені VLAN VPN [4].

Зрештою все переросло спочатку у концепцію «телефон + комп'ютер», що сприяло розвитку мультисервісних мереж. Потім внаслідок конвергенції комп'ютера та телебачення з точки зору доведення інформації до користувачів з'явилася концепція що об'єднує вже всі 3 напрямки «телефон + комп'ютер + телевізор». Таку концепцію стали називати Triple Play.

Додавання телебачення до послуг передачі даних призвело до різкого зросту вимог до каналів зв'язку, особливо якщо ще й врахувати збільшення долі відео у загальному потоці трафіку Інтернет. Таким чином вимоги до надаваної швидкості до абонента зросла з 1,5 до 24 Мбіт/с. І таке різке збільшення швидкості не можливе без кардинальних змін у самій телекомунікаційній мережі.

Відповідно зараз швидкими темпами йде розвиток як дротових технологій: ширококомовні та транспортні, так і бездротових Wi-Fi, мобільні мережі LTE та супутникові технології. В архітектурі керування Softswitch також, напевне, буде впроваджено ряд змін для підтримки Triple Play.

Нова концепція послуг, post-Triple Play, буде концепцією персоніфікації послуг, тобто абонент зможе сам формувати перелік (профіль) послуг та налаштовувати їх «під себе». Перш за все, будь-яка людина може отримати свій персональний номер, по якому він буде доступний незалежно від того, перебуває він у своєму кабінеті або в будь-якій точці Землі. Таким чином, нова концепція пропонує синтез мереж NGN і мобільних мереж, що може бути

виражено формулою «комп'ютер + телефон + телевізор + роумінг». До роумінгу абонентів привчили стільникові мережі, де персоніфікація послуги відбулася сама собою, оскільки телефон знаходиться в кишені абонента. Але NGN надає нову ідею широкосмугових послуг, та ще й у конвергентному абонентському середовищі. Персоніфікація послуг в рамках всієї системи NGN вимагає розширити поняття роумінгу з технології стільникових мереж на всі можливі абонентські мережі доступу. Єдиний номер повинен бути в рівній мірі доступний абонентові PON, Wi-Fi або Ethernet. При цьому роумінг повинен забезпечувати просторову міграцію абонента (переїзд в інше місто), і внутрішню міграцію (наприклад, перехід з технології Wi-Fi на технологію PON) [4].

Вже зараз почався процес персоніфікації зв'язку, що отримав назву по засобам рівня управління, які забезпечують його реалізацію, - AAA (authentication, authoriaftlion і accounting). Поки що вони працюють на Softswitch, але вже зрозуміло, що необхідний перехід на більш нові технології.

Впровадження послуг Triple Play поки що тільки набирає обертів, тому про повну персоніфікацію ще говорити рано, але зрозуміло що як тільки буде набрано критичну масу, це стане новим поштовхом у розвитку NGN мереж.

1.4 Концепція Triple Play

Для простого користувача є актуальним надання послуги швидкісного доступу в Інтернет. Як комплексне середовище реалізації та взаємодії, користувач може використовувати додаткові сервіси:

- інтегрований файлообмінний сервіс всередині/поза мережею;
- інтегрована служба обміну миттєвими повідомленнями;
- служба віддаленого мережного диска користувача.
- сторонні послуги обміну даними іншого характеру всередині/поза мережею [7].

На сьогоднішній день послуга доступу для інтернету реалізує обмін не тільки файлів. Актуальним є наданням послуг IP-телефонії. Основні послуги, що використовують можливість подачі голосу це:

- 1) телефонія (місцева, міжміська, міжнародна);
- 2) трансляція «ефірних» і «цифрових» радіостанцій;

3) служба голосових конференцій (окремо або спільно з відео конференціями) [7].

Крім того, користуючись послугою телефонії в пакеті Triple Play, абонент має можливість використовувати додаткові функції:

- 1) принцип єдиного номера;
- 2) ідентифікація дзвінка з подальшим роумінгом;
- 3) голосова пошта;
- 4) утримання виклику;
- 5) мобільність телефонного номера та ін [7].

Однією з основних складових медіа-послуг є послуга IPTV (цифрове телебачення). Додатково доступні можливості організації відео конференцій і систем відео спостереження залежно від кінцевого устаткування [7].

Принцип надання послуг Triple Play представлена на рис. 1.5. Варіація базових послуг Triple Play дозволяє впровадити будь-яку нову послугу, якщо на це буде попит.

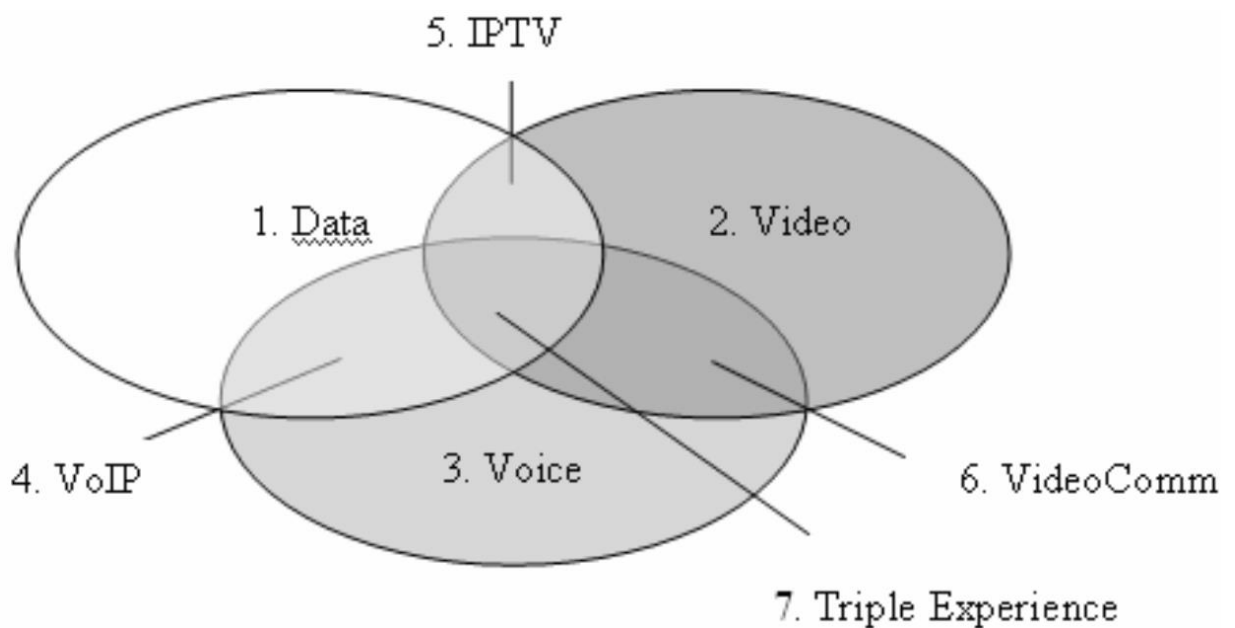


Рисунок 1.5 – Концепція послуг Triple Play

Для використання Triple Play спочатку пропонувалося тільки використовувати єдину кабельну інфраструктуру. Але це, по суті, залишало традиційний підхід у роботі систем зв'язку, де є окремо провайдери телефонії, телебачення та передачі даних (рис. 1.6).

Однак такий підхід не був оптимальним, тому в межах розвитку конвергенції мереж оптимальним є підхід єдиної мультисервісної інфраструктури, що включає мережі транспорту та доступу (рис. 1.7).

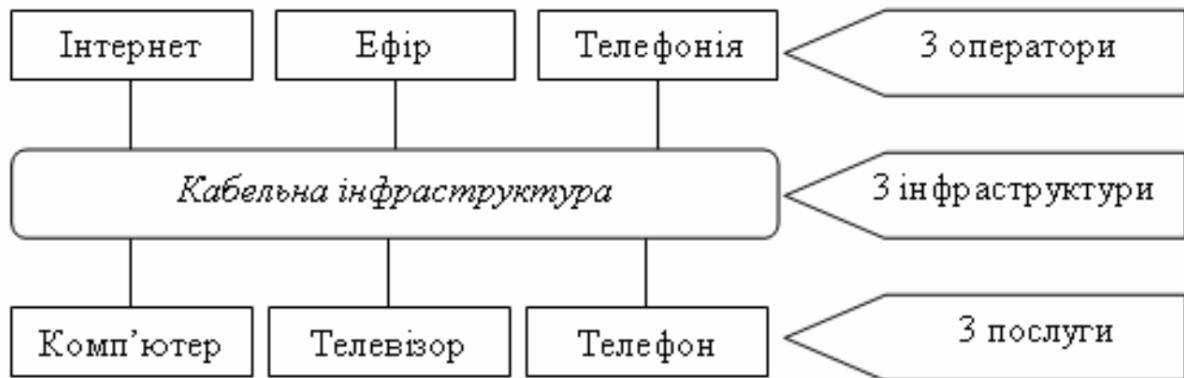


Рисунок 1.6 - Модель інфраструктури традиційних мереж для надання послуг

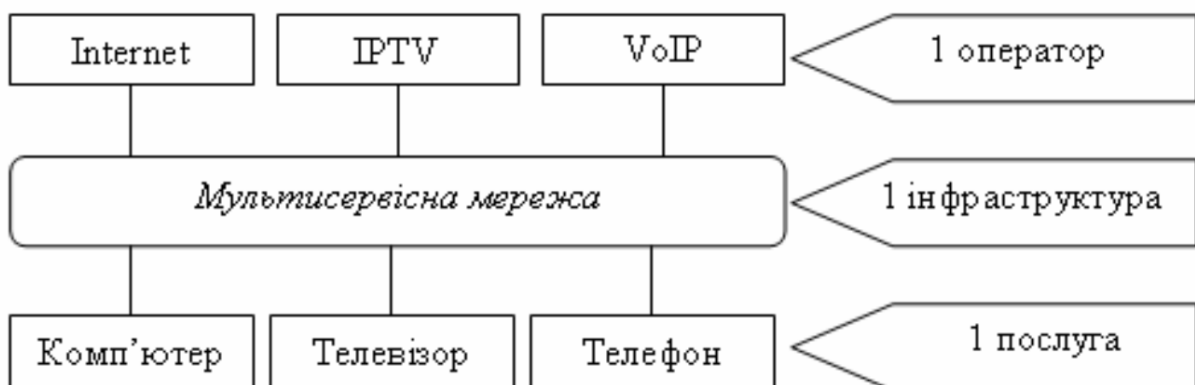


Рисунок 1.7 - Модель інфраструктури мультисервісної мережі для надання послуг

З рисунку бачимо, що всі три види базових послуг (дані, мова, відео) може використовувати як мережу доступу Ethernet, FTTx/PON або ADSL. І принципи надання цих послуг, їх якість та управління будуть однаковими. Це стало можливим завдяки використанню протоколу IP, який працює вище рівня технології мереж доступу, тож можна надавати весь спектр послуг Triple Play в будь-яких мережах.

Концепція Triple Play в такому трактуванні представляється дуже революційною. Перерахуємо лише деякі важливі наслідки цієї концепції [7]:

- рівень послуг розділяється на два підрівні. На верхньому підрівні знаходяться всі існуючі і перспективні, але доки не реалізовані послуги зв'язку,

а на нижньому лише три послуги тріади (дані, мова, відео). Оскільки саме тріада найближча до мережі, рішення рівня послуг виявляються уніфікованими;

- *механізм надання послуг в концепції Triple Play створюється один раз.*

Для цього оператор повинен реалізувати на мережі механізми надання трьох базових послуг. Якщо це вдасться, то з їх комбінацій створюються і всі наступні послуги;

- *нові послуги відрізняються один від одного лише послідовністю композиції і декомпозиції.* Це створить основу для креативної діяльності по розробці нових послуг – досить розробити єдині правила композиції і декомпозиції. Як тільки це буде зроблено, сценарій введення послуги на мережі буде фактично готовий, оскільки механізми доставки послуг Triple Play вже розроблені;

- *концепція є відкритою для будь-яких нових послуг.* Навіть якщо послуга лише задумана, то мережа потенційно готова для її надання. Запропоновані механізми надання Triple Play гарантують, що будь-який новий алгоритм композиції і декомпозиції може бути упроваджений на мережі;

- *концепція Triple Play є відкритою для майбутніх модифікацій стратегії розвитку послуг.* Як це не парадоксально, але прогнози розвитку Triple Play йдуть набагато далі викладеної тут концепції Triple Play. У разі, коли базису тріади не вистачає якою-небудь нової послуги, яка проте за задумом творців буде потрібною споживачам, ця послуга просто вводиться в набір базисних послуг. При цьому мережа належним чином модернізується, щоб надавати всім користувачам не три, а вже чотири послуги, а далі процес надання послуг розвивається в тій же самій ідеології [7].

2 АНАЛІЗ СТРАТЕГІЇ РОЗВИТКУ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ ДЛЯ РЕГІОНІВ ІЗ НИЗЬКОЮ ЩІЛЬНІСТЮ НАСЕЛЕННЯ

Розвиток технологій на територіях з низькою щільністю населення визначає можливості розвитку економіки та соціальної сфери в таких регіонах. Тому вибір стратегії розвитку телекомунікаційних мереж в таких регіонах є завданням актуальним, але він ускладнюється певними обставинами. Серед яких можна виділити основні: інвестиції – при запровадженні нових мереж зв'язку потрібні значніші вкладення у порівнянні з міськими мережами; географічно-демографічні – мала кількість населення розміщується на великих територіях, що можуть мати складний рельєф і це впливає на результуючий вибір технології передачі.

2.1 Аналіз вимог до мереж зв'язку у сільській місцевості

На сьогоднішній день з розвитком технологій вимоги до інфокомунікаційних мереж майже не відрізняються не зважаючи на регіон. Цей висновок підтверджується вирівнюванням попиту на інформаційні послуги як у містах, так і в селах. Однак ситуація з розвитком та перспективами розвитку мереж зв'язку кардинально різна, що обумовлено вже згаданими економічними, географічним та демографічним факторами. Тому аналіз вимог до мережі зв'язку у селі необхідно проводити враховуючи цілі всіх учасників. До таких учасників відносяться:

- користувачі послуг;
- оператор зв'язку;
- державні органи (адміністрація, правоохоронні органи, медичні установи і ін.)

Всі ці учасники певною мірою будуть впливати на розвиток мережі зв'язку відповідно до своїх цілей. І в результаті даний вплив необхідно буде враховувати при прийнятті рішення розвитку мережі, особливо при вирішенні питань фінансових та організаційних (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 - Вплив учасників на розвиток системи сільського зв'язку

При цьому користувачів інформаційними послугами можна поділити на групи відповідно до послуг, що їм будуть надаватися.

Прикладом розподілу по послугам може бути наступний варіант:

- Група «А» - телефонія;
- Група «Б» - телефонія і доступ в Інтернет;
- Група «С» - телефонія та телевізійне мовлення;
- Група «Д» - телевізійне мовлення та доступу в Інтернет;
- Група «Е» - телефонія, телевізійне мовлення та доступ в Інтернет;

Державні органи зацікавлені у підтримці технологій такого роду: Е-медицина, Е-освіта, Е-адміністрування, Е-бізнес, Е-банкінг тощо. У цих послугах зацікавлені й інші учасники розвитку системи зв'язку в сільській місцевості. З деякими припущеннями такі технології можна об'єднати в єдиний клас електронних послуг [7].

Вивчення тенденцій зміни ключових вимог, що формулюються всіма учасниками розвитку системи сільського зв'язку, дозволяє зробити висновок, що в осяжному майбутньому слід дотримуватися наступного правила: "Triple Play + Е-послуги". Послуга "Triple Play" характерна для користувачів, що належать до групи "Е" [8].

Окрім цього до сільських мереж повинні висуватися наступні основні вимоги:

- забезпечення такого ж рівня параметрів зв'язку, що і для міських користувачів;

- мінімізація інвестицій, необхідних для запровадження або модернізації мережі;
- мінімізація процесу експлуатації мережі, як з точки зору капіталовкладень (ремонт пошкоджень), так і з точки зору кількості працівників.

Розуміння таких вимог призводить до необхідності використання методологічного підходу до планування телекомунікаційної мережі, який називають Design for Excellence [10]. З точки зору регіонів з низькою щільністю населення такий підхід можна звести до таких положень:

- підхід слід розглядати як пошук рішення на мінімізацію витрат, а не максимізацію доходів, оскільки через демографічний фактор дохід від такої мережі не буде великим;
- концепція побудови або модернізації мережі повинна бути максимально гнучка, щоб мати можливість врахувати зміни в економічних і демографічних показниках;
- необхідно врахувати швидкість розвитку нових технологій та попит на інформаційні послуги.

2.2 Вибір сценарію розвитку мереж зв'язку у сільській місцевості

Різноманітність варіантів розміщення потенційних користувачів в межах обслуговування місцевого вузла комутації switching node (SN), а також відмінності географічного, кліматичного та демографічного характеру стимулюють використання сценарного підходу, який дозволяє вибрати набір рішень щодо розвитку сільської мережі зв'язку на тривалу перспективу [11].

Ці рішення являють собою сценарій, який в рідкісних випадках буде оптимальним з теоретичної точки зору [12]. У більшості випадків слід шукати раціональне рішення, яке дозволяє вибрати сценарій, стійкий до змін тих зовнішніх і внутрішніх факторів, які можуть істотно вплинути на розвиток системи сільського зв'язку [13]. Принципи розміщення користувачів у межах населеного пункту мають історичне, географічне, етнічне та економічне коріння.

На рисунку 2.2 показано чотири моделі, що демонструють різні варіанти розміщення користувачів в межах місцевої межі надання послуг SN. Ці межі окреслюють прямокутну область. Модель (а) передбачає, що потенційні

користувачі розташовані в багатоквартирних будинках, які, в свою чергу, рівномірно розподілені в межах території, що розглядається. Якщо багатоквартирні будинки розподілені нерівномірно, то слід використовувати модель (б). Модель (в) ілюструє рівномірний розподіл приватних домогосподарств, в кожному з яких проживає одна сім'я. Варіант розміщення потенційних користувачів, що розглядається розміщення потенційних користувачів, найбільш цінний для більшості практичних цілей, відображає модель (d). Модель включає в себе фрагменти трьох попередніх моделей [13].

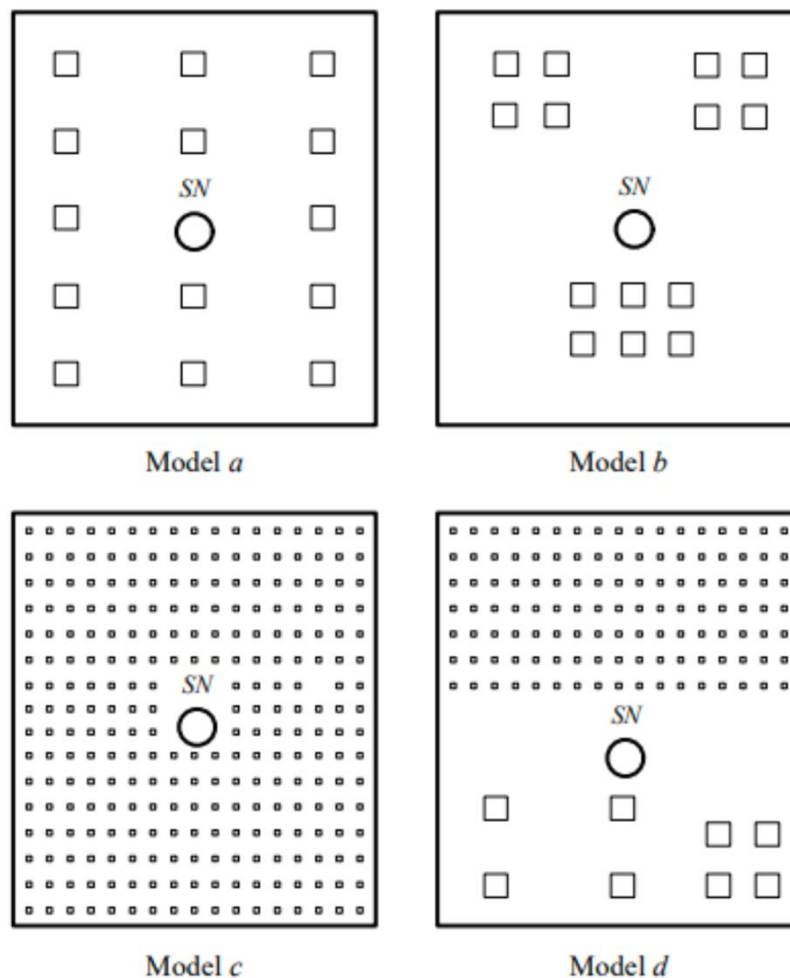


Рисунок 2.2 - Варіанти розміщення користувачів в межах обслуговування вузла комутації

Вибір моделі із представлених дозволить зменшити кількість альтернативних рішень. Інструментом вибору певного сценарію для розвитку мережі може бути аналіз функції $NPV(t)$ - приведеної вартості. Якщо маємо L

варіацій сценаріїв, то необхідно розрахувати ряд функцій NPV (i, t); де $i = 1, 2, \dots, L$.

Для кожного сценарію необхідно знати грошовий потік в момент часу k - $C(i, k)$ і ставку дисконтування, виражену десятковим дробом $r(i)$. Тоді до моменту часу t функція NPV (i, t) визначається наступним чином [14]:

$$NPV(i, t) = \sum_{k=1}^t \frac{C(i, k)}{[1 + r(i)]^k}$$

Зауважимо, що всі характеристики кожного сценарію повинні відповідати прийнятим стандартам, і вони задаються у вигляді рівностей або нерівностей. Тоді вибір найкращого сценарію здійснюється за максимальним значенням NPV(i.t). Слід враховувати, що в деяких випадках, навіть за найкращим сценарієм, значення NPV(t) може бути від'ємним. Такими є реалії сільської системи зв'язку. Тим не менш, підвищення значення функції NPV(t) залишається актуальним завданням. Одним із шляхів її вирішення є створення спільної інфраструктури з компаніями, задіяними в транспортній та енергетичній системах. Інша можливість полягає у застосуванні технології спільного використання радіочастотного ресурсу. Це дозволить зменшити інвестиційне навантаження на операторів мобільного зв'язку [14].

Результати аналізу приведених рішень дозволить визначати сценарії розвитку, що може бути використаний в багатьох регіонах з низькою щільністю населення.

Для варіанту модернізації телефонної мережі у сільській місцевості Смілянського району оптимальним вибором буде формування мультисервісної мережі з використанням бездротових технологій (рис. 2.3).

Тут локальний вузол комутації м. Сміла SN2 входить в магістральне кільце по дротовому з'єднанню (волоконно-оптичний кабель), що забезпечує високу швидкість та надійність передачі даних. З іншого боку зв'язок з користувачами буде здійснено за допомогою бездротових технологій стандарту 4G, який потім можна буде модернізувати до рівня 5G і 6G.

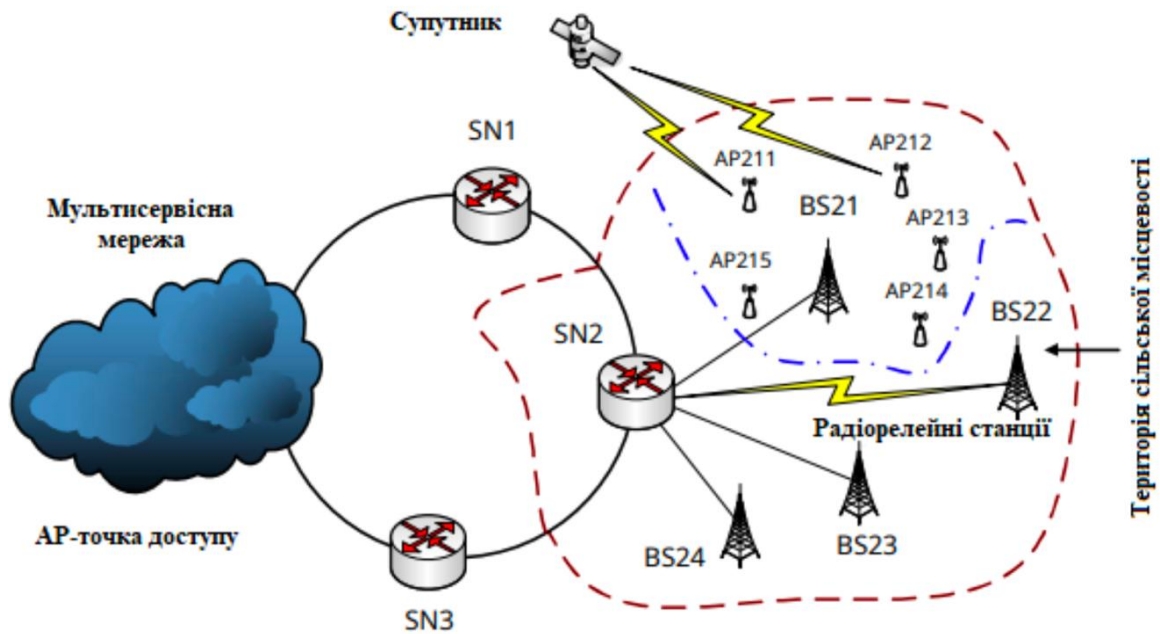


Рисунок 2.3 - Модель мультисервісної мережі в сільській місцевості Смілянського району

Підключення базових станцій (БС) до комутаційного вузла SN2 може здійснюватися за допомогою оптичних кабелів або радіорелейних ліній. Зв'язок БС з точками доступу (ТД) користувачів, відбувається по бездротовим технологіям.

Дві точки доступу можуть використовувати резервний шлях доступу до мультисервісної мережі через супутник. В Україні є власний супутниковий інтернет – Lucky.Net, який працює ще з 1994 року. Проте супутниковий зв'язок завжди був дорогим (\$100 на місяць). Такі рішення використовуються для особливо важливих точок доступу, які, наприклад, повинні мати доступ до мультисервісної мережі у разі виникнення надзвичайних ситуацій, що супроводжуються руйнівними впливами [15].

Визначення меж обслуговування для кожної БС здійснюється за відомими методами мережевого планування. Для моделі, що розглядається, межі обслуговування користувачів засобами БС2 позначені штрих-пунктирною лінією. Методи мережевого планування потребують удосконалення та доповнення новими функціональними можливостями для отримання ефективних рішень та автоматизації розробки проектної документації. Для аналізу переваг та недоліків прийнятих рішень, які можуть проявитися через певний час, доцільно використовувати мережу цифрових двійників [15].

2.3 Планування модернізації телефонної мережі через модель випадкового графа

Для вирішення виникаючих проблем планування мультисервісної мережі необхідно розробити математичну модель, адекватну досліджуваному об'єкту. Причому запропонована модель повинна описувати стан досліджуваного об'єкта в динаміці з урахуванням його можливих змін. Для сільських територій такою моделлю може слугувати випадковий граф [16].

Для телекомунікаційних мереж у сільській місцевості становлять інтерес події, пов'язані з появою нової або видаленням старої вершин. Це можуть бути варіанти подій з розширенням населеного пункту, або ж зі зменшенням кількості населених пунктів району.

Приведемо приклад випадкового графа, що буде змінювати свій стан у два моменти часу t_1 та t_2 (рис. 2.4). Спочатку граф має вісім вершин a_i та вісім ребер b_{ij} . Пунктирна лінія в момент часу t_1 ілюструє варіант організації з'єднання між двома населеними пунктами, які є вершинами випадкового графа a_1 і a_7 .

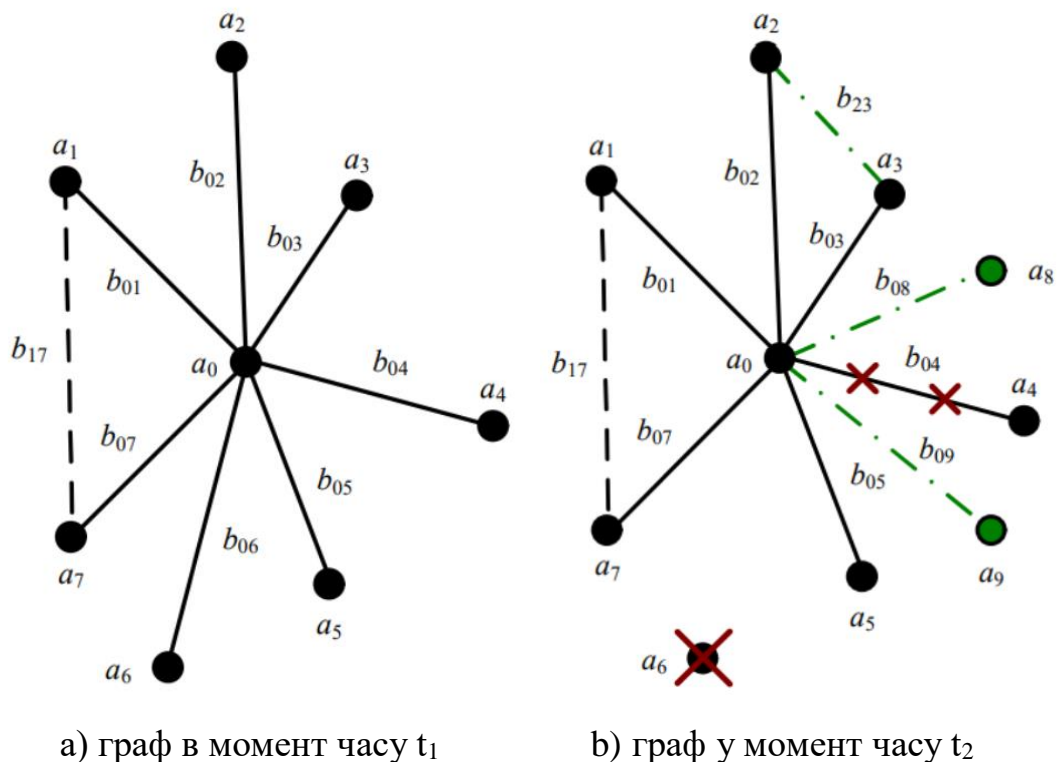


Рисунок 2.4 - Представлення мультисервісної мережі у вигляді випадкового графу

У момент часу t_2 ситуація змінилася: з'явилися дві нові вершини - a_8 і a_9 та була ліквідована вершина a_6 , також між вершинами a_2 та a_3 створено нове з'єднання тобто створюється нове ребро між вершинами. Також ребро b_{04} тимчасово відсутнє через вихід з ладу обладнання чи самої лінії зв'язку.

Як бачимо маючи такий приклад можемо переконатися в ефективності бездротових технологій з точки зору гнучкості зв'язків між вершинами. Там де у дротових з'єднаннях необхідно використовувати прокладку кабелю для формування зв'язку з новою вершиною, у бездротових мережах достатньо встановити приймально-передавальне обладнання. Що дає значну економію у часі та вартості налагодження мережі.

Модель телекомунікаційної мережі у вигляді випадкового графа є дуже корисною для проведення прикладних досліджень. Для ряду завдань може бути корисним використання моделей у вигляді гіпермереж, які дозволяють розширити перелік досліджуваних проблем. Аналіз характеристик надійності телекомунікаційної мережі залишається актуальною задачею, що вирішується методами теорії графів [16].

3 ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕХНОЛОГІЇ LTE

3.1 Розвиток технології LTE

Розробка технології LTE як стандарту офіційно розпочалася наприкінці 2004 року. Перед дослідниками постало питання про вибір технології фізичного рівня, яка б забезпечила високу швидкість передачі даних. Було запропоновано два варіанти: W-CDMA, що вже використовується в мережах HSPA, і OFDM – нова технологія радіоінтерфейсу. Після проведених досліджень було вирішено використати технологію OFDM (Orthogonal frequency - division multiplexing) - мультиплексування з ортогональним частотним поділом каналів [17].

У травні 2006 року в рамках проекту 3GPP була створена перша специфікація на радіоінтерфейс E-UTRA (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access). Ця специфікація увійшла в основу 3GPP Release 7. У грудні 2008 року було затверджено версію стандартів 3 GPP Release 8, яка фіксувала архітектурні та функціональні вимоги до систем LTE. У середині 2009 року з'явилися перші дослідні системи на основі LTE. Наприкінці 2009 року шведська телекомунікаційна компанія Telia Sonera, спільно з Ericsson оголосила про запуск першої у світі комерційної мережі в Стокгольмі та Осло [17].

3.2 Огляд основних параметрів технології LTE

Стандарт LTE являє собою ефірний інтерфейс, що має велику гнучкість. Тип мережі має назву E-UTRAN – Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (універсальна наземна мережа радіодоступу, що розвивається).

Основні параметри технології LTE [17]:

- технологія множинного доступу:

- прямий канал (Downlink - DL) - OFDMA;
- зворотний канал (Uplink - UL) - SC-FDMA;

- робочий діапазон частот: 450 МГц; 700 МГц; 800 МГц; 1800 МГц; 2,1 ГГц; 2,4 – 2,5 ГГц; 2,6 – 2,7 ГГц;

- бітова швидкість:

- прямий канал (DL) MIMO 2TX×2RX: 100 - 300 Мбіт/с;

- зворотний канал (UL): 50 - 172,8 Мбіт/с;
- ширина лінії радіоканалу: 1,4 - 20 МГц;
- радіус соти: 5 – 30 км;
- місткість соти (кількість абонентів, що обслуговуються):
 - більше 200 користувачів при смузі 5 МГц;
 - більше 400 користувачів при смузі понад 5 МГц;
- мобільність: швидкість переміщення до 250 км/год;
- параметри MIMO:
 - прямий канал (DL): 2TX×2RX, 4TX×4RX;
 - зворотний канал (UL): 2TX×2RX;
- значення затримки (latency): 5мс;
- спектральна ефективність: 5 біт/с/Гц;
- типи модуляції, що підтримуються:
 - прямий канал (DL): 64 QAM, QPSK, 16 QAM;
 - зворотний канал (UL): QPSK, 16 QAM;
- дуплексний розподіл каналів: FDD, TDD.

3.3 Мережева архітектура стандарту LTE

Архітектура мережі LTE розроблена таким чином, щоб забезпечити підтримку пакетного трафіку з безшовною мобільністю, мінімальними затримками доставки пакетів та високими показниками якості обслуговування. Основною метою розробників стандарту LTE було максимально можливе спрощення структури мережі та виключення дублюючих функцій мережних протоколів (рис. 3.1), характерних для системи 3G UMTS [17].

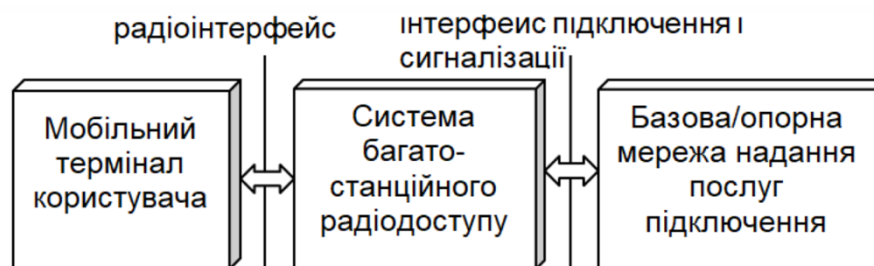


Рисунок 3.1- Узагальнена структура мережі LTE

В архітектурі стандарту LTE вся мережева взаємодія відбувається між

двома вузлами: базовою станцією (eNB) і блоком управління мобільністю (MME), який включає також мережевий шлюз GW (Gateway).

Фізично LTE складається з двох компонентів: мережі радіодоступу E-UTRAN і базової мережі SAE (System Architecture Evolution).

Мережа E-UTRAN складається з базових станцій eNB. Базові станції є елементами повної мережі і з'єднані між собою за принципом «кожний з кожним». Кожна eNB має інтерфейс S1 з базовою мережею SAE, побудованою за принципом комутації пакетів. На eNB у мережах LTE покладено такі функції: керування радіоресурсами, шифрування потоку даних, маршрутизація в площині користувача пакетів даних у напрямку до обслуговуючого шлюзу, диспетчеризація та передача викликової та мовної інформації, вимірювання та складання звітів для управління мобільністю [17].

Базова мережа SAE, що також називається EPC (Evolved Packet Core), містить вузли MME/UPC, що складаються з логічних елементів MME та UPC (рис. 3.2). Логічний елемент MME (Mobility Management Entity) відповідає за вирішення завдань управління мобільністю абонентського терміналу та взаємодіє з базовими станціями за допомогою протоколів площини управління S-plane. Крім цього, MME розподіляє повідомлення виклику (paging) до eNB, управляє протоколами площини управління, призначає ідентифікатори абонентським терміналам, забезпечує безпеку мережі, перевіряє справжність повідомлень абонентів та управляє роумінгом [18].

Логічний елемент UPC (User Plane Entity) відповідає за передачу даних користувачів згідно з протоколами площини користувача U-plane. Елемент UPC виконує такі функції: стиснення заголовків IP-протоколів, шифрування потоків даних, термінацію пакетів даних [18].

SAE є пакетним PS-доменом системи LTE, і вона може надавати всю сукупність IP-послуг, беручи за основу технології пакетної комутації даних. Тобто в основу базової мережі SAE покладено концепцію «все через IP» і значить доступ до неї може здійснюватися як через мережі радіодоступу попередніх поколінь (UTRAN/GERAN), так і через мережі не-3GPP (WiMAX, Wi-Fi), а також через дротові мережі (ADSL+, FTTH).

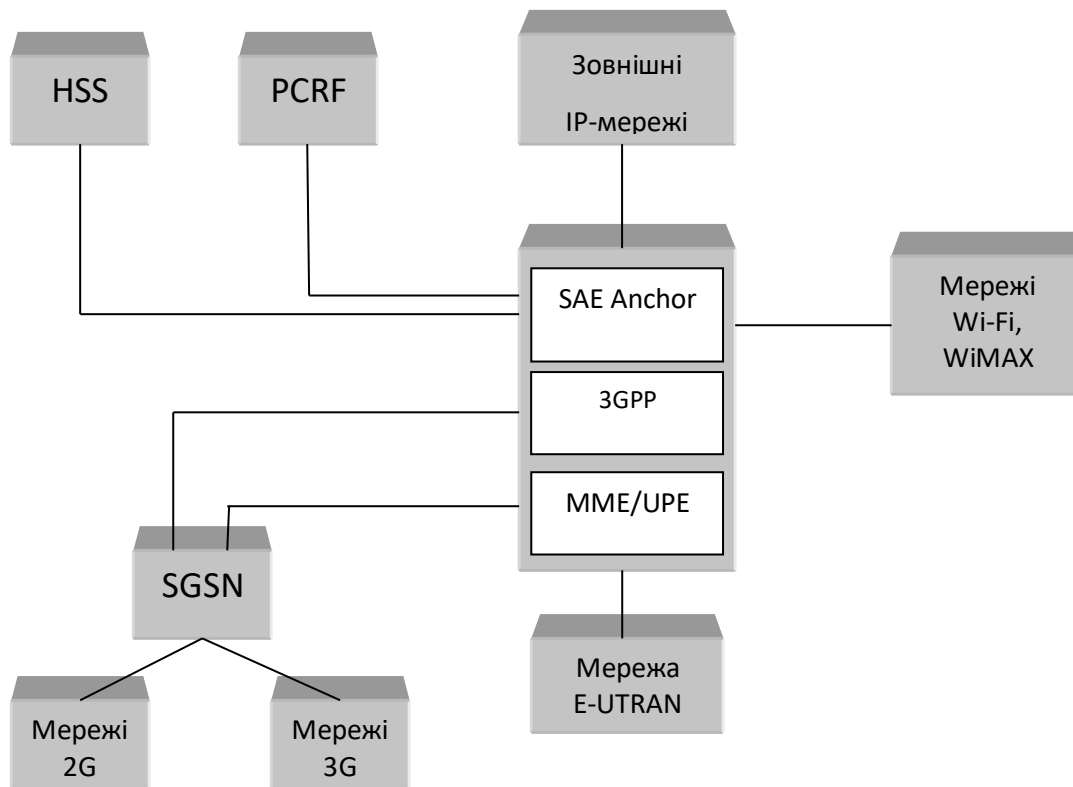


Рисунок 3.2 - Архітектура базової мережі SAE

3.4 Використання технології MIMO у мережах LTE

Технологія MIMO у мережах LTE грає ключову роль у забезпеченні високих швидкостей передачі даних.

MIMO (Multiple Input Multiple Output – множинний вхід – множинний вихід) – технологія, яка є бездротовим доступом, що передбачає використання кількох передавачів та приймачів для одночасної передачі великої кількості даних. Технологія MIMO використовує ефект передачі радіохвиль, що зветься багатопроменевим поширенням, коли сигнали, що передаються відбиваються від безлічі об'єктів і перешкод, а приймаюча антена сприймає сигнали під різними кутами і в різний час. Із застосуванням технології MIMO стає можливим збільшити стійкість до перешкод каналів зв'язку, зменшити відносну кількість бітів, прийнятих з помилкою. Робота систем MIMO може бути організована за двома принципами: за принципом просторового ущільнення та за принципом просторово-часового кодування. У першому випадку різні передавальні антени передають різні частини блоку інформаційних символів або різні інформаційні блоки. Передача даних ведеться паралельно по двом або чотирьом антенам. На приймальній стороні проводиться прийом та розподіл

сигналів різних антен. У другому випадку, з усіх передаючих антен здійснюється передача одного і того ж потоку даних з використанням схем попереднього кодування [20].

Антенні конфігурації технології МІМО можуть бути симетричні (2×2, 4×4) та несиметричні (1×2, 2×4). На рис. 3.3 показана структурна схема МІМО-системи з двома передаючими та двома приймаючими антенами, що реалізована за принципом просторово-часового кодування.

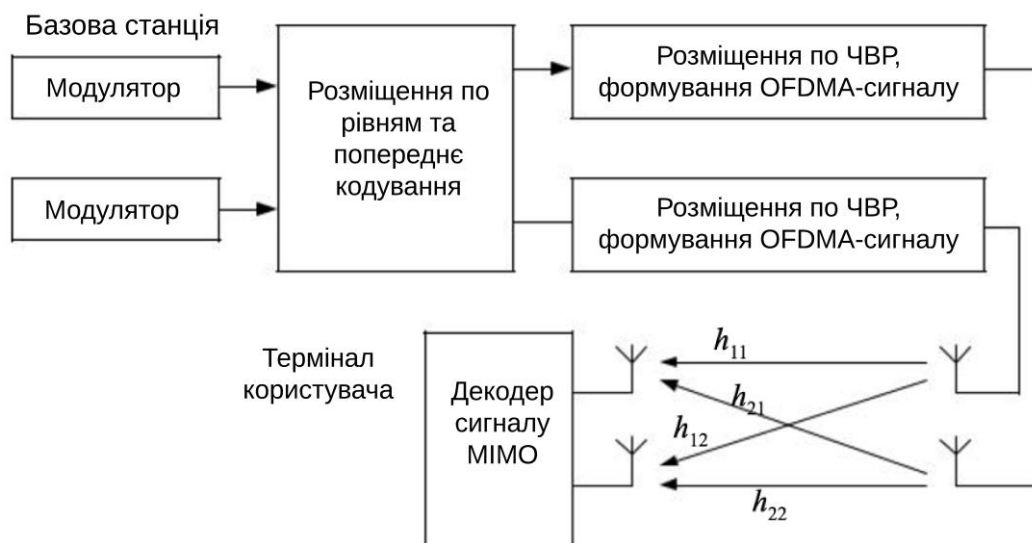


Рисунок 3.3 - Структурна схема МІМО-системи 2×2

4 РОЗРАХУНОК КІЛЬКОСТІ ПОТЕНЦІЙНИХ АБОНЕНТІВ МЕРЕЖІ, ВИБІР ОБЛАДНАННЯ

При плануванні мережі LTE, в першу чергу, необхідно визначити, яким чином будуть реалізовані рішення побудови транспортної мережі та мережі радіодоступу E-UTRA.

Для вибору оптимального рішення по транспортній мережі зазначимо три основні варіанти організації зв'язку:

1. Побудова мережі LTE "з чистого листа". У цьому випадку компанія-оператор зв'язку здійснює будівництво повністю всіх об'єктів зв'язку, які будуть включені до мережі LTE.

2. Побудова мережі LTE способом оренди всіх компонентів зв'язку від сторонніх операторів, крім устаткування базових станцій. Об'єктами, що орендуються, будуть: вишки для базових станцій і всі компоненти транспортної мережі.

3. Побудова мережі LTE універсальним способом. Цей варіант частково включає обидва способи побудови мережі, наведені вище.

Так як у районі, що розглядається вже було організовано телефонну мережу, що частково була спланована на бездротовій технології, то оптимальним рішенням буде вибір 2 варіанту для формування транспортної мережі.

Слід зазначити, що у процесі планування радіомереж LTE є низка відмінностей від процесу планування інших технологій бездротового радіодоступу. Головна відмінність - це використання нового типу багатостанційного доступу на базі технології OFDM, у зв'язку з чим з'являються нові поняття та змінюються алгоритми проектування. Процес планування радіомережі складається із двох етапів:

- формування максимальної площі покриття;
- забезпечення необхідної ємності.

4.1 Розрахунок кількості потенційних абонентів

Характеристика міста Сміла

Місто Сміла – це районний центр Черкаської області площею 39,85 кв.км та населенням станом на 2020 рік 68 763 тис. У місті 4 великі заводи та підприємства, 4 міські лікарні, 9 шкіл, 1 гімназія, 2 технікуми, 2 технічні училища, 1 ліцей, автовокзал, 2 ринки, 2 залізничних вокзала, 2 торгово-розважальних комплексів, 1 будинок культури та кінотеатр, біржа нерухомості, відділення Укрпошти. В управлінні Укртелекому в експлуатації є цифрова автоматична телефонна станція типу SI-2000. Вона має 10000 номерів, 578 з них не активні [1].

Основні відомості по населених пунктах Смілянського району представлено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Відомості по населених пунктах Смілянського району

Населений пункт	Кількість населення, чол.	Потреба у послугах
с. Ташлик	1935	необхідний Internet для сільської ради та школи
с. Тернівка	1128	необхідний Internet для сільської ради та школи
с. Попівка	1039	необхідний Internet для сільської ради та школи
с. Санжариха	651	потрібно забезпечити село телефонами
с. Самгородок	585	потрібно забезпечити село телефонами
с. Макіївка	1327	необхідний Internet для пошти
с. Сердюківка	809	потрібно забезпечити село телефонами
сmt Ротмістрівка	2156	необхідний Internet для сільської ради та шкіл
с. Мельниківка	605	потрібно забезпечити село телефонами
с. Ковалиха	823	потрібен доступ до інтернету в сільській раді
с. Куцівка	840	потребує забезпечення телефонізації
с. Носачів	1553	необхідний Internet для сільської ради та школи

В першу чергу місткість мережі визначається виходячи з кількості потенційних користувачів, що визначається відносно загальної кількості жителів населеного пункту, а також наявність підприємств, освітніх закладів, сфери обслуговування і інших установ.

Місткість мережі визначається також з телефонної щільності g – кількості пристроїв абонентського доступу ПАД на 100 жителів, кількості

колективних абонентів (підприємств, соціальної сфери, офісів тощо). Кількість колективних абонентів для селища Ташлик становить 70 ПАД (для всіх необхідний факсимільний зв'язок, а також доступ до сервера електронної пошти). Кількість абонентів житлового сектора визначається на перспективу 5 років [2]:

$$N_{жс} = N_t \cdot g, \quad (4.1)$$

де N_t – кількість мешканців на 5-ти річну перспективу.

$$N_t = N_0 \left(1 + \frac{p}{100}\right)^t = 1935 \left(1 + \frac{1,1}{100}\right)^5 = 2043, \quad (4.2)$$

де N_0 – кількість мешканців мікрорайону на початок проектування, $t = 5$ років;

p – коефіцієнт приросту, $p = 1,1 \dots 1,3$.

Телефонна густина g для України приблизно дорівнює 0,2.

$$N_{жс} = N_t \cdot g = 2043 \cdot 0,2 = 409. \quad (4.3)$$

Загальна сума абонентів житлового сектора та колективних абонентів

$$H_{ОБ} = H_{ж} + H_{К} = 409 + 70 = 479. \quad (4.4)$$

З огляду на те, що вже існує 365 абонентів, то фактично у селищі проживає приблизно 70 потенційних абонентів, які бажають отримувати послуги зв'язку.

Для решти населених пунктів проведемо аналогічний розрахунок. Результати його занесемо до табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Загальна ємність мережі зв'язку, що проектується

	Колективні абоненти	Населення на початку проектування	Населення на перспективу	Абоненти житлового сектора	Існуючі абоненти	Кількість потенційних абонентів
Ташлик	70	1935	2043	479	365	70
Тернівка	10	1128	1161	249	178	38
Попівка	10	1039	1097	230	107	32
Санжаріха	7	651	688	145	50	25
Сердюківка	7	809	854	178	98	45
Самгородок	5	585	618	129	37	17
Макіївка	11	1327	1402	291	205	53
Ротмістрівка	167	2156	2277	622	436	70
Носачів	12	1553	1640	340	142	55
Куцівка	7	840	887	184	53	20
Мельниківка	5	605	639	133	33	15
Ковалиха	7	823	869	181	48	20

4.2 Вибір керуючого обладнання мережі LTE

Управління абонентськими сесіями та послугами в мережах LTE здійснюється за допомогою базової пакетної мережі EPC (Evolved Packet Core). Мережа EPC містить такі вузли та логічні елементи [20]:

- MME (Mobility Management Entity) – вузол управління мобільністю – відповідає за вирішення завдань управління мобільністю абонентського терміналу, управління безпекою мобільного зв'язку (NAS Security), управління службою передачі даних;
- SGW (Serving Gateway) – обслуговуючий шлюз мережі LTE – відповідає за обробку та маршрутизацію пакетних даних базових станцій, що надходять з/в підсистему;

- PGW (Public Data Network Gateway) – шлюз від/до мереж інших операторів – відповідає за передачу голосу та даних з/в мережі оператора LTE в інші мережі 2G, 3G, не-3GPP та Internet;
- HSS (Home Subscriber Server) – сервер абонентських даних;
- PCRF (Policy and Charging Rules Function) – вузол виставлення рахунків абонентам за надані послуги;
- DHCP/DNS-сервер виділення IP-адрес.

Рішення щодо реалізації мережі EPC LTE розроблено компанією «Cisco Systems». Основою ідеї реалізації стало поєднання функцій MME, SGW і PGW в одному шасі мультисервісної платформи ASR 5000 PCS3», як показано на рис. 4.1 [21].

Маршрутизатор ASR 5000 PCS 3 спеціально розроблений для мобільних широкосмугових мереж. Він відрізняється розподіленою архітектурою, вбудованими інтелектуальними функціями, масштабованістю та надійністю [21].



Рисунок 4.1 - Рішення компанії "Cisco Systems" щодо об'єднання функцій мережі EPC на базі однієї платформи "Cisco ASR 5000 PCS3"

Переваги платформи «Cisco ASR 5000 PCS 3»:

- інтегровані мережеві функції, вбудовані послуги з високою пропускнуою здатністю;
- резервування всіх компонентів;
- автоматичне відновлення абонентських сесій у межах одного шасі;
- функція копіювання процесів та їх станів;
- доступність платформи 99,9999%;
- відновлення сесій вбирається у 2 сек.;
- відсутність спеціалізованих виділених сервісних плат та модулів;
- процесорні ресурси автоматично адаптуються до потреб системи;
- захист пам'яті окремих процесів;
- загальне програмне забезпечення;
- оновлення програмного забезпечення здійснюється без переривання сервісів;
- програмні функції розподілені по всій платформі [21].

Головною відмінністю платформи «Cisco ASR 5000 PCS3» є наявність вбудованих сервісів «In-line Services»:

- DPI – глибока інспекція пакетів – дозволяє аналізувати трафік та персоніфікувати послуги, надаючи абонентам різноманітну якість обслуговування та гнучкі правила тарифікації залежно від типу трафіку;
- виявлення трафіку однорангових протоколів у реальному масштабі часу визначає різні правила: пропуску або блокування, виконує контроль смуги пропускання, що споживається;
- фільтрація контенту на основі аналізу URL у запитах HTTP від мобільних абонентів;
- персональний NAT/Firewall [21].

Коротка технічна характеристика платформи ASR 5000 PCS3»:

- пропускна спроможність: 320 Гбіт/с;
- кількість сесій: 4 млн.;

- мережні інтерфейси: 10/100/1000 Ethernet, 10 Гбіт/с Ethernet, OLC/CLC Line Cards (ATM, POS, Frame Relay);
- вхідна напруга: DC 40 - 60 В;
- розміри (в×ш×г): 63,23×44,45×60,95 мм;
- повна вага: 139,25 кг;
- максимальна потужність: 800 Вт;
- допускається встановлення до трьох ASR 5000 PCS3 у стійку 42 RU [21].

4.3 Вибір обладнання базової станції ENODE BAND LTE

Основні постачальники обладнання базової станції eNB LTE в Україні - компанії Siemens Networks, Huawei та Ericsson.

При виборі обладнання базової станції eNB LTE потрібно керуватися, такими параметрами як: здатність підтримки інших стандартів мобільного зв'язку, вихідна потужність приймача TRX та інші технічні характеристики.

Для модернізації телефонної мережі, враховуючи її особливості, зробимо вибір на користь обладнання компанії Nokia Siemens Networks. У якості обладнання радіодоступу будемо використовувати базову станцію Flexi Multiradio.

Антенна система Flexi Multiradio заснована на технології активних антен, що об'єднує антену та радіообладнання в єдиний функціональний блок, який має окремі підсилювачі потужності для кожного елемента антени. Активна антена дозволяє здійснювати формування променів – фокусування окремого радіопідключення та його направлення на конкретного користувача [22].

Базова станція Flexi Multiradio складається з двох основних елементів: системного модуля для цифрової обробки сигналів та радіомодуля з трьома приймачами (рис. 4.2).



Рисунок 4.2 - Базова станція "Flexi Multiradio" компанії Nokia Siemens Networks

Потужність вихідного сигналу радіомодуля з розрахунку один сектор може досягати 240 Вт; так само радіомодуль може забезпечувати подачу вихідного сигналу потужністю 80 Вт на кожен із трьох секторів. Модуль здатний розподіляти несучі в діапазоні 60 МГц. Радіомодуль підтримує будь-яке поєднання технологій GSM, 3G, LTE та LTE+ [22].

Переваги eNB Flexi Multiradio:

- легке конструювання сайту та легке встановлення, вартість інсталяції знижена на 25%;
- вбудовані інтерфейси системного модуля E1 та GEthernet;
- знижені вимоги до початкових вкладень за рахунок можливості швидкого розгортання мережі;
- низьке енергоспоживання;
- скорочення довжини необхідних антенних кабелів, що вдвічі покращує радіопараметр станції;
- гнучкий дизайн;
- на 20% компактніше і легше за типову базову станцію;
- виконання, що дозволяє використовувати її поза приміщеннями у будь-яких погодних умовах;
- модульна, масштабована та найбільш компактна базова станція в

галузі [22].

Технічні характеристики радіомодуля Flexi RF Module Triple 90 W:

- може використовуватися всередині та поза приміщеннями, з установкою на підлозі, на стіні, на щоглі, у розподілених та безфідерних конфігураціях майданчика;
- частотні діапазони: 700, 800, 850, 900, 1800, 1900, 1700/2100, 2100, 2300 та 2600 МГц;
- ємність: до 6+6+6 каналів GSM, до 4+4+4 каналів WCDMA, 1+1+1 каналів LTE зі смугою 20 МГц;
- технологія підсилювача потужності радіосигналу: мультистандартний підсилювач потужності з багатьма несучими;
- розміри: 133x447x560 мм; можливість встановлення у стійку 19 дюймів;
- вага: 25 кг;
- діапазон температур: -35°C до 55°C (охолоджується вентиляторами, швидкість регулюється автоматично. Використання примусової вентиляції підвищує надійність станції за рахунок стабілізації температури напівпровідників);
- джерела живлення: 40,5 – 57 В постійного струму – для системного модуля, 184 – 276 В змінного струму – для радіомодуля;
- вимоги потужності: 790 Вт;
- вихідна потужність: 180 Вт з кожного радіомодуля або 60 Вт з віддаленої радіоголовки (RRH);
- клас захисту від вологості: IP 65 [22].

5 РОЗРАХУНОК ЗОН РАДІОПОКРИТТЯ ДЛЯ МЕРЕЖІ LTE НА ТЕРИТОРІЇ СМІЛЯНСЬКОГО РАЙОНУ

Так як планування радіомережі LTE проводиться в сільській місцевості, і щільність абонентів буде невисока, то базові станції повинні встановлюватися на максимальній відстані одна від одної з метою покриття якомога більшої території. У зв'язку з цим необхідно підібрати коректний частотний діапазон. Тут потрібно керуватися правилом - чим нижча частота, тим далі поширення радіосигналу. Частотний діапазон 791 - 862 МГц цілком підійде для виконання цього завдання. Тип дуплексу виберемо частотний - FDD.

5.1 Аналіз радіопокриття

Для аналізу радіопокриття в першу чергу визначаються максимально допустимі втрати на лінії (МДВ). МДВ розраховується як різниця між еквівалентною ізотропною випромінюваною потужністю передавача (ЕІВП) та мінімально необхідною потужністю сигналу на вході приймача, при якій з урахуванням усіх втрат у каналі зв'язку забезпечується нормальна демодуляція сигналу в приймачі [23].

Принцип розрахунку МДП показаний рис. 5.1.

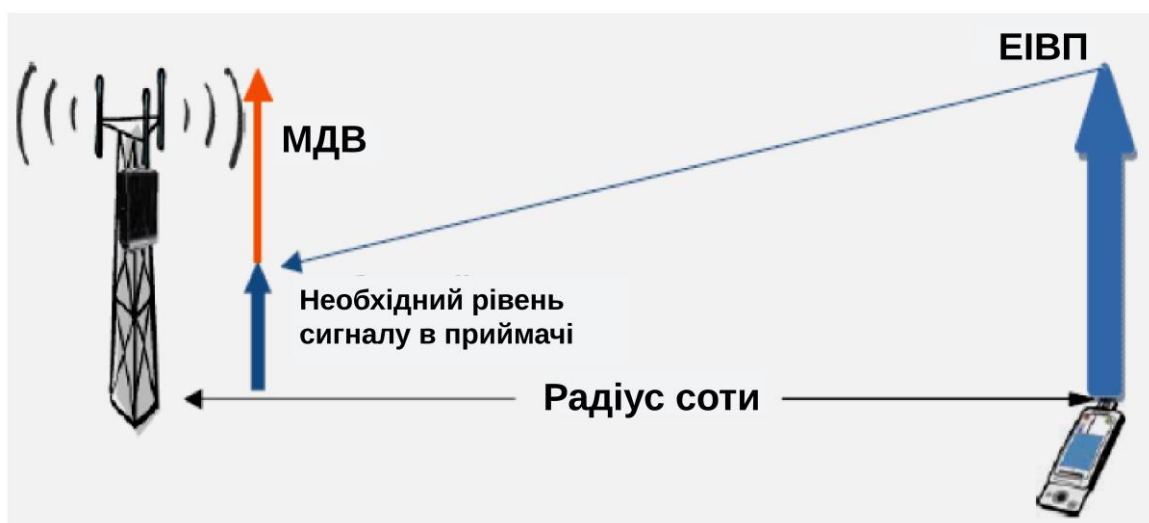


Рисунок 5.1 – Принцип розрахунку МДВ

Для розрахунків будемо використовувати наступні параметри:

- системна смуга: 20 МГц; для FDD = 10/10 (DL/UL);
- eNB – на кожному секторі один TRX, вихідна потужність TRX = 40 Вт (46 дБм); працює на лінії DL у режимі MIMO 2×2;
- UE – абонентський термінал – USB-модем, клас 4 – EIBП 33 дБм;
- співвідношення тривалості кадрів DL/UL: 100%/100%.

Відповідно МДВ визначається за формулою:

$$L_{МДВ} = P_{EIBП.прд} - S_{ч.пр} + G_{A.пр} - L_{Ф.пр} - M_{прон} - M_{пер} - G_{ХО}, \quad (5.1)$$

де $P_{EIBП.прд}$ - еквівалентна випромінювана потужність передавача;

$S_{ч.пр}$ - чутливість приймача;

$G_{A.прд}$ - коефіцієнт підсилення антени передавача, $G_{A.прд}$: DL=18 дБі, UL=0 дБі;

$L_{Ф.прд}$ - втрати у фідерному тракті передавача, $L_{Ф.прд}$: DL = 0,3 дБ;

$M_{прон}$ - запас проникнення сигналу в приміщення, для сільської місцевості рівний 12 дБ;

$M_{пер}$ - запас на перешкоди визначається за результатами моделювання системного рівня залежно від навантаження у сусідніх сотах; значення $M_{пер}$ відповідає навантаженню в сусідніх сотах 70%. $M_{пер}$: DL = 6,4 дБ; UL = 2,8 дБ;

$G_{ХО}$ - вигреш від хендовера. Значення виграшу від хендовера - результат того, що при виникненні глибоких завмирань в соті, що обслуговується, абонентський термінал може здійснити хендовер в соту з кращими характеристиками прийому, $G_{ХО} = 1,7$ дБ.

Еквівалентна випромінювана потужність передавача розраховується за формулою:

$$P_{EIBП.прд} = P_{вих.прд} + G_{A.прд} - L_{ф.прд}, \quad (5.2)$$

де $P_{вих.прд}$ - вихідна потужність передавача. У лінії «вниз» (DL) в LTE вона залежить від ширини смуги частот сайту, яка може коливатися від 1,4 до 20 МГц. У межах до 5 МГц раціонально вибрати передавачі TRX потужністю 20 Вт (43 дБм), а понад 5 МГц – 40 Вт (46 дБм). Обираємо $P_{вих.прд}$: DL = 46 дБм, UL = 33 дБм.

Для лінії DL:

$$P_{\text{EIVП.прд}}=46+18-0,3=63,7 \text{ дБм,}$$

Для лінії UL:

$$P_{\text{EIVП.прд}}=33 \text{ дБм.}$$

Чутливість приймача розраховується за формулою:

$$S_{\text{ч.пр}} = P_{\text{тш.пр}} + M_{\text{сш.пр}} + L_{\text{пр}} \quad (5.3)$$

де $P_{\text{тш.пр}}$ – потужність теплового шуму приймача, $P_{\text{тш.пр}}$: DL=-174,4 дБм, UL=-104,4 дБм;

$M_{\text{сш.пр}}$ - необхідне відношення сигнал/шум приймача. Значення $M_{\text{сш.пр}}$ становить: DL=-0,24 дБ; UL=0,61 дБ;

$L_{\text{пр}}$ - коефіцієнт шуму приймача, $L_{\text{пр}}$: DL = 7 дБ, UL = 2,5 дБ;

Для лінії DL:

$$S_{\text{ч.пр}} = -174,4 + (-0,24) + 7 = -167,64 \text{ дБм,}$$

Для лінії UL :

$$S_{\text{ч.пр}} = -104,4 + 0,61 + 2,5 = -101,29 \text{ дБм.}$$

З урахуванням отриманих результатів за формулами (5.2) та (5.3), розрахуємо значення МДВ:

Для лінії DL:

$$L_{\text{МДВ}}=63,7-(-167,64)-12-6,4-8,7-1,7=205,94 \text{ дБ,}$$

Для лінії UL:

$$L_{\text{МДВ}}=33-(-101,29)+18-0,4-12-6,4-8,7+1,7=126,5 \text{ дБ.}$$

З двох значень розрахованих МДВ, обираємо найгірший варіант, тобто мінімальне значення. Обмежуючою лінією за дальністю зв'язку, зазвичай, є лінія вгору.

Для розрахунку дальності зв'язку скористаємося емпіричною моделлю поширення радіохвиль Okumura-Nata. Ця модель є узагальненням досвідчених

фактів, у якому враховано багато умов та видів середовищ. У моделі Okumura–Nata пропонується такий вираз визначення середнього згасання радіосигналу в міських умовах [23]:

$$L_m = 69,5 + 26,16 \lg f_c - 13,82 \lg h_t - A(h_r) + (44,9 - 6,55 \lg h_t) \cdot \lg d. \quad (5.4)$$

Для сільської місцевості вираз набуде наступного вигляду:

$$L_c = L_m - 4,78(\lg f_c)^2 + 17,33 \lg f_c - 40,94, \quad (5.5)$$

де f_c – частота від 150 до 1500 МГц;

h_t – висота передавальної антени (підвісу eNB) від 30 до 300 метрів;

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

d – радіус соти від 1 до 20 км;

$A(h_r)$ – поправочний коефіцієнт для висоти антени рухомого об'єкта, залежить від типу географічної території.

Для плануємої мережі оберемо наступні параметри: $f_c = 800$ МГц; $h_t = 72$ метри; $h_r = 3$ метри.

Знайдемо поправочний коефіцієнт $A(h_r)$ для сільської місцевості:

$$A(h_r) = (1,1 \cdot \lg f_c - 0,7) \cdot h_r - (1,56 \lg f_c - 0,8), \quad (5.6)$$

$$A(h_r) = (1,1 \cdot \lg 800 - 0,7) \cdot 3 - (1,56 \lg 800 - 0,8) = 3,751.$$

Обчисливши радіус соти з формул (5.4) та (5.5), отримаємо, що $d \approx 9$ км.

Розрахуємо площу S_{eNB} покриття трьохсекторного сайту за формулою:

$$S_{eNB} = 9 \frac{\sqrt{3}}{8} d^2, \quad (5.7)$$

$$S_{eNB} = 9 \frac{\sqrt{3}}{8} 9^2 \approx 157,83 \text{ км}^2.$$

5.2 Частотно-територіальний поділ та ситуаційне розташування eNB на території Смілянського району

Основним етапом проектування мереж рухомого радіозв'язку є етап частотно-територіального планування, в ході якого вибирається структура мережі, місця розміщення базових станцій, розробляється план розподілу радіоканалів для базових станцій, виконується адаптація планів до умов територіальних та частотних обмежень планованої зони обслуговування.

Насамперед потрібно скласти ситуаційний план розміщення базових станцій eNB на території району планування мережі. Метою проектування не є повне радіохоплення території району. Головне у цьому проекті – це забезпечення стійким радіосигналом населених сільських районів. Виходячи з цієї умови, а також враховуючи особливості рельєфу місцевості, виконаємо розміщення базових станцій.

Мінімальна кількість базових станцій eNB, необхідних для забезпечення стійким радіосигналом населених районів планування становить 7 штук. Таким чином, будується мережа, в якій всі eNB мають такі характеристики:

- потужність кожного зрадника – 40 Вт;
- висота підвісу антени – 72 метри;
- число приймачів TRX-3 (по одному на кожен сектор);
- системна смуга для одного сектора – 20 МГц (10 МГц для лінії «вгору» та 10 МГц для лінії «вниз»);
- лінія "вниз" підтримує технологію MIMO 4×2;
- пропускна спроможність: лінія "вниз" - 102,9 Мбіт/с, лінія "вгору" - 54,87 Мбіт/с.

Наступним етапом проведемо формування частотного плану. Для запланованої мережі виділено смугу частот 791-862 МГц, ширина частотного спектра становить 71 МГц. Кожному сектору eNB необхідно виділити 20 МГц. Тобто, наявна ширина спектра розділиться на 3 діапазони по 20 МГц, в яких обов'язково треба врахувати захисні частотні смуги для уникнення перекриття сигналів різних секторів. Призначимо кожній із трьох частин спектра умовний номер і результати складання частотного плану зведемо до таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 - Частотний план мережі LTE у Смілянському районі

Номер eNB	Сектор	Азимут	Радіус зони обслуговування, км	Умовний номер частини частотного спектру
1	1.1	0	9	1
	1.2	120	9	2
	1.3	240	9	3
2	2.1	0	9	1
	2.2	120	9	2
	2.3	240	9	3
3	3.1	0	9	1
	3.2	120	9	2
	3.3	240	9	3
4	4.1	0	9	1
	4.2	120	9	2
	4.3	240	9	3
5	5.1	0	9	1
	5.2	120	9	2
	5.3	240	9	3
6	6.1	0	9	1
	6.2	120	9	3
	6.3	240	9	2
7	7.1	0	9	1
	7.2	120	9	3
	7.3	240	9	2

Після введення мережі LTE в експлуатацію, проводиться етап оптимізації. Після якого, за необхідності, відбувається коригування виконаного планування: збільшення пропускної спроможності мережі, зміна висоти підвісу радіомодулів, зниження або підвищення випромінюваної потужності радіомодулів.

5.3 Схема модернізованої мережі LTE у Смілянському районі Черкаської області

Згідно з розрахованою ємністю мережі та інформаційним навантаженням для організації широкосмугового доступу за технологією LTE потрібно 7 базових станцій. На початковому етапі роботи їх пропускна здатність становитиме 158 Мбіт/с, а всієї мережі LTE в районі 1,106 Гбіт/с. В ході оптимізації мережі пропускна спроможність базових станцій може бути збільшена завдяки розміщення додаткових радіомодулів.

Базові станція зв'язані з комутатором через оптичний кабель за стандартом Gigabit Ethernet 1000BASE-LX (IEEE 802.3z). Комутатор

розміщується безпосередньо в приміщенні для розміщення обладнання базової станції.

Від комутаторів мережевий трафік направляється до маршрутизатора Cisco 7603 OSR, який розміщується на одному з об'єктів зв'язку компанії ВАТ «Укртелеком» у м. Сміла. З'єднання між комутаторами та маршрутизаторами також здійснюється за допомогою оптоволоконної лінії передачі за стандартом Gigabit Ethernet.

Проектовану схему організації зв'язку мережі LTE в Смілянському районі представлено рис. 5.2.

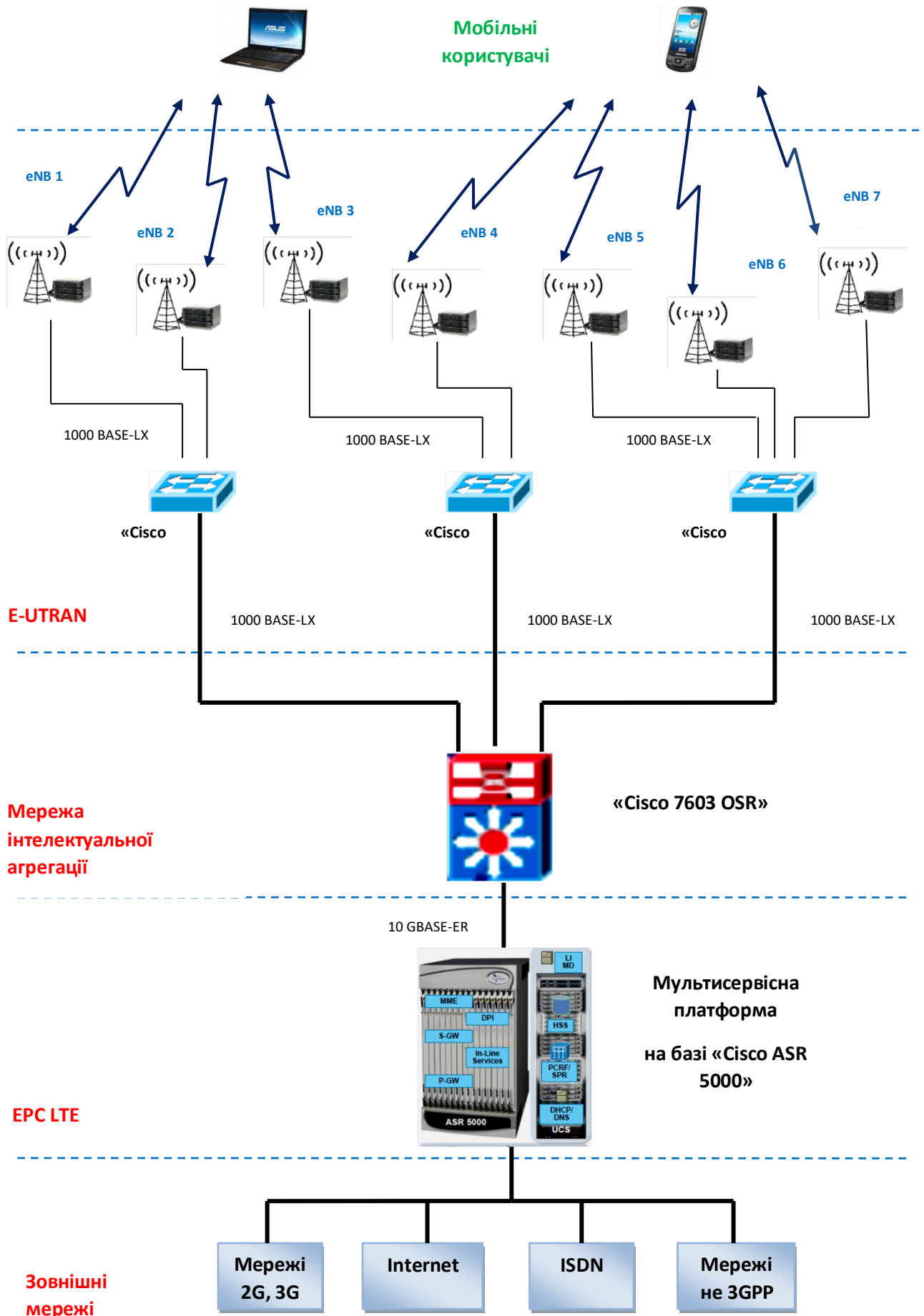


Рисунок 5.2 - Схема організації зв'язку мережі LTE

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі магістра досліджено питання модернізації телефонної мережі для надання сучасних послуг Triple Play шляхом запровадження бездротової мережі з використанням технології LTE на рівні доступу у Смілянському районі Черкаської області. Наголошувалося на важливості розвитку інноваційних технологій бездротового зв'язку та надання можливості доступу до мережі Інтернет у сільській місцевості.

Проведено аналіз розвитку та концепції мереж наступного покоління, що ґрунтовані на принципі конвергентності як технологій так і послуг. Розглянуто можливості тріади послуг Triple Play. Досліджено методи прогнозування розвитку телекомунікаційних мереж у малонаселених районах. Для подальшого впровадження зупинилися на технології LTE, як такій, що є оптимальною з точки зору витрат на модернізацію, території охоплення користувачів, легкості розгортання мережі та повноти сучасних послуг, що можуть надаватися абонентам.

Дано загальну характеристику району планування мережі LTE Смілянського району. Наведено коротке техніко-економічне обґрунтування планування мережі LTE, під час якого обрано «універсальний» варіант будівництва мережі. Також проведено стислий аналіз ситуації надання послуг зв'язку мешканцям невеликих населених пунктів з різних технологій.

Пропускна здатність запланованої мережі становить 1,104 Гбіт/с. Частотний діапазон для запланованої мережі обрано 791 – 862 МГц, тип дуплексу – частотний FDD. Також проведено розрахунок кількості абонентів, яку зможе обслужити запланована мережа. Проведено вибір обладнання мережі LTE. Як керуюче обладнання мережі LTE вибрано рішення компанії Cisco Systems, яке реалізується за допомогою мультисервісної платформи Cisco ASR 5000 PCS3. Як обладнання радіодоступу обрано базову станцію Flexi Multiradio компанії Nokia Siemens Network.

Для організації радіодоступу за технологією LTE в Смілянському районі проведено розрахунок зон покриття радіозв'язком. Радіус соти становить 9 км, а площа покриття трисекторного сайту становить приблизно 157 км². Проведено частотно-територіальний розподіл та показано ситуаційне розташування базових станцій на території району.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Смела. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BC%D0%B5%D0%BB%D0%B0>
2. ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ КОНВЕРГЕНЦІЇ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ ТА МЕТОДИ ЇХ МАТЕМАТИЧНОГО ОПИСУ / С. Давіденко, Б. Бойчук // Scientific Journal «IT Synergy», 2021, Issue 1 с. 32-47. DOI: 10.53920/TJS-2021-1-5.
3. Бакланов И.Г. NGN: принципы построения и организации: монография / Бакланов И.Г. – М.: Эко-Трендз, 2008. – 399 с.
4. Розробка моделі мультисервісної мережі / Т.І. Трояновська, Д.М. Поліщук // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. - 2018. - № 1. - С. 3-6.
5. Мережі нового покоління для нової України. Інформаційний бюлетень Міжнародного центру перспективних досліджень //[Електронний ресурс], 2006. – Режим доступу: http://www.icps.com.ua/arh/pub/inform_technologies.html
6. Емельянов В.В. Сотовая связь. часть 1, часть 2. Уч. Пособие. – Харьков: ХНУРЭ, 2000. – 120 с.
7. РЕАЛІЗАЦІЯ КОНЦЕПЦІЇ TRIPLE PLAY В МЕРЕЖІ ADSL / В.В. ЗБАРАВСЬКИЙ, К.Л. ГОРЯЩЕНКО, Л.О. КОВТУН // Вісник Хмельницького національного університету №2 '2012 с. 266-270.
8. Мельник Б.Г. Методика побудови мультисервісної мережі в регіонах із низькою щільністю населення. Магістерська робота // Київський політехнічний інститут. 2022. - 89 с.
9. Introduction to Triple Play. – Alcatel–Lucent 7750 SR OS Triple Play Guide, 2008, 62 p
10. Bralla J.G. Design for Excellence. – McGraw-Hill Professional Publishing, 1995, 326 p.
11. Campi M.C., Garatti S. Introduction to the Scenario Approach. – Society for Industrial and Applied Mathematics, 2018, 114 p.
12. Yong J. Optimization Theory: A Concise Introduction (Operations Research Mathematic), World Scientific, 2018, 234 p.
13. Sokolov A., Sokolov N. Rational solutions for development of telecommunications networks. – T-Comm, 2014, Vol. 8, №6, pp. 81–84.

14. Revsine L., Collins D.W., Johnson B., Mittelstaedt F., Soffer L. Financial Reporting and Analysis. – McGraw-Hill Education, 2014, 1152 p.
15. Seilov Sh. Zh., Kuzbayev A.T., Seilov A.A., Shyngisov D.S., Goikhman V.Yu., Levakov A.K., Sokolov N.A., Zhursinbek Y. Sh. The Concept of Building a Network of Digital Twins to Increase the Efficiency of Complex Telecommunication Systems. – Complexity (Special Issue), vol. 2021, Article ID 9480235, 9 p
16. Frieze A. Introduction to Random Graphs. – Cambridge University Press, 2016, 478 p
17. Сети мобильной связи LTE. Технологии и архитектура / Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Юрчук А.Б. – М.: Эко-Трендз, 2010. – 284 с.
18. Farooq Khan. LTE для 4G Mobile Broadband. Air Interface Technologies and Performance. - Cambridge University Press, 2009.
19. Harri Holma, Antti Toskala. LTE для UMTS. OFDMA i CS-FDMA Based Radio Access. - John Wiley Ltd, 2009.
20. Мирошников Д.Г. Современные решения беспроводного доступа. – Электросвязь. 1998. №4. -с.40-46.
21. Маршрутизаторы Cisco ASR 5000 // [Электронный ресурс], 2025. – Режим доступа: <https://2025.xn--h1aemkx.com.ua/cisco-asr-5000>
22. Базові станції мобільного зв'язку, антенна частина // [Електронний ресурс], 2025. – Режим доступу: <https://portaltele.com.ua/equipment/c20-equipment/bazovye-stantsii-sotovoj-svyazi-i-ih-antennaya-chast.html>
23. Аналіз радіопокриття // [Електронний ресурс], 2025. – Режим доступу: <https://helpiks.org/1-112601.html>