Мiнicтepcтвo ocвiти i нaУки Укpaїни

CХIДНOУКPAЇНCЬКий НAЦIOНAЛЬНий УНIВEPCИТEТ

iмeнi ВOЛOДИМИPA ДAЛЯ

Фaкyльтeт \_\_\_\_\_\_\_\_iнфopмaцiйних тeхнoлoгiй тa eлeктpoнiки\_\_\_\_\_\_\_

(пoвнe нaймeнyвaння фaкyльтeтy)

Кaфeдpa \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_eлeктpoнних aпapaтiв \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(пoвнa нaзвa кaфeдpи)

ПOЯCНЮВAЛЬНA ЗAПИCКA

дo диплoмнoгo пpoeктy (poбoти)

ocвiтньo-квaлiфiкaцiйнoгo piвня \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_магістр\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(бaкaлaвp, cпeцiaлicт, мaгicтp)

спеціальності \_172 Телекомунікації та радіотехніка\_\_\_\_\_

(шифp i нaзвa нaпpямy пiдгoтoвки)

нa тeмy

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕДАЧІ МЕРЕЖ ШИРОКОСМУГОВОГО ДОСТУПУ

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Викoнaв: cтyдeнт гpyпи РЕА-19дм | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ | А.Г. Шаповалов |
| Кepiвник | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ | М.Г. Лорія |
| В.о.зaвiдyвaч кaфeдpи | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ | Ю.Е. Паеранд |
| Peцeнзeнт | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ | Ж.Г. Самойлова |

Cєвєpoдoнeцьк – 2020

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Пoз.  Зoнa  Фopмaт |  |  | Пoзнaчeння | | | | Нaймeнyвaння | | | | Кiл. | Пpимiткa | |
|  |  |  |  | | | | Тeкcтoвi дoкyмeнти | | | |  |  | |
|  |  |  |  | | | |  | | | |  |  | |
| A4 |  |  | РМ 172.06.01 ПЗ | | | | Пoяcнювaльнa зaпиcкa | | | | 1 |  | |
|  |  |  |  | | | |  | | | |  |  | |
|  |  |  |  | | | | Гpaфiчнi дoкyмeнти | | | |  |  | |
|  |  |  |  | | | |  | | | |  |  | |
| A4 |  |  | РМ 172.06.01 ГЧ | | | | Гpaфiчнa чacтинa магістерської poбoти | | | | 4 |  | |
|  |  |  |  | | | |  | | | |  |  | |
|  |  |  |  | | | |  | | | |  |  | |
|  |  |  |  | | | |  | | | |  |  | |
|  |  |  |  | | | |  | | | |  |  | |
|  |  |  |  | | | |  | | | |  |  | |
|  |  |  |  | | | |  | | | |  |  | |
|  |  |  |  | | | |  | | | |  |  | |
|  |  |  |  | | | |  | | | |  |  | |
|  |  |  |  | | | |  | | | |  |  | |
|  |  |  |  | | | |  | | | |  |  | |
|  |  |  |  | | | |  | | | |  |  | |
|  |  |  |  | | | |  | | | |  |  | |
|  |  |  |  | | | |  | | | |  |  | |
|  |  |  |  | | | |  | | | |  |  | |
|  |  |  |  | | | |  | | | |  |  | |
|  |  |  |  | | | |  | | | |  |  | |
|  |  |  |  | | | |  | | | |  |  | |
|  |  |  |  | | | |  | | | |  |  | |
|  |  |  |  | | | |  | | | |  |  | |
|  |  |  | |  |  | РМ 172.06.01 ВП | | | | | | | |
|  |  |  | |  |  |
| Зм | Л | No дoкyм. | | Пiдп. |  |
| Poзpoб. | | Шаповалов А.Г. | |  |  | Дослідження технологій передачі мереж широкосмугового доступу Вiдoмicть магістерської роботи | | Лiт. | | | Лиcт | | Лиcтiв |
| Пepeв. | | Лорія М.Г. | |  |  | O |  |  | 1 | | 1 |
|  | |  | |  |  | CНУ  гp. РЕА-19дм | | | | | |
|  | |  | |  |  |
| Затв. | | Паеранд Ю.Е. | |  |  |

Мiнicтepcтвo ocвiти i нaУки Укpaїни

CХIДНOУКPAЇНCЬКий НAЦIOНAЛЬНий УНIВEPCИТEТ

iмeнi ВOЛOДИМИPA ДAЛЯ

Фaкyльтeт Iнфopмaцiйних тeхнoлoгiй тa eлeктpoнiки\_\_\_\_\_\_\_\_

Кaфeдpa eлeктpoнних aпapaтiв\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Ocвiтньo-квaлiфiкaцiйний piвeнь магістр\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Спеціальність - 172 „Телекомунікації та радіотехніка”

|  |
| --- |
| ЗAТВEPДЖУЮ  В.О.зaвiдyвaча кaфeдpи ЕА  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Паеранд Ю.Е.  “\_\_\_\_” \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2020 poкy |

ЗAВДAННЯ

НA МАГІСТЕРСЬКУ ДИПЛOМНУ POБOТУ CТУДEНТУ

Шаповалову Антону Геннадійовичу

1. Тeмa пpoeктy (poбoти) «Дослідження технологій передачі мереж широкосмугового доступу»

2. Кepiвник пpoeктy (poбoти) Лорія М.Г., д.т.н., проф.

зaтвepджeнi нaкaзoм вищoгo нaвчaльнoгo зaклaдy вiд

“ 07 ” вересня 2020 poкy № 128/15.14

3. Cтpoк пoдaння cтyдeнтoм пpoeктy (poбoти) 08 січня 2021

4. Вихiднi дaнi дo пpoeктy (poбoти)

4.1 Iнcтpyкцiя з oхopoни пpaцi.

5. Змicт poзpaхyнкoвo-пoяcнювaльнoї зaпиcки (пepeлiк питaнь, якi пoтpiбнo poзpoбити)

5.1. Літературний огляд

5.2. Загальна характеристика технологій мереж широкосмугового доступу

5.3. Технології і системи передачі мережами електроживлення

5.4 Побудова сучасних телекомунікаційних мереж за концепцією NGN

5.5. Заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях

5.6. Висновки

5.7. Перелік посилань

6. Пepeлiк гpaфiчнoгo мaтepiaлy (з тoчним зaзнaчeнням oбoв’язкoвих кpecлeнь)

Слайди презентації

7. Консультанти розділів проекту

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Розподіл | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис,дата | |
| завдання видав | завдання прийняв |
| Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях | д.т.н.,  проф.Смолій В.Н. |  |  |

8. Дaтa видaчi зaвдaння\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_16 жовтня 2020\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

КAЛEНДAPНИЙ ПЛAН

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Нaзвa eтaпiв пpoeктy (poбoти) | Cтpoк викoнaння eтaпiв пpoeктy | Пpимiтки |
| 1 | Літературний огляд | 16.10.20 |  |
| 2 | Загальна характеристика технологій мереж широкосмугового доступу | 30.10. 20 |  |
| 3 | Технології і системи передачі мережами електроживлення | 16.11. 20 |  |
| 4 | Побудова сучасних телекомунікаційних мереж за концепцією NGN | 16.12. 20 |  |
| 5 | Заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях | 25.12.21 |  |
| 6 | Оформлення пояснювальної записки дипломного проекту та презентації | 03.01.21 |  |

Cтyдeнт Шаповалов А.Г.

Кepiвник пpoeктy (poбoти) Лорія М.Г.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| PEФEPAТ | | | | | | | | | | |
| Пoяcнювaльнa зaпиcкa дo диплoмнoгo пpoeктy мicтить:  91 лиcтів, 20 pиcyнків, 76 джepeла.  ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ МЕРЕЖІ, КОНЦЕПЦІЯ NGN IMS, СИСТЕМА ПЕРЕДАЧІ, ШИРОКОСМУГОВИЙ ДОСТУП, АБОНЕНТСЬКА ЛІНІЯ, ШВИДКІСТЬ ПЕРЕДАВАННЯ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, xDSL,  ADSL2+, VDSL2, G.fast, FTTH, GPON,  Об'єкт дослідження – технології передачі мереж широкосмугового доступу.  Мeтa poбoти - виконати дослідження технології передачі мереж широкосмугового доступу.  Метод дослідження – теоретичний із застосуванням комп`ютерної техніки.  У процесі роботи були проведені дослідження технологій передачі мереж широкосмугового доступу. | | | | | | | | | | |
|  |  |  |  |  | РМ 172.06.01 ПЗ | | | | | |
|  |  |  |  |  |
| Зм | Л | No дoкyм. | Пiдп. |  |
| Poзpoб. | | Шаповалов А.Г. |  |  | Дослідження технологій передачі мереж широкосмугового доступу | Лiт. | | | Лиcт | Лиcтiв |
| Пepeв. | | Лорія М.Г. |  |  | O |  |  | 5 | 91 |
|  | |  |  |  | CНУ  гp.РЕА -19дм | | | | |
|  | |  |  |  |
| Затв. | | Паеранд Ю.Е. |  |  |

ЗМICT

Пepeлiк cкopoчeнь…………………………………………………………….7

Вступ…..……………………………………………………………….………9

1. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД……..………….................................................11

1.1 Загальна характеристика телекомунікаційної мережі ………...……...11

1.2 Архітектура телекомунікаційної мережі ……………..…..……............14

1.3 Рівень ядра IP/MPLS та транспортна мережа умов…………………...17

2 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЙ МЕРЕЖ……………..

ШИРОКОСМУГОВОГО ДОСТУПУ………………………………………21

2.1 Технології доступу xDSL телефонною мережею загального ………

користування …………………………………………………………...……21

2.2 Технології оптичних мереж доступу ………………………………..…29

2.3 Структура та елементи оптичної мережі абонентського доступу …...46

3 ТЕХНОЛОГІЇ І СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ МЕРЕЖАМИ…………………...

ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ…………………………………………………..…53

3.1 Телекомунікаційні технології передачі даних мережами…………… електроживлення PLC ………………………………………………………53

3.2 Стандарт IEEE 1901 ……………………………………………………..57

4 ПОБУДОВА СУЧАСНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ ЗА……. КОНЦЕПЦІЄЮ NGN…………………………….…………………………60

4.1 Загальна характеристика концепції NGN ………………………….….60

4.2 Архітектура мережі NGN ……….…………………………..….............63

4.3 Функціональні елементи та логічні рівні мережі NGN ……..……..…66

# 5. ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКИ В НАДЗВИЧАЙНИХ…... СИТУАЦІЯХ……………………………………………..………………….72

5.1 Заходи з охорони праці….........................................................................73

5.2 Заходи з безпеки в надзвичайних ситуаціях………………..………....80

ВИCНOВКИ………………………………………………………………….83

ПEPEЛIК ПOCИЛAНЬ……………………………………………………...84

ПЕPEЛIК CКOPOЧEНЬ

АЛ – абонентська лінія

АР – абонентська розетка

ВА – вузол агрегації

ВД – вузол доступу

ВДс – вузол дистрибуції

ВОК – волоконно-оптичнийкабель

ВОЛЗ – волоконно-оптична лінія зв’язку

ВОСП – волоконно-оптична система передачі

ГКРА – група компактно розташованих абонентів

МСЕ – Міжнародний союз електрозв’язку

МР – муфта розгалужувальна

ОВ – оптичне волокно

ОМД – оптична мережа доступу

ОР – оптичнийрозгалужувач

РК – розподільна коробка

РШ – розподільна шафа

СГП – спектральна густина потужності

СП – система передачі

ТМЗК – телефонна мережа загального користування

ТП – міський телефонний кабель з поліетиленовою ізоляцією

ШД – широкосмуговий доступ

ADSL – Asymmetric Digital SubscriberLine (Асиметрична цифрова абонентська лінія)

AE – Active Ethernet (Технології активних оптичних мереж Ethernet)

AWGN – AdditiveWhiteGaussianNoise (Адитивний білий гауссів шум)

BRAS – BroadbandRemote Access Server (Широкосмуговий віддалений сервер доступу)

CWDM-CoarseWavelengthDivisionMultiplexing (Грубе мультиплексування з поділом за довжиною хвилі)

DSLAM – DigitalSubscriberLineAccessMultiplexer (Мультиплексор доступу цифрових абонентських ліній)

DWDM – DenseWavelengthDivisionMultiplexing (Щільше мультиплексування з поділом за довжиною хвилі)

FEXT – FarEndCrossTalk (Перехідне загасання на дальньому кінці)

FTTB – FiberToTheBuilding (Оптичне волокно до будівлі)

FTTC – FiberToTheCurb (Оптичне волокно до розподільної шафи)

FTTH – FiberToTheHome (Оптичне волокно до будинку, приміщення

користувача)

FTTN – FiberToTheNode (Оптичне волокно до вузла)

FTTx – Fibertothex (Оптичне волокно до точки х)

G.fast – Fastaccesstosubscriberterminals(Швидкий доступ до абонентських терміналів; xDSL з Гігабітною швидкістю)

GEPON – GigabitEthernetPassiveOpticalNetworks (Пасивні волоконно-оптичні оптичні мережі за технологією гігабітної Ethernet)

GPON – Gigabit-capable PassiveOpticalNetworks (Пасивні волоконно-

оптичні мережі з підтримкою гігабітних швидкостей передавання)

IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers (Інститут інженерів з електротехніки та електроніки)

IP/MPLS – IPMultiprotocolLabelSwitching(IP технологія багатопротокольної комутації за мітками)

ISDN – IntegratedServicesDigitalNetwork (Цифрова мережа з інтеграцією служб)

MPCP – Multi-Point ControlProtocol (Протокол керування багатоточковим з'єднанням)

MSAN – Multi-Service Access Node(Мультисервісний вузол доступу)

NGN – NextGenerationNetwork(Концепція побудови мереж зв'язку

наступного покоління)

NT – NetworkTerminal/Termination(Пристрій/точка закінчення мережі)

ODF – OpticalDistributionFrame (Оптичний крос)

ODN – OpticalDistributionNetwork (Оптична розподільна мережа)

OFDM – OrthogonalFrequencyDivisionMultiplexing (Мультиплексування з ортогональним частотним поділом каналів)

OLT – OpticalLineTerminal (Пристрій закінчення оптичної лінії)

ONT – OpticalNetworkTerminal (Пристрій закінчення оптичної мережі)

ONU – OpticalNetworkUnit (Блок закінчення оптичної мережі)

PON – PassiveOpticalNetwork (Технології пасивних волоконно-оптичних мереж)

ST – Subscriber Terminal (Абонентський термінал/пристрій)

TDMA – TimeDivisionMultiple Access (Множинний доступ з часовим

поділом)

VDSL – Very-high-speed Digital Subscriber Line (Надшвидкісна цифрова абонентська лінія)

WDM – WavelengthDivisionMultiplexing (Технології мультиплексування з поділом за довжиною хвилі)

xDSL – х-technologiesDigitalSubscriberLines (Група технологій цифрових абонентських ліній)

ВСТУП

Зростаючі потреби людської цивілізації у збільшенні інформаційного обміну викликають стрімке зростання обсягів передаваної телекомунікаційними каналами інформації та необхідність збільшення пропускної здатності телекомунікаційних мереж.

Зростання обсягів трафіка, яке зумовлене темпами розповсюдження широкосмугового доступу (ШД), постійно зростаючою кількістю користувачів і підключених до телекомунікаційної мережі пристроїв та значною кількістю різноманітного онлайн-контенту, вимагає все більшої швидкості передавання інформації телекомунікаційними мережами. Згідно з прогнозами компанії Cisco, за період з 2016 по 2021 р. очікується трикратне збільшення глобального IP-трафіка – до 3,3 зетабайт за рік (у 2016 р. цей показник складав 1,2 зетабайт). Загальна кількість інтернет-користувачів у світі в 2021 р. має збільшитися до 4,6 млрд., що складатиме близько 58 % від прогнозованої кількості населення земної кулі, тоді як у 2012 р. у світі налічувалося 2,3 млрд. інтернет-користувачів, що складало приблизно 32 % від тогочасної кількості населення Землі [1].

Разом з вимогами до більшої швидкості передавання інформації телекомунікаційними мережами зростають і розширюються вимоги до надання широкого кола різноманітних інформаційних і мультимедійних послуг. Еволюційний розвиток існуючих телекомунікаційних мереж за рахунок конвергенції мереж і технологій призвів до створення мережі наступного покоління (NGN – Next Generation Network). Завдяки цьому забезпечується широкий набір послуг, починаючи з класичних послуг телефонії і закінчуючи різними послугами передачі даних або їх комбінацією.

Розвиток технології Softswitch та еволюція інтелектуальних платформ призвели до появи концепції IP Multimedia Subsystem (IMS, підсистема надання мультимедійних послуг на базі протоколів IP-мереж). Концепція IMS описує нову архітектуру мережі NGN, основним елементом якої є пакетна транспортна мережа, що підтримує всі технології доступу (WLAN/Wi-Fi, хDSL, LTE та ін.) та забезпечує реалізацію значної кількості інфокомунікаційних послуг.

Впровадження в Україні технології побудови мереж NGN IMS розпочали як оператори стільникового рухомого зв'язку, так і оператор ПАТ «Укртелеком». Останній розпочав перебудовувати міську телефонну мережу великих міст на повністю цифрову з пакетною комутацією. Для побудови абонентської ділянки мережі ШД багатоквартирних будинків, поряд з оптичними технологіями доступу по волоконно-оптичних кабелях, як правило, використовуються існуючі абонентські лінії по багатопарних телефонних кабелях, що доцільно з економічної точки зору. Згідно з рекомендаціями Міжнародного союзу електрозв’язку (МСЕ-Т) G.992 − G.993, використовуються при цьому системи передачі за технологіями передачі xDSL (DSL - Digital Subscriber Line) – ADSL2+ і VDSL2. Але забезпечити потрібні швидкості передавання ці технології можуть лише при виконанні умов електромагнітної сумісності, тому що перехідні завади між системами передачі обмежують швидкість. З метою забезпечення високої швидкості передавання по телефонних кабелях МСЕ-Т регламентована технологія компенсації перехідних завад «векторинг» і технологія передачі G.fast, яка забезпечує швидкість передавання по телефонних кабелях до 1 Гбіт/с.

Саме тому тема дипломної роботи «Дослідження технологій передачі мереж широкосмугового доступу» є на даний час досить актуальною.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

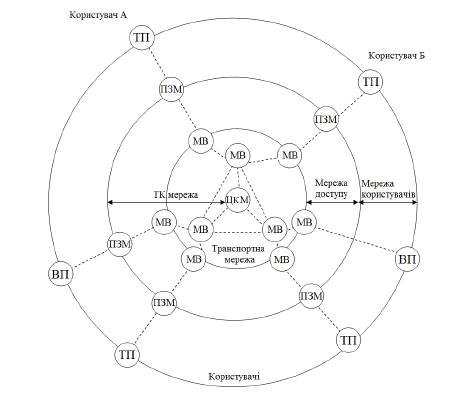
1.1 Загальна характеристика телекомунікаційної мережі

Телекомунікаційну (ТК) систему та її складові можна показати у вигляді трьох площин, обмежених концентричними колами: в центрі розташована площина транспортної мережі зв'язку, вище площина мережі доступу і далі – площина мережі абонентів (користувачів) (рисунок 1.1).

На зовнішній оболонці цієї гіпотетичної системи зв'язку розташовані об'єднані мережею користувача (провайдера) різноманітні джерела інформації, термінали споживачів послуг телекомунікацій та інформаційних ресурсів системи зв'язку. У простому випадку термінал – це телефонний апарат, включений у розетку, у більшості випадків – це внутрішня локальна мережа (домашня або підприємства), така, що містить низку різноманітних термінальних пристроїв, функціонує за власними протоколами і підключена через відповідне обладнання до мережного обладнання в пункті закінчення телекомунікаційної мережі (ПЗМ). Як середовище передачі сигналів у мережі користувача в основному використовуються структуровані кабельні системи, застосовуються також волоконно-оптичні та безпроводові технології.

Мережі доступу (МД) забезпечують взаємне з'єднання кінцевих пунктів телекомунікаційної мережі з найближчим вузлом транспортної мережі. Кінцевий пункт мережі (мережне закінчення) є межею відповідальності оператора (провайдера), що надає телекомунікаційні послуги.

Транспортна мережа (ТрМ) забезпечує передавання сигналів між мережними вузлами з потрібними швидкістю й якістю. На цей час вона розвивається як універсальна мультисервісна широкосмугова цифрова мережа на базі переважно оптичних систем передачі зі спектральним ущільненням (WDM), а також супутникових і радіорелейних ліній передачі.



ТК – телекомунікаційна мережа; ЦУМ – центр управління мережею; ТП – термінальні (прикінцеві) пристрої; ВП – вузол послуг; МВ – мережний вузол; ПЗМ – пункт закінчення мережі; --- – шляхи з’єднання.

Примітка. Комутаційні вузли транспортної мережі на рисунку не показані.

Рисунок 1.1- Загальна структура телекомунікаційної системи

Кожна зі складових телекомунікаційної системи характеризується власними технологіями передачі і маршрутизації (комутації) сигналів, протоколами, інтерфейсами взаємодії й керування. Критерій їх взаємодії – забезпечення передавання сигналів між термінальними пристроями із заданою якістю.

Телекомунікаційна система – система, що включає власне телекомунікаційну мережу й усю сукупність термінального обладнання та вузлів надання послуг, яке фізично і логічно з’єднано з мережею.

*Примітка.* Прикладами телекомунікаційних систем служать, наприклад, система телефонного зв'язку, система мобільного зв'язку, система супутникового зв'язку та ін.

Телекомунікаційна мережа – комплекс об'єднаних в єдиному технологічному процесі мережних вузлів і ліній передачі, який забезпечує передавання сигналів між мережними закінченнями з потрібними швидкістю й

якістю.

*Примітка*. Телекомунікаційна система (ТС) відрізняється від телекомунікаційної мережі (ТМ) наявністю термінального обладнання вузлів надання різного роду телекомунікаційних та інформаційних послуг.

Транспортна мережа – частина телекомунікаційної мережі, яка забезпечує взаємне з’єднання мереж доступу і передачу сигналів між ними без

проміжного накопичення.

Мережа доступу – частина телекомунікаційної мережі, яка забезпечує

взаємне з’єднання кінцевого пункту мережі з найближчим вузлом транспортної

мережі.

Мережа користувачів (абонентів) – частина (мережа термінального обладнання, будинкова мережа, локальна мережа і т. д.) – частина ТК системи,

що включає вузли надання послуг, термінальне обладнання користувачів,

мультиплексори, роутери, сервери та інше обладнання, які об'єднані каналами зв'язку в єдину мережу користувача, підімкнену до кінцевого пункту мережі доступу.

Центр управління мережею (ЦУМ) – сукупність технічних та програмних засобів, які забезпечують управління телекомунікаційною мережею.

Пункт закінчення мережі (ПЗМ) – пункт, де здійснюється фізичне і

логічне підімкнення за стандартними інтерфейсами термінального обладнання

користувачів до телекомунікаційної мережі.

Мережний вузол – комутаційна станція, комутатор, маршрутизатор,

включені за допомогою широкосмугових каналів зв'язку у систему мережних

вузлів, що взаємодіють за певними протоколами з метою передавання сигналів

між вузлами з необхідною якістю.

Вузол послуг (ВП) – обладнання телекомунікаційної мережі або

обладнання підімкнене до ПЗМ, яке надає користувачеві певні інформаційні послуги.

1.2 Архітектура телекомунікаційної мережі

Як зазначено вище, сучасна телекомунікаційна система складається з

телекомунікаційної мережі та мережі користувачів (абонентів). У свою чергу телекомунікаційна мережа складається з транспортної мережі та мережі доступу. Архітектура телекомунікаційної мережі показана на рисунку 1.2.

При більш детальному розгляді структури телекомунікаційної мережі

можна виділити п’ять рівнів за функціональним призначенням вузлів та чотири

сегменти мережі, що забезпечують взаємодію функціональних вузлів.

Рівні телекомунікаційної мережі: ядра IP/MPLS, дистрибуції, агрегації, доступу та закінчення мережі.

Телекомунікаційна мережа складається з транспортної мережі та мережі доступу, при цьому мережа доступу може бути умовно розділена на три сегменти: магістральний і розподільний сегменти та абонентський сегмент. Якщо прив’язуватися до адміністративно-територіального поділу держави, то відповідність між рівнями та сегментами телекомунікаційної мережі можна визначити наступним чином:

– перший рівень – рівень ядра IP/MPLS – є рівнем транспортної мережі. Це загальнодержавний рівень – транспортна мережа, що об’єднує всі територіально рознесені сегменти мережі в єдину мережу та має вихід на

зовнішні транснаціональні мережі;

– другий рівень – рівень дистрибуції, який є площиною розмежування транспортної мережі й мережі доступу та відноситься до мережі доступу – рівень у рамках адміністративно-територіальної одиниці (область або місто). Сегмент мережі доступу, який забезпечує підключення вузлів агрегації до вузла дистрибуції – це магістральний сегмент мережі доступу (Metro IP/MPLS);

– третій рівень – рівень агрегації – місцевий рівень у рамках району.

Сегмент мережі доступу, який забезпечує підключення вузлів доступу до вузла

агрегації – це розподільний сегмент мережі доступу (Metro Ethernet);

– четвертий рівень – рівень доступу – знаходиться нижче рівня агрегації,

охоплює територію, розмір якої визначається припустимою протяжністю абонентської лінії від вузла доступу до приміщення абонента. Сукупність

абонентських ліній складає абонентський сегмент мережі доступу;

– п’ятий рівень – рівень закінчення мережі – це площина розмежування телекомунікаційної мережі та мережі користувача (абонента) і розташовується в приміщенні користувача (абонента) або біля нього.

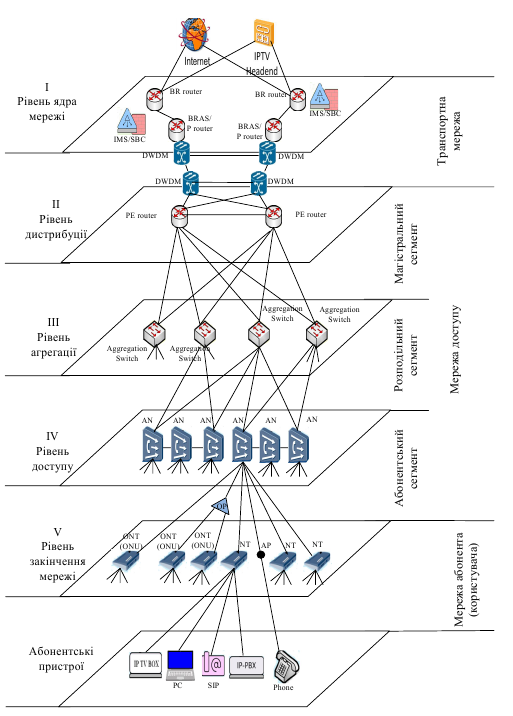


Рисунок 1.2 - Архітектура телекомунікаційної мережі

Рівень дистрибуції складають вузли дистрибуції (ВДс), які реалізуються за допомогою PE router (Provider edge router, маршрутизатор рівня постачальника послуг). До вузлів дистрибуції підключаються вузли агрегації. Ділянку мережі між вузлами дистрибуції та агрегації назвемо магістральним сегментом мережі доступу.

Для забезпечення резервування у кожній місцевій мережі передбачається

використовувати не менш ніж 2 вузли дистрибуції, при цьому магістральний сегмент мережі доступу може будуватися за топологіями «подвійна зірка», коли всі вузли агрегації підключаються до кожного з вузлів дистрибуції виділеними лініями, «лінійний ланцюг», коли кінцевими точками «ланцюга» є вузли дистрибуції або може використовуватися гібридна структура мережі.

Рівень агрегації складають вузли агрегації (ВА) – комутатори (Aggregation Switch), що агрегують Ethernet-трафік від вузлів рівня доступу

телекомунікаційної мережі. Ділянку мережі між вузлами агрегації та доступу назвемо розподільним сегментом мережі доступу.

Кількість вузлів агрегації визначається припустимою кількістю вузлів доступу, що підключаються до кожного вузла агрегації, та структурою розподільного сегмента мережі доступу. Одним із варіантів побудови розподільного сегмента, який забезпечує захисне перемикання на резерв у випадку аварії на лінії, може бути використання топології «кільце» або «лінійний ланцюг», коли кінцевими точками «ланцюга» є вузли агрегації.

Рівень доступу складають вузли доступу (ВД, Access Node – AN), до яких

підключаються кінцеві мережні пристрої у приміщенні користувача (або пристрої закінчення мережі, NT – network termination). Ділянка телекомуніка-

ційної мережі між вузлами доступу та NT і є абонентський сегмент мережі доступу. На сьогодні, у якості вузлів доступу використовуються комутатори доступу (Ethernet switches), комутатори GPON або мультисервісні вузли доступу (Multi-Service Access Node – MSAN) з відповідною до потреб абонентів у послугах комплектацією. MSAN може забезпечувати підключення абонентів за різними технологіями, наприклад, традиційна аналогова телефонія по інтерфейсу FXS/FXO, IP-телефонія SIP, ISDN, xDSL, xPON, Ethernet P2P та ін.

Від застосованої технології доступу залежить тип мережних пристроїв (терміналів) NT у приміщенні користувача: xDSL-модем, ONT GPON, Ethernet маршрутизатор (router) та ін., що складають рівень закінчення мережі. При використанні оптичних технологій доступу мережні пристрої називають оптичними мережними терміналами або груповими блоками – ONT/ONU (optical network terminal / optical network unit). У випадку надання абонентові лише послуг традиційної телефонії закінченням мережі є абонентська розетка (АР), до якої підключається телефон (Phone).

Рівень закінчення мережі є межею «відповідальності» оператора. Обладнання рівня закінчення мережі (мережний термінал NT) термінує секцію

цифрового доступу широкосмугового з'єднання, забезпечуючи керування й

моніторинг параметрів передачі, термінує транспортний протокол (наприклад,

ATM), використовуваний для передавання трафіка користувача, а також може

виконувати функції комутації/маршрутизації.

Рівень закінчення мережі забезпечує підключення різноманітних

абонентських пристроїв (CPE – customer premises equipment) до ресурсів

телекомунікаційної мережі. Причому тип CPE залежить від виду послуг, які бажає отримувати абонент/користувач, – це може бути телефон, ПК (desktop, laptop або планшетний комп’ютер), телевізор (з функцією SmartTV або підключений через Set-Top-Box чи IP-Box) тощо.

Сукупність фізичних з’єднань від кінцевого мережного пристрою NT до терміналів абонента як за допомогою абонентських кабелів (наприклад, «обвита пара»), так і радіоз’єднань (наприклад, Wi-Fi), складають мережу абонента.

1.3 Рівень ядра IP/MPLS та транспортна мережа

Ядро мережі (ІР/MPLS Core network), яке побудоване на базі технології передачі з комутацією по мітках MPLS, що складається з маршрутизаторів різного рівня: широкосмуговий маршрутизатор (BR-router – Broadband Router), який забезпечує підключення до зовнішніх мереж; маршрутизатор провайдера рівня ядра (Core P-router – Core Provider Router), до якого підключається обладнання другого рівня, та BRAS (Broadband remote access server, віддалений сервер широкосмугового доступу). До ядра також відносяться приграничний контролер сесій (SBC – Session Border Controller) і система надання мультимедійних послуг на базі протоколів IP-мереж (IMS – IP Multimedia Subsystem).

Архітектура ядра IP/MPLS телекомунікаційної мережі показана на рисунку 1.3.

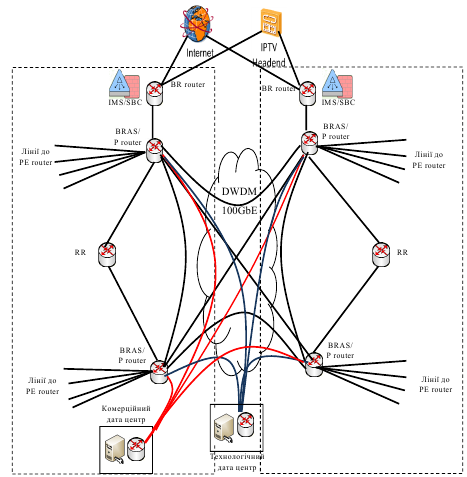


Рисунок 1.3- Архітектура ядра IP/MPLS телекомунікаційної мережі

Обладнання ядра повинно обов’язково мати стовідсоткове резервування. Зв'язок між ядром мережі та територіально рознесеними місцевими мережами доступу здійснюється за допомогою телекомунікаційних систем передачі, на сьогодні це, як правило, системи передачі за технологіями DWDM.

Також повинна використовуватися повнозв’язна топологія «кожен з

кожним», яка забезпечує резервування цифрових трактівза відмови будь-якого з

вузлів ядра. Пропускна здатність ліній передачі між вузлами ядра має становити не менше 100 Гбіт/с, для чого можуть використовуватися цифрові тракти 100 GbE (GigabitEthernet) або агреговані тракти N·10 GbE.

Підключення до зовнішніх мереж забезпечується прикордонним маршрутизатором BR-router з використанням протоколу BGP (Border Gateway

Protocol). Основна мета протоколу BGP – надати доступ до Інтернет-сервісів і

зробити так, щоб цей доступ був високодоступним.

Наступним рівнем маршрутизаторів є P-router та BRAS, які забезпечують

взаємодію з обладнанням рівня дистрибуції маршрутизаторами РЕ-router

(Provider edge router, маршрутизатор рівня постачальника послуг).

Для зменшення кількості сесій між маршрутизаторами РЕ використовується маршрутизатор RR (Route Reflector), для цього певний

маршрутизатор P-router налаштовується як сервер для всіх інших і є точкою обміну маршрутною інформацією між РЕ за протоколом iBGP.

Прикордонний контролер сесій SBC здійснюєть такі функції: трансляція сигнальних протоколів і їх діалектів, аналіз якості медіа-каналів, за якими здійснюється маршрутизація голосового трафіка (такі параметри, як затримка, джиттер, відсоток втрати пакетів й ін.), забезпечення якості обслуговування, обумовленого в SLA (Service Level Agreement – угода про рівень послуг), збирання статистичної інформації, контроль RTP-трафіка й ін.

SBC є єдиною точкою входу-виходу в мережу оператора, завдяки чому приховується топологія мережі, підвищується її надійність і відмовостійкість (SBC відбиває DoS-атаки), спрощуються завдання конфігурування й адміністрування.

Для забезпечення високого рівня надійності, SBC повинен підтримувати шифрування сигнального (наприклад, такі варіанти, як SIPS і/або SIP зверх TLS) і медіа-трафіка (SRTP, ZRTP).

Система надання мультимедійних послуг (IMS) вирішує завдання реалізації послуг у мережах зв'язку на базіпротоколів IP, яке являє собою

перехід від класичних телекомунікаційних технологій до Інтернет-технологій і

є ключовим елементом інфраструктури мереж наступного покоління (NGN).

Використання протоколу IP дозволяє побудувати гнучку мережу з низькими операційними витратами. Крім того, в основі лежить горизонтальна

архітектура, на відміну від традиційної – вертикальної. Архітектура IMS

зазвичай ділиться на три горизонтальних рівні: транспорту й абонентських

пристроїв; керування викликами і сеансами (функція CSCF і сервер абонентських даних); рівень додатків. В рамках IMS діє безліч серверів додатків, що надають як звичайні телефонні послуги, так і нові сервіси (обмін

миттєвими повідомленнями, миттєвий багатоточковий зв'язок, передача відеопотоків, обмін мультимедійними повідомленнями і т.д.).

IMS дозволяє розробляти і надавати абонентам мереж фіксованого та

мобільного зв'язку персоналізовані послуги, засновані на різних комбінаціях голосу, тексту, графіки та відео (чат на екрані мобільного телефону, електронна пошта, ігри та багато іншого). Рішення IMS значно розширюють можливості кінцевого користувача за рахунок надання розширеного набору послуг, в тому числі тих, які були неможливі або економічно неефективні в мережах TDM.

2 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЙ МЕРЕЖ

ШИРОКОСМУГОВОГО ДОСТУПУ

2.1 Технології доступу xDSL телефонною мережею загального

користування

2.1.1 Рекомендації МСЕ-Т, що стандартизують системи передачі xDSL

При побудові мереж широкосмугового доступу з використанням телефонної мережі загального користування (ТМЗК) застосовуються технології, які отримали загальну назву xDSL. xDSL – це сімейство технологій, побудову яких регламентовано Рекомендаціями МСЕ-Т G.99x.

Бурхливий розвиток технологій хDSL припав на початок 2000-х років: упродовж 7 років, починаючи з 1999 року, було стандартизовано п’ять типів систем ADSL і два типи систем VDSL. Характеристики приймачів-передавачів xDSL регламентовано Рекомендаціями G.991 - G.993, G.9700 та G.9701 МСЕ-Т [2…4, 41…48].

Далі надано опис тих технологій, які серед усього різноманіття різновидів

СП xDSL на даний час широко застосовуються на вітчизняних мережах ШД, та

тих, які мають перспективи впровадження у найближчому майбутньому.

Асиметричність швидкості передавання робить асиметричні технології

ідеальними для організації доступу до мережі Інтернет. Вони дозволяють

зберігати телефонний зв'язок шляхом використання частотних розділювачів

(сплітерів): одного − на АТС, а іншого − у приміщенні користувача. До одного

входу сплітера в приміщенні користувача вмикається аналоговий телефонний

апарат, а до другого - модем, що, залежно від реалізації, може виконувати також функції маршрутизатора, комутатора або моста. При цьому робота модема не заважає функціонуванню традиційного телефонного зв'язку, який працює незалежно від того, функціонує канал xDSL чи ні.

Асиметрична цифрова абонентська лінія ADSL2+ за Рекомендацією

G.992.5 [3] є останньою вдосконаленою версією ADSL, що забезпечує швидкість передавання в низхідному напрямку до 16 Мбіт/с, а у висхідному −

до 800 кбіт/с. Обладнання ADSL2+ більшості виробників забезпечує швидкість

передавання у висхідному напрямку до 1 Мбіт/с, а в низхідному − до 24 Мбіт/с.

Збільшення швидкості передавання, порівняно з ADSL за Рекомендацією G.992.1, зумовлено внесенням цілої низки вдосконалень, що розглянуто у [5, 15, 40, 41].

Надвисокошвидкісна цифрова абонентська лінія VDSL2 за Рекомендацією G.993.2 [4] забезпечує сумарну швидкість передавання в низхідному й висхідному напрямках до 200 Мбіт/с.

Швидкий доступ до абонентських терміналів G.fast (Fast access to subscriber terminals) за Рекомендацією МСЕ-Т G.9701 [48] забезпечує передавання із сумарною швидкістю передавання даних (сума у низхідному та

висхідному напрямках) приблизно до 1 Гбіт/с з використанням існуючої кабельної інфраструктури, яка початково була розгорнута для звичайної телефонної служби (POTS).

На сьогодні це найбільш перспективна технологія ШД мідними абонентськими лініями, тому розглянемо її докладно.

Рекомендація G.9701 визначає профілі смуги частот до 106 і 212 МГц та

визначає всі необхідні функціональні можливості для підтримки використання

системи компенсації перехідних завад на дальньому кінці (FEXT) між приймачами G.fast, що працюють паралельно по багатопарному телефонному кабелю, а Рекомендація МСЕ-Т G.9700 [47] визначає специфікацію спектральної густини потужності G.fast. Використання спектра до 106 або

212 МГц дозволяє забезпечити надійну роботу з високою швидкістю передавання даних на дуже короткі відстані. Дана технологія оптимізована для

роботи по парі проводів приблизно до 250 м діаметром 0,5 мм. Проте вона здатна працювати на лініях щонайменше до 400 м діаметром 0,5 мм за умови дотримання деяких обмежень продуктивності. Дана технологія може бути розгорнута при побудові оптичних мереж FTTx, при цьому точка встановлення DPU (блок у точці розподілення) G.fast повинна бути розташована у безпосередній близькості до території замовника або в будівлях.

Технологія G.fast має наступні особливості:

– низькі споживана потужність, вартість і складність;

– функціонування, адміністрування та управління в автоматичному режимі;

– підтримка архітектур TR-156 та TR-167, розроблених Broadband Forum;

– цільові показники швидкості доступу:

1) 500-1000 Мбіт/с для розгортання FTTB на відстань менше 100 м;

2) 500 Мбіт/с на 100 м;

3) 200 Мбіт / с на 200 м;

4) 150 Мбіт / с на 250 м;

5) сумарні швидкості дорівнюють або перевищують 500 Мбіт/с при

використанні початкової частоти 23 МГц та режекторних фільтрів діапазонів ДВЧ та DAB;

– використання переваг FTTH і DSL (швидкості передавання, характерні для FTTH, і самостійна установка клієнтом, характерна для DSL);

– спектральна сумісність G.fast з іншими технологіями xDSL (працює на більш високих частотах, початкова частота: 2,2, 8,5, 17,664 або 30 МГц);

– зворотня подача електроживлення (RPF) на DPU з приміщень клієнта;

– управління коефіцієнтом асиметрії швидкості висхідного/низхідного

потоку:

1) гнучкий розподіл швидкості передавання даних на лінії вгору/вниз;

2) примусовий розподіл: 90/10 і 50/50;

3) розподіл за вибором: від 50/50 до 10/90;

– робота в діапазоні частот до 106 МГц:

1) максимальна спектральна густина потужності набагато нижча, ніж в

VDSL2;

2) налаштування маски СГП сигналу;

3) настроювані режекторні фільтри;

– застосування дуплексу з часовим поділом (TDD):

1) можливість зручної зміни коефіцієнта асиметрії швидкості висхідного/низхідного потоку;

2) проста підтримка режимів з низькою споживаною потужністю;

3) режим переривчастого передавання забезпечує компроміс між споживанням енергії і пропускною здатністю каналу;

– обов'язкова підтримка векторизації (придушення перехідних завад з

дальнього кінця лінії (FEXT));

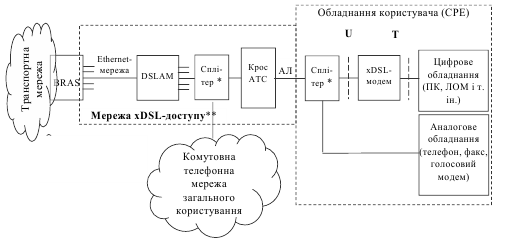
– повторне передавання на фізичному рівні (ослаблення впливу імпульсних завад при забезпеченні низької затримки);

– підтримка швидкої адаптації швидкості (FRA).

2.1.2 Структура та елементи мережі абонентського xDSL-доступу

Еталонна модель побудови мережі доступу при використанні технологій xDSL, визначена в Рекомендації МСЕ-Т G.995.1 [49], являє собою абстрактне групування виконуваних обладнанням функцій, що може й не відповідати групуванню функцій у реальному обладнанні, була докладно розглянута у [5, 15, 39, 40], зупинимося на її реалізації для типової структури мережі xDSL-доступу за Рекомендацією МСЕ-Т G.992.1 [42], яка має вид, показаний на рисунку 2.1.

На рисунку 2.1 мережа xDSL-доступу – це широкосмугова мережа доступу, побудована на базі систем передачі xDSL, і яка єчастиною телекомунікаційної мережі, обмеженої еталонною точкою U (або T) та BRAS (у тій його частині, що мультиплексує цифрові потоки DSLAM). У якості обладнання користувача можуть виступати xDSL-модем, локальна обчислювальна мережа, персональний комп'ютер та інші пристрої.



BRAS – Broadband Remote Access Server (сервер віддаленого широкосмугового доступу);

DSLAM – Digital Subscriber Line Access Multiplexer (мультиплексор доступу цифрових абонентських ліній);

CPE – Customer Premises Equipment (обладнання приміщення користувача);

АТС – автоматична телефонна станція;

АЛ – абонентська лінія;

ПК – персональний комп’ютер;

ЛОМ – локальна обчислювальна мережа.

\*) Сплітер не використовується у симетричних видах xDSL (HDSL, SHDSL). Сплітер може бути вбудованим у DSLAM та xDSL-модем.

\*\*) У певних випадках мережа xDSL-доступу може закінчуватись у точці T.Рисунок 2.1 – Структура мережі xDSL-доступу

xDSL-модем встановлюється у приміщенні користувача і може включати

функції маршрутизатора, моста та/або комутатора.

Сплітер являє собою фільтр, що відокремлює високочастотні сигнали

(xDSL) від низькочастотних телефонних сигналів (смуга частот від 0,3 кГц до

3,4 кГц) або сигналів ISDN (від 0 кГц до 80 кГц).

DSLAM термінує сигнали xDSL. Це перший елемент мережі доступу, де

відбувається агрегація трафіка множини цифрових абонентських ліній.

Ethernet-мережа (на рисунку 2.1) – це частина мережі xDSL-доступу, обмежена множиною DSLAM та BRAS, яка використовує технологію передачі Ethernet.

BRAS мультиплексує цифрові потоки DSLAM і забезпечує агрегацію

PPPoE-сесій (PPPoE – Point-to-Point Protocol over Ethernet) абонентів. Взаємодія

BRAS з AAA-системою (AAA – Authentication, Authorization and Accounting) забезпечує автентифікацію, авторизацію та облік надаваних послуг кожному абонентові. На підставі отриманої від AAA-системи інформації BRAS формує політику обслуговування абонентів. Функції BRAS можуть бути вбудовані в DSLAM. В такій ситуації структура мережі xDSL-доступу відрізняється від показаної на рисунку 2.1 відсутністю окремого BRAS.

Розглянемо більш детально елементи мережі xDSL-доступу.

xDSL-модем

xDSL-модем – технічний засіб, який зазвичай встановлюється в приміщенні абонента і реалізує функції приймача-передавача за технологією xDSL. xDSL-модем може також виконувати функції моста і маршрутизатора.

xDSL-модем обладнаний інтерфейсом Ethernet 10/100Base-T (точка T

рисунок 2.1) для підключення до ПК або ЛОМ, а також інтерфейсом xDSL (точка U рисунок 2.1) для підключення АЛ.

Інтерфейс Ethernet 10/100Base-T має відповідати стандарту IEEE 802.3.

Інтерфейс xDSL задовольняє щонайменше одній з таких Рекомендацій МСЕ-Т: G.991.1, G.991.2, G.992.1, G.992.2, G.992.3, G.992.4, G.992.5, G.993.1, G.993.2.

xDSL-модем може мати більше одного інтерфейсу xDSL, наприклад у разі використання симетричних (з однаковою швидкістю передавання в низхідному і висхідному напрямках) технологій HDSL та SHDSL або VDSL2 з використанням методу Bonding для передавання одного інформаційного потоку по кількох парах.

xDSL-модем підтримує режим адаптивної швидкості передавання із

кроком 32 кбіт/с. Швидкості передавання в низхідному (Downstream) і висхідному (Upstream) напрямках мають бути незалежні.

На мережному рівні iнтерфейсу Ethernet xDSL-модема має підтримуватися протокол IP версії 4 відповідно до стандартів IETF RFC 791 і IETF RFC 2474, протокол PPPoE (IETF RFC 2516) і може підтримуватися протокол IP версії 6 (IETF RFC 2460).

Якщо xDSL-модем виконує функцію маршрутизації, то він має підтримувати протоколи маршрутизації (RIP, OSPF або ін.).

DSLAM

Digital Subscriber Line Access Multiplexer (DSLAM) – технічний засіб, який зазвичай встановлюється в приміщенні автоматичної телефонної станції (АТС) або в іншому спеціальному місці (виносі) і призначений для об’єднання множини цифрових потоків від абонентських xDSL-модемів (xDSL-ліній).

Отже, DSLAM виконує такі функції:

– множини приймачів-передавачів за технологією xDSL (відповідно,

DSLAM обладнаний множиною інтерфейсів xDSL, кількість інтерфейсів xDSL може сягати кількох сотень і навіть тисяч);

– мультиплексування (об’єднання) сигналів xDSL-ліній у високошвидкісний груповий цифровий сигнал.

Для передавання групового цифрового сигналу в бік транспортної мережі,

як правило, використовуються оптичні інтерфейси Gigabit Ethernet (1000Base-

SX, 1000Base-LX тощо).

Інтерфейси Gigabit Ethernet задовольняють Стандарту IEEE 802.3. Інтерфейси xDSL задовольняють щонайменше одній з таких Рекомендацій МСЕ-Т: G.991.1, G.991.2, G.992.1, G.992.2, G.992.3, G.992.4, G.992.5, G.993.1, G.993.2.

DSLAM підтримує режим адаптивної швидкості передавання із кроком 32 кбіт/с. Діапазони швидкостей передавання, що мають забезпечуватися DSLAM, для кожного різновиду технології xDSL надано. Швидкості передавання в низхідному (Downstream) і висхідному (Upstream) напрямках мають бути незалежними.

DSLAM підтримує протоколи STP і RSTP відповідно до Стандарту IEEE

802.1w. DSLAM підтримує віртуальні локальні мережі (VLAN) відповідно до Стандарту IEEE 802.1Q.

DSLAM підтримує класифікацію трафіка відповідно до Стандарту IEEE 802.1Q.

На мережному рівні iнтерфейсів Gigabit Ethernet DSLAMу підтримується

протокол IP версії 4 відповідно до Стандартів IETF RFC 791 і IETF RFC 2474 та

може підтримуватися протокол IP версії 6 (IETF RFC 2460).

BRAS

На межі між мережею доступу та транспортною мережею застосовується

технічний засіб, називаний сервером віддаленого широкосмугового доступу –

Broadband Remote Access Server (BRAS). BRAS є шлюзом між мережею

доступу та транспортною мережею. Основними функціями BRAS є автентифікація, авторизація та облік надаваних послуг кожному абонентові та

агрегація трафіка користувачів. У разі, коли функції BRAS інтегровано в

DSLAM, BRAS мультиплексує сигнали множини xDSL-ліній. У разі, коли

функції DSLAM реалізовано в окремому пристрої, BRAS об’єднує потоки від

множини підключених до нього DSLAM.

BRAS перетворює протоколи мережі доступу в протоколи транспортної мережі.

BRAS обладнаний оптичними інтерфейсами Gigabit Ethernet (1000Base-SX, 1000Base-LX тощо), що відповідають Стандарту IEEE 802.3.

На мережному рівні iнтерфейсів Gigabit Ethernet DSLAM підтримує

протокол IP версії 4 відповідно до Стандартів IETF RFC 791 і IETF RFC 2474 та

може підтримувати протокол IP версії 6 (IETF RFC 2460).

BRAS підтримує віртуальні локальні мережі (VLAN) відповідно до

Стандарту IEEE 802.1Q.

BRAS також виконує функції маршрутизації. Відповідно мають підтримуватися протоколи RIP версії 2 (відповідає STD 0056), OSPF версії 2 (відповідає RFC 2328), BGP-4 (відповідає RFC 1771), ISIS (відповідає ISO 10589).

Система керування xDSL-модема (DSLAM)

xDSL-модем (DSLAM) має діагностичні засоби, що дозволяють користувачеві точно визначити параметри будь-якого з'єднання, у тому числі параметри помилок. Ці засоби мають бути доступні за допомогою графічного інтерфейсу користувача або XML-інтерфейсу.

xDSL-модем (DSLAM) забезпечує детальну інформацію про поточні

з'єднання і відповідні параметри, у тому числі швидкість xDSL-з’єднання,

потужність для висхідного та низхідного напрямків передачі, статистику помилок коригувального кодування, статистику помилок CRC (Сyclic Redundancy Check – циклічна перевірка за надлишковістю), загасання лінії,

запаси завадозахищеності, пропускну здатність лінії, швидкість передавання

даних під час ініціалізації, графік розподілу кількості передаваної інформації за

несучими (тільки для ADSL), а також статистику аварійних сигналів LOS (Loss

Of Signal – втрата сигналу) і LOF (Loss Of Frame – втрата фрейма/кадру).

xDSL-модем (DSLAM) підтримує віддалене тестування, діагностику та моніторинг параметрів помилки.

2.2 Технології оптичних мереж доступу

Оптичні мережі доступу (ОМД) можуть бути класифіковані за [39, 40]:

- глибиною проникнення оптичного волокна до приміщення абонента, що визначає місце розташування оптичного мережного терміналу і варіант

побудови ОМД за концепцією FTTx;

- видом використовуваної технології передачі інформації.

2.2.1 Варіанти побудови оптичних мереж доступу FTTx

FTTx (fiber to the x – оптичне волокно до точки х) – це загальний термін,

що означає технологію організації ОМД, за якої від мережного вузла зв’язку (точки присутності оператора) до певного місця (точка х) доходить волоконно-оптичний кабель, а далі до абонента йде мідний кабель [50]. Отже, технологія організації оптичних мереж доступу FTTx припускає наявність ділянки з розподільними мідними кабелями, але чим вона коротша, тим більше пропускна здатність мережі.

Існує безліч варіантів реалізації FTTx, які за ступенем проникнення

волокна на мережі ШД (наскільки близько до термінала користувача підходить

оптичний кабель) та відповідно довжиною розподільного мідного кабелю

можна поділити на чотири групи (рисунок 2.2):

- FTTN (Fiber To The Node) – волокно доведено до оптичного мережного

блока (ONU – optical network unit), який знаходиться від термінала клієнта на

відстані понад 500 м (звичайно це мережний вузол місцевої транспортної

мережі – приміщення комутаційної станції, в якому розміщується DSLAM);

- FTTC (Fiber To The Curb) – волокно доведено до оптичного мережного

блока, який знаходиться від термінала клієнта на відстані менше 500 м (звичайно це розподільна шафа, точка розмежування магістральної та розподільної ділянки телефонної мережі, де розміщується виносний модуль

комутації, концентратор або DSLAM);

- FTTB (Fiber To The Building) – волокно доведено до оптичного мережного блока, який знаходиться від термінала клієнта на відстані менше 100м (зазвичай це спеціально обладнане місце, що знаходиться на цокольному поверсі або горищі житлового будинку чи офісу);

- FTTH (Fiber To The Home) – волокно доведено до приміщення клієнта,

тобто ONT (optical network terminal) – індивідуальний термінал кожного

клієнта, а мідна ділянка абонентської лінії відсутня.

Дамо характеристику кожному із наданих варіантів FTTx.

FTTN доцільно використовувати там, де існує розподільна «мідна»

інфраструктура і прокладання оптоволокна нерентабельне. Для цього варіанта

характерна невисока якість надаваних послуг, обумовлена суттєвим обмеженням за швидкістю і кількістю підключень в одному кабелі, у зв’язку зі

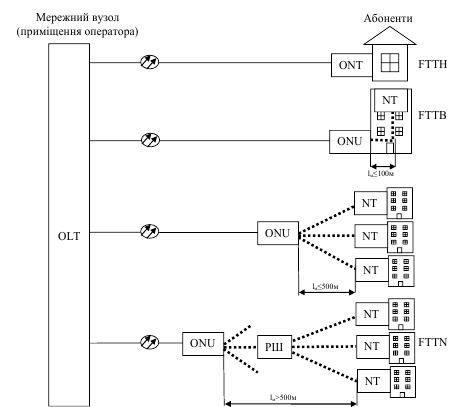
специфічними проблемами багатопарних мідних кабелів (магістральна ділянка

телефонної мережі), що лежать у телефонній каналізації. Довжина мідної

ділянки АЛ достатньо велика, тому для надання послуг широкосмугового доступу в цьому варіанті передбачається застосування оптичних технологій

разом з технологіями xDSL (ADSL або VDSL).

У випадку з FTTC здебільшого використовуються мідні кабелі, прокладені всередині будівель, тому невелика протяжність мідної ділянки абонентської дозволяє досягти більш високої швидкості передавання.



OLT – Otical Line Terminal, оптичний лінійний термінал;

ONT – Optical Network Terminal, оптичний мережний термінал;

ONU– Optical Network Unit, оптичний мережний блок;

NT –Network Terminal, мережний термінал, термінальний (кінцевий) пристрій; РШ – розподільна шафа;

* – оптичний кабель;  – металевий кабель.

Рисунок 2.2 – Варіанти побудови оптичних мереж доступу FTTx

FTTC у першу чергу доцільно застосовувати операторам, що вже використовують технології xDSL, і операторам кабельного телебачення: реалізація цієї архітектури дозволить їм з меншими витратами збільшити

кількість обслуговуваних користувачів та смугу пропускання, що виділяється кожному з них.

У даному випадку оптимальним варіантом буде поєднання оптичних

технологій та VDSL, але є випадки, коли деякі невеликі оператори використовують концепцію FTTC для будівництва Ethernet-мереж (для переходу від «оптики» до «міді» в цьому випадку застосовуються медіаконвертери).

Варіант FTTB розв’язує задачу підведення оптики до багатоквартирних будинків або офісів. Розведення всередині будинку потрібно виконувати кабелем типу «обвита пара» за технологією Ethernet (переважно) або VDSL. Даний варіант завдяки коротким мідним лініям забезпечує високими швидкостями доступу для підключення до операторів, що надають Інтернет-послуги для офісних центрів або Triple Play для житлового багатоквартирного сектору.

Варіант доступу FTTH є найбільш витратним, але у той самий час і

найбільш перспективним, серед усіх типів доступу FTTx, тому що забезпечує

найбільшу смугу пропускання, а тому цей варіант повною мірою може задовольнити зростаючі потреби користувачів в обміні інформацією.

Вибір технології FTTx побудови ОМД залежить від безлічі умов, в першу

чергу – від наявності існуючої мідної розподільної інфраструктури, щільності

розміщення абонентів та їх платоспроможності. Орієнтовно можна зазначити,

що варіант FTTН слід застосовувати в елітних котеджних і нових багатоквартирних забудовах та бізнес-центрах, які характеризуються великими

необхідними швидкостями доступу та високою платоспроможністю. Варіант FTTВ буде вдалим у багатоквартирній забудові зі значною щільністю населення та їх середньою платоспроможністю. Технологію FTTC/FTTN доцільно застосовувати у малоповерховій, не елітній житловій і дачній забудові, які характеризуються малою концентрацією користувачів, невеликим попитом на високі швидкості доступу та за наявності існуючої розподільної мідної інфраструктури.

Треба зазначити, що FTTx – це тільки фізичний рівень оптичних технологій доступу. Проте фактично дане поняття охоплює і велике число технологій передачі канального і мережного рівнів, таких як SDH, Ethernet та PON.

2.2.2 Рекомендації МСЕ-Т, що стандартизують системи передачі ОМД

При побудові оптичних мереж доступу можливе застосування наступних

технологій:

- мікро-SDH (Micro-SDH);

- активних оптичних мереж Ethernet (Active Optical Network, AON, Active

Ethernet, Ethernet First Mile Fiber);

- пасивних оптичних мереж (Passive Optical Network, хPON).

Активне впровадження оптичних технологій на мережах доступу починається з середини 2000-х років, коли було стандартизовано низку технологій для побудови пасивних та активних мереж доступу. При відомих перевагах оптичних систем передачі перед СП, що використовують металеві кабелі, основну роль у цьому відіграло здешевлення як вартості самого оптичного волокна, так і витрат на будівництво оптичних мереж доступу до рівня традиційних телефонних абонентських ліній. Характеристики оптичних приймачів-передавачів регламентовано Рекомендаціями G.957 (Micro-SDH) та G.98х (AON, PON) МСЕ-Т [51…57]

Технології оптичного доступу мікро-SDH

Побудову мереж SDH та систем передачі SDH регламентовано Рекомендаціями МСЕ-Т серій G.8хх (зокрема G.803) та G.78х відповідно, а характеристики оптичних інтерфейсів СП SDH – G.957 [51].

Системи передачі мікро-SDH відносяться до наступного покоління систем SDH, для якого часто вживається термін NG SDH (Next-Generation SDH).

Основна відмінність нової генерації систем SDH від традиційних полягає у реалізації інтегрованих мультисервісних рішень з підтримкою широкого спектра послуг (Triple Play – голос, відео, дані) за рахунок передавання

пакетного трафіка поверх SDH, найчастіше Ethernet over SDH (EoS, або

EoSDH), що обумовлено необхідністю «виживання» TDM-орієнтованої технології передачі SDH (технологій передачі з комутацією каналів) в умовах

зростаючих обсягів різнорідного трафіка.

Термін мікро-SDH асоціюється із застосуванням технології NG SDH на мережі доступу. Специфіка обладнання мікро-SDH пов’язана в першу чергу з компактністю пристроїв, їх низьким енергоспоживанням, а також відносно невисокою вартістю (порівняно з традиційними СП SDH), що з урахуванням мультисервісності NG SDH і зробило можливим застосування технології SDH на мережі доступу.

У цьому варіанті побудови ОМД у приміщенні оператора (на станції, мережевому вузлі) установлюється транспортна платформа SDH, яка має модульну структуру та розміщується на стандартному стояку у шасі U19” (при цьому в одному конструктиві може розміщуватися кілька систем SDH). Зв'язок з абонентами здійснюється на рівні STM-1 або STM-4, а для зв’язку з транспортною мережею застосовується STM більш високого рівня (4/16). На стороні абонентів найчастіше розміщуються одноплатні мультиплексори розміром 1 U19” (MiniRack), рідше більш потужні мультиплексори розміром 3 U19” рівня STM-1/4 з інтеграцією Ethernet та каналів E1(рисунок 2.3 ).

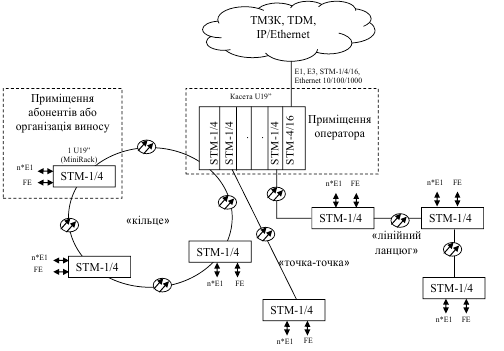


Рисунок 2.3 – Приклади топологій ОМД при застосуванні

технології мікро-SDH

При побудові мережі доступу мікро-SDH зазвичай використовують топологію «кільце» (рідше «точка-точка» або «лінійна»). Така мережа має

добру відмовостійкість та керованість, зручна в обслуговуванні. Однак розгортання повноцінного кільця за великої кількості користувачів пов'язано зі

значними капітальними витратами (вартість мультиплексора мікро-SDH набагато вища за вартість абонентського обладнання інших технологій доступу), істотні труднощі виникають при підключенні нових абонентів і

створенні нових сегментів мережі. Розміщення мультиплексорного обладнання

потребує стабільного електроживлення, контролю температури навколишнього

середовища, надійного захисту від несанкціонованого доступу.

Застосування технології мікро-SDH на мережі доступу є доцільним у

наступних випадках:

- бізнес-сектор, де є потреба у передаванні TDM-трафіка, тобто наданні доступу по цифрових потоках Е1/3, та паралельно з цим потрібно організувати підключення локальних мереж по Ethernet 10/100/1000 Мбіт/с – при цьому застосовується варіант побудови оптичної мережі FTTO, тобто обладнання мікро-SDH розміщується у приміщенні корпоративних абонентів, що спрощує організацію електроживлення та захист від несанкціонованого доступу до обладнання;

- побудова оптичної мережі при модернізації існуючої або побудові нової

телефонної мережі загального користування, коли район обслуговування АТС

розбивається на зони, в центрі яких розміщуються виносні модулі комутації (ВМК) та DSLAM. Зв'язок АТС з ВМК організовується по ВОК на базі обладнання мікро-SDH, при цьому послуги телефонії забезпечуються шляхом підключення ВМК по Е1 до мультиплексора мікро-SDH, а широкосмуговий доступ (послуги передачі даних, Інтернет) забезпечується шляхом підключення DSLAM по Ethernet. Оптична мережа доступу відповідає варіанту – FTTС/Cab/R.

Технології мікро-SDH набули поширення у країнах східної і Південно-Східної Азії, а також у США.

Технології активних оптичних мереж Ethernet

Побудову оптичних мереж доступу Ethernet регламентовано Рекомендаціями МСЕ-Т G.985 та G.986 [52, 53, 20]. Але треба зауважити, що

основний внесок у розвиток Ethernet-доступу належить робочій групі «Ethernet

на першій милі» (Ethernet in the First Mile, EFM) комітету IEEE 802.3. Результати діяльності якого втілилися у стандарті IEEE 802.3ah, ратифікованому в червні 2004 року. У цьому стандарті надано специфікації Ethernet-мереж для реалізації операторами послуг доступу.

Стандартом IEEE 802.3ah визначено наступні варіанти доступу: рішення на мідній парі (EFM Copper, EFMC), на оптичному волокні з топологією «точка-точка» або Р2Р (EFM Fiber, EFMF) та з'єднання «точка-багатоточок» або Р2МР, що базується на технології пасивних оптичних мереж (EFM PON, EFMP). Крім того, передбачається можливість реалізації гібридних топологій (EFM Hybrid, EFMH), що поєднують у собі перераховані варіанти. Це необхідно для побудови гібридних мереж доступу на основі різних підходів, які визначають кінцевий пункт, до якого проводиться оптичне волокно (концепцій FTTx).

Активні оптичні мережі Ethernet будуються у відповідності з варіантом доступу EFMF стандарту IEEE 802.3ah. При цьому застосовуються топології «точка-точка» або «дерево з активними вузлами». Саме наявність активних проміжних вузлів між вузлом доступу та приміщенням абонента дало назву цьому варіанту доступу – AON.

Характеристики оптичних інтерфейсів систем передачі активних оптичних мереж Ethernet надано у Розділах 6 Рекомендацій МСЕ-Т G.985 [52] та G.986 [53].

Доступ EFMF «точка-точка» практично не відрізняється від аналогічних реалізацій Ethernet, що використовуються у локальних мережах. У першу чергу це відноситься до стандартів, що застосовують два волокна (одне на передачу, інше на прийом): 100BASE-LX10 та 1000ВАSE-LX10, що забезпечують реалізацію з'єднань на одномодових волокнах зі швидкістю відповідно 100 та 1000 Мбіт/с при відстані до 10 км (гігабітний варіант допускає роботу на багатомодових волокнах при відстані до 550 м).

Технології 100BASE-BX10 та 1000ВАSE-BX10 також забезпечують швидкості 100 та 1000 Мбіт/с і підтримують таку ж відстань, але при цьому використовують тільки одне одномодове волокно. Для проходження потоків у двох напрямках застосовується частотне розділення каналів. Це вимагало розробки трансиверів двох типів. Тип D (Downlink – низхідний, тому що здійснює передачу у напрямку до абонента) призначений для обладнання, яке встановлюється у вузлах доступу. Типом U (Uplink – вихідний, що передає дані в мережу) оснащується термінальне обладнання користувача. Відповідно передача пристроями 1000BASE-BX10-U здійснюється у другому вікні прозорості (1310 нм), а пристрої 1000BASE-BX10-D передають у третьому вікні прозорості (1550 нм). Для забезпечення швидкості доступу 1000 Мбіт/с на відстань 20 км також розроблено технологію 1000ВАSE-BX20.

Активні оптичні мережі Ethernet за топологією «точка-точка» досить прості у проектуванні та технічному обслуговуванні, дозволяють обмежувати або нарощувати швидкість передавання інформації до кожного користувача. Вартість активного обладнання коливається в дуже великому ціновому діапазоні залежно від кількості портів, функціональних можливостей і показників надійності. Це дає оператору достатню гнучкість при побудові мережі.

Однак технологія активних оптичних мереж Ethernet має кілька суттєвих

недоліків. Витрати на активне обладнання досить великі. В оптичних кабелях

використовується значна кількість волокон. І, хоча їх вартість не надто велика,

витрати на будівельно-монтажні роботи та вимірювання будуть значні. Може

бути проблематичним розширення мережі, а закладати в кабель значний запас

волокон в розрахунку на підключення нових абонентів не дуже економічно.

Перехід до топології «дерево з активними вузлами» з використанням

активних проміжних вузлів дозволяє зменшити витрати на лінійно-кабельну інфраструктуру. Але при цьому не лише не усуває перший з недоліків, а поглиблює його: установка додаткового активного обладнання за межами приміщення оператора вимагає забезпечення гарантованого електроживлення та підвищує експлуатаційні витрати. На рисунку 2.4 показані можливі схеми застосування технології Active Ethernet.

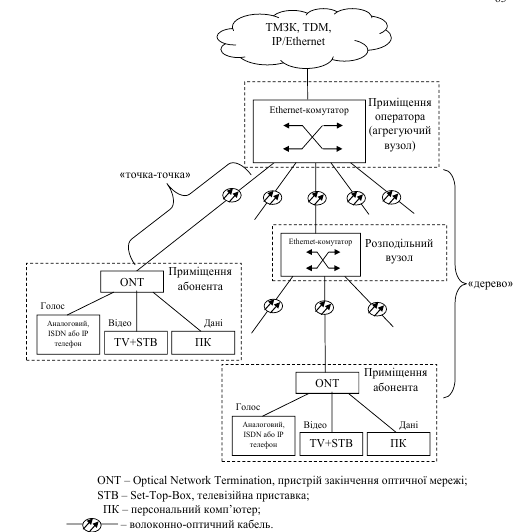


Рисунок 2.4 – Приклади топологій ОМД при застосуванні

технології ActiveEthernet

Обов'язковий елемент архітектури активної оптичної мережі Ethernet – центральний агрегуючий вузол (потужний Ethernet-комутатор) з інтерфейсами, відповідними специфікації 802.3ah, безпосередньо до якого по оптиці може підключатися користувач (топологія «точка-точка»), або між агрегуючим вузлом і користувачем може бути присутнім необов'язковий елемент даної архітектури (топологія «дерево») – розподільний вузол (менш потужний ніж на центральному вузлі Ethernet-комутатор), який розташовується в зоні обслуговування центрального вузла для більш ефективного використання оптичного волокна або в будівлі, де знаходиться абонент, і з'єднується з ним по внутрішній мідній або оптичній проводці. Специфікація 802.3ah передбачає можливість роботи оптичних інтерфейсів у розширеному діапазоні температур, тому розподільний і агрегуючий вузли можуть також розміщуватися і у вуличних шафах. Пристроєм закінчення мережі (NT – Network Termination) може бути Ethernet-комутатор або домашній шлюз (residental gateway), що має на додаток до Ethernet ще аналогові або ISDN BRI інтерфейси і підтримує VoIP-протоколи з сигналізаціями H.323, SIP або MGCP. В деяких варіантах (при підключенні одного абонентського пристрою по обвитій парі) замість комутатора можна використовувати медіаконвертер.

Якщо оператор забезпечує трансляцію відеоконтенту, то для його перегляду на телевізорі необхідний IP STB (Set-Top-Box), який декодує стиснений відеопотік, що надходить у вигляді IP пакетів.

Застосування технології активних оптичних мереж Ethernet є доцільним у

наступних випадках:

- для підключення приватних абонентів за варіантом доступу FTTB

(точніше, «волокно до під'їзду») при новому будівництві, при якісній кабельній

інфраструктурі, коли немає необхідності сильно економити волокна і якщо є можливість розміщення та організації електроживлення активного обладнання;

- для підключення бізнес-абонентів, які вимагають організації виділених

оптичних ліній, за варіантом FTTО (часто оператори називають цей варіант FTTH Р2P, але це справедливо при підключенні приватних абонентів, а не організацій);

- для підключення до мережі DSLAM, які зазвичай мають вбудовані

Ethernet-комутатори, за варіантом доступу FTTС.

Технології активних оптичних мереж Ethernet набули найбільшого поширення в країнах північної і центральної Європи (Швеція, Норвегія,

Німеччина, Австрія та ін.).

Технології пасивних оптичних мереж доступу

Однією з важливих переваг PON (Passive Optical Network) є можливість надання споживачу всіх послуг (голос, Інтернет, телебачення – концепція Triple Play) по одному оптичному волокну. Технологія PON надає найбільш гнучкі можливості використання оптичних волокон, забезпечуючи, зокрема, передавання телевізійного сигналу на окремо виділеній оптичній піднесучій 1550 нм, при цьому IP-канал вільний для передавання Інтернет-трафіка та голосу.

На відміну від активних мереж, технологія пасивних оптичних мереж

передбачає створення розгалуженої мережі (переважно топології «дерево»,

іноді «зірка», «променева» або «шина») без активних компонентів – на

пасивних оптичних розгалужувачах (ОР) (рисунок 2.5) Для «дерева» характерно кілька каскадів ОР, а для «зірки» та «променевої» – лише один ОР (у першому випадку ОР розміщується на головній станції, а у другому – ОР винесено максимально близько до району концентрації абонентів).

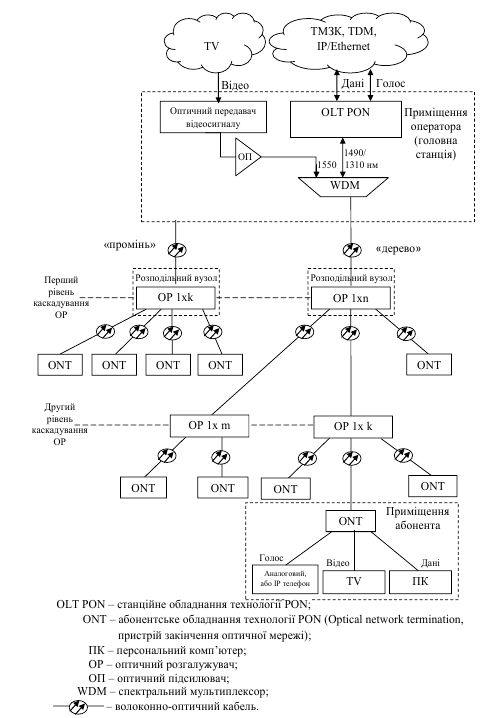


Рисунок 2.5 – Приклади топологій ОМД при застосуванні технології PON

Основна ідея архітектури PON – використання лише одного приймально-

передавального модуля в OLT для передавання інформації множині абонентських пристроїв ONT і прийому інформації від них.

Число абонентських вузлів, підключених до одного приймально-передавального модулю OLT, може бути настільки великим, наскільки дозволяє бюджет потужності і максимальна швидкість приймально-передавальної апаратури.

Передавання і приймання в обох напрямах здійснюється по одному

оптичному волокну: у прямому потоці/напряму (від станції до абонента)

використовують довжину хвилі 1490 нм, а у зворотному (від абонента до

станції) – 1310 нм, довжина хвилі 1550 нм виділяється для передавання всім абонентам телевізійного сигналу.

У OLT та ONT вбудовані мультиплексори WDM для об'єднання/розділення відеосигналу та цифрового сигналу прямого і зворотного

напрямів передачі (рисунок 2.6, а).

Прямий потік на рівні оптичних сигналів є широкомовним. Кожен

абонентський вузол ONT, читаючи адресні поля, виділяє з цього загального потоку призначену тільки йому частину інформації (рисунок 2.6, б). Фактично, ми маємо справу з розподіленим демультиплексором (для передавання інформації від станції до абонентів використовується метод часового розділення – TDM).

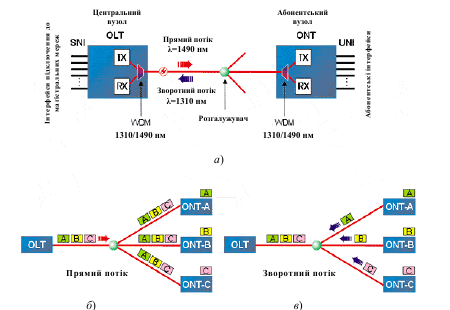


Рисунок 2.6 – Принципи розділення інформації у PON:

а) WDM для розділення зустрічних напрямів передавання; б) TDMдля

прямого потоку; в)TDMA для зворотного потоку

Всі абонентські вузли ONT ведуть передачу у зворотному потоці на одній і тій самій довжині хвилі, використовуючи концепцію множинного доступу з часовим розділенням TDMA (time division multiple access). Для того, щоб

виключити можливість перетину сигналів від різних ONT, для кожного з них встановлюється свій індивідуальний розклад передавання даних c урахуванням

поправки на затримку, пов'язану з віддаленням даного ONT від OLT. Це

завдання вирішує протокол TDMA MAC.

На сьогодні оператори зв’язку для побудови мереж доступу PON можуть

використовувати обладнання, яке ґрунтується на одній з двох груп стандартів:

за Рекомендаціями МСЕ-Т або IEEE, які відрізняються, в першу чергу, базовим

протоколом передачі.

На сьогодні МСЕ-Т вже стандартизовано чотири різновиди технологій PON: BPON (Широкосмугова PON, що базується на протоколі АТМ, G.983) [54], GPON (PON, що підтримує гігабітну швидкість передавання, G.984) [55], XG-PON (PON, що підтримує швидкість 10 Гбіт/с, G.987) [56] та NG-PON2 (PON, що підтримує швидкість 40 Гбіт/с, G.989) [57]. Комітетом IEEE стандартизовано два різновиди технологій PON: GEPON (Gigabit Ethernet PON за стандартом IEEE 802.3ah) та 10GEPON (10Gigabit Ethernet PON, IEEE 802.3av).

Технологія GPON успадковує більшість характеристик BPON, основними відмінностями є: вища швидкість передавання (до 2488 Мбіт/с, що і дало в назві технології префікс – гігабітна) та використання замість ATM протоколу SDH (а точніше протоколу GFP, який використовується у NG-SDH). Технологія GPON підтримує всі існуючі сервіси, що робить її привабливою для задач бізнесу і при вирішенні проблеми «останньої милі» у кінцевого користувача. Вона підтримує такі послуги, як високошвидкісний Ethernet, цифрова телефонія, передавання високоякісних телевізійних каналів і т.д. та гарантує високий рівень QoS. Це стає можливим за рахунок використання методу GEM – GPON Encapsulated Method (мова і відео інкапсулюються в кадри GEM) та роботі мережі у синхронному режимі з постійною тривалістю кадру. Лінійний код NRZ та скремблювання забезпечують високу ефективність смуги пропускання.

У GPON коефіцієнт розгалуження складає 1:64 з можливістю підключення абонентів на відстані до 20 км. Обмеження дальності дії пов'язане з середовищем поширення оптичного сигналу (рівень PMD), а не логічним обмеженням технології GPON. Логічне обмеження дальності дії технології GPON становить 60 км та визначається рівнем конвергенції передачі (рівень ТС) та питаннями реалізації системи передачі, при цьому на кожні 10 км коефіцієнт розгалуження зменшується вдвічі. У Рекомендаціях припускається збільшення коефіцієнта розгалуження до 1:128, але це потребує більшого енергетичного потенціалу системи або зменшення її дальності дії.

Важливим є те, що технологія GPON має у своєму розпорядженні

механізми захисту, які дозволяють уникнути можливості несанкціонованого

підключення до мережі GPON. Дані зворотного потоку шифруються, що

дозволяє уникнути можливості швидкого отримання інформації зловмисником.

У технології передбачено механізми, що захищають мережу від можливої

появи «двійників» ONU, тобто можливості маскування одного ONU під інший

і, як наслідок, отримання ним чужої інформації.

Оптичні мережі доступу на основі технології GPON можуть мати різні способи резервування (Protection on the PON section):

- резервування волокон, якими здійснюється передавання оптичного

сигналу;

- використання другого блока OLT як резервного плюс використання

резервного волокна в напрямку від OLT до розгалужувача;

- повне дублювання блоків OLT і ONU на передавальному і приймальному боці.

Головна відмінність GEPON полягає в тому, що всередині мережі PON передаються кадри Ethernet, які незначно модифіковані під умови передавання у середовищі TDM, розділеному між множиною абонентів. Таким чином, немає фрагментації кадрів Ethernet при їхньому проходженні через мережу GEPON, як у GPON. Щоб уникнути конфліктів між сигналами зворотного потоку, застосовується спеціальний протокол управління множиною вузлів (Multi-Point Control Protocol, MPCP).

Також у GEPON, на відміну від GPON, відсутні специфічні функції

підтримки TDM-трафіка, синхронізації і захисних перемикань, що робить цю технологію простішою та дешевшою.

Застосування протоколу Ethernet для передавання інформації в мережі PON визначає орієнтацію технології GEPON в основному на передачу даних. Швидкість доступу симетрична і складає 1 Гбіт/с. Дальність передачі в таких системах досягає 20 км (при підключенні 32 абонентів), максимальний коефіцієнт розгалуження – 1:64 (при дальності передачі 10 км).

Порівняння технологій GPON та GEPON показує, що кожна з них має свої переваги та недоліки. Якій технології віддати перевагу, проектувальник мережі визначає виходячи з вихідних даних, які задані на проектування. Окреслимо основні відмінності технологій GPON та GEPON:

- GEPON орієнтована на IP-трафік, тому виникають складнощі при

взаємодії з іншими технологіями (в першу чергу при передаванні TDM-

трафіка), у той час як GPON підтримує стандартний TDM-трафік;

- з іншого боку, GPON має складну рівневу систему Ethernet/GEM/GTC інкапсуляції, що ускладнює управління, а у GEPON передаються вихідні Ethernet-пакети, що визначає просте і недороге управління;

- GPON має більшу швидкість передавання та більший енергетичний

потенціал, що зумовлює можливість побудови більш потужної та розгалуженої

мережі порівняно з GEPON.

Отже, якщо потрібно побудувати невелику чи середніх розмірів мережу, орієнтовану на IP-трафік та IPTV з мінімальними витратами, то застосувати треба технологію GEPON; при побудові великих та розгалужених мереж з потребою передавання як IP-трафіка, так і TDM-трафіка застосувати треба технологію GPON.

Технологія PON – це рішення операторського класу, її переваги порівняно з активними мережами починають виявлятися при реалізації великих проектів, коли кількість ONT перевищує кілька тисяч. При малих розмірах мережі, коли кількість терміналів рахується сотнями, не виявляються повною мірою переваги PON, а при дуже малих (менше сотні ONT) – ми маємо навіть програш, що зумовлено капітальними витратами центрального вузла і не настільки явно вираженою економією на пасивній інфраструктурі та зниженні експлуатаційних витрат.

Отже, застосування технології PON доцільно у наступних випадках:

- варіант FTTH, де максимально виявляються переваги пасивних оптичних мереж – відсутність активних елементів у мережі і спільне використання ресурсів (портів, волокон) значно знижує операційні витрати на

експлуатацію та технічне обслуговування, електроживлення та оренду площ – у цьому випадку застосовуються індивідуальні оптичні термінали ONT, в яких інтегровані абонентські інтерфейси: 10/100/1000Ethernet, POTS-FXS, RF-Video (кількість інтерфейсів Ethernet та POTS коливається від одного до чотирьох);

- варіант FTTВ/О для підключення групи приватних абонентів багатоквартирного житлового будинку або корпоративних абонентів як великого (BUSINESS), так і малого бізнесу (SOHO) – в цьому випадку

застосовуються групові оптичні блоки ONU, в яких інтегровані абонентські інтерфейси: 10/100/1000Ethernet, POTS-FXS, RF-Video, VDSL2 та E1 (кількість інтерфейсів Ethernet, VDSL2 та POTS може доходити до 24, що достатньо для 100 % підключення одного під’їзду шестиповерхового будинку);

- наявність інтерфейсів VDSL2 у ONU дає можливість застосовувати

технологію PON у варіанті доступу FTTC без застосування у шафі додаткового

обладнання (DSLAM) за малої щільності абонентів.

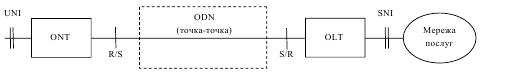
Технологія GEPON набула найбільшого поширення в країнах Південно-Східної Азії, а GPON – у північній Америці та Європі.

2.3 Структура та елементи оптичної мережі абонентського доступу

Структура оптичної мережі абонентського доступу залежить від технології, що застосовується для її побудови, і визначається відповідними

Рекомендаціями МСЕ-Т. Еталонна модель побудови оптичної мережі доступу

при використанні технологій Ethernet «точка-точка» (активні оптичні мережі AON) визначена в Рекомендації МСЕ-Т G.985 (див. рисунок 2.7) [52].



R/S – еталоні точки;

ONT – закінчення оптичної мережі;

OLT – оптичне лінійне закінчення;

ODN – оптична розподільна мережа;

UNI – мережний інтерфейс користувача;

SNI – інтерфейс вузла послуг.

Рисунок 2.7 - Еталонна модель оптичної мережі доступу Ethernet

«точка-точка» за Рекомендацією G.985

Для технологій, що використовують конфігурацію «точка-багато точок» (пасивні оптичні мережі РON) і базуються на пасивних оптичних

розгалужуючих компонентах, за базову прийнята еталонна модель, визначена у

Рекомендації G.982 (див. рисунок 2.8) [58], вона ж у незмінному вигляді визначена у Рекомендації G.983.1 для технології BPON [54].

У наступних Рекомендаціях (GPON G.984.1, ХG-PON G.987.1, NG-PON2

G.989.1) ця модель лише доповнюється новими елементами [55…57].

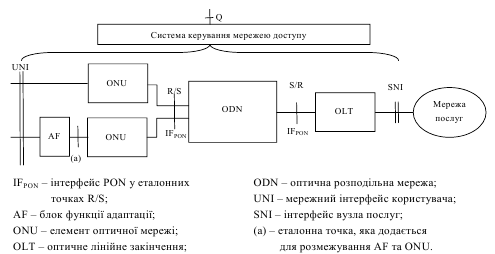


Рисунок 2.8 - Еталонна модель оптичної мережі доступу PON

«точка-багато точок» за Рекомендацією G.983.1

Еталонна модель оптичної мережі доступу містить: оптичне лінійне

закінчення (OLT, Optical line termination) на боці вузла надання послуг,

елемент/закінчення оптичної мережі (ONU/ONT, Optical network unit/termination) на боці користувача та оптичну розподільну мережу (ODN, Optical distribution network) між ними. З’єднання елементів мережі між собою та з обладнанням користувача і вузла послуг відбувається у еталонних точках.

ODN надає один або більше оптичних трактів між одним OLT і одним (point-to-point) або декількома (point-to-multipoint) ONU/ONT. Кожен оптичний тракт визначається між еталонними точками S і R в певному оптичному вікні. Еталонна точка S (Source) з’єднує передавач з оптичним трактом, еталонна точка R (Receiver) з’єднує приймач з оптичним трактом. Два напрямки для оптичної передачі в ODN ідентифікуються наступним чином:

- низхідний напрямок для сигналів, що проходять від OLT (точка S) до ONU/ONT (точка R);

- висхідний напрямок для сигналів, що проходять від ONU/ONT (точка S)

до OLT (точка R).

Для мережі PON інтерфейс в еталонних точках S/R і R/S визначається як

IFPON. Це інтерфейс, орієнтований на PON, який підтримує всі елементи

протоколу, необхідні для того, щоб забезпечити передачу між OLT і ONU/ONT.

OLT й вузол надання послуг розділені еталонною точкою V і взаємодіють через інтерфейс SNI (інтерфейс вузла послуг, service node interface), функції якого визначені Рекомендацією МСЕ-Т G.902.

ONU/ONT й обладнання користувача розділені еталонною точкою Т і взаємодіють через інтерфейс UNI (мережний інтерфейс користувача, user

network interface), функції якого також визначені Рекомендацією МСЕ-Т G.902.

Реалізація UNI/SNI залежить від того, які послуги надаються оператором

послуг.

Розглянемо більш детально елементи мережі PON.

Оптичне лінійне закінчення (OLT)

Оптичне лінійне закінчення (OLT) взаємодіє через SNI з вузлами послуг та через IFPON з ONU. OLT забезпечує керування всіма орієнтованими на PON аспектами транспортної системи ATM (для BPON) або GFP (для GPON). ONU і OLT забезпечують послугу прозорого транспортування інформації між UNI і SNI через PON.

OLT підключається до комутованих мереж через стандартизовані інтерфейси (VB5.x, V5.x, NNI). На боці розподілу він являє оптичний доступ

відповідно до узгоджених вимог у плані швидкості передавання даних, бюджету потужності й т. ін.

OLT складається з трьох частин: функції порту послуг; інтерфейсу ODN і

MUX для обслуговування віртуальних трактів (virtual path, VP) (див. рисунок 2.9).

Не передбачається, щоб ця комбінація перешкоджала функції шару віртуальних

каналів (virtual channel, VC) в OLT.

Функція порту послуг взаємодіє з вузлами послуг. Вона може оперувати

вставкою інформації в корисне навантаження кадру/пакета протоколу базової

мережі висхідного потоку і витягом її з корисного навантаження кадру/пакета

протоколу базової мережі низхідного потоку. Ця функція може бути дубльована, тоді необхідна функція захисного перемикання.

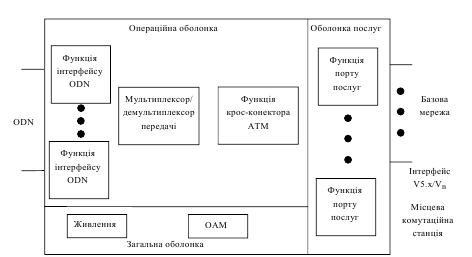


Рисунок 2.9 – Функціональна схема блоку OLT

MUX/DEMUX забезпечує з'єднання VP між функцією імпорту послуг і інтерфейсом ODN з призначенням різним послугам різних VP у IFPON.

Використовуючи VC відповідних VP, в мережі забезпечується обмін різноманітною інформацією, такою як корисне навантаження, дані сигналізації,

потоки даних ОАМ.

Лінійне закінчення PON керує процесом оптоелектронного перетворення.

Інтерфейс ODN оперує вставкою інформації в корисне навантаження PON у низхідному потоці і витяганням інформації з корисного навантаження PON у

висхідному потоці.

Елемент/закінчення оптичної мережі (ONU/ONT)

Елемент оптичної мережі (ONU/ONT) взаємодіє через IFPON з OLT і та через UNІ з обладнанням користувача. Разом з OLT, ONU/ONT забезпечує надання послуги прозорого транспортування інформації між UNI і SNI.

Рівень, що залежить від фізичного середовища (PMD), повинен включати

схеми модуляції як для висхідного, так і для низхідного каналів (вони можуть

бути різними). Можливо, щоб специфікація допускала кілька типів PMD в

одному напрямку.

Рівень конвергенції передачі (TC) забезпечує управління розподіленим доступом до ресурсу PON у висхідному напрямку через множину ONU/ONT. Це основний елемент протоколу, який буде безпосередньо впливати на результуючий QoS.

ONT є активним пристроєм мережі, він термінує механізм надання мережі доступу від внутрішнього (всередині будинку, квартири) розподілу. Операційна оболонка ONT складається з функцій інтерфейсу ODN, порту користувача, MUX/DEMUX передачі, MUX/DEMUX для послуг та абонентів, і електроживлення (див. рисунок 2.10).

Інтерфейс ODN регулює процес оптоелектронного перетворення.

Інтерфейс ODN виділяє інформацію з корисного навантаження PON в низхідному напрямку і вставляє її в корисне навантаження PON в висхідному

напрямку, ґрунтуючись на синхронізації, отриманої виходячи з кадрової

синхронізації низхідного потоку.

MUX/DEMUX передачі мультиплексує інтерфейси послуг до інтерфейсу ODN.

Порт користувача взаємодіє через UNI з терміналом користувача. Порт користувача може оперувати вставленням інформації в корисне навантаження у висхідному потоці і витягуванням її з корисного навантаження у низхідному потоці.

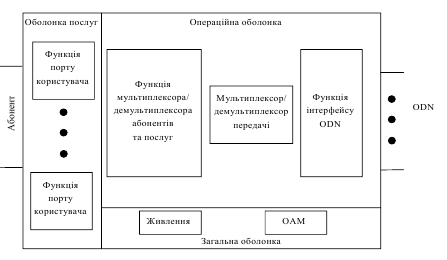


Рисунок 2.10 – Функціональна схема блока ONT

Оптична розподільна мережа (ODN)

Оптична розподільна мережа забезпечує засоби оптичної передачі від OLT у напрямку користувачів й у зворотному напрямку. Вона використовує пасивні оптичні компоненти. Окремі ODN можуть бути об'єднані і розширені за допомогою використання оптичних підсилювачів (див. Рекомендацію МСЕ-Т .982 [57]).

ODN складається з пасивних оптичних елементів:

– одномодове оптичне волокно і волоконно-оптичні кабелі;

– оптичні з'єднувачі;

– пасивні розгалужувальні елементи;

– пасивні оптичні атенюатори;

– зрощування.

Конкретна інформація для опису пасивних оптичних компонентів

представлена в Рекомендації МСЕ-Т G.671.

Конкретна інформація, необхідна для опису оптичного волокна і волоконно-оптичних кабелів, представлена в Рекомендації МСЕ-Т G.652 [59].

У контексті еталонної конфігурації на рисунку 2.11 показана загальна фізична конфігурація ODN.

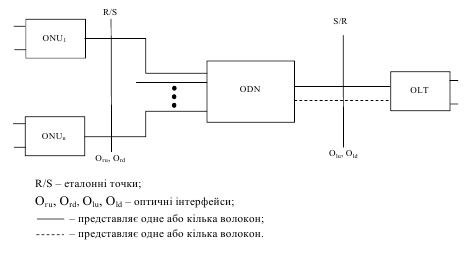


Рисунок 2.11 – Загальна фізична конфігурація

оптичної розподільної мережі ODN

Передавання у висхідному і низхідному напрямках може відбуватися по одному й тому самому волокну та елементах (дуплексна робота) або ж по окремих волокнах та елементах (симплексна робота).

Якщо для реорганізації ODN необхідні додаткові з'єднувачі або інші

пасивні пристрої, то вони повинні бути розташовані між точками S і R та за будь-якого розрахунку оптичного загасання повинні враховуватися їх загасання.

На рисунку 2.11 визначені наступні оптичні інтерфейси:

- Огu, Ord – оптичні інтерфейси в еталонній точці R/S між ONU і ODN, відповідно для висхідного та низхідного напрямків;

- Olu, Old – оптичні інтерфейси в еталонній точці S/R між OLT і ODN, відповідно для висхідного та низхідного напрямків.

На фізичному рівні інтерфейси можуть вимагати кілька волокон, наприклад, для поділу напрямків передачі або різних типів сигналів (послуг).

Оптичні властивості ODN повинні дозволити надавати будь-яку послугу,

яку тільки можна передбачити, не вимагаючи великої модифікації самої ODN.

Ця вимога впливає на властивості пасивних оптичних компонентів, які складають ODN. Низка важливих вимог, які безпосередньо впливають на

оптичні властивості ODN, визначені наступним чином:

- прозорість оптичних хвиль: такі пристрої, як оптичні розгалужувачі, які не призначені для виконання будь-якої функції вибору довжини оптичної

хвилі, повинні мати можливість забезпечувати передавання сигналів за будь-якої довжини оптичної хвилі в діапазоні 1310 нм та 1550 нм;

- оборотність: перестановка портів введення і виведення не повинна

викликати значних змін оптичного загасання в пристроях;

- сумісність оптоволокна: всі оптичні компоненти повинні бути сумісні

з одномодовим волокном, як визначено в Рекомендації МСЕ-Т G.652 [59].

Метод розрахунку моделі оптичної розподільної мережі та розрахунок втрат у ній описані в Рекомендації МСЕ-Т G.982 [58].

3 ТЕХНОЛОГІЇ І СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ МЕРЕЖАМИ

ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ

3.1 Телекомунікаційні технології передачі даних мережами електроживлення PLC

3.1.1 Загальна характеристика технології PLC

Тенденцією останніх років є невпинний розвиток Інтернету речей (IoT), за якого широкого розповсюдження набувають так звані «розумні» пристрої - електронні машини, з’єднані з іншими пристроями або мережами за допомогою технології Machine-to-Machine (M2M). Розумні пристрої можуть

застосовуватись як окремо, так і утворюючи певну систему в трьох основних системних середовищах: фізичний світ, середовище, орієнтоване на людину, та

розподілені обчислювальні середовища. Якщо говорити про середовища, орієнтовані на людину, варто відзначити, що M2M широко застосовуються у таких взаємопов’язаних концепціях, як «розумний будинок» (Smart Home), «розумне місто» (Smart City), а також, в цілому, в «Інтернеті речей» (IoT), який об’єднує перші два поняття. Концепція «розумного будинку» спрямована на підвищення енергоефективності, а також рівня комфорту людей, включаєу себе такі функції, як контроль та автоматизація освітлення, опалення (наприклад, інтелектуальні теплі підлоги), кондиціонування повітря, вентиляція, відеоспостереження, сигналізація, мультимедійні сервіси, вмикання/вимикання «розумних» побутових приладів тощо. «Розумні» пристрої, якими є різноманітні давачі, прилади обліку спожитих ресурсів (газ, вода, електрика, тепло), відеокамери, за умови дистанційного моніторингу і керування через Інтернет, є важливою складовою IoT [69, 70].

Необхідною умовою для повномасштабного використання потенціалу

перелічених концепцій є наявність мереж ШД, здатних забезпечувати високу пропускну здатність.

Технологія PLC (Power Line Communication) – телекомунікаційна технологія, що базується на використанні силових електромереж для високошвидкісного інформаційного обміну.

Значне поширення таких електромереж викликає неабиякий інтерес до даної технології, застосування якої дозволяє швидко і з низькими початковими капіталовкладеннями розгорнути повноцінну телекомунікаційну мережу практично в усіх місцях, де є вже зведені електромережі.

З огляду на невпинний розвиток Інтернету речей (IoT), а також таких взаємопов’язаних із ним концепції, як «розумний будинок» (Smart Home) та «розумне місто» (Smart City), можна припустити, що привабливість технології PLC не обмежиться її використанням для побудови домашніх мереж і невеликих офісів, а також як взаємне доповнення у зв’язці із технологіями, що регламентовані стандартами IEEE 802.11.

Як і будь-яка технологія, PLC має свої переваги і недоліки. До переваг можна віднести наступне:

- відсутня необхідність у прокладанні нових кабельних мереж через те, що технологія застосовує для передавання даних існуючі мережі електроживлення;

- швидке розгортання мережі;

- легка зміна конфігурації мережі шляхом додавання нових елементів

мережі;

- низькі початкові капіталовкладення при розгортанні мережі;

- здатність працювати з високою ефективністю по каналах зв’язку, що характеризуються швидкозмінними в часі та ненормованими частотними характеристиками;

- надання послуг практично в усіх місцях, де є електропроводка.

Недоліки:

- поділ пропускної здатності мережі передачі даних по електропроводці між всіма терміналами цієї мережі;

- вплив на стабільність і швидкість передавання даних у мережі PLC

якості виконання електропроводки, наявності стиків з різних матеріалів

(наприклад, мідного та алюмінієвого провідника), кількості з’єднань, а також імпульсних блоків живлення, зарядних пристроїв, дешевих енергозберігаючих ламп при підключенні в безпосередній близькості від PLC-модема;

- порушення радіоприйому в приміщеннях, де працюють PLC-модеми, особливо на середніх і коротких хвилях, але на дуже невеликій відстані - близько 3 - 5 метрів від модема.

3.1.2 Класифікація технологій PLC

В залежності від використовуваної смуги частот, технології PLC поділяються на вузькосмугові (NPL (Narrowband PLC)) (9…140 кГц) і широкосмугові (ВPL (Broadband PLC)) (1,8…100 МГц).

Вузькосмугові PLC (Narrowband PLC (NPL)).

Системи передачі (СП) за технологіями NPL функціонують у діапазоні частот 9…140 кГц. Цей діапазон ділиться на три групи: А (9…95 кГц), В (95…125 кГц) та С (125…140 кГц).

Діапазон А призначений для використання підприємствами електроживлення та, як правило, застосовується для реалізації так званих

енергетичних послуг, зокрема, для організації сервісів віддаленого контролю за

кількістю електроенергії, використаної домогосподарством.

Діапазони В (95…125 кГц) та С (125…140 кГц) призначені для приватного використання, в основному, для керування «розумним будинком».

Швидкість передавання даних, яку здатні забезпечити СП NPL на сьогодні, сягає кількох сотень кілобіт на секунду. Максимальна відстань між модемами

може досягати 1 км [71].

Сферою застосування СП NPL є централізований контроль за пристроями

домашньої або офісної автоматизації, підключеними до електромережі, на

кшталт систем освітлення, сигналізації, опалення, кондиціювання повітря,

ліфтів, електричних замків, а також контроль за показниками різноманітних давачів, розташованих у будівлі (автоматичне зчитування показів лічильників, підключених до електромережі; отримання інформації від датчиків освітленості, руху, задимленості приміщення) [72].

Варіант реалізації мережі NPL показано на рисунку 3.1.

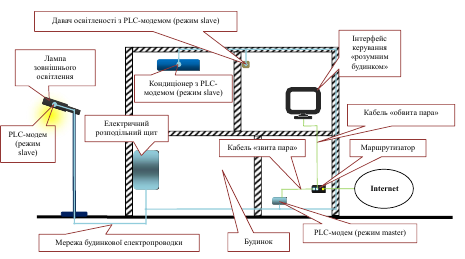


Рисунок 3.1 – Приклад реалізації мережі NPL

До специфікацій NPL належать: специфікація X-10, стандарт CE-Bus PLC

(сучасна назва ANSI/EIA-600); LonWorks PLC (стандарти ANSI/IEC 709-1,2; ISO/IEC 14908-1,3); HomePlug Command and Control, IEEE 1901.2; Рекомендації G.9901, G.9902, G.9903 та G.9904 МСЕ-Т [73, 74].

Широкосмугові PLC (Broadband PLC (BPL))

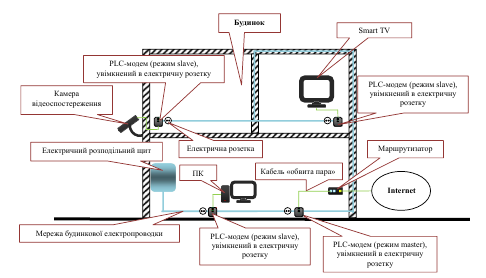
СП BPL завдяки використанню широкої смуги частот (1,8…100 МГц) дозволяє організувати передавання даних зі швидкістю до 1 Гбіт/с. Згідно зі стандартом [75], можуть використовуватися три частотні діапазони: 25 MHz – PB (0…25 МГц); 50 MHz – PB (0…50 МГц) та 100 MHz – PB (0…100 МГц).

Технологія BPL успішно застосовується при розгортанні концепції «розумного будинку». Окрім цього, СП BPL є ефективними при побудові

домашніх та офісних комп’ютерних мереж, а також системи відеомоніторингу,

забезпеченні високошвидкісного передавання аудіо- і відео.

Варіант реалізації мережі BPL показано на рисунку 3.2.

Рисунок 3.2 – Приклад реалізації мережі BPL

На даний момент існує декілька варіантів реалізації технології BPL,

регламентованих наступними документами: специфікації HomePlug AV, стандарт IEEE 1901, Рекомендація G.9960 МСЕ-Т.

3.2 Стандарт IEEE 1901

Стандарт IEEE 1901 був розроблений робочою групою IEEE P1901,

створеною у 2005 році. Цим стандартом регламентовано варіант технології

PLC, призначеної для побудови високошвидкісних домашніх мереж і мереж доступу. Передбачається використання частот нижче 100 МГц.

Прийнятий у 2010 році стандарт IEEE 1901 визначає наступні варіанти реалізації фізичного рівня технології PLC:

- на основі швидкого перетворення Фур’є (FFT OFDM);

- на основі вейвлет-OFDM.

Варіанти PLC-систем, що відповідають стандарту IEEE 1901, призначені для забезпечення обміну даними між пристроями на відстанях до 100 м, у тому числі всередині будівель та на сегменті останньої милі (тобто на відстанях не більше 1500 м від приміщення).

Специфікація фізичного рівня FFT OFDM забезпечує зворотну сумісність з пристроями на базі специфікації HomePlug AV, а вейвлет-OFDM – зворотну сумісність з пристроями на основі специфікацій Альянсу HD-PLC.

Фізичний рівень на базі FFT OFDM

Фізичний рівень FFT OFDM використовує максимально 1974 несучих

частот у діапазоні від 1,8 до 50 МГц. Рознесення частот між сусідніми

несучими складає, як і для специфікації HomePlug AV, 24,414 кГц.

Використання частот вище 30 МГц є опціональним. Для виконання вимог

сумісності з пристроями на базі специфікації HomePlug AV 1.1 необхідно

використання 917 несучих у діапазоні від 1,8 до 30 МГц. Несучі, що використовуються для передавання даних, мають бути когерентно модульовані

за допомогою наступних видів модуляцій: двійкова фазова маніпуляція (binary

phase-shift keying (BPSK)), квадратурно-фазова модуляція (КФМ) (quadrature

phase-shift keying (QPSK)) або одним із наведених різновидів квадратурно-

амплітудної модуляції (КАМ) (quadrature amplitude modulation (QAM)): 8-QAM,

16-QAM, 64-QAM, 256-QAM, 1024-QAM або 4096-QAM. Підтримка 4096-QAM

є опціональною. У якості завадостійкого коду використовується згортковий

турбо-код [76].

Фізичний рівень на базі вейвлет-OFDM

Запропонований у стандарті IEEE 1901 метод передачі вейвлет-OFDM передбачає використання швидкого перетворення Фур'є (FFT) і прямокутної/косинус-квадратичної обвідної, завдяки якій спектр сигналу кожної несучої стає вужчим, що призводить до зменшення міжканальних

інтерференційних завад. Важливою властивістю вейвлет-OFDM є відсутність необхідності введення захисного інтервалу між послідовними символами.

У даному варіанті вейвлет-OFDM для передавання даних передбачається

використання 312 рівномірно розташованих несучих у діапазоні 1,8…28 МГц.

У випадку використання додаткової смуги до 50 МГц (загальна смуга 1,8…50 МГц) та 1024 несучих може бути досягнута максимальна швидкість передавання, що перевищує 400 Мбіт/с. Слід зауважити, що застосування несучих, розташованих у додатковому діапазоні, є опціональним.

На кожній несучій частоті здійснюється амплітудно-імпульсна модуляція

(PAM – Pulse Amplitude Modulation) відповідно до одновимірного сигнального

сузір’я M-PAM (M = 2, 4, 8, 16, 32). Незважаючи на використання одновимірних сигнальних сузір’їв, система вейвлет-OFDM має приблизно таку саму спектральну ефективність, як і звичайні OFDM-системи, у яких застосовуються двовимірні сузір’я квадратурної амплітудної модуляції (КАМ).

Завадостійке кодування забезпечується каскадною схемою, що складається з коду Ріда-Соломона і згорткового коду. Опціонально може використовуватися також код контролю парності з низькою щільністю (LDPC)

[76].

4 ПОБУДОВА СУЧАСНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ ЗА КОНЦЕПЦІЄЮ NGN

4.1 Загальна характеристика концепції NGN

Еволюційний розвиток існуючих телекомунікаційних мереж за рахунок злиття мереж і технологій призвів до створення мережі наступного покоління (NGN – Next Generation Network). Завдяки цьому забезпечується широкий набір послуг, починаючи з класичних послуг телефонії і закінчуючи різними послугами передачі даних або їх комбінацією. Мережі наступного покоління являють собою нову концепцію мультисервісної мережі, що комбінує у собі голосові функції, якість обслуговування (QoS – Quality of Service) і комутовані мережі з перевагами й ефективністю пакетної мережі. При цьому інтеграція існуючих служб відбувається шляхом використання розподіленої програмної комутації (Softswitch) [2].

Рекомендації Міжнародного союзу електрозв’язку (МСЕ) Y.2001 [3] та Y.2011 [4] визначають термінологічний базис NGN наступним чином.

Концепція NGN – концепція побудови мереж зв'язку наступного/нового покоління (Next/New Generation Network), що забезпечують надання необмеженого набору послуг з гнучкими налаштуваннями щодо їх:

– керування;

– персоналізації;

– створення нових послуг за рахунок уніфікації мережних рішень.

Мультисервісна мережа – мережа зв'язку, яка побудована відповідно до концепції NGN і забезпечує надання необмеженого набору інфокомунікаційних послуг (VoIP, Інтернет, VPN, IPTV, VoD та ін.) [3].

Послуги, що висувають різні вимоги до ширини смуги, з гарантованою смугою або без неї, повинні підтримуватися з урахуванням технічних можливостей використовуваної технології передачі даних. Особливу увагу в мережах NGN приділяється гнучкості реалізації послуг в прагненні до найбільш повного задоволення всіх вимог абонентів. У деяких випадках можливе також надання користувачу можливості налаштування використовуваних їм послуг. NGN повинна підтримувати відкриті інтерфейси програмування додатків, щоб підтримувати створення, надання та керування послугами.

Мережа NGN – мережа з пакетною комутацією, що придатна для надання послуг електрозв'язку і для використання декількох широкосмугових технологій транспортування інформації з активним з'єднанням QoS, в якій пов'язані з обслуговуванням функції не залежать від застосованих технологій транспортування інформації [3, 4].

Основна особливість мереж NGN – диференціація між послугами та транспортними технологіями [4]. Це дозволяє розглядати мережу у вигляді логічно розділеної на рівні сутності. Кожен рівень мережі може розвиватися незалежно, не впливаючи на інші рівні. Міжрівнева взаємодія здійснюється на основі відкритих інтерфейсів. Принцип логічного поділу дозволяє надавати як існуючі, так й інноваційні послуги незалежно від транспортних технологій доступу, що використовуються.

Функціональні об'єкти NGN мережі – групи функцій, що реалізують кінцеву логіку функціонування пристроїв, наприклад, логіку пристрою зберігання і керування базою даних абонентських профілів.

У NGN функціональні об'єкти, що регулюють питання політики, сеанси зв'язку, середовище передачі, ресурси, доставку послуг, захист й інші процедури, можуть бути розподілені за інфраструктурою, включаючи існуючі та нові мережі. При їх територіальному розподілі у просторі вони повинні підтримувати зв'язок через відкриті інтерфейси. Важливим моментом для NGN є ідентифікація опорних точок – логічних інтерфейсів взаємодії між різними елементами мережі. Для забезпечення зв'язку між взаємодіючими функціональними об'єктами необхідно стандартизувати протоколи.

Взаємодія між NGN різних операторів і між NGN та існуючими мережами (наприклад, мережами стільникових операторів, цифровими мережами з інтеграцією служб (ISDN), глобальними системами рухомого зв'язку GSM) забезпечується за допомогою шлюзів.

Мережа NGN – універсальна мережа, що підтримує як абонентів, що використовують NGN термінали, так і абонентів традиційних мереж зв'язку. В основу концепції NGN закладена ідея про створення універсальної мережі, яка б дозволяла переносити будь-які види інформації, такі як: мова, відео, аудіо, графіка і т.ін., а також забезпечувати можливість надання необмеженого спектра інфокомунікаційних послуг.

Базовим принципом концепції NGN є відділення одна від одної функцій перенесення і комутації, функцій керування викликом і функцій керування послугами [4…6].

Ідеологічні принципи побудови мережі NGN [3…6]:

– підключення до мережі повинно бути максимально простим і зручним, без використання проміжних систем, при цьому використання протоколів і сервісів, що традиційно застосовуються, повинно бути доступно в колишньому обсязі;

– спочатку будується базова пакетна транспортна мережа на базі технологій, що забезпечують відповідну якість, надійність, гнучкість і масштабованість, а потім поверх цієї мережі будується потужний комплекс сервісів, на основі яких надаються послуги.

У підсумку всі інформаційні потоки інтегруються в єдину мережу.

При цьому до мереж зв'язку NGN висуваються наступні вимоги:

– мультисервісність – незалежність технологій надання послуг від транспортних технологій;

– широкосмуговість – можливість гнучкої та динамічної зміни швидкості передавання інформації в широкому діапазоні в залежності від поточних потреб користувача;

– мультимедійність – здатність мережі передавати багатокомпонентну інформацію (мова, дані, відео, аудіо та ін.) з необхідною синхронізацією цих компонентів у реальному часі і використанням складних конфігурацій з'єднань;

– інтелектуальність – можливість керування послугою, викликом і з'єднанням з боку користувача або постачальника послуг;

– інваріантність доступу – можливість організації доступу до послуг незалежно від технології, що використовується;

– багатооператорність – можливість участі кількох операторів у процесі надання послуги і поділ їх відповідальності згідно з їх областю діяльності.

4.2 Архітектура мережі NGN

Особливістю архітектури мережі NGN є використання у складі мережі гнучких програмованих комутаторів Softswitch, які є носіями інтелектуальних можливостей мережі, метою яких є координація керування обслуговуванням викликів, сигналізації та функції, що забезпечують встановлення з'єднання через одну або кілька мереж [5…8].

До числа функцій керування обслуговуванням виклику входять:

– розпізнавання й обробка цифр номера для визначення пунктупризначення;

– розпізнавання моментів відповіді і відбою абонентів, реєстрація цих дій для нарахування платні.

Обладнання Softswitch взаємодіє з багатьма компонентами в телекомунікаційній системі (див. рисунок 4.1):

– система тарифікації;

– платформа послуг і додатків;

– мережа загальноканальної сигналізації (ЗКС).

Крім цього в архітектурі мереж NGN присутні кілька елементів, що являють собою окремі пристрої або довільні комбінації в інтегрованому пристрої.

Найбільш важливими елементами мережі NGN є [5, 6]:

– медіа-шлюз (MG – Media Gateway) обробляє виклики із зовнішньої мережі (наприклад, стискає і пакетує голос/відео, передає стислі голосові пакети в мережу IP, а також проводить зворотну операцію для голосових викликів з мережі IP). Медіа-шлюз також забезпечує вирішення задач віддаленого режиму, маршрутизації, фільтрування трафіка TCP/IP, підтримки віртуальних приватних мереж і т.п.;

– шлюз сигналізації (SG – Signaling Gateway) служить для перетворення сигналізації і забезпечує її прозору передачу між комутованою і пакетною мережами. Він обробляє сигналізацію і передає повідомлення через мережу IP контролеру медіа-шлюзу або іншим шлюзам сигналізації;

– контролер медіа-шлюзу (MGC – Media Gateway Controler) виконує реєстрацію і керує пропускною здатністю медіа-шлюзу. Через медіа-шлюз обмінюється повідомленнями з телефонними станціями.

На рисунку 4.1 показано приклад архітектури мережі NGN, що включає у себе всі вищеописані елементи, а також принципи їх взаємодії. Логіка обробки викликів реалізується в контролері шлюзів MGC. Взаємодія Softswitch з комутаційними станціями мережі загального користування (ТМЗК) та іншими мережами здійснюється через обладнання медіа-шлюзу MG. Для цих цілей використовується протокол MGCP (Megaco), який орієнтований, перш за все, на IP-технології. В результаті роботи МСЕ з розвитку даного протоколу з'явилися Рекомендації H.248, які більшою мірою орієнтовані на передавання мультимедійної інформації, ніж на передавання неструктурованого трафіка даних.

SoftSwitch координує обмін сигнальними повідомленнями між мережами, підтримуючи і перетворюючи існуючі протоколи сигналізації.

Основні типи сигналізації, які використовує SoftSwitch [6]:

– сигналізація для керування з'єднаннями (протоколи SIP-T, ЗКС-7 і H.323, в якості опції протокол E-DSS1 первинного доступу ISDN, протокол абонентського доступу V.5, а також сигналізація по виділених сигнальних каналах CAS);

– сигналізація для взаємодії SoftSwitch між собою (протоколи SIP-T і BICC);

– сигналізація для керування транспортними шлюзами (протоколи MGCP і Megaco/H.248).

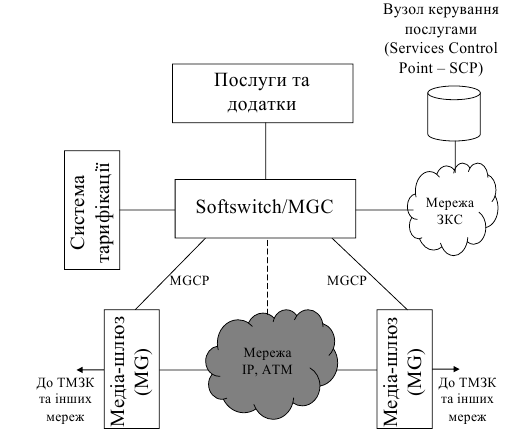


Рисунок 4.1- Архітектура мережіNGN

Традиційні мережі операторів в єдиній структурі об'єднують функції комутації, керування обслуговуванням викликів, послуги та програми, а також функції білінгу. Така мережа являє собою монолітну закриту системну структуру, яка, як правило, не допускає розширення або модернізації на базі обладнання інших виробників.

Впровадження Softswitch дозволяє змінити традиційно закриту структуру систем комутації. Softswitch надаючи відкриті стандартні інтерфейси між трьома основними функціями: функцією комутації, функцією керування обслуговуванням викликів та функцією послуг і додатків дозволяє узгоджувати різні протоколи сигналізації як мереж одного типу (наприклад, при з’єднанні мереж H.323 та SIP), так і при взаємодії мереж комутації каналів з IP- мережами.

Розвиток технології Softswitch та еволюція інтелектуальних платформ призвели до появи концепції IP Multimedia Subsystem (IMS, підсистема надання мультимедійних послуг на базі протоколів IP-мереж). Концепція IMS описує нову архітектуру мережі NGN, основним елементом якої є пакетна транспортна мережа, що підтримує всі технології доступу та забезпечує реалізацію значної кількості інфокомунікаційнихпослуг [7, 8].

Концепція IMS виникла в результаті еволюції базової мережі стільникового рухомого зв'язку третього покоління UMTS, коли до мережі на базі технології Softswitch була додана областькерування мультимедійними сеансами на базі протоколу SIP. Надалі ця концепція була взята за основу Комітетом ETSI-TISPAN для використання на мережах з різними технологіями доступу (WLAN/Wi-Fi, хDSL, LTE та ін.).

Концепції Softswitch і IMS мають багато спільного вони обидві поділяються на рівні (площини), надання всіх послуг здійснюється на базі IP-мережі, існує поділ функцій керування викликом і комутації. Але в концепції IMS з'являється нова функція – сервер для користувача даних HSS. Дані, що зберігаються в HSS, використовуються для реєстрації користувача в IMS, аутентифікації користувача, взаємодії з функціями обліку вартості, визначення профілів і параметрів послуг для даного користувача.

Концепція IMS є новим рішенням для побудови мереж наступного покоління й основою конвергенції мобільних і стаціонарних мереж на платформі IP.

4.3 Функціональні елементи та логічні рівні мережі NGN

Концепція NGN передбачає побудову мережі, виходячи з принципу

функціонального поділу, що досягається за рахунок рознесених на мережі

функціональних мережних елементів [2, 4]. Згідно з еталонною моделлю

мережі NGN виділяють наступні функції:

– функції керування мережею;

– функції додатків (функції профілю користувача);

– функції обслуговування і контролю (функції контролю приєднання до мережі, функції контролю передавання інформації, функції передавання

інформації профілю користувача, функції шлюзового обладнання);

– функції транспорту (функції транспорту мережі доступу, функції транспорту ядра мережі).

Функціональна архітектура мережі NGN повинна припускати на підставі Рекомендації МСЕ-Т Y.2011 наявність таких основних логічних рівнів [4]:

– рівня транспорту, що включає функції керування мережними ресурсами і рівень доступу;

– рівня комутації послуг зв'язку;

– рівня додатків;

– рівня керування мережею.

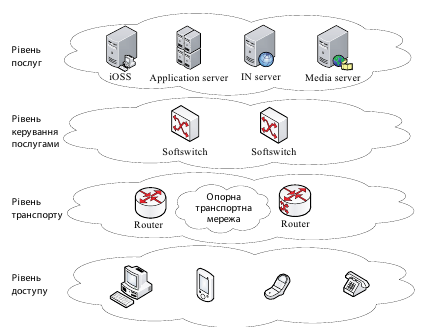


Рисунок 4.2 - Типова архітектурна модель мережі NGN

Для побудови повноцінної мережі NGN необхідно в подальшому реалізувати кожен із цих рівнів, з відповідним їм набором елементів мережі NGN (див. рисунок 4.3). При цьому на різних логічних рівнях мережі можуть використовуватися різні технології і протоколи.

Рівень комутації послуг складають наступні основні елементи [5, 6]:

– IMS платформа (IP Multimedia Subsystem). Ця підсистема є основним елементом мережі NGN і призначена для керування викликами і сесіями абонентів мережі NGN, повинна будуватися на базі протоколу встановлення сеансу (Session Initialization Protocol, SIP). На її базі можуть будуватися різні рішення і реалізовуватися весь спектр послуг, від передачі голосу по IP-мережі (Voiceover IP, VoIP), до послуг TriplePlay, включаючи IP телебачення (IP-Television, IP-TV), і низка послуг з доданою вартістю;

– підсистема емуляції мереж (PSTN/ISDN Emulation Subsystem, PES).

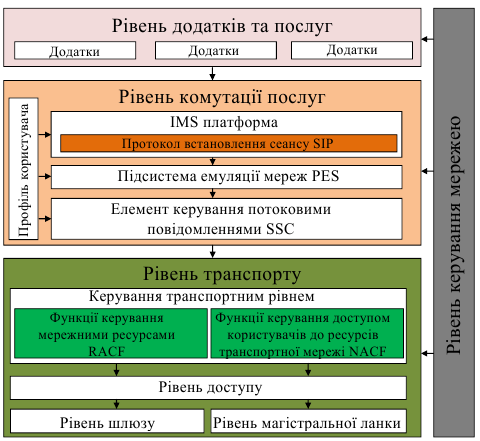


Рисунок 4.3 -Схема основних елементів мережіNGN

Головним завданням даної підсистеми є підтримка на мережі NGN послуг, а саме, забезпечення взаємодії з мережами загального користування зі збереженням їх функціональності;

– елемент керування потоковими повідомленнями (Streaming Service

Component, SSC). Головним завданням цього елемента є надання користувачам

мережі послуг, як в реальному режимі часу (Real Time Services), так і в разі потреби або на вимогу (Non Real Time Serviсes).

З функціональної точки зору, даний рівень повинен вирішувати основні завдання щодо встановлення з'єднань і надання послуг на мережі NGN.

Основними функціями даного рівня є:

– реєстрація користувачів (аутентифікація і авторизація) для надання їм доступу до певних послуг NGN;

– керування сесіями, викликами (встановлення, розрив й утримування

з'єднань);

– керування комутацією і передачею, обробка інформації сигналізації,

маршрутизація викликів і керування потоками;

– керування ресурсами мережі, включаючи шлюзи, встановлені на транспортному рівні мережі NGN.

Транспортний рівень мережі NGN забезпечує функції комутації та прозорого передавання інформації користувача. Дані функції утворюються

двома підгрупами [5, 6]:

– функції керування мережними ресурсами (Resource and Admission Control Functions, RACF), що забезпечують реалізацію в мережі заданих

параметрів QoS. В їх завдання входить резервування певних параметрів необхідних мережних ресурсів, керування доступом до ресурсів транспортної

мережі та керування ресурсами шлюзів;

– функції керування доступом користувачів до ресурсів транспортної

мережі NGN (Network Attachment and Control Functions, NACF), що здійснюються на основі інформації авторизації користувачів, угод про рівень обслуговування SLA, пріоритету наданої послуги, а також доступних мережних ресурсів на транспортній мережі та мережі доступу.

Транспортний рівень включає у себе низку функціональних підрівнів:

– рівень шлюзу. Даний рівень забезпечує можливість взаємодії з різними

мережами зв'язку побудованих на основі різних технологій, а також іншими подібними мережами NGN;

– рівень доступу. Доступ повинен припускати реалізацію на мережі

функції агрегації абонентського трафіка і передачі його на рівень магістральної

ланки. Даний рівень передбачає наявність функції QoS, що залежать від типу

переданого трафіка і запиту користувача;

– рівень магістральної ланки. Магістральна ланка має забезпечувати

передачу агрегованого призначеного для користувача трафіка відповідно до

заданих показників QoS. На даному рівні повинні застосовуватися ті ж механізми керування QoS, що і на рівні доступу.

Оптимальною технологією для побудови транспортної мережі на даний момент вважається IP технологія багатопротокольної комутації за мітками (IP Multiprotocol Label Switching, IP/MPLS). У зв'язку з цим, всі функції транспортного рівня повинні вирішуватися на рівні мережі IP/MPLS. Сьогодні, найбільш раціональним підходом до побудови транспортної мережі є застосування технологій узагальненої багатопротокольної комутації за мітками GMPLS (Generalized Multi-Protocol Label Switching). Дані технології здатні забезпечувати керування та моніторинг якості всіх рівнів магістральної ланки: мережного, канального і фізичного. Це забезпечує можливість надання абонентам мережі послуг з заданою якістю.

Рівень додатків і послуг містить функції керування логікою послуг і

додатків та являє собою розподілене обчислювальне середовище, яке забезпечує низку базових потреб [5, 6]:

– надання інфокомунікаційних послуг;

– керування послугами;

– створення і впровадження нових послуг;

– взаємодія різних послуг.

Рівень керування послугами дозволяє реалізувати специфіку послуг та застосовувати одну й ту ж саму програму логіки послуги незалежно від типу

транспортної мережі (IP, АТМ, FR і т.п.) і способу доступу. Наявність цього рівня дозволяє також вводити на мережі будь-які нові послуги без втручання у функціонування інших рівнів [5, 6]. В основі рівня лежить взаємодія з центральними елементами мережі NGN – елементами рівня комутації (IMS, PES і SSC), який здійснюється за стандартними інтерфейсам доступу в мережу (Access Network Interface, ANI). Даний рівень може включати безліч незалежних підсистем ("мереж послуг"), що базуються на різних технологіях, які мають своїх абонентів, і, які використовують свої внутрішні системи адресації.

Рівень керування мережею відповідає за організацію системи керування

мережею NGN. До завдань рівня входять моніторинг і відповідне керування інфраструктурою мережі, підтримка на мережі заданих параметрів якості, а також низку параметрів, що характеризують принцип роботи мережі в цілому (безпека і надійність).

Система керування повинна забезпечувати:

– керування процедурами усунення помилок і збоїв;

– керування процедурами конфігурації;

– керування автоматизованою системою розрахунків;

– керування мережними характеристиками;

– керування безпекою.

Сукупна функціональна архітектура мережі NGN являє собою взаємопов'язані технологічні рішення за всіма функціональними рівнями, з

урахуванням наданих вище принципів побудови і вимог.

Надалі буде розглядатися лише побудова телекомунікаційної мережі на нижніх трьох рівнях (мережному, канальному та фізичному) Еталонної моделі взаємодії відкритих систем (OSI) у відповідності з реалізацією транспортного рівня за концепцією NGN.

# **5. ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКИ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

Відповідно до ГОСТ 12.0.003-74 "ССБТ. Небезпечні й шкідливі виробничі фактори" підрозділяються по природі дії на чотири групи:

- фізичні;

- хімічні;

- біологічні;

- психофізіологічні.

Кожна група підрозділяється на підгрупи.

До фізичних факторів ставляться машини і механізми, що рухаються, невідповідність норм мікроклімату в робочій зоні, неприпустимі рівні шуму, вібрації, ультразвуку, електромагнітних й іонізуючих випромінювань, електричний струм, недоліки висвітлення та ін.

До хімічних факторів ставляться шкідливі для організму людини речовини: загальнотоксичні, дратівні, канцерогенні (зухвалий розвиток пухлин), сенсибилизуючі (зухвалі алергійні захворювання), мутагенні. У цю групу речовин входять шкідливі пари бензолу, толуолу, окис вуглецю, сірчистий газ, окис азоту, хлор, а також аерозолі свинцю, з'єднання хрому, токсичні пили, що утворяться при обробці різанням свинцюватих бронзи та латуні, шаруватих пластиків, кераміки, напівпровідникових матеріалів. Крім того, до них ставляться агресивні рідини, які можуть викликати гострі й хронічні захворювання шкіри.

До біологічних факторів ставляться мікроорганізми (бактерії, віруси, спірохети) і макро-организмы (рослини й тварини).

До психофізіологічних факторів відносять нервово-психологічні й фізичні перевантаження, розумові перенапруги, монотонність праці та емоційні перевантаження.

Найбільш небезпечними виробничими факторами є шкідливі речовини. Відповідно до ГОСТ 12.1.007-76 "ССБТ. Шкідливі речовини, класифікація і загальні вимоги безпеки" по ступені впливу на організм шкідливі речовини підрозділяються на чотири класи небезпеки:

- надзвичайно небезпечні;

- високо-небезпечні;

- помірно небезпечні;

- мало-небезпечні.

У результаті дії небезпечних виробничих факторів і шкідливих речовин можуть мати місце нещасні випадки та професійні захворювання.

5.1 Заходи з охорони праці

Загальні положення технічної експлуатації широкосмугового доступу (ШД).

Експлуатація мереж широкосмугового доступу (ШД), що входять до складу

місцевих мереж зв'язку, регулюється Законом України [77], чинними на цей час

наказами, правилами, інструкціями, документами щодо експлуатації станційних і

лінійно-кабельних споруд.

Основні принципи побудови та організації технічної експлуатації (ТЕ),

правила ТЕ апаратури, обладнання, трактів і каналів передавання надані в

[11, 42, 43, 78…82] тощо.

Основним призначенням ТЕ мережі ШД є:

– мінімізація кількості випадків виникнення відмов;

– ефективне усунення відмов у випадку їх виникнення.

Технічна експлуатація мереж ШД – це комплекс організаційних і технічних

заходів з підтримання активного і пасивного обладнання мереж доступу в стані, за

якого забезпечується якісне обслуговування користувачів.

Технічна експлуатація мереж ШД включає:

– технічне обслуговування (ТО) пасивного й активного обладнання;

– усунення пошкоджень;

– організацію роботи технічного персоналу;

– ведення документації, облік і порядок звітності;

– утримання технічних приміщень;

– виконання правил охорони праці та пожежної безпеки;

– приймання в експлуатацію побудованих мереж;

– облік заяв від користувачів про незадовільне надання широкосмугових

послуг;

– тощо.

Для попередження виробничого травматизму на підприємствах регулярно проводиться контроль безпеки праці й промислової санітарії на окремих робочих місцях, ділянках, у цехах і на підприємстві в цілому.

Для запобігання нещасних випадків необхідні знання й строге виконання існуючих положень, інструкцій і вимог по безпеці праці.

Розроблен ряд заходів щодо забезпечення безпеки праці.

При роботі з електронними апаратурами основним небезпечним фактором є небезпека поразки людини електричним струмом, що збільшується тим, що органи почуттів людини не можуть на відстані виявити наявності електричної напруги на обладнанні.

Електричний струм, проходячи через тіло людини, робить на нього складний вплив, що є сукупністю термічного (розкладання крові й плазми) і біологічного (роздратування й порушення нервових волокон та інших тканин органів організму) впливів.

Значення сили струму, електричний опір тіла людини та тривалість протікання через нього струму, тип і частота струму, індивідуальні властивості людини й навколишнього середовища - це ті фактори, від яких залежить ступінь поразки людини електричним струмом.

Відповідно до ГОСТ 12.1.030-81, для захисту людей від поразки електричним струмом при дотику до металевих неструмоведучих частин, що можуть виявитися під напругою в результаті ушкодження ізоляції, передбачаються наступні заходи:

захисне заземлення;

- занулення;

- мала напруга;

- захисне відключення;

- ізоляція струмоведучих частин;

- огороджувальні пристрої;

- попереджувальна сигналізація;

- блокування;

- застосування світильників загального висвітлення з напругою живлення 220 В, установлених на висоті не менш 2,5 м від рівня підлоги;

- запобіжні пристосування та інше.

У виробничому приміщенні на організм людини і його працездатність впливають мікрокліматичні фактори. Мікроклімат виробничих приміщень визначається сполученням температури, вологості й швидкості руху повітря, а також температури навколишніх поверхонь.

Оптимальні показники мікроклімату поширюються на всю робочу зону приміщень, припустимі на постійні й непостійні робочі місця робочої зони. У приміщеннях, у яких не можна забезпечити припустимі норми, необхідно передбачати приточно-витяжну вентиляцію, повітряне душування, обігрів, спецодяг відповідно до сезону року, засобу індивідуального захисту.

Для робіт категорії 1а відповідно до ГОСТ 12.1.005-88 забезпечуються наступні метеорологічні умови:

- для виробничих приміщень:

1) у холодний період року температура повітря – 21...23ºС, відносна вологість повітря – 40-60%, швидкість руху повітря не більше 0,2 м/с;

2) у теплий період року температура повітря – 22...24 ºС, відносна вологість повітря – 40-60%, швидкість руху повітря не більше 0,2 м/с;

- для робочої зони виробничих приміщень:

1) у холодний і перехідний періоди року температура повітря – 19...25ºС, відносна вологість повітря - не більше 75%, швидкість руху повітря не більше 0,2 м/с;

2) у теплий період року температура повітря не більше ніж на 3 градуси вище середньої температури зовнішнього повітря самого теплого місяця, але не більше 28ºС, відносна вологість повітря при температурі 28ºС не більше 55%, при температурі 27ºС не більше 60%, при температурі 25ºС не більше 70%, при температурі 24ºС не більше 75%.

Для забезпечення чистоти повітря та відповідних мікрокліматичних умов пропонується застосувати загальобмінну природну вентиляцію. Для зменшення впливу шкідливих речовин і загазованості для роботи з розплавленими матеріалами робоче місце забезпечується примусовою витяжною вентиляцією. У приміщенні, де перебуває шафа с пристроєм обробки сигналів, повітрообмін реалізується також за допомогою загальобмінною природною вентиляцією та установки кондиціонера. Цей метод забезпечує приплив потрібної кількості свіжого повітря, обумовленого в СНІП (30 м/ч на одного працюючого).

Кількість необхідного подаваного повітря в залежності від кількості шкідливих речовин, що виділяються, визначається за формулою:

, (5.1)

де L – кількість повітря, що виділяється з робочої або обслуговуючої зони приміщення місцевими відсмоктувачами, організованою вентиляцією і на технологічні або інші нестатки, м3/год;

Z – кількість шкідливих речовин, що надходять у повітря приміщення, мг/год;

См – концентрація шкідливих речовин у повітрі, що видаляється з робочої зони місцевими відсмоктувачами на технологічні або інші нестатки, мг/м3;

Сух – концентрація шкідливих речовин у повітрі, що видаляється з приміщення, мг/м3;

Сп – концентрація шкідливих речовин у повітрі, що подається до приміщення, мг/м3.

У якості місцевих відсмоктувачів при пайці застосовуються шарнірно-телескопічні відсмоктувачі прямокутної форми, встановлювальні у вертикальній площині столу. Для ручної пайки використовуються два монтажних столи.

Кількість повітря, що відсмоктується, для прямокутних отворів з гострими крайками (м3/с) визначається за формулою:

, (5.2)

де S – площа усмоктувального отвору, м2;

Е – велика сторона прямокутного усмоктувального отвору, м (Е=0,3 м);

Х – відстань від площини усмоктувального отвору до розглянутої зони пайки, м (Х=0,2 м);

Vx – швидкість руху повітря в зоні пайки, м/с.

Менша сторона прямокутного усмоктувального отвору визначається з оптимального співвідношення:

, (5.3)



*b = 0,1 м*

Площа отвору дорівнює:



*S=0,03м2*



*L = 0,57м3/с = 205,2 м3/год*

Розрахунок показав, що кількість повітря, що всмоктується із зони пайки повинна бути рівна 0,57 м3/с при розмірах усмоктувального отвору 0,1х0,3 м.

Кількість подаваного повітря розраховується по формулі (5.1) у залежності від кількості шкідливих речовин, що виділяються. Розрахунок виробляється для половини максимально припустимої концентрації олова і свинцю. Приймаємо Z=500 мг/год, Сух=20,02 мг/м3, Сn=0, См=1 мг/м3 тоді:



*L = 220 м3/год*

У такий спосіб дана система вентиляції забезпечить подачу та відсмоктування повітря в приміщенні ручної пайки із місткістю шкідливих речовин в обсязі не перевищуючому гранично допустимий.

Для забезпечення вентиляції будемо використовувати відцентровий пиловий вентилятор В-ЦП-7-40№6 із клиноремінним приводом, що буде встановлений на даху приміщення. Вентилятор В-ЦП-7-40№6 має характеристики, приведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Технічні характеристики вентилятора В-ЦП-7-40№6

|  |  |
| --- | --- |
| Найменування параметра | Значення |
| Продуктивність, м3/год | 5000 |
| Частота обертання, об/хв | 1755 |
| Тип електродвигуна | 4А132S4 |
| Потужність електродвигуна, кВт | 7,5 |

Зниження шуму можна домогтися, раціонально розпланувавши приміщення, установкою обладнання на спеціальні прокладки, що амортизують. Відповідно до вимог "Санітарних норм припустимих рівнів шуму на робочих місцях" № 3223-85 рівні звуку не повинні перевищувати 50 дб.

Для зниження стомлюваності обслуговуючого персоналу в приміщеннях, де розташовані обчислювальні засоби, передбачаються використати спокійні колірні сполучення й покриття, що не дають відблисків. Від електромагнітного випромінювання, використаються захисні екрани.

Важливу роль у виробничій санітарії грає правильно спланована система висвітлення: знижується виробничий травматизм, створюються нормальні умови для роботи органів зору, підвищується працездатність організму.

У розроблювальному проекті пропонується використати змішане висвітлення. У світлий час доби приміщення буде висвітлюватися через віконні прорізи, в інший час доби буде використатися штучне висвітлення.

Штучне висвітлення створюється лампами накалювання або використанням газорозрядних ламп.

Штучне висвітлення в робочому приміщенні пропонується здійснити з використанням люмінесцентних джерел світла у світильниках загального висвітлення, оскільки люмінесцентні лампи мають високу світлову віддачу (до 75 лм/Вт і більше), тривалий термін служби (до 10000 годин), спектральний склад випромінюваного світла близьким до сонячного.

Зробимо розрахунок кількості світильників у робочому приміщенні зборки довжиною а=12,5 м, шириною b=5,5 м, висотою с=4 м.

Формула розрахунку штучного освітлення при горизонтальній робочій поверхні методом світлового потоку (5.4):

Фл = (Ен·S·Z·K)/(N·U·M) , (5.4)

де ФЛ – світловий потік, Лм;

ЕН – нормована освітленість;

S – площа підлоги, кв.м;

Z = 1,1÷1,3 - поправочний коефіцієнт світильника (для стандартних світильників);

K – коефіцієнт запасу, що враховує зниження освітленості в процесі експлуатації світильників;

N – число світильників;

U = 0,55÷0,6 – коефіцієнт використання, що залежить від типу світильника, показника індексу приміщення та ін.;

M - число ламп у світильнику.

З формули (5.4) виразимо N і по формулі (5.5) визначимо кількість світильників для даного приміщення:

N = (EН·S·Z·K)/(ФЛ·U·M) (5.5)

N = (200·68,75·1,2·1,5) / (3120·0,6·2) = 6,1

Виходячи із цього, рекомендується використати 6 світильників. Світильники варто розміщати рядами, бажано паралельно стіні з вікнами. Схема розташування світильників зобpажена на рисунку 5.1.

5.5м

12.5м

Рисунок 5.1 – Схема розташування світильників

5.2 Заходи з безпеки в надзвичайних ситуаціях

При експлуатації проектованого пристрою виникає ряд факторів, що створюють небезпеку виникнення пожежі. Горючими компонентами у виробі є: ізоляція струмоведучих частин, плати, наявність горючих речовин у радіодеталях, а також у приміщеннях, де перебуває прилад. Горючими компонентами є також будівельні конструкції для акустичної та естетичної обробки приміщень, перегородки, двері, підлоги.

Показники пожежонебезпеки матеріалів:

а) поліамід - матеріал корпуса мікросхем, пальна речовина, температура самозапалювання 420 ºС, енергія запалювання 200 мДж;

б) полівінілхлорид Е-62 - температура плавлення 82ºС, температура запалення 335ºС, температура самозапалювання 530ºС;

в) склотекстоліт СТНФ - матеріал друкованих плат, негорючий, показник горючості (клас горючості - 0, час горіння, сек, не більше 10), tвоспл=340-500ºС;

г) перегородки, двері, підлоги, будівельні конструкції - деревина соснова, горючий матеріал, показник горючості більше 2,1, температура запалення 225ºС, теплота згорянь 18731-20853 кДж/кг, температура самозапалювання 399ºС, схильна до самозапалювання.

Згідно НАПБ Б.03.002-2004 таке приміщення ставиться до категорії "В" (пожаронебезпечна).

Пожежа може виникнути при утворенні джерела запалювання й внесенні його в горюче середовище.

Можливі наступні джерела запалювання:

- іскри й дуги коротких замикань;

- іскри при розмиканні й замиканні ланцюгів;

- перегріви при тривалому навантаженні;

- нагрівання індукційними струмами;

- нагрівання від діелектричних втрат;

- розряди статичної електрики.

Пожежна безпека при експлуатації приладу відповідно до ГОСТ 12.1.004-85 "Пожежна безпека" забезпечується:

- системою запобігання пожежі;

- системою протипожежного захисту;

- організаційно-технічними заходами.

Неможливо видалити горючі матеріали, тому потрібно виключити джерела запалювання.

Для запобігання утворення в горючому середовищі джерел запалювання передбачають:

- застосування в конструкції швидкодіючих засобів захисного відключення можливих джерел запалювання;

- виключення можливості появи іскрового заряду статичної електрики в горючому середовищі з енергією рівної й вище мінімальної енергії запалювання за ГОСТ 12.1.004-91 "Пожежна безпека";

- застосування обладнання, що задовольняє вимогам електростатичної іскробезпеки.

- виконання діючих будівельних норм, правил і стандартів.

Для зменшення небезпеки виникнення пожежі забороняється використання електричних кабелів з ушкодженою ізоляцією та поганими контактами в місцях з'єднання, з'єднання електричних проводів між собою та з металоконструкціями, застосування саморобних запобіжників.

Для зниження пожежної небезпеки для приміщень категорій "В" рекомендується встановити первинні засоби пожежогасіння, а також систему автоматичної пожежної сигналізації на основі комбінованого оповісника ДИП-1, що призначений для виявлення вогнища пожежі в закритих приміщеннях по прояві диму або локальному підвищенню температури й розрахований для контролю площі до 150 м2 при висоті стелі до 4 метрів. Чутливість оповісника до диму не більше 10%, чутливість до температури - 70-10ºС.

Як первинні засоби пожежогасіння пропонується використати:

- ручний вогнегасник ОУ-5;

- повітряно-пінний вогнегасник ОВП-5;

- азбестове полотно 1,5х2 м.

Як організаційно-технічні міри рекомендується проводити навчання робочого персоналу правилам пожежної безпеки.

ВИСНОВКИ

У процесі роботи над дипломним проектом було проведене дослідження технологій передачі мереж широкосмугового доступу.

Представлений огляд сучасного стану технологій передачі мереж широкосмугового доступу дозволяє визначити найбільш перспективні технології побудови телекомунікаційних мереж.

Сьогодні існує проблема вибору моделі побудови мереж наступних поколінь (NGN), яка пов’язана з великою кількістю різних поглядів на перспективи розвитку телекомунікацій. Це пояснюється, насамперед, тим, що різні виробники телекомунікаційного обладнання та розробники програмного забезпечення бачать цю модель по-різному, відштовхуючись, перш за все, від можливостей власної продукції.

Узагальнена модель побудови мереж наступних поколінь дозволяє наблизитись до вирішення цієї проблеми через погляд на процес будівництва з різних точок зору (технології, архітектура, управління, якість та безпека тощо) та визначити загальні принципи побудови мереж у майбутньому.

Враховуючи стрімкий розвиток телекомунікаційних мереж майже в усіх галузях виробництва та бізнесу, можна зробити висновок про стовідсотково виправдану необхідність вкладати як фінанси, так і інтелектуальні ресурси в розвиток такого роду зв`язку та галузі взагалі.

А також був виконаний аналіз потенційних небезпек, зроблений розрахунки системи змішаного освітлення та обрана система вентиляції, розроблені заходи щодо техніки безпеки, розглянуті міри, що забезпечують виробничу санітарію й гігієну праці, розроблені рекомендації з пожежної профілактики та охорони навколишнього середовища.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2013–2018 / [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.cisco.com/.

2. ITU-T Recommendation G.991.1: High bit rate Digital Subscriber Line.

(HDSL) transceivers.– Appr. 1998, October. – Geneva, 1998. – 171 p.

3. ITU-T Recommendation G.992.5: Asymmetric digital subscriber line

transceivers 2 (ADSL2) – Extended bandwidth (ADSL2plus). [Text]. – Appr. 2009,

January. – Geneva, 2009. – 110 p.

4. ITU-T. Recommendation G.993.2 : Very high speed digital subscriber line transceivers 2 (VDSL2). [Text]. – Appr. 2015, January. – Geneva, 2015. – 313 p.

5. Балашов В.А. Технологии широкополосного доступа xDSL. Инженерно-технический справочник / Балашов В.А., Лашко А.Г, Ляховецкий Л.М., под общей ред. В.А. Балашова. − М.: Эко-Трендз, 2009. – 256 с.

6. Мазурков М.И. Системы широкополосной радиосвязи / Мазурков М.И. – Одесса: Наука и техника, 2010. – 340 с.

7. Ипатов В.П. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов / Ипатов В.П. – М.: Техносфера, 2007. − 488 с.

8. Берлин А.Н. Цифровые сотовые системы связи / Берлин А.Н. – М.: Эко-

Трендз, 2007. – 296 с.

9. Балашов В. А. Системы передачи ортогональными гармоническими

сигналами / Балашов В.А., Воробиенко П.П., Ляховецкий Л.М.. – М.: Эко-

Трендз, 2012. – 228 с.

10. Балашов В.О. Системи передавання широкосмуговими сигналами:

навч. посіб. / В.О. Балашов, П.П. Воробієнко, Л.М. Ляховецкий, В.В. Педяш. –

Одеса: Вид. центр ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2012. – 336 с.

11. Окунев Ю.Б., Фазоразностная модуляция и ее применение для

передачи дискретной информации / Окунев Ю.Б., Рахович Л.М. – М.: Связь, 1967. – 304 с.

12. Окунев Ю.Б. Системы связи с инвариантными характеристиками

помехоустойчивости / Окунев Ю.Б. – М.: Связь, 1973. – 80 с.

13. Окунев Ю.Б. Теория фазоразностной модуляции / Окунев Ю.Б. – М.:

Связь, 1979. – 216 с.

14. Возенкрафт Дж. Теоретические основы техники связи / Дж. Возенкрафт, И. Джекобс. – М.: Мир, 1969. – 640 с.

15. Балашов В.О. Мережі та обладнання широкосмугового доступу за

технологією xDSL: навч. посіб. / В.О.Балашов, П.П. Воробієнко, А.Г. Лашко,

Л.М. Ляховецький. – Одеса. – 2009. – 225 с.

16. Хармут Х.Ф. Передача информации ортогональными функциями / Хармут Х.Ф. – М.: Связь, 1975. – 272 с.

17. Хармут Х.Ф. Несинусоидальные волны в радиолокации и радиосвязи /

Хармут Х.Ф. – М.: Радио и свіязь, 1985. – 376 с.

18. Chang R.W. Synthesis of Band-Limited Orthogonal Signals for Multichanel Data Transmission / Chang R.W. – BSTJ, Vol. 45. – 1966 December № 10. – P. 1775–1797.

19. Schnidman D.A. A generalized Nyquist criterion and optimum linear

receiver for a pulse modulation system / Schnidman D.A. – BSTY, Vol. 46, № 9. –

1967. – Р. 2163-2177.

20. Гуцалюк А.К. Оценка мощности интерференционной помехи в многоканальном модеме / А.К. Гуцалюк, П.Я. Нудельман // Труды учебных институтов связи. – Л.: ЛЭИС. – Вып. 81. – 1976. – С. 54 – 60.

21. Балашов В.А. Дисперсия интерференционных помех в многоканальных системах с Найквистовой скоростью передачи: сб. научн. трудов “Информатика и связь” // В.А. Балашов. – К.: Техника, 1997. – С. 104 – 111.

22. Ляховецький Л.М. Дослідження інтерференційних завад у системах передавання за технологією ADSL2+ / Л.М. Ляховецький, І.Б. Барба, С.А. Заблоцький // Зв'язок. – 2012. – № 4. – C. 6 – 9.

23. А.с. 860276 СССР, МКИ3 H 04 L 27/22. Способ детектирования

Фазомодулированных сигналов / В.А. Балашов, П.Я. Нудельман, Ю.А. Павличенко, А.М. Темесов. – № 2653053; заявл. 31.07.78; опубл. 04.05.81, Бюл. № 32.

24. Рабинер Л. Теория и применение цифровой обработки сигналов; пер. с

англ / Л. Рабинер, Б.Гоулд. – М.: Мир, 1978.

25. Балашов В.А. Цифровая реализация алгоритмов многочастотных

модемов / В.А. Балашов, П.Я. Нудельман, А.М. Темесов // Электросвязь. – 1982.

– № 1. – С. 32–34.

26. Балашов В.А. Интерференционные помехи в системах передачи

гармоническими сигналами обобщенного класса / В.А. Балашов, Л.М. Ляховецкий, И.Б. Барба // Сборник научных трудов SWorld. – 2014. –

Выпуск 1. – Том 9. – С. 79 – 86.

27. Размахнин М.К., Функции с двойной ортогональностью в радиоэлектронике и оптике: перевод и научная обработка / М.К. Размахнин, В.П. Яковлев. – М.: Сов. Радио, 1971. – 256 с.

28. Курант Р. Методы математической физики / Р. Курант, Д. Гильберт. –

М. – Л.: ГИТ – ТЛ, 1951. – 476 с.

29. Захарченко Н.В. Основы передачи дискретных сообщений: учеб.

Пособ. [для вузов] / Захарченко Н.В., Нудельман П.Я., Кононович В.Г. – М.: Радио и свіязь, 1990. – 240 с.: ил.

30. Лашко А.Г. Моделирование характеристик цифровых абонентских

линий, построенных по ADSL-технологии / А.Г. Лашко, Л.М. Ляховецкий,

В.В. Раду // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2005. – № 1. – С. 67 – 74.

31. Балашов В.А. VDSL – ближайшее будущее цифрового абонентского доступа / В.А. Балашов, О.В. Копейка, Л.М. Ляховецкий // Зв’язок. – 2005. – №4. – С. 10 – 16.

32. Ляховецький Л.М. Характеристики широкосмугового доступу за

технологією VDSL2 / Л.М. Ляховецький, В.І. Орєшков // Наукові праці ОНАЗ

ім. О. С. Попова. – 2012. – № 2. – С. 93 – 98.

33. Орєшков В.І. Оцінка швидкості передавання, досяжної системами

передачі ортогональними гармонічними сигналами узагальненого класу /

В.І. Орєшков, Л.М. Ляховецький, І.Б. Барба // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2015. – № 1. – С. 105 – 111.

34. Ортогональні гармонічні сигнали узагальненого класу: монографія / В.О. Балашов, І.Б. Барба, Л.М. Ляховецький, В.І. Орєшков. – Одеса:

Купрієнко св, 2016. – 146 с.: 120 рис., 13 табл. ISBN 978-966-2769-97-5.

35. Парфенов Ю.А. Кабели электросвязи / Парфенов Ю.А. – М.: Эко-Трендз, 2003. – 256 с.

36. Гроднев И.И. Линии связи / Гроднев И.И., Верник С.М. – М.: Радио и

свіязь, 1988. – 544 с.

37. Балашов В.А. Моделирование характеристик цифровых абонентских линий / В.А. Балашов, Л.М. Ляховецкий // Зв’язок. – 2003. – № 2. – С. 19 – 23.

38. Орєшков В. І. Підвищення ефективності використання цифрових

абонентських ліній в мережах широкосмугового доступу: дис. канд. техн. наук:

05.12.02 / Василь Іванович Орєшков. – Одеса, 2013. – 206 с.

39. Проектування, будівництво та експлуатація мереж широкосмугового доступу: навч. посіб. з дипломного проектування та виконання магістерських робіт / [В.О. Балашов, І.Б. Барба, В.І. Корнійчук та ін.] – Одеса: РВЦ ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2012. – 240 с.

40. Перспективні телекомунікаційні технології мереж широкосмугового доступу: монография / [В.О. Балашов, А.Г. Лашко, Л.М. Ляховецький, В.І. Орєшков, В.В. Педяш, О.С. Решетнікова, А.В. Солдаткіна]. – Одеса: Купрієнко св, 2016. – 200 с.: 118 рис., 35 табл. ISBN 978-966-2769-98-2.

41. ITU-T. Recommendation G.991.2: Single-pair high-speed digital subscriber line (SHDSL) transceivers. [Text]. – Appr. 2003, December. – Geneva, 2003. – 234 p.

42. ITU-T. Recommendation G.992.1: Asymmetric digital subscriber line

(ADSL) transceivers. [Text]. – Appr. 1999, June. – Geneva, 1999. – 256 p.

43. ITU-T. Recommendation G.992.2: Splitterless asymmetric digital subscriber line (ADSL) transceivers. [Text]. – Appr. 1999, June. – Geneva, 1999. – 179 p.

44. ITU-T. Recommendation G.992.3: Asymmetric digital subscriber line

transceivers 2 (ADSL2). [Text]. – Appr. 2009, April. – Geneva, 2009. – 404 p.

45. ITU-T. Recommendation G.992.4: Splitterless asymmetric digital subscriber line transceivers 2 (splitterless ADSL2). [Text]. – Appr. 2002, July. – Geneva, 2002. –24 p.

46. ITU-T. Recommendation G.993.1: Very high speed digital subscriber line transceivers. [Text]. – Appr. 2004, June. – Geneva, 2004. – 228 p.

47. ITU-T. Recommendation G.9700: Fast access to subscriber terminals

(G.fast) – Power spectral density specification. [Text]. – Appr. 2014, April. –

Geneva, 2014. – 22 p.

48. ITU-T. Recommendation G.9701: Fast access to subscriber terminals

(G.fast) – Physical layer specification. [Text]. – Appr. 2014, December. – Geneva,

2014. – 326 p.

49. ITU-T. Recommendation G.995.1: Overview of digital subscriber line

(DSL) Recommendations. [Text]. – Appr. 2001, February. – Geneva, 2001. – 33 p.

50. Алексеев Е.Б. Оптические сети доступа: учеб. пособ./ Алексеев Е.Б. –

М.: МТУ СИ, 2005. – 140 с.

51. ITU-T. Recommendation G.957: Optical interfaces for equipments and

systems relating to the synchronous digital hierarchy. [Text]. – Appr. 2006, March. –

Geneva, 2006. – 38 p.

52. ITU-T. Recommendation G.985: 100 Mbit/s point-to-point Ethernet based optical access system. [Text]. – Appr. 2003, March. – Geneva, 2003. – 20 p.

53. ITU-T. Recommendation G.986: 1 Gbit/s point-to-point Ethernet-based

optical access system. [Text]. – Appr. 2010, January. – Geneva, 2010. – 20 p.

54. ITU-T. Recommendation G.983.1: Broadband optical access systems based

on Passive Optical Networks (PON). [Text]. – Appr. 2005, January. – Geneva, 2005.

– 124 p.

55. ITU-T. Recommendation G.984.2: Gigabit-capable Passive Optical

Networks (GPON): Physical Media Dependent (PMD) layer specification. [Text]. –

Appr. 2003, March. – Geneva, 2003. – 38 p.

56. ITU-T. Recommendation G.987.2: 10-Gigabit-capable passive optical

networks (XG-PON): Physical media dependent (PMD) layer specification. [Text]. –

Appr. 2010, October. – Geneva, 2010. – 38 p.

57. ITU-T. Recommendation G.989.2: 40-Gigabit-capable passive optical

networks 2 (NG PON2): Physical media dependent (PMD) layer specification.

[Text]. – Appr. 2014, December. – Geneva, 2014. – 110 p.

58. ITU-T. Recommendation G.982: Optical access networks to support services up to the ISDN primary rate or equivalent bit rates. [Text]. – Appr. 1996, November. – Geneva, 1996. – 29 p.

59. ITU-T. Recommendation G.652: Characteristics of a single-mode optical fibre and cable. [Text]. – Appr. 2009, November. – Geneva, 2009. – 22 p.

60. World Broadband Statistics – Q3 2017 [Электронный ресурс] / Point Topic Ltd. – Режим доступа: http://point-topic.com/free-analysis/world-broadband-statistics-q3-2017/. – Дата доступа: 16.02.2018.

61. Global broadband subscriber numbers – Q1 2014. 690.1m subscribers

worldwide at the end of Q1 2014 [Электронный ресурс] / Point Topic Ltd. – Режим

доступа: http://point-topic.com/free-analysis/global-broadband-subscriber-numbers-

q1-2014/. – Дата доступа: 02.09.2015.

62. World Broadband Statistics – Q4 2015 [Электронный ресурс] / Point Topic Ltd. – Режим доступа: http://point-topic.com/wp-content/uploads/2013/02/Point-Topic-Global-Broadband-Statistics-Q4-2015.pdf. – Дата доступа: 20.09.2016.

63. Как разгоняли G.fast: становление технологи [Электронный ресурс] / ООО «НАГ». – Режим доступа: https://nag.ru/articles/article/30454/kak-razgonyali-g-fast-stanovlenie-tehnologii.html. – Дата доступа: 15.03.2017.

64. ITU-T. Recommendation G.993.5: Self-FEXT cancellation (vectoring) for use with VDSL2 transceivers.[Text]. – Appr. 2010-04-22. – Geneva, 2010.– 80 p.

65. Terabit DSL Proposed By Stanford Professor John Cioffi [Электронный ресурс] / ASSIA INC. – Режим доступа: https://www.assia-inc.com/terabit-dsl/. – Дата доступа: 17.02.2018.

66. Terabit DSL (TDSL) (Use of a copper pair’s sub-millimeter Waveguide modes) [Электронный ресурс] / ASSIA INC. – Режим доступа: https://www.assia-inc.com/wp-content/uploads/2017/05/TDSL-presentation.pdf. – Дата доступа: 17.02.2018.

67. Балашов В.А. Скорость доступа по многопарным телефонным кабелям на базе технологии передачи G.fast. [Текст] / [В.А. Балашов, А.М. Зеленый, А.Г. Лашко, Л.М. Ляховецкий, В.И. Орешков, В.Н. Молога] // Зв'язок. – 2015. – № 6. – С. 46 – 48.

68. Ляховецький Л.М. Удосконалення методу оцінки швидкості передавання систем передачі ортогональними гармонічними сигналами / Л.М.

Ляховецький, В.І. Орєшков, І.Б. Барба // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. –

2014. – № 2. – Частина 2. – С. 186 – 193.

69. Best home automation system / [Electronic resource] / Consumer Reports. – Access mode: https://www.consumerreports.org/cro/magazine/2014/06/run-your-

home-from-your-phone/index.htm. – Title screen. – Date of access: 14.03.2018.

70. Machine-to-Machine / [Electronic resource] / Gemalto. – Access mode: https://www.gemalto.com/m2m. – Title screen. – Date of access: 15.03.2018.

71. Halid Hrasnica Broadband Powerline Communications Networks Network Design [Електронний ресурс] / Halid Hrasnica, Abdelfatteh Haidine, Ralf Lehnert – Chichester, England. : John Wiley & Sons, Ltd., 2004. – 275 с. Режимдоступу:http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.174.4245&rep=rep1&type=pdf – Назва з екрана. – Дата звернення: 5.08.18.

72. Ляховецький Л.М. PLC – технологія передавання даних мережами

електропостачання / Л.М. Ляховецький, О.К. Яневич // Научные труды SWorld.

– Иваново: Научный мир, 2016. – № 45. Том 1. – С. 87 – 91.

73. G.9902 Narrowband orthogonal frequency division multiplexing power line

communication transceivers for ITU-T G.hnem networks [Electronic resource] /

International Telecommunication Union. – жовтень, 2012 р. – Режим доступа:

https://www.itu.int/rec/dologin\_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.9902-201210-I!!PDF-

E&type=items. – Заголовок з екрану. – Дата доступа: 09.12.2017.

74. G.9903 Narrowband orthogonal frequency division multiplexing power line

communication transceivers for G3-PLC networks [Electronic resource] /

International Telecommunication Union. – серпень, 2017 р. – Режим доступа:

https://www.itu.int/rec/dologin\_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.9902-201210-I!!PDF-

E&type=items. – Заголовок з екрану. – Дата доступа: 16.03.2018.

75. ITU-T Recommendation G.9960: Unified high-speed wireline-based home networking transceivers – System architecture and physical layer specification. [Text]. – Jul. 2015. – Geneva, 2016. – 153 p.

76. Lars Torsten Berger MIMO Power Line Communications: Narrow and

Broadband Standards, EMC, and Advanced Processing / Lars Torsten Berger,

Andreas Schwager, Pascal Pagani, Daniel Schneider // – Режим доступа:

https://books.google.com.ua/books?id=R07SBQAAQBAJ&pg=PA584&dq=Lars+To

rsten+Berger+MIMO+Power+Line+Communications+fft&hl=uk&sa=X&ved=0ahU

KEwiI2cPtkeHYAhVJWywKHV43CJ8Q6AEIJjAA#v=onepage&q=Lars%20Torste

n%20Berger%20MIMO%20Power%20Line%20Communications%20fft&f=false. –

Заголовок з екрану. – Дата доступа: 16.01.2018.