

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ,
ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
КАФЕДРА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ТА РАДІОЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ**

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри

Роман ОДАРЧЕНКО
“ _____ ” _____ 2023 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА
РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВР

Тема: «Конвергентна мережа доступу»

Виконавець: _____ Світлана КОРЄНЄВА
(підпис)

Керівник: _____ Веніамін АНТОНОВ
(підпис)

Нормоконтролер: _____ Денис БАХТІЯРОВ
(підпис)

Київ 2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій

Кафедра телекомунікаційних та радіоелектронних систем

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Телекомунікаційні системи та мережі»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Роман ОДАРЧЕНКО

“ ” _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної роботи

Кореневої Світлани Сергіївни

(прізвище, ім'я, по батькові випускника в родовому відмінку)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Конвергентна мережа доступу»

затверджена наказом ректора від «29» березня 2023 р. № 421/ст

2. Термін виконання роботи: з 22.05.2023 р. по 25.06.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: Абонентська база на мережі доступу, що розділена за технологіями, Відсоток абонентського обладнання і ліній зв'язку, Відсоток використаного групового обладнання і ліній зв'язку, Середня протяжність ліній зв'язку від вузла зв'язку до абонента (від вузла до виносу R, від виносу до будівлі абонента r), Середня протяжність домашньої розподільної мережі, Ключові параметри обладнання

4. Зміст пояснювальної записки: вступ; теоретична інформація про конвергентну мережу зв'язку; методика розрахунку при побудові мереж ШПД; Private 5G; висновки

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: Багаторівневе представлення концепції конвергенції, Задачі конвергенції, Загальна схема GRID-системи, Приклад побудови GRID-системи, Типи ресурсів GRID, Загальна структура «хмари», Загальна схема використання VDSL2, Принцип роботи FEXT, Основні технології конвергентних послуг, Топологія Mobile IP, Відмінності між IPv4 та IPv6, Архітектура IMS, Архітектура UMA, Архітектура NGN, Архітектура VPN,

Архітектура VNE, Архітектура FTTA, Візуальний локаатор пошкоджень, Оптичний рефлектометр, Побудова регіональної мережі за технологією Metro Ethernet, 3 варіанти побудови мереж, Архітектура Private 5G, Використання Industry 4.0, Типи Private 5G, VIAVI TM500, Поверхня загроз 5G.

6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Розробити деталізований зміст розділів кваліфікаційної роботи	22.05.2023- 24.05.2023	Виконано
2	Вступ	25.05.2023	Виконано
3	Теоретична інформація про конвергентну мережу зв'язку	26.05.2023- 29.05.2023	Виконано
4	Методика розрахунку при побудові мереж ШПД	30.05.2023- 07.06.2023	Виконано
5	Private 5G	08.06.2023- 12.06.2023	Виконано
6	ВИСНОВКИ	13.06.2023- 14.06.2023	Виконано
7	Усунення недоліків та захист кваліфікаційної роботи	15.06.2023- 25.06.2023	Виконано

7. Дата видачі завдання: “19” травня 2023 р.

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис керівника)

Веніамін Антонов

(П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання

(підпис випускника)

Світлана Коренева

(П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота «Конвергентна мережа доступу» містить 59 сторінок, 28 рисунків, 6 таблиць, 9 використаних джерел.

КОНВЕРГЕЦІЯ, 5G, GRID-СИСТЕМА, GPON, METRO-ETHERNET, LTE, VDLS.

Об'єкт дослідження – це мережа, яку треба модернізувати. Запропонувати рекомендації щодо оптимального використання конвергентних мереж доступу з урахуванням особливостей конкретних сценаріїв інфраструктури та потреб користувачів.

Предмет дослідження – технологія Metro Ethernet, за допомогою якої проводиться модернізація мережі. Цей предмет дослідження спрямований на отримання всебічного розуміння конвергентних мереж доступу, їх можливостей та переваг, що дозволить зробити висновки про доцільність та ефективність їх використання в реальних умовах.

Мета кваліфікаційної роботи – Визначити ефективність і можливості застосування конвергентних мереж доступу в сучасних телекомунікаційних системах та інфраструктурах, зокрема в контексті підвищення швидкості передачі даних, забезпечення надійності та зниження вартості розгортання та обслуговування мереж.

Матеріали кваліфікаційної роботи рекомендується використовувати на мережах ШПД для розрахунку об'єму обладнання, а також кількості і протяжності ліній зв'язку від абонента до регіональної транспортної мережі.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	6
ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНА ІНФОРМАЦІЯ ПРО КОНВЕРГЕНТНУ МЕРЕЖУ ДОСТУПУ.....	11
1.1. Багаторівневе представлення концепції конвергенції.....	11
1.2. Задачі конвергенції.....	12
1.3. Технології GRID. Загальні відомості.....	16
1.4. Основи хмарних обчислень.....	19
1.5. Технології лінійної векторизації.....	21
1.6 Основні технології конвергентних послуг.....	23
1.7. Проблематика впровадження конвергенції.....	27
1.8. Загальні дані про FTTH.....	30
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ПРИ ПОБУДОВІ МЕРЕЖ ШПД.....	37
2.1. Побудова схем за методикою Metro Ethernet.....	37
2.2. Розрахунок об'ємів обладнання і ліній зв'язку для мереж ШПД.....	38
2.3. Розрахунок абонентських швидкостей для мереж ШПД.....	45
РОЗДІЛ 3. PRIVATE 5G.....	48
3.1. Загальні дані про Private 5G.....	48
3.2. Типи Private 5G.....	50
3.3 Тестування Private 5G.....	51
3.4. Життєвий цикл Private 5G.....	52
3.5. Плюси та мінуси 5G.....	55
ВИСНОВКИ	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	59

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ШПД – широкополосний доступ.

ВВU – блок загальної полоси частот.

DSL (Digital Subscriber Line) – цифрова абонентська лінія.

FEXT (Far-end crosstalk) – перехідне згасання, виміряне на дальньому кінці сусідньої пари.

FTTA (Fiber to the Antenna) – волокно до антени.

FTTB (Fiber to the Building) – волокно до будівлі.

FTTH (Fiber to the Home) – волокно до дому.

GPKS (General Packet Radio Service) – загальна служба пакетної радіопередачі.

GPON (Gigabits Per Seconds) – Гігабіт у секунду.

Grid (Global Resource Information Database) – глобальна база даних ресурсної інформації.

IETF (Internet Engineering Task Force) – відкрите міжнародне співтовариство проектувальників.

IMS (IP Multimedia System) – IP мультимедійна система.

LAN (Local Area Network) – локальна обчислювальна мережа.

LTE (Long Term Evolution) – довготривала еволюція.

MAN (Metropolitan Area Network) – мережа мегаполісів.

MMS (Multimedia Messaging Service) – служба мультимедійних повідомлень.

MPLS (Multiprotocol Label Switching) – багатопротокольна комутація за мітками.

MSAN (Multi-Service Access Node) – точка мультисервісного доступу.

NGN (Next Generation Network) – мережа наступного покоління.

PAN (Personal Area Network) – персональна обчислювальна мережа.

QoS (Quality of Service) – якість обслуговування.

RRH – віддалена радіоголовка.

RRU – віддалений радіоблок.

SIP (Session Initiation Protocol) – протокол ініціації сесії.

SLA (Service Level Agreement) – рівень обслуговування угоди.

SMS (Short Message Service) – служба коротких повідомлень.

UMA (Unlicensed Mobile Access) – неліцензований мобільний доступ.

UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) – універсальна система мобільного зв'язку.

UNC (UMA Net-work Controller) – контролер мережі UMA.

VDLS (Very-high data rate Digital Subscriber Line) – надшвидкісна цифрова абонентська лінія.

VHE (Virtual Home Environment) – віртуальне домашнє середовище.

VPN (Virtual Private Network) – віртуальна приватна мережа.

WWAN (Wireless Wide Area Network) – бездротова глобальна мережа.

ВСТУП

Актуальність теми. На сучасному етапі розвитку галузі зв'язку велике значення має організація технічної експлуатації систем і мереж зв'язку. Велика увага приділяється перспективним засобам і технологіям телекомунікацій, стану та розвитку телекомунікацій, проблемам впровадження новітніх інформаційно-комунікаційних технологій, моделі прискореного розвитку телекомунікацій. Для задоволення постійно зростаючого обсягу послуг бездротового зв'язку ефективним є формування конвергентної мережі з використанням міжмережевого механізму, наприклад, ресурсів різнорідних бездротових мереж для ефективної координації. Незважаючи на потенційні переваги конвергентної мережі, її продуктивність потребує подальшого поліпшення, особливо на кордонах стільникових мереж і в сільській місцевості, де доступна лише одна мережа.

Конвергенція зумовлена бажанням мати однорідну інфраструктуру для певних послуг, навіть якщо ці послуги підтримуються різними технічними рішеннями. Ці рішення можуть бути засновані на телекомунікаційних або інформаційних технологіях. Важливо зазначити, що конвергенція послуг також призводить до значного збільшення можливостей однієї послуги, як це відбувається, наприклад, у мультимедійному зв'язку. Природно, конвергенція послуг завжди передбачає певний рівень конвергенції технічних систем, що надають ці послуги.

У царині конвергенції мереж найбільший інтерес представляє той факт, що послуги Інтернету можуть надаватися по телефонних лініях доступу. Тому конвергенцію можна розглядати як взаємодію між телефонною мережею та Інтернетом на кордоні телефонної мережі. Надання послуг телефонії між користувачами Інтернету і користувачами телефонної мережі є однією з основних областей конвергенції мереж.

Мета і завдання дослідження. Визначити ефективність і можливості застосування конвергентних мереж доступу в сучасних телекомунікаційних системах

та інфраструктурах, зокрема в контексті підвищення швидкості передачі даних, забезпечення надійності та зниження вартості розгортання та обслуговування мереж.

Для досягнення поставленої мети вирішуються такі наукові завдання.

1. проаналізувати основні принципи та характеристики конвергентних мереж доступу, включаючи технології, стандарти та протоколи, що використовуються.
2. вивчити сучасні тенденції та розвиток конвергентних мереж доступу, включаючи нові технології та інновації.
3. проаналізувати переваги та недоліки конвергентних мереж доступу порівняно з традиційними підходами до мережевого з'єднання.
4. дослідити вплив конвергентних мереж доступу на швидкість передачі даних, надійність та загальну продуктивність мережі.
5. проаналізувати вартість розгортання, обслуговування та підтримки конвергентних мереж доступу порівняно з традиційними підходами.
6. виконати експериментальне дослідження, використовуючи реальні або симульовані середовища, для оцінки ефективності та продуктивності конвергентних мереж доступу.

Об'єктом дослідження – це мережа, яку треба модернізувати. Запропонувати рекомендації щодо оптимального використання конвергентних мереж доступу з урахуванням особливостей конкретних сценаріїв інфраструктури та потреб користувачів.

Предметом дослідження – технологія Metro Ethernet, за допомогою якої проводиться модернізація мережі. Цей предмет дослідження спрямований на отримання всебічного розуміння конвергентних мереж доступу, їх можливостей та переваг, що дозволить зробити висновки про доцільність та ефективність їх використання в реальних умовах.

Методи досліджень. Проведені в роботі дослідження ґрунтуються на математичній статистиці та моделюванні.

Практичне значення отриманих результатів.

Матеріали кваліфікаційної роботи рекомендується використовувати в мережах широкосмугового доступу для розрахунку кількості обладнання, а також кількості та довжини ліній зв'язку від абонента до регіональної транспортної мережі.

Апробація отриманих результатів. Основні положення роботи доповідалися та обговорювалися на таких конференціях:

- Науково-практична конференція «Проблеми експлуатації та захисту інформаційно-комунікаційних систем», м. Київ, 2023 р.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНА ІНФОРМАЦІЯ ПРО КОНВЕРГЕНТНУ МЕРЕЖУ ДОСТУПУ

1.1. Багаторівневе представлення концепції конвергенції

Телекомунікаційні мережі є високоорганізованою частиною інфраструктури сучасного суспільства. При цьому, володіючи високими показниками надійності, стійкості, пропускної спроможності, швидкості передавання, безпеки, телекомунікаційні мережі повинні гарантувати надійне якісне передавання необхідної інформації в будь-який час доби між будь-якими географічними точками. У процесі своєї еволюції будь-яка технічна система досягає тієї стадії життєвого циклу, коли резерви її подальшого розвитку визначаються ступенем і якістю використання досягнень інформаційних технологій.

Рушійною силою конвергенції в інформаційно-телекомунікаційних системах є розробка нових і вдосконалення наявних послуг. Конвергенція фіксованих і мобільних інформаційно-телекомунікаційних платформ і мереж - це технологія спільного використання ресурсів мереж мобільного та фіксованого зв'язку для надання єдиного безперервного сервісу користувачеві незалежно від його місцезнаходження, а також для організації єдиної послуги та єдиного тарифу на обслуговування.

Конвергенція бездротових мереж - це багатовимірна концепція, що об'єднує інформаційну та телекомунікаційну інфраструктуру, додатки, користувацькі інтерфейси та засоби управління, а також мережі, призначені для підтримки передавання голосу, даних і мультимедіа бездротовими мережами на базі IP.

Загальна структура являє собою багаторівневу структуру, яку можна зобразити у вигляді піраміди, представлено на рисунку 1.1.



Рис. 1.1. Багаторівневе представлення концепції конвергенції

Основу цієї піраміди становлять фізичні мережеві компоненти як фіксованих, так і мобільних мереж (базові станції, мультисистемні мобільні користувацькі термінали, точки доступу, контролери базових станцій).

Наступний рівень становлять самі мережі як набір компонентів із чітко визначеними зонами покриття та топологічними рівнями (WWAN, PAN, LAN, MAN).

Наступний рівень - це набір додатків, що забезпечують підтримку різних послуг, таких як передача даних, голосу і мультимедіа. Для доступу до всіх наявних систем необхідний користувацький інтерфейс (телефон, смартфон).

Керування мережею та послугами повної конвергенції здійснюватиметься для забезпечення очікуваного значення QoS відповідно до SLA.

Таким чином, для реалізації концепції конвергенції, з урахуванням представленої пірамідальної структури, необхідно розв'язати три основні завдання: конвергенція мереж; конвергенція послуг; конвергенція додатків.

1.2. Задачі конвергенції

Конвергенція - це виникнення схожості у структурі та функціях систем, від початку далеких одна від одної за походженням і призначенням. Існують три аспекти

конвергенції, наведені на рисунку 1.2.



Рис. 1.2. Задачі конвергенції

На рівні конвергенції мереж експлуатаційні витрати знижуються завдяки об'єднанню різних фіксованих і мобільних телекомунікаційних мереж у єдину магістральну мережу IP/MPLS, яка підтримує широкий спектр методів доступу: традиційну телефонію, DSL, виділені лінії, мультисервісні мережі Metro Ethernet, бездротові мережі (WLAN) і мережі широкосмугового радіодоступу в мережах мобільних операторів.

Конвергенція магістральних мереж і мереж доступу є найбільш очевидним і добре розробленим етапом процесу об'єднання фіксованих і мобільних платформ. Ця концепція також охоплює конвергенцію фіксованих і мобільних мереж, зокрема для передавання значних обсягів голосового трафіку єдиною IP-магістраллю, якою передаються широкосмугові дані, послуги GPRS і UMTS - так званий IP backhaul.

Для мобільних операторів конвергентні мережі зазвичай починаються з перенесення трафіку SMS і MMS з традиційних платформ і мереж сигналізації в IP-мережу, що прискорює конвергенцію протоколів сигналізації з IP. Завдяки передачі трафіку мережі радіодоступу 5G оптимізованою мережею доступу IP конвергенція мереж забезпечує глибину проникнення на всьому шляху до мережі доступу мобільного оператора.

Конвергенція додатків. Рівень конвергенції додатків включає в себе фактичні послуги, з якими оператори виходять на ринок і які вони мають намір представити як кінцевий продукт. Зокрема, послуги безперебійної передачі даних, що надаються через будь-яку мережу доступу, корпоративні голосові послуги з дворезимними терміналами (наприклад, Wi-Fi/GSM) тощо.

Конвергенція застосунків - це процес доставки застосунків кількома різними засобами передавання даних у форматі, що враховує відмінності у швидкостях доступу, які забезпечують ці засоби. Конвергентна область додатків підтримується і забезпечується насамперед функціональністю протоколу ініціювання сеансів (SIP), який враховує мобільність абонентів і динаміку їхнього стану на відповідних серверах.

Одним із прикладів конвергентних застосунків є одночасна доставка відеопотоку на 3G-термінал і персональний комп'ютер через мережу розподілу контенту з одного сервісного центру. У більш загальному розумінні конвергенція застосунків - це надання споживачам послуг передавання голосу, даних і відео за всіма доступними типами мереж із використанням інноваційних радіотехнологій (WiFi, WiMax, LTE) і методів інформаційних технологій.

Зокрема, так звані хмарні інформаційні технології, або "cloud computing", основною парадигмою яких є можливість розподіленого та віддаленого опрацювання й зберігання даних, що є подальшим розвитком ідей Grid-систем, мали значний вплив на розвиток інформаційних комунікацій, а особливо конвергенції. "Хмара" схожа на великий центр обробки даних (або мережу взаємопов'язаних серверів).

Використання хмарних технологій дає змогу створювати конвергентний мультимедійний контент, що слугує основою для об'єднання всіх контент-провайдерів, які оцифровують свою інформацію і передають її наявними каналами через універсальні конвергентні пристрої.

Слід зазначити, що часте використання хмарних обчислень є дешевшим і зручнішим способом розв'язання проблеми оброблення та зберігання даних, ніж підтримання власних Grid-систем і розв'язання проблеми за їхньою допомогою. Однак рішення для багатьох складних завдань уже існують за допомогою Grid-

обчислень, і було б зручно використовувати ці готові рішення в хмарних системах.

Також було б зручно використовувати хмарні системи з їхніми перевагами, як от швидке динамічне масштабування та додатковий рівень абстракції, для розроблення, налагодження та оптимізації нових Grid-додатків.

Впровадження кожного з цих рівнів дає значні переваги. Конвергенція мереж створює можливості для економії експлуатаційних і капітальних витрат, а конвергенція застосунків дає змогу створювати нові пакети послуг і покращувати маркетинг.

Конвергенція послуг. Функції управління сеансами виконуються на рівні конвергенції послуг. Саме цей рівень дає змогу розгорнути високорентабельні IP-послуги нового покоління, такі як мобільний доступ до даних, відеоконференції, голосовий зв'язок та обмін миттєвими повідомленнями.

Усвідомлення та контроль кожної сесії гарантує, що послуга доступна на будь-якому абонентському терміналі та через будь-який метод доступу, що дає змогу перемикатися між різними типами доступу без негативного впливу на активні сесії. Крім того, саме рівень конвергенції послуг гарантує, що будь-якій IP-послузі буде виділено відповідні мережеві ресурси і що на будь-яку послугу буде встановлено відповідну ціну.

Одним з основних показників функціональності конвергентної платформи є забезпечення безперервності обслуговування через кордон між фіксованими та мобільними мережами. Поняття безперервності послуг є доволі специфічним для кожного з напрямків - голосу, даних і мультимедійного трафіку.

Однак такі технології, як конвергентні голосові пристрої архітектур конвергенції голосових сесій (наприклад, UMA або IMS (IP Multimedia Subsystem)) і протоколи конвергенції сесій даних (наприклад, Mobile IP), є сполучною ланкою між фіксованими і мобільними платформами. Іншим ключовим елементом є те, що платформа, через яку надають послугу, знає про сеанси, що передаються, і може виконувати певні дії з реалізації політики незалежно від місця розташування учасників сеансу та способу доступу, чи то дротового зв'язку за допомогою xDSL, чи то мобільного передання даних за допомогою UMTS.

Конвергенція послуг - це базовий рівень, який зрештою забезпечує зручність для споживачів за рахунок безшовного передавання голосових та інформаційних сесій між фіксованим і бездротовим широкосмуговими доменами.

Водночас мережа динамічно адаптує свою політику розподілу ресурсів і забезпечення якості обслуговування, беручи до уваги мобільність терміналу і середовище передавання, у якому він перебуває на даний момент.

1.3. Технології GRID. Загальні відомості

Технологія GRID - це розподілена обчислювальна інфраструктура, що об'єднує ресурси різних типів із колективним доступом до цих ресурсів у межах віртуальних організацій, які складаються з підприємств і приватних осіб, спеціалістів і тих, хто спільно використовує ці спільні ресурси. Загальна схема GRID-системи позначена на рисунку 1.3.

Ідеологічною основою технології GRID є об'єднання ресурсів шляхом створення комп'ютерної інфраструктури нового типу, що забезпечує глобальну інтеграцію інформаційно-обчислювальних ресурсів на основі мережі технологій та спеціального проміжного програмного забезпечення (міжбазового і прикладного ПЗ), а також набору стандартних сервісів для забезпечення надійного спільного доступу до географічно розподілених інформаційно-обчислювальних ресурсів: окремих комп'ютерів, кластерів, сховищ даних і мереж. Приклад побудови GRID-системи показан на рисунку 1.4.

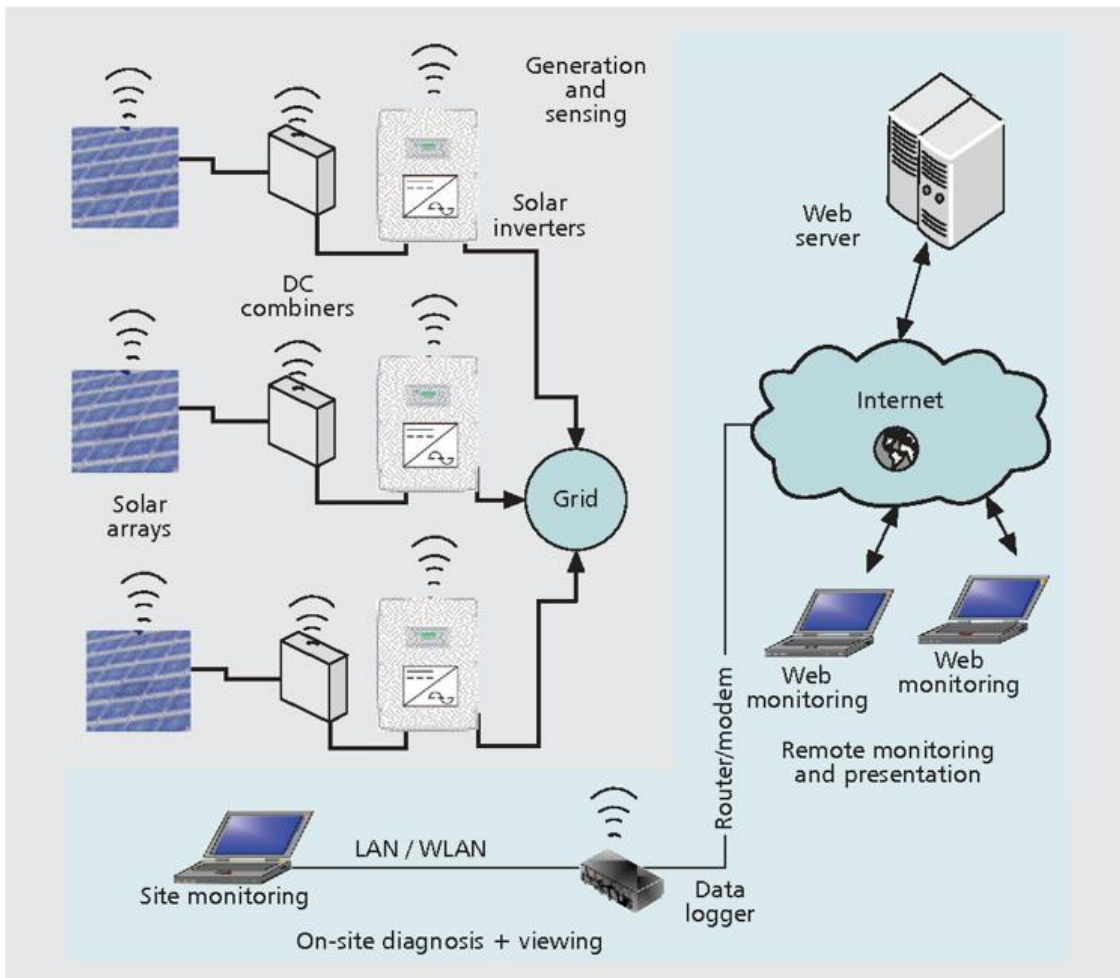


Рис. 1.3. Загальна схема GRID-системи

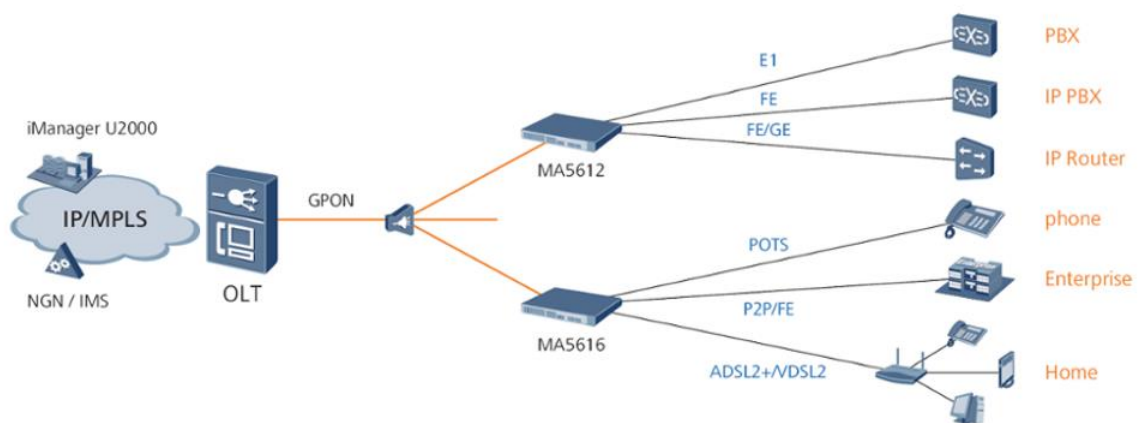


Рис. 1.4. Приклад побудови GRID-системи

GRID - це технологія для забезпечення гнучкого, безпечного та скоординованого спільного використання ресурсів. У термінології GRID набір людей і організацій, які спільно розв'язують спільну проблему або завдання і надають один одному свої ресурси, називається віртуальною організацією.

Наприклад, віртуальна організація може бути зборами всіх людей, які беруть участь у науковому об'єднанні, віртуальні організації можуть відрізнятися за складом, масштабом, часом існування, видом діяльності, цілями, відносинами між учасниками тощо. Склад віртуальних організацій може змінюватися динамічно.

Можна виділити декілька основних типів ресурсів GRID, вони зображені на рисунку 1.5.



Рис. 1.5. Типи ресурсів GRID

Обчислювальні ресурси забезпечують обчислювальну потужність користувача GRID (або, точніше, завдання користувача). Обчислювальні ресурси можуть бути як кластерами, так і окремими робочими станціями. За всієї різноманітності архітектури будь-яка комп'ютерна система може розглядатися як потенційний обчислювальний ресурс системи GRID.

Ресурси пам'яті - це простір для зберігання даних. Для доступу до ресурсів пам'яті використовується проміжне програмне забезпечення, що реалізує єдиний інтерфейс керування та передавання даних. Основною характеристикою ресурсу пам'яті є його розмір.

Особливим типом ресурсів пам'яті є інформаційні ресурси та каталоги. Вони використовуються для зберігання і надання метаданих та інформації про інші ресурси GRID. Інформаційні ресурси дають змогу зберігати величезну кількість інформації про поточний стан системи GRID у структурованому вигляді та ефективно виконувати завдання пошуку.

Мережевий ресурс - це зв'язок між розподіленими ресурсами системи GRID.

Основною характеристикою мережевого ресурсу є швидкість передачі даних. Географічно розподілені системи, засновані на цій технології, здатні об'єднувати тисячі ресурсів різних типів незалежно від їхнього географічного розташування.

1.4. Основи хмарних обчислень

Хмарні обчислення - це технологія розподіленого опрацювання даних, за якої комп'ютерні ресурси та потужності надаються користувачеві як інтернет-сервіс. Надання послуг користувачеві у вигляді інтернет-сервісу є ключовим моментом.

Однак інтернет-послугу не слід розуміти як доступ до послуги тільки через інтернет; її також можна надавати через звичайну локальну мережу з використанням веб-технологій.

Загальна структура «хмари» позначена на рисунку 1.6.

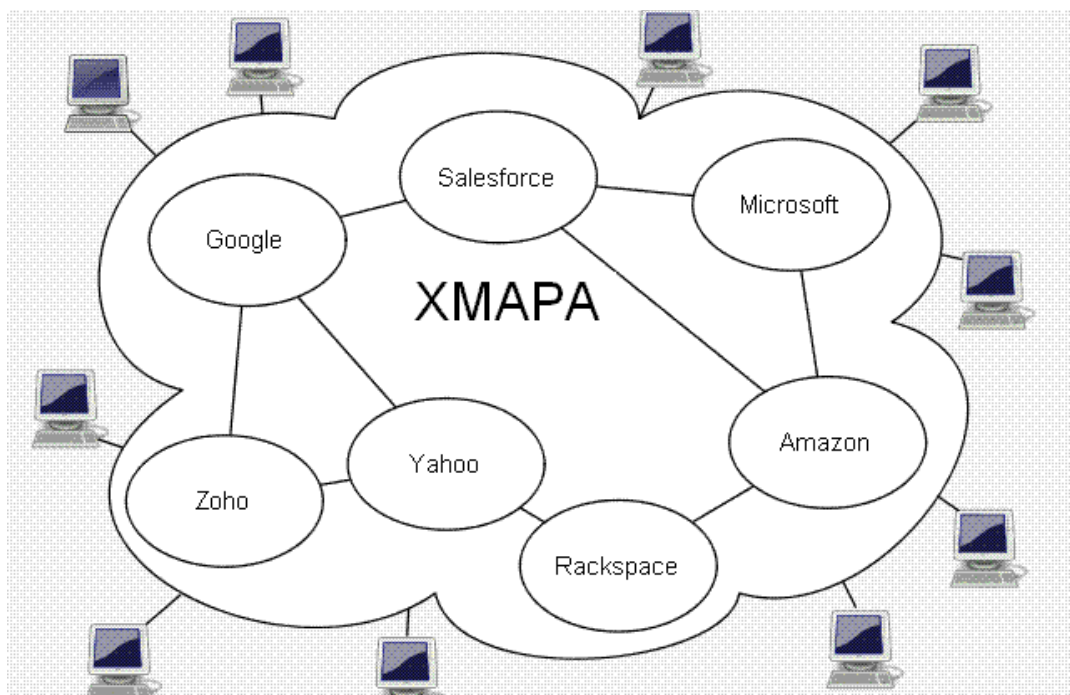


Рис. 1.6. Загальна структура «хмари»

Основою для створення і швидкого розвитку систем хмарних обчислень послужили великі інтернет-сервіси, такі як Google, Amazon та інші, а також технологічний прогрес, що, по суті, означає, що поява хмарних обчислень була лише

питанням часу.

Переваги та недоліки хмарних обчислень представлені у таблиці 1.1

Таблиця 1.1

Переваги та недоліки хмарних обчислень

Переваги	Недоліки
Доступність	Постійне з'єднання з мережею
Низька вартість	Конфіденційність
Гнучкість	Надійність
Надійність	Безпека
	Дороге обладнання

- Доступність - хмари доступні всім, з будь-якого місця, де є підключення до Інтернету, з будь-якого комп'ютера з браузером. Це дає змогу користувачам (підприємствам) економити на купівлі високопродуктивних дорогих комп'ютерів;
- Низька вартість - основними факторами використання хмари, що дали змогу знизити вартість, є такі:
 - зниження витрат на підтримку віртуальної інфраструктури;
 - оплата за фактичне використання ресурсів, користувач хмари платить за фактичне використання обчислювальних потужностей хмари, що дає змогу йому ефективно розподіляти свої кошти;
 - використання хмари на умовах оренди дає змогу користувачам скоротити витрати;
 - розробка апаратної частини комп'ютерних систем, що знижує вартість обладнання.
- Гнучкість - необмежені обчислювальні ресурси (пам'ять, процесор, диски), завдяки використанню систем віртуалізації, процес масштабування та адміністрування хмари стає доволі простим завданням, адже хмара сама може

надати вам необхідні ресурси, а ви сплачуєте лише за їхнє фактичне використання.

- Надійність - надійність "хмар", які являють собою спеціально обладнані центри оброблення даних, розташовані в спеціальному місці, дуже висока, тому що такі центри оброблення даних мають резервні джерела живлення та охорону.
- Постійне підключення до мережі - для доступу до хмарних послуг необхідне постійне підключення до Інтернету.
- Конфіденційність - конфіденційність даних, що зберігаються в публічних хмарах, сьогодні викликає багато суперечок, оскільки на сьогоднішній день не існує технології, яка б гарантувала 100% конфіденційність збережених даних.
- Надійність - що стосується надійності збереженої інформації, то можна з упевненістю сказати, що якщо ви втратите інформацію, що зберігається в хмарі, то втратите її назавжди.
- Безпека - хмара сама по собі є досить надійною системою, але під час проникнення в неї зловмисник отримує доступ до величезного сховища даних.
- Дороге обладнання - для створення власної хмари компанії необхідно виділити значні матеріальні ресурси, що не вигідно для новостворюваних і невеликих компаній.

1.5. Технології лінійної векторизації

Повсюдне прокладання оптичного кабелю (ОК) у мережах доступу - тривалий і дорогий процес, тому в найближчі 5-10 років операторам зв'язку знадобиться альтернативний варіант технології для забезпечення високошвидкісного доступу.

Технологія лінійної векторизації VDSL2 є потужним і економічно ефективним способом задоволення потреб окремих абонентів у високошвидкісному передаванні даних і сприяє вирішенню цільових державних програм із забезпечення населення

універсальним широкосмуговим доступом. Загальна схема використання VDSL2 наведена на рисунку 1.7.

Векторизація - це метод передачі, який використовує координацію лінійного сигналу для зниження рівня перехресних перешкод і підвищення продуктивності. Вона заснована на концепції шумозаглушення, дуже схожій на шумозаглушення навушників.

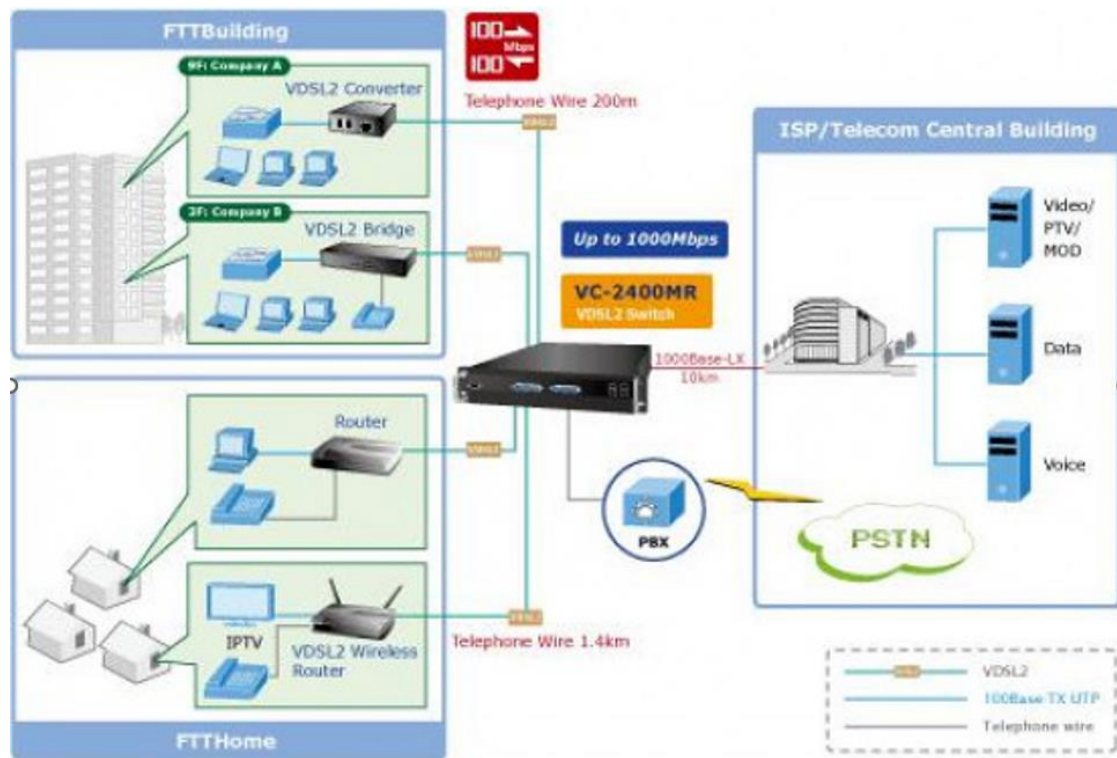


Рис. 1.7. Загальна схема використання VDSL2

Стандарт ITU-T G.993.5 "Self-FEXT шумозаглушення для використання з передавачами VDSL2" (2010), також відомий як G.vector, описує векторизацію VDSL2. Принцип роботи FEXT показан на рисунку 1.8.

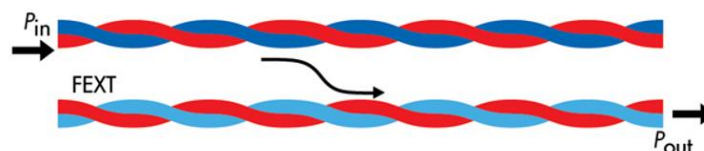


Рис. 1.8. Принцип роботи FEXT

Найчастіше мідні пари, якими передається сигнал VDSL2, є елементами одного

телефонного кабелю, який інколи розгалужується на більш дрібні кабелі. Серцевина телефонного кабелю може містити від десяти до кількох сотень пар, розташованих дуже близько одна до одної. Таке близьке розташування призводить до перехресних наведень, і що більше пар у кабелі, то вищий рівень взаємних електромагнітних завад, основна причина того, що швидкість у реальних лініях зв'язку значно нижча за теоретичний максимум. Векторизація дає змогу кожній парі передавати сигнал ніби без інших, ізольовано, тобто без перехресних наведень.

Усунення перешкод у парі досягається шляхом вимірювання перехресних наведень від інших пар і генерування позафазного сигналу, що призводить до практично нульової інтерференції.

1.6. Основні технології конвергентних послуг

Мобільність і технології надання послуг є ключовими компонентами інфраструктури для конвергентних послуг. Основні технології представлені на рисунку 1.9.

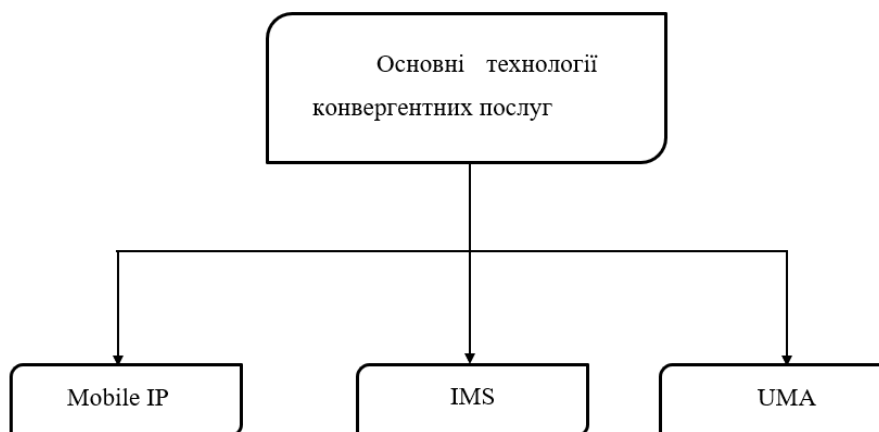


Рис. 1.9. Основні технології конвергентних послуг

Мобільний IP - це відкритий стандарт, визначений робочою групою з розробки Інтернету (IETF) у RFC 2002. Топологію Mobile IP показано на рисунку 1.10. Стандарт дає змогу підтримувати постійну IP-адресу, не розривати з'єднання і забезпечувати безперебійну роботу застосунків, коли користувачі переміщуються

між IP-мережами. Технологія Mobile IP масштабується по всьому Інтернету, оскільки вона заснована на протоколі IP, і будь-який пристрій із підтримкою IP також підтримує Mobile IP.

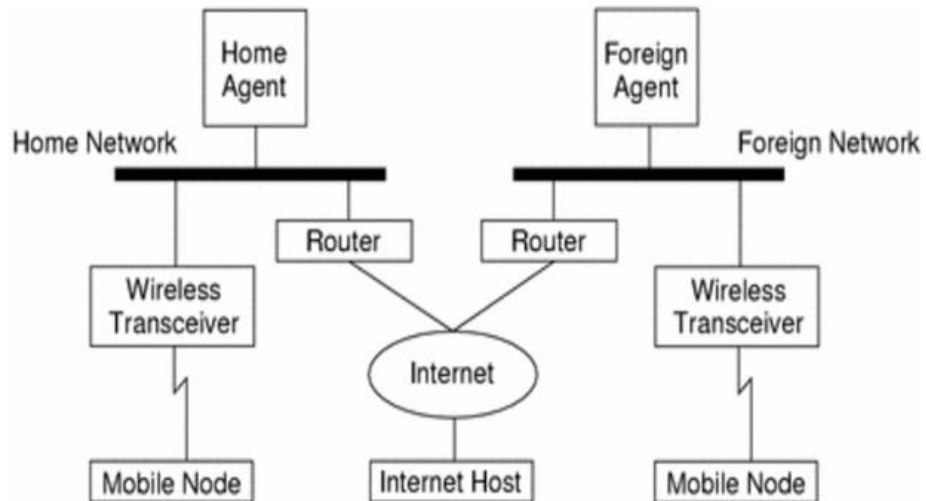


Рис. 1.10. Топологія Mobile IP

Мобільний IP забезпечує повсюдний зв'язок для користувачів, незалежно від того, під'єднані вони фізично до корпоративної мережі чи працюють віддалено з дому. Мобільний IP є невід'ємною частиною стандартів IPv4 і IPv6. Відмінності між IPv4 й IPv6 представлені на рисунку 1.11.

IPv4	IPv6
Address Size: 32-bit number	Address Size: 128-bit number
Address Format: Dotted Decimal Notation: 192.168.1.1	Address Format: Hexadecimal Notation: fe80::94db:946e:8d4e:129e
Prefix Notation: 255.255.255.0 /24	Prefix Notation: /64
Number of addresses: $2^{32} = 4,294,967,296$	Number of addresses: $2^{128} =$ 340,282,366,920,938,463,463,374,607, 431,768,211,456

Рис. 1.11. Відмінності між IPv4 та IPv6

Принцип, що лежить в основі концепції IMS, полягає в тому, що надання будь-якої послуги жодним чином не пов'язане з інфраструктурою зв'язку (за винятком обмежень пропускної здатності). Втіленням цього принципу є багаторівневий підхід, який використовується під час побудови IMS.

Своєю чергою, технологія IMS орієнтована на використання протоколу SIP, який наразі підтримується широким спектром призначеного для користувача та мережевого обладнання. Тому впровадження технології IMS краще в довгостроковій перспективі.

Платформа IMS може використовуватися з будь-яким користувацьким обладнанням, що підтримує стандартний протокол SIP. Це означає, що коли абонент залишає зону покриття мережі Wi-Fi, виклик переривається, і користувач повинен повторно набрати номер. Архітектура IMS представлена на рисунку 1.12.

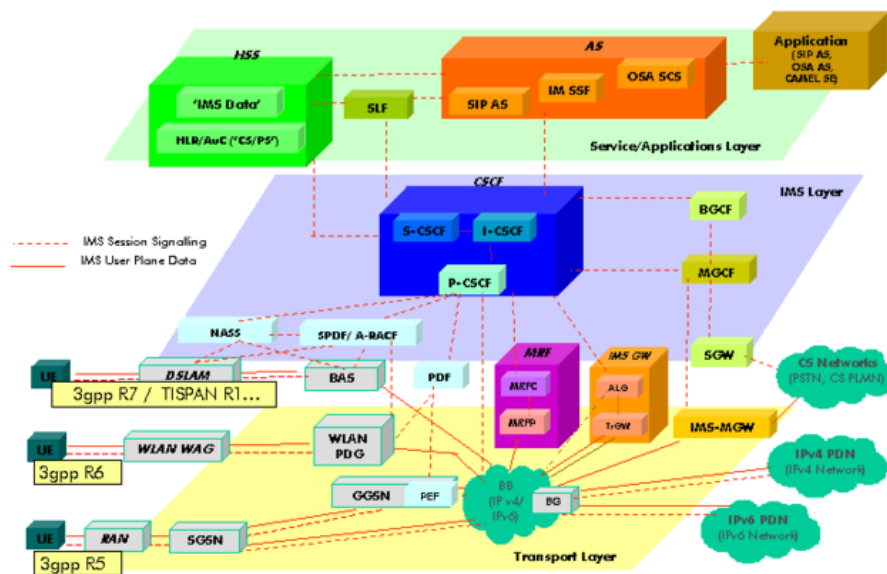


Рис. 1.12. Архітектура IMS

Сьогодні багато операторів зв'язку вважають за краще впроваджувати обладнання UMA, яке дешевше і простіше, ніж обладнання IMS. Водночас низка операторів оголосили про значні інвестиції в обладнання IMS. Оператори діляться на прихильників технології IMS і прихильників технології UMA. Перші вважають, що

технологія UMA не підходить для широкомасштабного впровадження конвергентних послуг. Архітектура UMA представлена на рисунку 1.13.

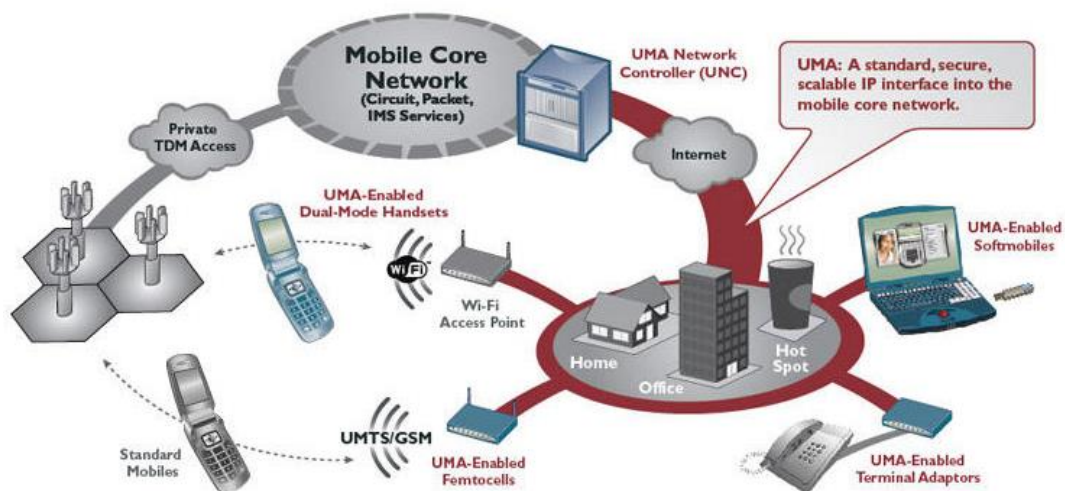


Рис. 1.13. Архітектура UMA

Основним недоліком технології UMA є використання пропрієтарного протоколу для сполучення користувацького обладнання та контролерів UNC. Цей протокол зручний для операторів мобільного зв'язку, але його складно інтегрувати з корпоративними АТС, що використовують SIP. Це одна з причин, через яку низка операторів орієнтують свої послуги насамперед на користувачів звичайного житлового сектора, а не корпоративного. Іншими словами, технологія UMA має обмежену сферу застосування.

Однак прихильники технології UMA вважають, що UMA забезпечує більш коректний сценарій роумінгу між мобільними та Wi-Fi мережами. Найбільш істотною перевагою технології UMA є можливість абонента переходити з мережі Wi-Fi в мобільну мережу і назад без втрати з'єднання (наприклад, не перериваючи телефонний дзвінок). Це досягається за рахунок використання спеціального призначеного для користувача обладнання, сумісного з технологією UMA.

Крім того, завершено стандартизацію технології UMA, розпочато розробку другої версії, eUMA, і комерційні версії обладнання вже представлені на ринку.

1.7. Проблематика впровадження конвергенції

Ідея реалізації повністю заснована на пакетних IP-мережах. У результаті тим операторам мобільного зв'язку, які почали впроваджувати подібні рішення, доведеться в короткі терміни адаптувати свою інфраструктуру для підтримки IP. Таким чином, існує необхідність переходу на WiMAX або IMS у найближчі роки. Крім того, необхідно вирішити наявні проблеми з безпекою та підтримкою мережі. Своєю чергою, динамічне зростання попиту спостерігатиметься тільки після впровадження відповідних конвергентних телефонів/терміналів і технологій бездротового передавання даних.

Сьогодні в багатьох випадках сигнал Wi-Fi втрачається приблизно за 30 метрів від будинку, і телефон перемикається назад у мережу передачі мобільних даних, що збільшує вартість підтримки користувача. Таким чином, мобільні оператори будуть змушені співпрацювати зі своїми колегами з фіксованого зв'язку ще й тому, що користувачам потрібен більш швидкий і дешевий доступ в Інтернет.

Сьогодні передача даних є однією з найважливіших дій, які виконують користувачі стільникових телефонів, крім традиційних розмов. Співпраця між операторами в цьому випадку неминуча.

Конвергенція мережі означає створення єдиної інфраструктури для надання користувачам фіксованих, мобільних і конвергентних послуг. У такій мережі користувачі, підключені через стаціонарні та мобільні системи, мають доступ до всіх пропонованих послуг у режимі реального часу.

Фокус на системах конвергенції, пов'язаний із побудовою ширококутних мереж наступного покоління NGN (архітектуру NGN представлено на рисунку 1.14) та впровадженням мультимедійної IP-підсистеми (IMS), зумовлений розумінням виробників, інтеграторів і операторів зв'язку, що майбутнє не за технологіями, а за послугами зв'язку, і що абонента цікавить не спосіб та засоби їхнього доставлення, а однаковий та якісний сервіс, який надають незалежно від місцезнаходження користувача, типу мережі, що використовують, і клієнтського терміналу.

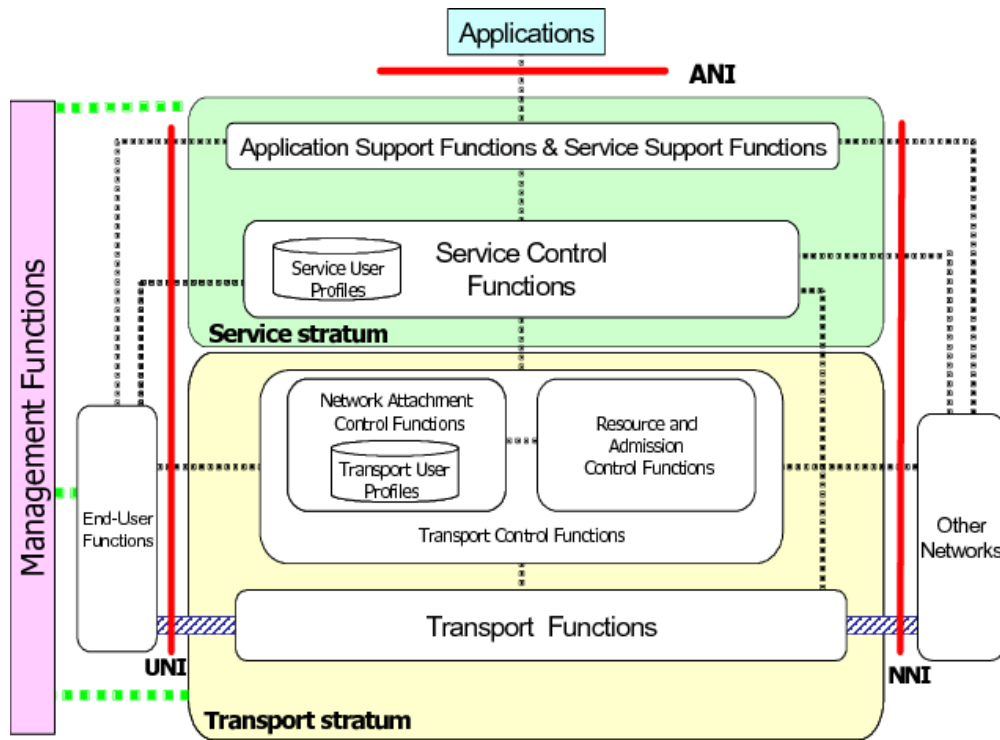


Рис. 1.14. Архітектура NGN

Акцент при впровадженні цієї системи робиться на послугах. Однією з найочевидніших послуг, пропонованих у рамках концепції конвергенції, є організація віртуальної приватної мережі (VPN), зокрема географічно розподіленої, що може включати як стаціонарні, так і мобільні телефони, об'єднані спільним планом набору номера. Архітектура VPN предсталена на рисунку 1.15.

У результаті співробітники однієї й тієї самої компанії можуть телефонувати в офіс із мобільного телефону на внутрішні номери і використовувати скорочений набір під час дзвінків з офісу на мобільний телефон.

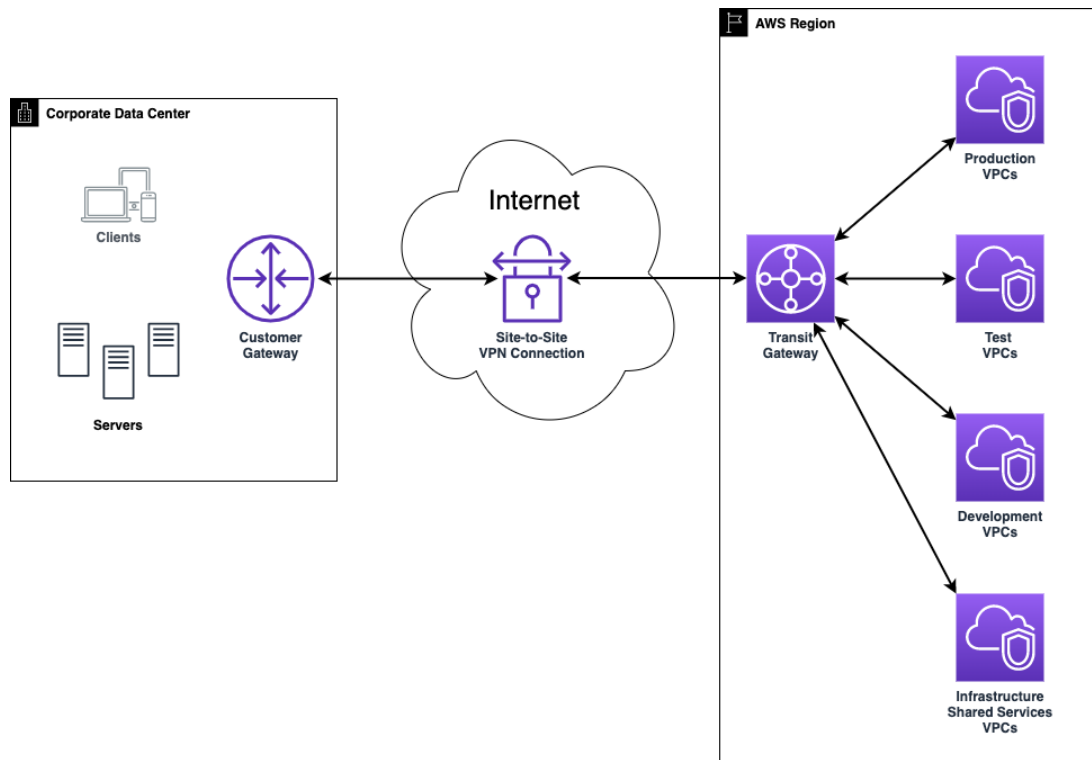


Рис. 1.15. Архітектура VPN

Наступна функціональність конвергентної системи - забезпечення мобільності користувача, за умови, що користувач ідентифікується на будь-якому терміналі і йому надається знайоме (абоненту) віртуальне середовище VNE. Архітектура VNE представлена на рисунку 1.16.

Водночас зображення VNE (меню, інформаційні вікна тощо) має автоматично масштабуватися відповідно до розміру та інших характеристик екрана клієнтського пристрою. Реалізація такої функції не є тривіальною, особливо в глобальному масштабі з огляду на різноманітність клієнтських пристроїв та їхній широкий дизайн.

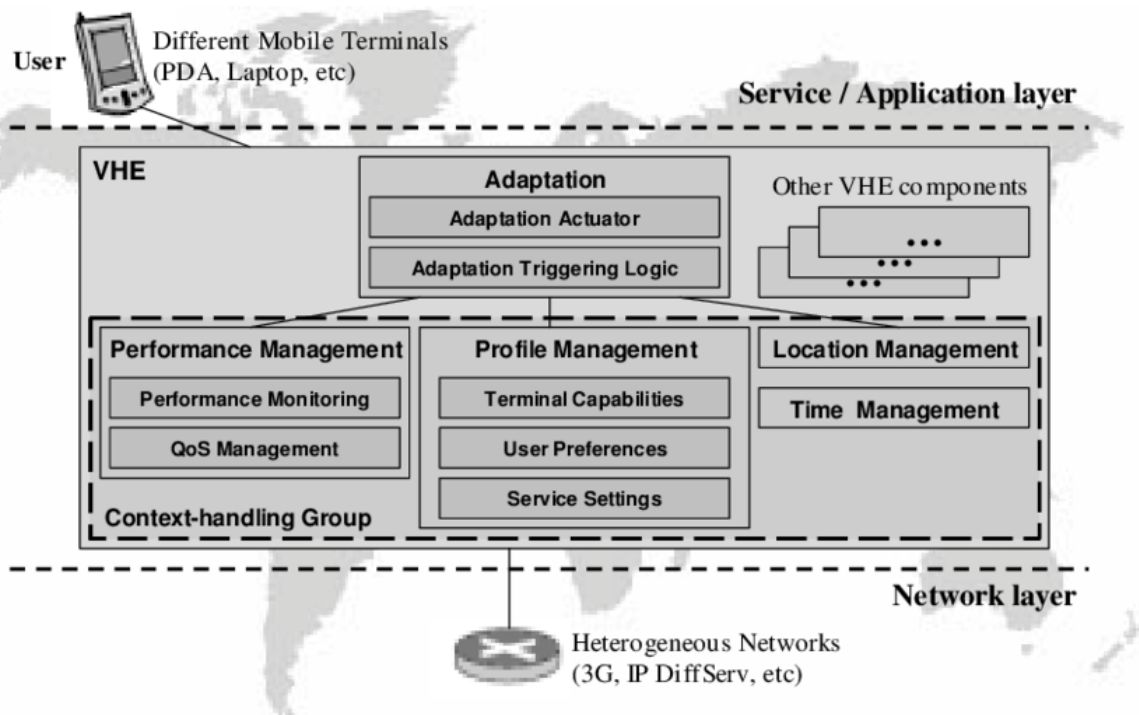


Рис. 1.16. Архітектура VHE

1.8. Загальні дані про FTТА

FTТА - це архітектура бездротової мережі, в якій оптичне волокно прокладається по всій висоті вежі, замінюючи більшу частину того, що традиційно виконувалося за допомогою важкого коаксіального кабелю. Архітектура FTТА представлена на рисунку 1.17. Важливі компоненти, такі як віддалені радіоблоки (RRU), також розміщуються на вершині вежі, а не в її основі.

У конфігурації FTТА блок базового діапазону (BBU), розташований в нижній частині вежі, підключається через волоконно-оптичну антену до віддаленої радіоголовки (RRH), розташованої поруч з антенами у верхній частині вежі. RRH перетворює цифрові сигнали в аналогові, а короткий проміжок між RRH і антеною все ще з'єднується за допомогою традиційного коаксіального кабелю.

Стрімке зростання кількості смартфонів і планшетів вимагає все більшої пропускної здатності стільникового зв'язку, а зростаючі вимоги до інфраструктури стільникового зв'язку часто недооцінюються.

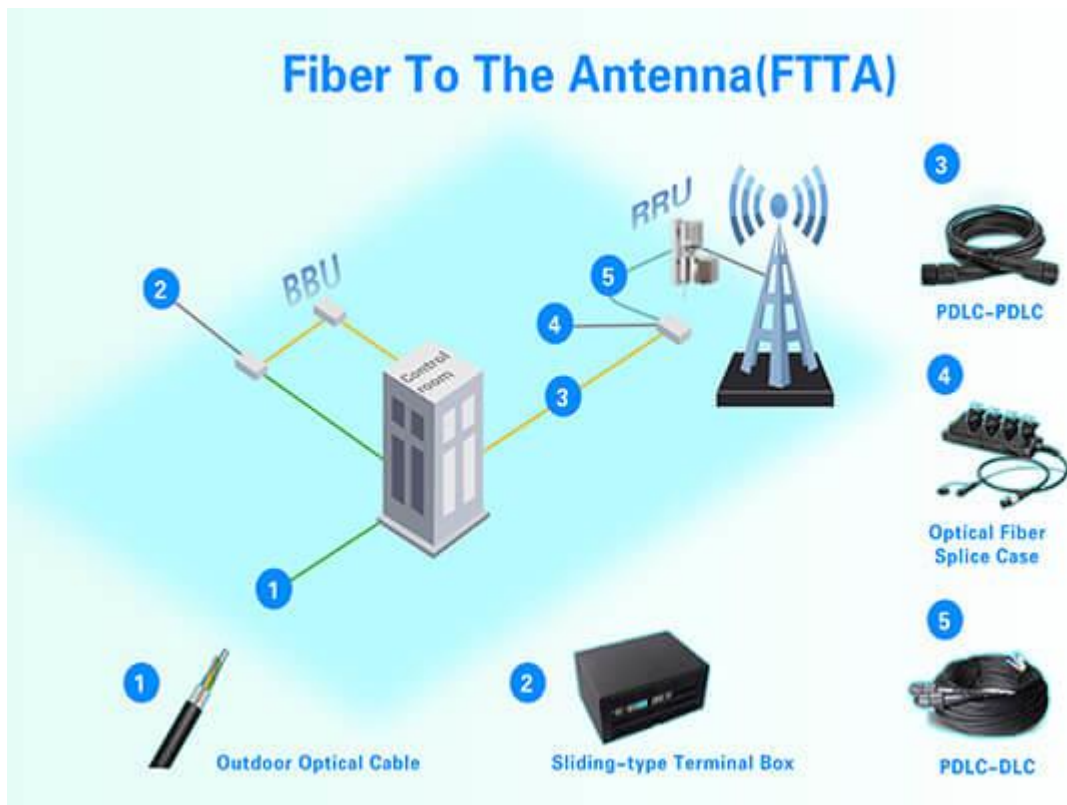


Рис. 1.17. Архітектура FTТА

Термін "стілниковий" походить від інноваційного способу, в який мережі антенних веж забезпечують безперервне покриття, використовуючи систему частотних зон або "стілників". Кожна комірка обслуговується центральною антеною і визначається відповідним діапазоном передачі. Збільшення доступної пропускної здатності вимагає більшої кількості стільників і, відповідно, більшої кількості антен.

Ці антени, природно, потребують прокладання кабелів до веж для підключення до високої частоти і живлення, тому використання більш ефективного оптичного волокна для завершення цих з'єднань стало змінною парадигмою в архітектурі широкопasmової антени.

Постійно зростаючий попит на пропускну здатність робить оптимізовану безперервну роботу установок FTТА більш важливою, ніж будь-коли. Тестування має важливе значення під час будівництва, активації та технічного обслуговування. Належне тестування на кожному з цих етапів може звести до мінімуму усунення несправностей і час простою в майбутньому.

Встановлення FTТА може бути небезпечним і складним процесом. На додаток

до небезпеки, пов'язаної з підйомом на вежу і висотними роботами, радіочастотна енергія від самих антен може стати небезпечною при тривалому впливі.

Пошук і усунення несправностей, ремонт і виправлення означають додаткові підйоми на вежу. Ретельне тестування FTТА під час і після будівництва може значно зменшити цей небажаний вплив небезпек. Сертифікація та навчання спеціалізованим процесам та інструментам тестування FTТА може бути надзвичайно корисною для технічного персоналу.

Споживчий попит і технологічний прогрес продовжуватимуть кидати виклик інфраструктурі ширококутового зв'язку і вимагатимуть більше інновацій. Оскільки поступові вдосконалення, такі як активні антени, інтегровані з RRH, що усувають потребу в коаксіальному кабелі, технологія малих стільників і будівництво веж, продовжують розвиватися, можна з упевненістю припустити, що майбутнє оптоволоконна до антени може принести ще кілька сюрпризів.

Поява бездротового зв'язку 5G зі швидкістю з'єднання до 100 разів вищою, ніж у 4G, вимагатиме більшої кількості малих стільникових сайтів/DAS, а також покращення пропускної здатності звичайних антенних веж. Волоконна оптика продовжуватиме забезпечувати життєдіяльність цієї мережі, що постійно розвивається, тому що тільки оптика може підтримувати транзит цих малих стільникових вузлів, що виникають в результаті інтенсивного поширення трафіку.

Технологія "волокно до антени" (FTТА) стала неоціненним досягненням в архітектурі ширококутового зв'язку, що дозволило розширити покриття, не відстаючи від ненаситного попиту. Продовжуючи послідовно дотримуватися найкращих практик встановлення та тестування оптоволоконна, ми зможемо і надалі задовольняти зростаючі вимоги нашого "стільникового" суспільства.

Щоб успішно протестувати установку FTТА, всі окремі елементи повинні бути протестовані окремо, а потім знову як система або підсистема, щоб переконатися, що всі важливі частини системи працюють оптимально. Ретельне планування процесу тестування особливо важливе, оскільки встановлення може виконуватися окремими етапами.

Основною вимогою до характеристик оптичного кабелю є його чистота, і

перевірку чистоти найкраще проводити шляхом огляду. Наконечники конектора слід оглянути на наявність подряпин під оптоволоконним мікроскопом. Так само зону серцевини волокна і оболонку слід оглянути під збільшенням, щоб переконатися, що вони чисті і не пошкоджені. У разі виявлення бруду або забруднення сполучні поверхні можна очистити, а потім повторно оглянути, поки вони не стануть придатними для використання.

Після того, як буде забезпечено чистоту кожного з'єднання, перед початком монтажу необхідно перевірити безперервність і внесені втрати кожної кабельної траси. Візуальний локатор пошкоджень (VFL) - чудовий інструмент для перевірки безперервності та цілісності волокна. Він представлений на рисунку 1.18.



Рис. 1.18. Візуальний локатор пошкоджень

Як і кабелі, RRH і VBU слід тестувати окремо перед тестуванням системи. Перед встановленням цього обладнання у вежу рекомендується перевірити рівні потужності активного обладнання.

Оптичний рефлектометр (OTDR) - це інструмент, який використовується для створення віртуального "зображення" траси оптоволоконного кабелю. Він представлений на рисунку 1.19.

Рефлектометр може надати цінну інформацію про цілісність волокон, а також

про будь-які з'єднання і зрощування по всій довжині кабельної траси. Рефлектометр - це односторонній інструмент, який можна використовувати для перевірки цілісності кабелю, а також для усунення неполадок у кабельних трасах FTТА, тим самим зводячи до мінімуму додаткові підйоми на опори.

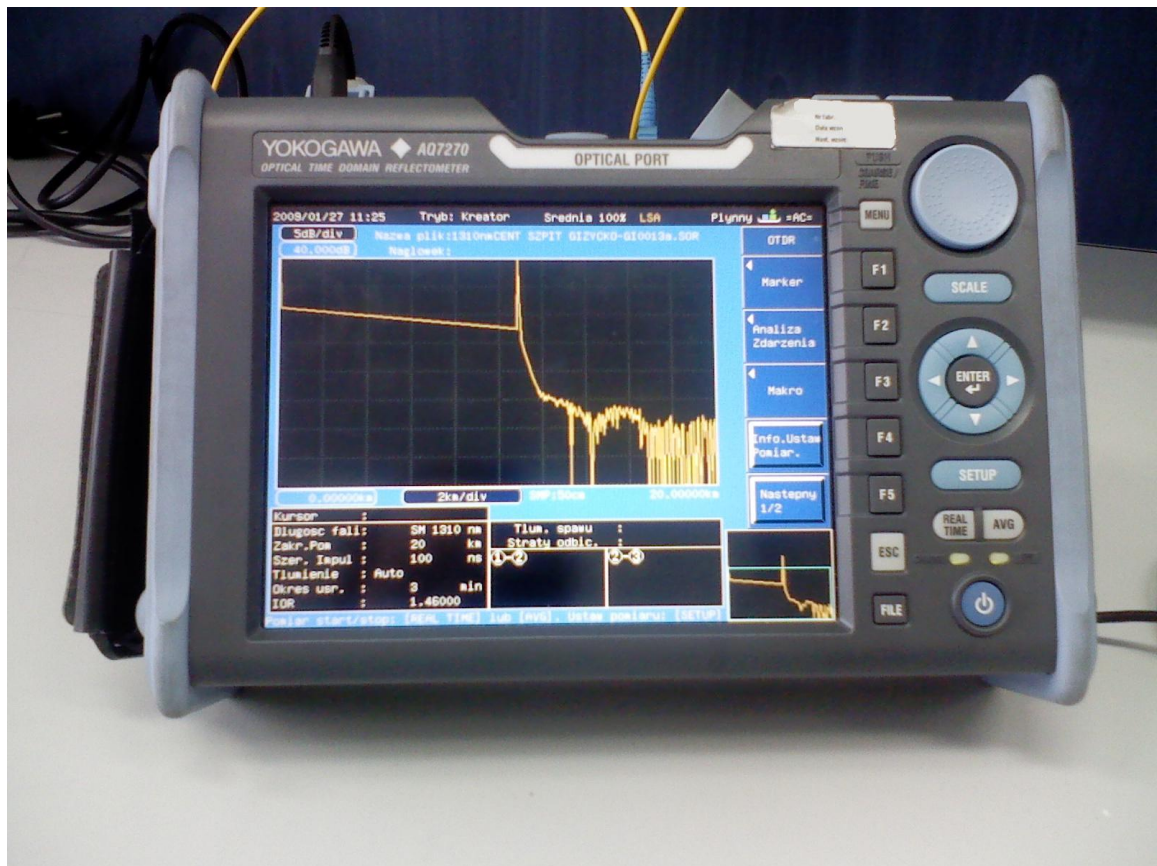


Рис. 1.19. Оптичний рефлектометр

Колись призначений для використання здебільшого для далекомагістральних застосувань, рефлектометр тепер можна використовувати для діагностики набагато коротших маршрутів, пов'язаних із FTТА. Під час будівництва рефлектометр також можна використовувати для вимірювання втрат і відбиття від RRH і VBU окремо з використанням пускових кабелів довжиною 10-20 метрів. У цьому разі рефлектометр може стати безцінним інструментом для технічного обслуговування, гарантуючи, що загальні втрати та коефіцієнт відбиття на роз'єм залишаються стабільними та перебувають у допустимих межах.

У вузлі стільникового зв'язку FTТА використовуються як коаксіальні, так і оптоволоконні кабелі, хоча роль коаксіального кабелю тепер зводиться до коротких

перемичок між RRH та антеною, проте, всебічна перевірка стільникового вузла потребуватиме зворотних втрат або коефіцієнтів стоячої хвилі за напругою (КСВН), відстань до несправності та випробування потужності переданого радіочастотного сигналу; а для волоконно-оптичних фідерів важливими є оптичні та оптоволоконні метрики, зокрема оптична передана потужність і тести огляду волокна. На додаток до цього, для забезпечення якості обслуговування також потрібні тести на відповідність, пов'язані з цілісністю сигналу, включно з радіочастотними характеристиками, аналізом перешкод і якістю модуляції.

Оскільки вся радіочастотна інформація тепер передається по оптоволокну між RRH і BBU, тестові рішення, що підтримують технологію RF over CPRI (RFoCPRI), можуть скасувати відображення радіочастотних компонентів з CPRI. Технологія RFoCPRI перевіряє керуючі сигнали CPRI і витягує трафік користувальницької площини або дані RF (IQ), які передають між BBU і RRH, що дає змогу відстежувати й аналізувати сигнали перешкод на мобільних пристроях (висхідний канал), а також характеристики радіосигналу (низхідний канал).

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

Конвергенція породжує нову сходинку у розвитку телекомунікацій, обумовлену можливістю доступу до інформації “у будь-який час, у будь-якому місці, з будь-якого пристрою”. Рушійною силою конвергенції в інформаційних і телекомунікаційних системах є розробка нових і вдосконалення наявних послуг.

Конвергенція фіксованих і мобільних інформаційно-телекомунікаційних платформ і мереж - це технологія спільного використання ресурсів мобільних і фіксованих мереж зв'язку для надання єдиного, безперебійного сервісу користувачам незалежно від їхнього місцезнаходження, а також для організації єдиної послуги та єдиної плати за обслуговування.

Складність реалізації концепції конвергенції породжує низку конкуруючих підходів, методів і технологій, які ще потребують наукового обґрунтування.

У найближчому майбутньому повністю зникнуть відмінності в магістральних

частинах фіксованих і мобільних мереж, настане етап впровадження конвергенції - концепції технології mobile-only user, що ознаменує новий етап у розвитку інформаційних комунікацій.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ПРИ ПОБУДОВІ МЕРЕЖ ШПД

2.1. Побудова схем за методикою Metro Ethernet

Побудова мережей Metro Ethernet – це один із найперспективніших рішень для операторів зв'язку, які будують високошвиднісні мережі, що орієнтовані на наданні як традиційних послуг передачі даних, так і мультимедійні послуг.

Для побудови мереж для міста або регіона використовують оптичні лінії зв'язку. Це рішення приймається для об'єднання різних сегментів мережей ШПД в єдину мережу.

Схема побудови мережі приведена на рисунку 2.1. На ньому показано, що загальне ядро мережі зроблено за допомогою технології IP/MPLS, де маршрутизатори одночасно є граничними маршрутизаторами PE і маршрутизаторами типу P. На рисунку зображен рівень агрегації у вигляді сукупності комутаторів постаг-регації K1-K8, до яких підключені малі комутатори, що підключають сегменти мереж ШПД. Комутатори K1, K2, K4, K6 і K8 агрегують трафік міської мережі, а комутатори K3, K5 і K6 – агрегують навантаження регіональних мереж ШПД. Також можна побачити, що до маршрутизаторів підключені комутатори постагрегації регіональної і міської мереж.

При побудові мережей ШПД, розрахунок об'ємів обладнання і ліній зв'язку включає в себе два основних етапа:

- Розрахунок мережі доступу
- Розрахунок транспортної мережі адміністративного центра і регіональної транспортної мережі

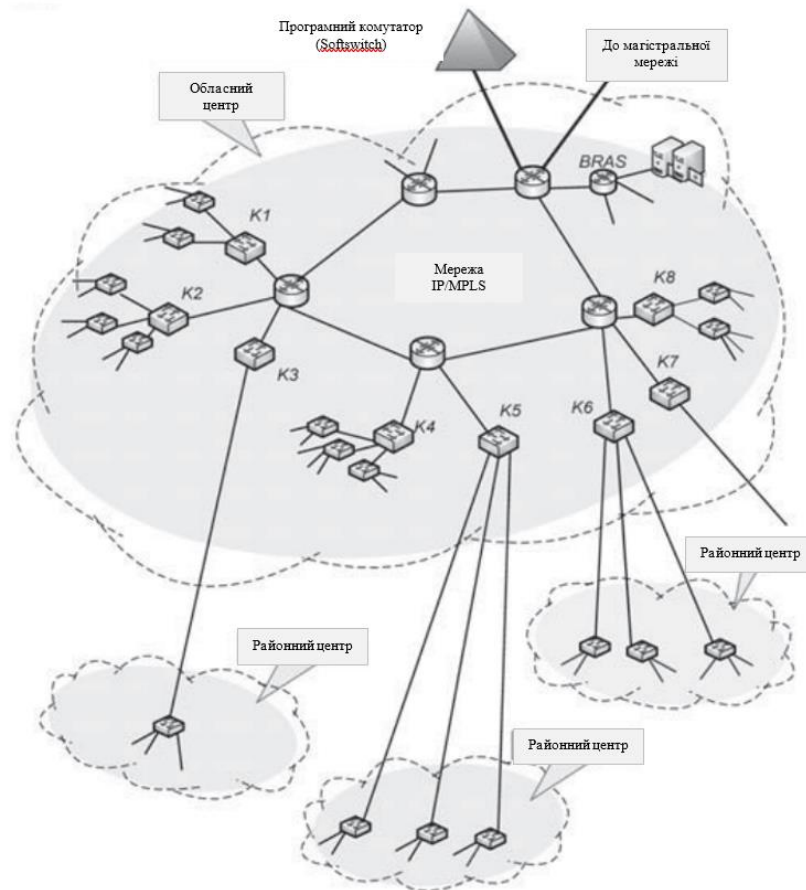


Рис. 2.1. Побудова регіональної мережі за технологією Metro Ethernet

2.2. Розрахунок об'ємів обладнання і ліній зв'язку для мереж ШПД

Вихідні дані для розрахунку:

- Абонентська база на мережі доступу, що розділена за технологіями
- Відсоток абонентського обладнання і ліній зв'язку ($V_{0\text{абон.}}$)
- Відсоток використаного групового обладнання і ліній зв'язку ($V_{0\text{груп.}}$)
- Середня протяжність ліній зв'язку від вузла зв'язку до абонента (від вузла до виносу R , від виносу до будівлі абонента r)
- Середня протяжність домашньої розподільної мережі (t)
- Ключові параметри обладнання

Результатом розрахунку будуть: список, кількість і продуктивність обладнання мережі доступу, агрегації і ядра, а також тип і протяжність ліній мережі.

У методиці вважається, що мережі доступу можуть бути зроблені на основі технологій xDSL (наприклад, VDSL2 на основі MSAN – архітектура FTTH), Ethernet (FTTB), GPON (архітектура FTTH).

Формули для розрахунку об'ємів обладнання і ліній зв'язку по даним технологіям представлені у таблицях 2.1-2.3.

Таблиця 2.1

Формули розрахунку для технології VDSL2

Обладнання/лінії зв'язку	Розрахунок
Домашній шлюз	$CPE = N * BO_{\text{абон}}$
MSAN	$MSAN = \frac{N * BO_{\text{групп}}}{MSAN_T * Use_{\text{обор}}}$
Комутатор агрегації	$EAgS = \frac{BO_{\text{групп}} * OK}{EAgS_T}$
BRAS/BNG	$BRAS = \frac{N * BO_{\text{групп}}}{BRAS_T * Use_{\text{обор}}}$
Мідний кабель (зовнішній), км	$(R + r) * \frac{MSAN * BO_{\text{групп}}}{Cup_T * Use_{\text{ліміт}}}$
Мідний кабель домашньої розподільної мережі, км	$t * CPE$

Таблиця 2.2

Формули розрахунку для технології ETTB

Обладнання/лінії зв'язку	Розрахунок
Домашній шлюз	$CPE = N * BO_{\text{абон}}$
EAS	$EAS = \frac{CPE}{EAS_T}$
Комутатор агрегації	$EAgS = \frac{BO_{\text{групп}} * OK}{EAgS_T}$

Закінчення таблиці 2.2

BRAS/BNG	$BRAS = \frac{N * BO_{\text{груп}}}{BRAS_T * Use_{\text{обор}}}$
Оптичний кабель, км	$(R + r) * \frac{2 * (N * BO_{\text{груп}} / EAS_T)}{BOK_T * Use_{\text{ліміт}}}$
Мідний кабель UTP домашньої розподільної мережі, км	$t * CPE$

Таблиця 2.3

Формули розрахунків для технології GPON (FTTH), без урахування вимог до пропускної здатності

Обладнання/лінії зв'язку	Розрахунок
ONT	$ONT = N * BO_{\text{абон}}$
Спліттери	$SPLT = \frac{BO_{\text{груп}} * N}{SPLT_T}$
OLT	$OLT = \frac{BO_{\text{груп}} * N}{OLT_T * Use_{\text{обор}}}$
Комутатор агрегації	$EAgS = \frac{BO_{\text{груп}} * N}{EAgS_T * Use_{\text{обор}}}$
BRAS/BNG	$BRAS = \frac{N * BO_{\text{груп}}}{BRAS_T * Use_{\text{обор}}}$
Оптичний кабель, км	$R * \frac{SPLT}{BOK_{\text{Group}}_T * Use_{\text{ліміт}}}$
Винос-будівля, км	$r * \frac{ONT}{BOK_{\text{Out}}_T}$
Домашня розподільна мережа	$t * CPE$

У результаті розрахунку об'ємів обладнання для побудови мережей ШПД з'ясується кількість вихідних комутаторів агрегації доступу зі вказаною швидкістю каналів (uplink) на вихідних портах. Розрахунок базується на даних, що представлені у таблиці 2.4.

Необхідна швидкість вихідного каналу комутатора агрегації

Кількість абонентів, що обслуговуються комутаторами	Швидкість вихідного каналу комутатора агрегації доступу
1440 (при наданні абоненту до 50 Мбіт/сек)	10 Гбіт/сек

Розрахунки показують, що зазвичай у районному центрі необхідно встановлювати кілька комутаторів агрегації з вихідними каналами по 10 Гбіт/с. У кожному районному центрі кількість їх може бути різною, причому ця кількість може становити кілька десятків і навіть сотень.

Якщо прийняти, що на 1440 абонентів потрібен канал 10 Гбіт/с, то розрахунки показують, що наразі існує обмежена кількість комутаторів і маршрутизаторів, які змогли б пропустити в регіональній мережі такий трафік. Наприклад, за абонентської бази 600 тис. абонентів у регіональній мережі потрібно організувати 416 каналів по 10 Гбіт/с. З урахуванням швидкості вихідного каналу агрегації 10 Гбіт/с (таблиця 2.4) на 1440 абонентів для абонентської бази 800 тис. абонентів необхідна пропускна спроможність регіональних мереж уже перебуває на межі технічної можливості обладнання маршрутизаторів і комутаторів, які мають агрегувати канали доступу.

Щоб уникнути підсумовування пропускних спроможностей від різних комутаторів агрегації на ланках кільцевих структур, регіональна мережа будується на рівні L2 у вигляді однорівневої або дворівневої зірки. На першому (нижньому) рівні кількість променів дорівнює кількості комутаторів агрегації, на другому рівні (рівні постагрегації) ці промені розбиваються на групи, кожна з яких агрегується за допомогою потужних багатопортових комутаторів Ethernet, виходи яких підключаються до граничних маршрутизаторів ядра мережі. Однак, оскільки метою цих розрахунків є визначення витрат на одного абонента ШСД, розрахунок повної величини витрат на всю регіональну мережу може не проводитися, оскільки необхідно знати лише схему проходження однієї лінії по 10 Гбіт/с з урахуванням усіх витрат.

Залежно від обсягу абонентської бази обласного (адміністративного) центру розроблено три варіанти побудови мережі (рис.2.2-2.4). Зазначимо, що в усіх випадках міська мережа рівня агрегації будується на базі оптичних каналів мереж WDM і є дворівневою мережею L2.

Це означає, що безпосередньо комутатори агрегації доступу не підключаються до маршрутизаторів ядра мережі, а у всіх випадках перед входом на маршрутизатори кільця IP/MPLS встановлюється комутатор-агрегатор, який називаємо комутатором постагрегації (ПА).

Наприклад, у невеликому за чисельністю місті Вишневе із 41 тис. жителів потрібно організувати 28 комутаторів агрегації доступу (один комутатор агрегації на 1440 абонентів), тобто потрібно використовувати 28 портів маршрутизаторів. При використанні комутаторів ПА типу 8x1 для цього прикладу буде використано не більше 4-х портів маршрутизаторів. Розрахунки показують, що додатковий комутатор коштуватиме дешевше, ніж 8 додаткових портів маршрутизаторів.

Величини витрат на всю регіональну мережу може не проводитися, оскільки необхідно знати лише схему проходження однієї лінії по 10 Гбіт/с з урахуванням усіх витрат.

Залежно від обсягу абонентської бази обласного (адміністративного) центру розроблено три варіанти побудови мережі (рис.2.2-2.4). Зазначимо, що в усіх випадках міська мережа рівня агрегації будується на базі оптичних каналів мереж WDM і є дворівневою мережею L2.

Це означає, що безпосередньо комутатори агрегації доступу не підключаються до маршрутизаторів ядра мережі, а у всіх випадках перед входом на маршрутизатори кільця IP/MPLS встановлюється комутатор-агрегатор, який називаємо комутатором постагрегації (ПА).

Наприклад, у невеликому за чисельністю місті Вишневе із 41 тис. жителів потрібно організувати 28 комутаторів агрегації доступу (один комутатор агрегації на 1440 абонентів), тобто потрібно використовувати 28 портів маршрутизаторів. При використанні комутаторів ПА типу 8x1 для цього прикладу буде використано не більше 4-х портів маршрутизаторів. Розрахунки показують, що додатковий комутатор

коштуватиме дешевше, ніж 8 додаткових портів маршрутизаторів.

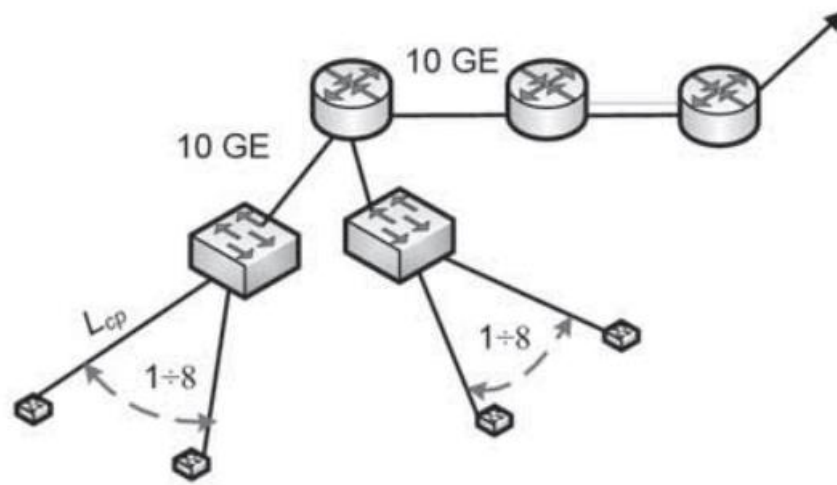


Рис. 2.2. Варіант 1

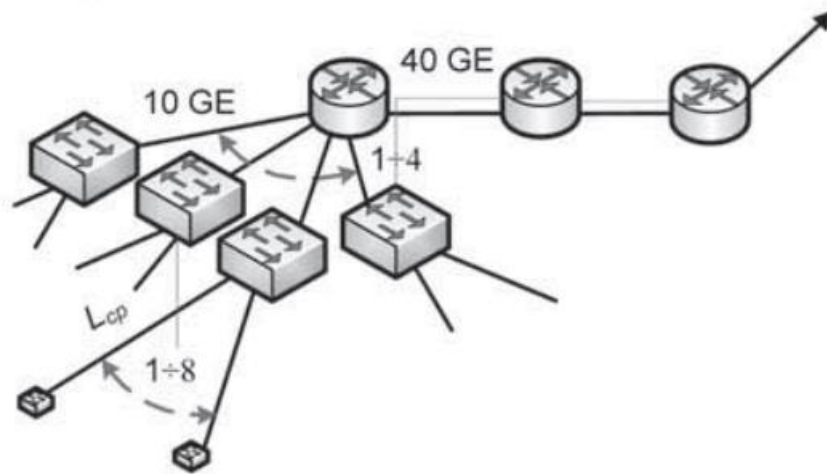


Рис. 2.3. Варіант 2

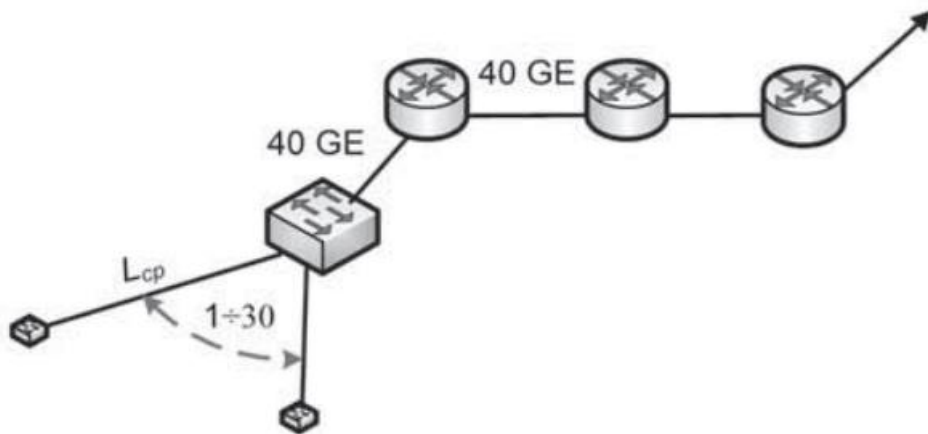


Рис. 2.4. Варіант 3

Варіант 1 (рис. 2.2) являє собою мережу рівня L2 (дворівнева зірка) з будь-якою протяжністю ліній і малою абонентською базою (до 200 тисяч абонентів). У цьому варіанті виконуються функції постагрегації на комутаторах ПА першого типу або малої ємності (з числом вхідних портів до восьми зі швидкістю каналу 10 GE і вихідним каналом (uplink) 10 GE). У цій схемі використовується також маршрутизатор першого типу з малою потужністю (продуктивністю), до портів якого підключається до двох комутаторів ПА. Маршрутизатори пов'язані кільцевою схемою з лініями 10GE.

Варіант 2 (рис. 2.3) передбачає побудову мережі рівня L2 - дворівнева "зірка" з будь-якою протяжністю ліній і з середньою абонентською базою (від 200 до 600 тис. абонентів). Схему будують на комутаторах малої ємності (з числом вхідних портів до восьми і швидкістю каналу uplink 10 GE). У цій схемі використовуються маршрутизатори типу 2 або середньої потужності, до портів яких підключається до чотирьох комутаторів ПА першого типу. Маршрутизатори пов'язані кільцевою схемою з лініями по 40 GE.

Варіант 3 (рис.2.4) - мережа (2 дворівнева зірка) з будь-якою протяжністю ліній і абонентською від 600 тис. абонентів. Схema будується на комутаторах 2-го типу великої ємності (30 вхідних портів по 10 GE і каналом рик 40 GE), До кожного маршрутизатора 3-типу (великої потужності) підключається один такий комутатор ПА. Кільцева схема маршрутизаторів будується на лініях 40 GE.

2.3. Розрахунок абонентських швидкостей для мереж ШПД

Розрахунок необхідної пропускної спроможності мережі Metro Ethernet повинен проводитися на підставі вихідних даних мережі про потреби в пропускній спроможності мереж доступу.

У результаті розрахунку обсягів обладнання для побудови мереж ШПД визначається кількість вихідних комутаторів агрегації доступу із зазначенням швидкості каналів (uplink) на вихідних портах. Швидкість роботи вихідного каналу комутаторів агрегації за кількості абонентів n , які обслуговує комутатор агрегації, наведено в табл. 2.5.

Таблиця 2.5

Швидкість вихідного каналу комутатора постагрегації

Технологія доступу	Кількість абонентів n , що обслуговуються комутатором агрегації	Швидкість V_{ar} вихідного каналу комутатора агрегації, Гбіт/сек
GPON	32	10
Ethernet	24	10

Середня швидкість V_{cp} передачі по кожному з $N=24$ вхідних портів комутатора агрегації може бути розрахована із співвідношення (1):

$$V_{ar} = N * V_{cp} \quad (1)$$

Із (1) отримуємо, що $V_{cp} \approx 416,7$ Мбіт/сек.

Швидкість V_a абонентів може визначатися як середня $V_{a_{cp}}$ або як максимальна $V_{a_{max}}$, що вираховується для заданої вірогідності її перевищення $P = 1 * 10^{-3}$.
Визначаємо середні швидкості як

$$V_{a_{cp}} = \frac{V_{cp}}{n} \quad (2)$$

де n - кількість під'єднаних абонентів до однієї гілки ШПД.

Для GPON $V_{a_{cp}} \approx 13$ Мбіт/сек.

Для Ethernet середня швидкість $V_{a_{cp}} \approx 17$ Мбіт/сек.

Будемо вважати, що кількість зайнятих абонентів i у кожному сегменті ШПД розподілено за законом Бернуллі.

$$P = C_n^i a^i (1 - a)^{n-i} \quad , \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

Максимальне число зайнятих абонентів i визначаємо із виразу

$$P = 1 - \sum_{i=1}^n C_n^i a^i (1 - a)^{n-i} \approx 1 * 10^{-3} \quad (4)$$

Тоді при середній зайнятості одного абонента $a=0,5$ із 32 абонентів для технології GPON буде зайнято 21 абонент з вірогідністю перевищення не більше ніж $1 * 10^{-3}$.

Для ШПД, побудовано за технологією Ethernet, з вірогідністю перевищення не більше ніж $1 * 10^{-3}$ із 24 абонентів буде зайнято 17 абонентів. Тоді, відповідно, максимальна швидкість для GPON визначимо як:

$$V_{a_{max}} = \frac{2,4 \text{ Гбіт/сек}}{21} \approx 114 \text{ Мбіт/сек}$$

Для Ethernet максимальна швидкість дорівнює:

$$V_{a_{max}} = \frac{1 \text{ Гбіт/сек}}{17} \approx 59 \text{ Мбіт/сек}$$

Таким чином, побудова місцевих (регіональних та міських) мереж за запропонованими варіантами є найекономічнішою, але потребує використання найбільш швидкісних на даний момент комутаторів та маршрутизаторів.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

У даній розрахунковій частині була представлена методика розрахунку, що дозволяє визначити об'єм обладнання, протяжність ліній мережі для побудови

мережей ШПД від абонента до регіональної транспортної мережі за допомогою архітектури Metro Ethernet.

Ми отримали такі результати:

Для 24 та 32 абонентів, що обслуговуються комутатором агрегації при швидкості $V_{ar}=10$ Гбіт/сек вихідного каналу комутатора агрегації, ми вирахували максимальну швидкість для архітектури GPON та Ethernet, що дорівнювала 114 Мбіт/сек та 59 Мбіт/сек.

Визначили, що таким чином, побудова місцевих (регіональних та міських) мереж за запропонованими варіантами є найекономічнішою, але потребує використання найбільш швидкісних на даний момент комутаторів та маршрутизаторів.

У даній схемі побудова мережі Metro Ethernet середні абонентські швидкості у GPON та Ethernet достатньо рівні, тоді як максимальна швидкість у GPON майже у 2 рази перевищує максимальну швидкість у Ethernet.

РОЗДІЛ 3 PRIVATE 5G

3.1. Загальні дані про Private 5G

Private 5G (приватна мережа 5G) - це термін, який використовується для опису системи стільникового зв'язку 5G, побудованої та експлуатованої виключно для приватного використання компанією, приватною особою або державною установою. Визначена консорціумом 3GPP як неопублічна мережа (NPN), приватна мережа 5G зазвичай розгортається більш локально і цілеспрямовано для задоволення конкретних потреб організації в надійності, доступності та обслуговуванні. Архітектура Private 5G представлена на рисунку 3.1.

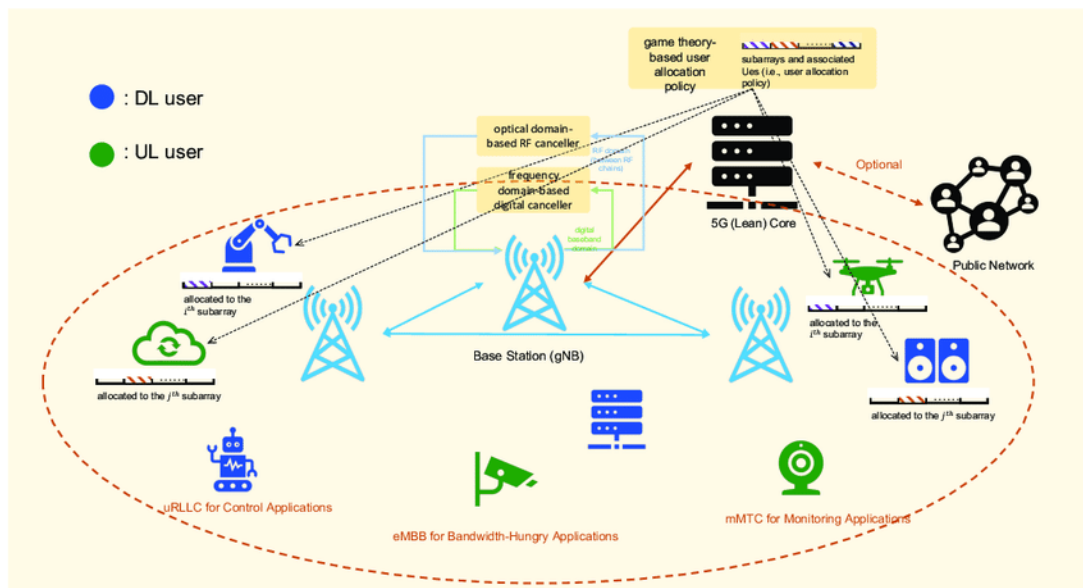


Рис. 3.1. Архітектура Private 5G

Традиційні приватні мережі з бездротовим зв'язком 4G LTE забезпечують розширене покриття та можливості налаштування. Забезпечуючи наднадійний зв'язок із низькою затримкою (URLLC), приватні мережі 5G кардинально змінюють ситуацію, підтримуючи передові додатки Інтернету речей, концепції Industry 4.0 та критично важливі додатки для служб громадської безпеки. Використання Industry 4.0

представлені на рисунку 3.2.

Покращений доступ до спектру, спеціалізація сценаріїв використання та проблеми безпеки мережі є додатковими факторами, що стимулюють приватний ринок 5G.

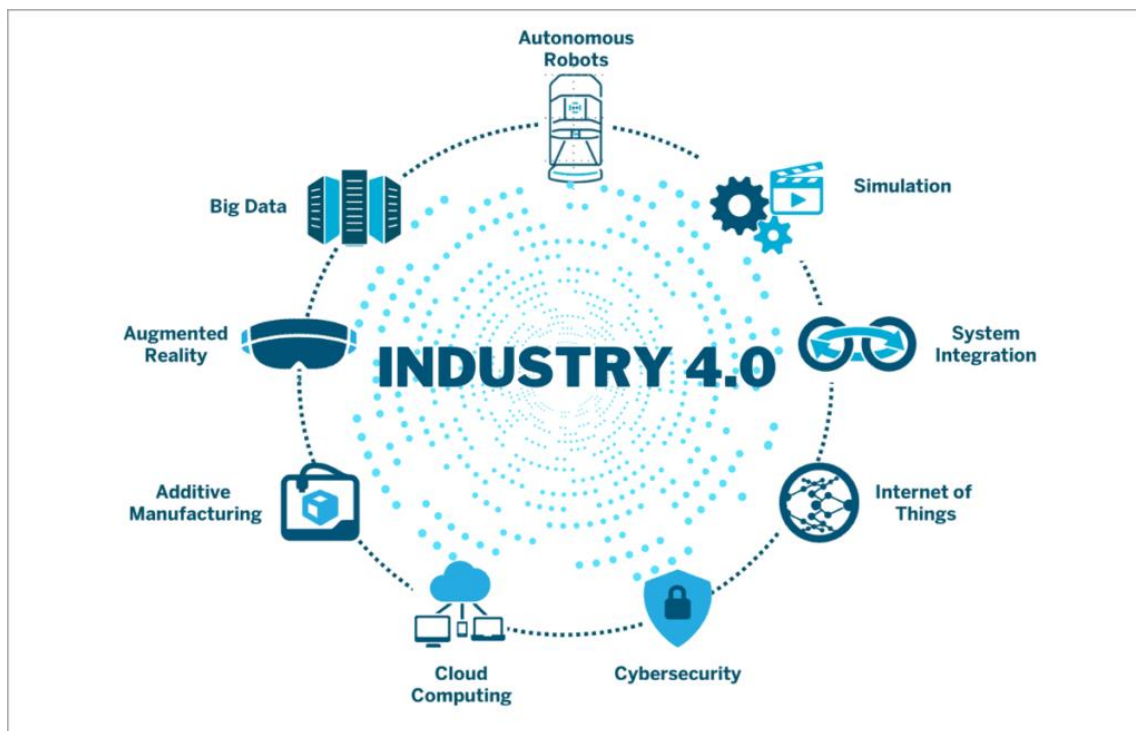


Рис. 3.2. Використання Industry 4.0

3.2. Типи Private 5G

В умовах розширення та вдосконалення публічних послуг 5G логіка використання приватних мереж у світі 5G може здатися незрозумілою. Ліцензування приватного спектра 5G, придбання та встановлення складної мережевої інфраструктури, а також моніторинг проблем і ключових показників продуктивності мережі можуть бути складними та забирати багато часу. Типи Private 5G представлені на рисунку 3.3.

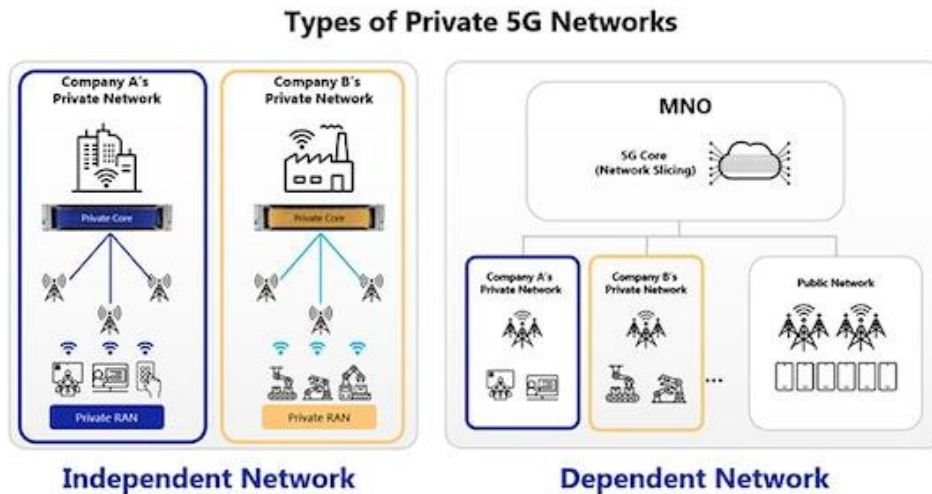


Рис. 3.3. Типи Private 5G

Мобільна мережа п'ятого покоління призначена для підключення всіх і кожного, включно з машинами, об'єктами і пристроями, на карколомних швидкостях з наднизькою затримкою.

Хоча приватний і загальнодоступний 5G технічно однакові - вони використовують одні й ті самі базові мережеві рішення, схеми кодування і спектр - призначення кожного з них відрізняється. Як впливає з назви, загальнодоступний 5G доступний для загального користування, тоді як приватний 5G призначений для використання одним підприємством і часто в одному місці.

Є дві широкі категорії: незалежні та залежні 5G . У передбачуваній мережі організація несе відповідальність за вибір або оренду спектра, який вони хочуть використовувати, установку мережевих рішень, управління користувачами та обслуговування користувачів. Для порівняння, залежна мережа 5G будується і обслуговується оператором мобільної мережі (MNO). У цій моделі оператор мобільного зв'язку встановлює та обслуговує мережу, а також управляє доступом користувачів на основі угод із зацікавленою стороною.

Приватні мережі 5G можуть підтримувати критично важливі канали зв'язку, які повинні залишатися працездатними навіть у разі виникнення непередбачених подій. Залежно від сфери застосування вимоги до доступності, надійності, взаємодії та якості обслуговування (QoS) приватної мережі 5G можуть бути більш суворими, ніж

стандарти комерційних мереж.

- Перехід від архітектури, орієнтованої на стільники, до архітектури, орієнтованої на промінь, де статичне і динамічне формування променя відіграє головну роль у продуктивності, оптимізації та визначенні місця розташування.
- Реалізація архітектури опорної мережі на основі послуг (SBA).
- Віртуальні програмно-визначувані мережі (SDN) для підтримки нарізки мереж та автоматизованого надання послуг для основних сценаріїв використання 5G: Розширений мобільний широкосмуговий зв'язок (eMBB), масовий зв'язок машинного типу (mMTC) та наднадійний зв'язок з низькою затримкою (URLLC).

3.3. Тестування Private 5G

Незважаючи на менші масштаби розгортання приватних мереж 5G порівняно з комерційними мережами 5G, тестування приватних мереж 5G слід проводити з тією самою суворістю впродовж усього життєвого циклу мережі. Це починається з надійного тестування ядра та верифікації/валідації покриття і функціональності мережі. Для контрольної перевірки якості обслуговування після активації можна використовувати програмне забезпечення для моніторингу мережі. На практиці тестування приватної мережі 5G має бути зосереджене на встановленні таких функціональних характеристик:

- **Безпека:** ринок приватних мереж 5G створює безпрецедентний рівень впливу на критично важливі активи, дані та системи управління. Це призводить до нижчого рівня стійкості до ризиків кібербезпеки. Для захисту екосистеми приватної мережі 5G необхідні проактивні системи безпеки та надійне планування моніторингу та реагування.
- **Надійність:** приватні мережі LTE 5G перетворилися зі зручних послуг зв'язку для віддалених місць на критично важливі шляхи передавання даних із величезними потенційними фінансовими наслідками та наслідками для безпеки. Початкове тестування мережі та поточний моніторинг повинні бути

достатніми для забезпечення надійності за всіх прогнозованих умов.

- Пропускна здатність: на продуктивність приватної мережі 5G можуть впливати такі фактори, як схема розташування малих сот, визначення часу/синхронізація мережі, проектування ядра, перешкоди та гігієна оптоволокна. Перевірка з підтвердженням і постійний моніторинг пропускної здатності мережі виконують функцію високорівневого барометра загальної продуктивності.

3.4. Життєвий цикл Private 5G

Життєвий цикл частної мережі 5G:

- Розробка приватної мережі 5G. Приватна мережа 5G і концепція Open RAN надають підприємствам свободу проектування, створення та експлуатації власних унікальних мереж 5G. Однак лише деякі організації мають внутрішній досвід, необхідний для того, щоб діяти самостійно. Завдяки партнерству з телекомунікаційними компаніями, постачальниками приватних мереж 5G і фахівцями з тестування мереж можна застосувати більш економічно ефективний підхід до розвитку мереж, включно з імітаційним тестуванням у лабораторії. Мережевий тестер VIAVI TM500 є ефективним інструментом для моделювання трафіку та поведінки кінцевого користувача для різних випадків використання приватних мереж 5G. Для оцінки пропускної здатності можна змодельовати велику кількість абонентського обладнання для кожної стільниці. VIAVI TM500 представлений на рисунку 3.4.



Рис. 3.4. VIAVI TM500

- Розгортання приватної мережі 5G. Залежно від уподобань підприємства щодо конфіденційності, якості обслуговування, використання спектра (ліцензований або неліцензований), багатосайтового покриття і налаштування RAN, з'являється кілька життєздатних варіантів для розгортання приватної мережі 5G.

- Автономні приватні мережі 5G повністю незалежні від зовнішніх операторів мобільного зв'язку (MNO) і підтримують автономну опорну мережу і концепцію RAN.

- Спільно використовувані мережі RAN, звані також гібридними мережами, створюють незалежні служби всередині підприємства, але використовують переваги RAN і спектр мережі загального користування. Цей варіант передає частину контролю над користувачами і мережею в руки MNO.

- Варіанти Network Slicing ("нарізки мережі") засновані на використанні окремої, віртуальної частини мережі оператора для приватного використання. Налаштований мережевий фрагмент ізольований тільки для приватного використання даним підприємством.

- Забезпечення приватної мережі 5G. Приватні мережі 5G прив'язують критично важливі для бізнесу послуги, пропускну здатність та інформаційну безпеку до поточної продуктивності мережі. Для забезпечення видимості та

безперешкодного усунення аномалій потрібен високий рівень гарантії. Складність 5G ще більше ускладнює вирішення цього завдання.

3.5. Плюси та мінуси 5G

Поверхня загроз 5G представлена на рисунку 3.5.

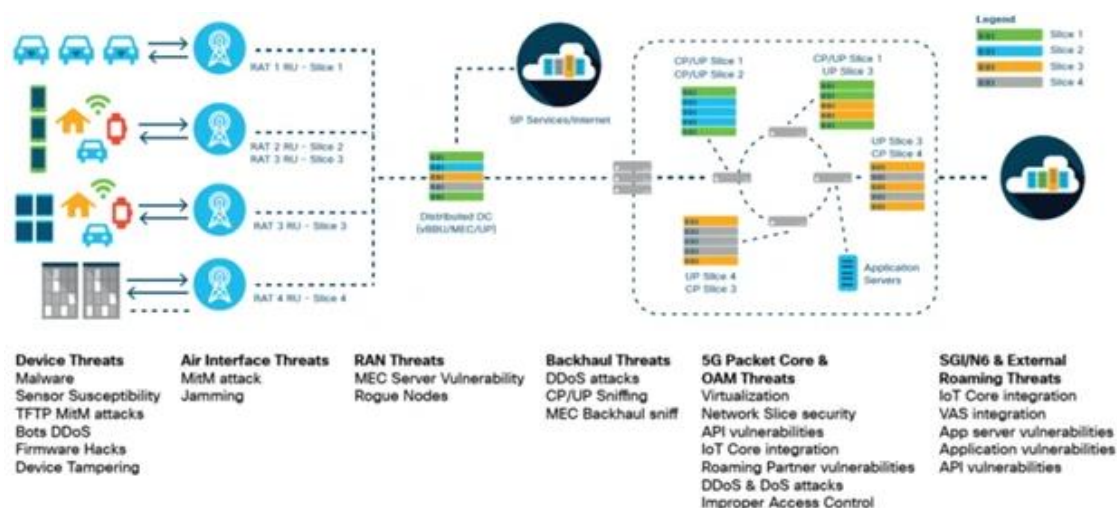


Рис. 3.5. Поверхня загроз 5G

Плюси використання 5G:

- Локальне покриття. Оскільки багато організацій використовують гібридну хмару, локальне покриття має вирішальне значення. Крім того, воно розширює охоплення підприємств у віддалених об'єктах, де загальнодоступні мережі не існують або покриття всередині приміщень обмежене.
- Швидкість і мала затримка: 5G значно скорочує час відгуку мережевих пристроїв на команди і зменшує затримку до менш ніж 5 мілісекунд (кінцева мета - 2 мілісекунди).
- Пропускна здатність: з приватним 5G ви більше не конкуруєте з іншими загальнодоступними користувачами за пропускну здатність. Це дає змогу одночасно під'єднувати в 100 разів більше пристроїв на квадратний кілометр, ніж 4G, що позбавляє підприємства необхідності використовувати

стільниковий зв'язок і Wi-Fi як пропозицію "або-або".

- Передові технології. Зокрема, в обробній промисловості мережі 5G необхідні для роботи спільних мобільних роботів, безпілотних машин, транспортних засобів з автоматичним управлінням, профілактичного обслуговування з доповненою реальністю та інших інтелектуальних заводських технологій. Приватна 5G дасть змогу розумним фабрикам швидко впроваджувати додатки штучного інтелекту і машинного навчання без порушення виробничої лінії та ланцюжка поставок. Існує також можливість побудувати завод без дротів або кабелів, що скоротить пов'язані з цим витрати і час, що витрачається на будівництво.
- Безпека. Покращені можливості безпеки були основним мотивом впровадження приватних бездротових мереж. Приватна 5G надає групам безпеки більше гнучкості для реалізації архітектур з нульовою довірою, в яких використовуються власні політики безпеки доступу, пріоритизація трафіку і забезпечення того, щоб дані не покидали мережу без належної авторизації.

Мінуси використання 5G:

- Велика поверхня атаки: величезна кількість пристроїв, користувачів і застосунків, під'єднаних до мережі, розширює поверхню атаки і збільшує вразливість підприємства перед загрозами.
- Велика складність: оскільки 5G спирається на різноманітний набір технологій з багатьох великих дисциплін, складність програмного забезпечення зростає. Далеко не всі з них створені спеціально для світу 5G; у них є конструктивні обмеження і сліпі зони, які будуть проявлятися і виявлятися в нових додатках і використанні. Це означає, що програмне забезпечення, яке вважалося стабільним, виявить дефекти безпеки, помилки коду та архітектурні обмеження.
- Передача даних: кіберзлочинці можуть використовувати відсутність шифрування на початку процесу під'єднання, оскільки воно дає їм змогу дізнатися, які пристрої під'єднані до мережі. Він також надає додаткові

відомості, як-от операційна система і тип пристрою, що дає змогу зловмисникам ретельно планувати свої атаки.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

5G може забезпечити високу швидкість, малу затримку і величезну ємність, пропонуючи можливість змінити те, як ви працюєте зі своїм мобільним пристроєм, і багато іншого.

5G має допомогти зробити революцію в галузях і забезпечити негайний ефект для клієнтів. 5G може допомогти зробити бізнес ефективнішим і надати споживачам доступ до більшої кількості інформації швидше, ніж будь-коли раніше. Це може допомогти зробити автомобілі підключеними до Інтернету і дати вболівальникам нові враження на стадіонах. Це може дозволити учням отримати новий досвід, щоб оживити освіту і підтримати штучний інтелект (ШІ) в громадській безпеці. І це може забезпечити просунуті ігрові та кіберспортивні можливості.

Мобільна мережа п'ятого покоління призначена для підключення всіх і кожного, включно з машинами, об'єктами і пристроями, на карколомних швидкостях з наднизькою затримкою.

Хоча приватний і загальнодоступний 5G технічно однакові - вони використовують одні й ті самі базові мережеві рішення, схеми кодування і спектр - призначення кожного з них відрізняється. Як випливає з назви, загальнодоступний 5G доступний для загального користування, тоді як приватний 5G призначений для використання одним підприємством і часто в одному місці.

ВИСНОВКИ

Підсумовуючи все перераховане вище, можна сказати, що за конвергенцією стоїть майбутнє телекомунікаційних технологій, завдяки цій технології можна поєднати всі пристрої в один для передачі інформації. Але для цього необхідно багато часу та коштів для обладнання.

Описом результатів дослідження, проведеного у рамках написання кваліфікаційної роботи. Дослідження показало, що конвергентна мережа доступу є перспективною технологією для побудови швидкої та надійної мережі з доступом до Інтернету.

Основними перевагами конвергентної мережі доступу є її висока ефективність та надійність, що забезпечуються за рахунок спільного використання ресурсів. Крім того, така мережа дозволяє ефективно використовувати різні види трафіку, що дозволяє значно підвищити ємність мережі та забезпечити якісний доступ до Інтернету.

Також можна відзначити, що конвергентна мережа доступу має великий потенціал для використання в різних сферах, включаючи бізнес, освіту та науку. Завдяки своїм перевагам, така мережа може значно полегшити роботу в цих сферах та забезпечити швидкий та надійний доступ до необхідних ресурсів.

Однак, наявність деяких недоліків конвергентної мережі доступу також не може бути ігнорована. Наприклад, наявність різних видів трафіку в одній мережі може призвести до конфліктів та перенавантаження мережі. Крім того, будь-які збої в мережі можуть призвести до значного зниження якості обслуговування користувачів.

Складність реалізації концепції конвергенції породжує низку конкуруючих підходів, методів і технологій, які ще потребують наукового обґрунтування.

У найближчому майбутньому повністю зникнуть відмінності в магістральних частинах фіксованих і мобільних мереж, настане етап впровадження конвергенції - концепції технології mobile-only user, що ознаменує новий етап у розвитку

інформаційних комунікацій.

5G може забезпечити високу швидкість, малу затримку і величезну ємність, пропонуючи можливість змінити те, як ви працюєте зі своїм мобільним пристроєм, і багато іншого.

Побудова місцевих (регіональних та міських) мереж є найекономічнішою, але потребує використання найбільш швидкісних на даний момент комутаторів та маршрутизаторів. Також воно потребує багато часу та фінансів для встановлення обладнання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. “Основні Принципи Конвергенції Телекомунікаційних Мереж Та Методи Їх Математичного Опису” С.Давіденко, Б.Бойчук, 2021
2. “Cabel and Mobile Convergence. A Vision from the Cable Communities Around the World” Jennifer Andreoli-Fang, John T. Chapman, 2020
3. “Enabling 5G Communication Systems to Support Vertical Industries”, Muhammad Ali Imran, Qammer H. Abbasi, Yusuf Abdulrahman Sambo, 2019
4. <https://www.juniper.net/us/en/research-topics/what-is-metro-ethernet.html>
5. <https://www.gazettabyte.com/home/2012/11/9/vdsl2-vectoring-explained.html>
6. <https://www.viavisolutions.com/ru-ru/solutions/private-5g>
7. <https://www.viavisolutions.com/ru-ru/taxonomy/term/6651>
8. <https://www.mdpi.com/2673-8732/1/2/9>
9. https://www.trendmicro.com/ru_ru/ciso/22/i/pros-cons-5g.html