

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Інститут телекомунікаційних систем
Кафедра Телекомунікаційних систем**

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Леонід УРИВСЬКИЙ

«__» _____ 20__ р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка

**на тему: «Модернізація мережі доступу Південно-Східного мікрорайону
м. Черкаси на основі технології GPON»**

Виконав (-ла):

студент (-ка) IV курсу, групи ТС-61

Свірідов Володимир Миколайович _____

Керівник:

Ст. викладач кафедри ТС

Вакуленко Олександр Володимирович _____

Рецензент:

Доцент кафедри ТК, к.т.н., доцент

Явіся Валерій Сергійович _____

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Інститут телекомунікаційних систем

Кафедра Телекомунікаційних систем

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 172 Телекомунікації та радіотехніка

Програма професійного спрямування (спеціалізація) – «Телекомунікаційні системи та мережі»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Леонід УРИВСЬКИЙ

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Свірідову Володимирі Миколайовичу

1. Тема роботи «Модернізація мережі доступу Південно-Східного мікрорайону м. Черкаси на основі технології GPON», керівник роботи старший викладач кафедри ТС, Вакуленко Олександр Володимирович, затверджені наказом по університету від 30 березня 2020 р. № 924-с

2. Термін подання студентом роботи 12 червня 2020 р.

3. Вихідні дані до роботи: Інформаційні матеріали про принципи роботи пасивних оптичних мереж, різновид технологій та характеристика обладнання. Структурований план порядку розробки матеріалів дипломної роботи.

4. Зміст роботи

Аналіз сучасного стану мереж доступу. Огляд пасивних оптичних мереж доступу, вибір технології та опис обладнання, з якого складається мережа. Вибір топології та створення схеми мережі. Модернізація трьох ділянок мережі з вибором обладнання для кожної. Розрахунок оптичного бюджету мережі. Оцінка обсягу обладнання.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо)

1) Мультимедійна презентація для захисту дипломної роботи на тему: «Модернізація мережі доступу Південно-Східного мікрорайону м. Черкаси на основі технології GPON»

6. Дата видачі завдання 1 листопада 2019 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Збір та вивчення літератури	05.03	Викон.
2	Написання вступу	08.04	Викон.
3	Аналіз сучасного стану мереж доступу. Обґрунтування переходу до оптичних мереж доступу	16.04	Викон.
4	Огляд пасивних оптичних мереж доступу, вибір технології та опис обладнання, з якого складається мережа	25.04	Викон.
5	Вибір обладнання та топології мережі. Розробка схем та рисунків	03.05	Викон.
6	Аналіз матеріалів, написання висновків.	12.05	Викон.
7	Оформлення роботи, перевірка на плагіат	20.05	Викон.
8	Підготовка доповіді та презентації	10.06	Викон.

Студент

Володимир СВІРІДОВ

Керівник роботи

Олександр ВАКУЛЕНКО

РЕФЕРАТ

Текстова частина дипломної роботи: 60 с., 26 рис., 5 табл. та 8 джерел за переліком посилань.

Дана дипломна робота присвячена аналізу сучасного стану мереж доступу, огляду принципів модернізації мереж доступу та проектування ефективної телекомунікаційної мережі за технологією PON. В роботі розглянуто питання, що присвячені пасивним оптичним мережам. Визначено їх основне призначення, основні переваги та недоліки.

В даному проекті проводиться розрахунок ділянки мережі PON для Південно-Східного мікрорайону м. Черкаси на основі реальних вихідних даних. Необхідно спроектувати ефективну мережу для надання сучасних телекомунікаційних послуг.

В рамках проекту проаналізовані характеристики і можливості технологій FTTx та PON, розглянуто обладнання, що використовується для створення пасивних оптичних мереж, визначено метод розрахунку параметрів мережі.

Методи і результати розрахунків можуть бути використані при побудові реальної мережі в будь-якому районі м. Черкаси, а також в інших містах.

ABSTRACT

This thesis is devoted to the analysis of the current state of access networks, review of the principles of modernization of access networks and design of an effective telecommunications network using PON technology. The paper deals with issues related to passive optical networks. Their main purpose, main advantages and disadvantages are determined.

In this project the calculation of the PON network section for the South-Eastern microdistrict of Cherkasy is carried out on the basis of real initial data. It is necessary to design an effective network for the provision of modern telecommunications services.

Within the framework of the project the characteristics and possibilities of FTTx and PON technologies are analyzed, the equipment used for creation of passive optical networks is considered, the method of calculation of network parameters is defined.

Methods and results of calculations can be used in the construction of a real network in any area of Cherkasy, as well as in other cities.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП	9
1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ МЕРЕЖ ДОСТУПУ	11
1.1 Передумови виникнення волоконно-оптичних мереж.....	11
1.2 Розвиток мереж доступу.....	13
1.3 Висновки до розділу 1	17
2 ПРИНЦИПИ МОДЕРНІЗАЦІЙ МЕРЕЖ ДОСТУПУ.....	18
2.1 Розвиток технологій оптичного доступу. Технології FTTx.....	18
2.2 Склад та принцип роботи пасивної оптичної мережі.....	24
2.3 Порівняння технологій xPON	31
2.4 Висновки до розділу 2	35
3 ПЛАНУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ МЕРЕЖІ ДОСТУПУ	36
3.1 Зведена характеристика Південно-Східного мікрорайону	36
3.2 Модернізація станційної ділянки	38
3.3 Модернізація ділянки розподілу.....	45
3.4 Модернізація абонентської ділянки	48
3.5 Розрахунок оптичного бюджету мережі.....	52
3.6 Оцінка обсягу обладнання.....	54
3.7 Висновки до розділу 3	55
ВИСНОВКИ.....	57
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	59

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АЛ	Абонентська лінія
АТМ	Технологія асинхронного режиму передачі даних
АТС	Автоматична телефонна станція
БК	Будинковий крос
БРМ	Будинкова розподільна мережа
ДБЖ	Джерело безперебійного живлення
МД	Мережа доступу
ОМД	Оптична мережа доступу
ОП	Оптичний підсилювач
ОР	Оптичний розгалужувач
ОРА	Оптична розетка абонентська
ОРК	Оптична розподільча коробка
ОРШ	Оптична розподільна шафа
ШСД	Широкосмуговий доступ до Інтернету (Broadband)
1:N	Коефіцієнт поділу оптичного розгалужувача
AON	Active Optical Network – активна оптична мережа
CATV	Cable Television – кабельне телебачення
CO	Central Office – центральний офіс
CWDM	Coarse Wavelength Division Multiplexing – мультиплексування з грубим поділом по довжині хвилі
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing – щільне мультиплексування з розподілом за довжиною хвилі
FTTx	Fiber To The x – волокно до ... (дому, будинку)
GEPON	Gigabit Ethernet Passive Optical Network – Гігабітна пасивна оптична локальна мережа
LLID	Logical Link Identifier – 2 байта, вказує індивідуальний ідентифікатор вузла GEAPON

NT	Network Terminal – мережний термінал, термінальний (кінцевий) пристрій
ODF	Optical Distribution Frame – оптична розподільна панель
ODN	Distribution Network – оптична розподільна мережа
OLT	Optical Line Terminal – оптичний лінійний термінал
ONT	Optical Network Terminal – оптичний мережний термінал
ONU	Optical Network Unit – оптичний мережний пристрій
P2MP	Point-to-multipoint communication – тип з'єднання «точка-багатоточка»
P2P	Point-to-point communication – тип з'єднання «точка-точка»
PON	Passive Optical Network – пасивна оптична мережа
PoP	Point of Presence – точка присутності
PSTN	Public Switched Telephone Network – телефонна мережа загального користування
SFP	Small Form-factor Pluggable – оптичний модуль
SL	Subscriber Line – абонентська лінія
WDM	Wavelength-division multiplexing – мультиплексування з поділом хвиль згідно їх довжин
xDSL	Digital Subscriber Line – сімейство технологій, для поширення пропускної здатності абонентських ліній місцевої телефонної мережі

ВСТУП

Актуальність теми «Модернізація мережі доступу Південно-Східного мікрорайону м. Черкаси на основі технології GPON» обумовлюється стрімким розвитком мережевих технологій, вимогою високошвидкісного доступу до сервісів мереж і необхідністю постійних досліджень для вирішення проблем в сфері методів і засобів ефективної організації територіально-розподілених мереж.

Метою дипломної роботи є розробка плану модернізації ефективної телекомунікаційної мережі доступу Південно-Східного мікрорайону м. Черкаси за технологією PON.

Відповідно до поставленої мети дослідження були поставлені завдання дослідження:

- проаналізувати особливості побудови і технології мереж широкосмугового волоконно-оптичного доступу, виконати вибір технології доступу;
- дати характеристику ділянки проектування мікрорайону в м. Черкаси, описати існуючу мережу і загальні вимоги до побудови мережі передачі даних;
- розробити схему побудови і рекомендації з будівництва лінійно-кабельної ділянки;
- виконати розрахунок основних параметрів вибраного варіанту побудови оптичної мережі доступу.

Вирішення завдання організації широкосмугового волоконно-оптичного доступу проводиться за допомогою технології «волокно до дому» (FTTH) на основі технології пасивної оптичної мережі PON. Це рішення для побудови «останньої милі» по оптичному каналу зв'язку передбачає підключення до магістральної мережі деревовидної топології «точка-багатоточка», застосовуючи пасивні оптичні розгалужувачі. Це сьогодні у

великій кількості реальних проєктів, і подальший стимул для пропозицій нових рішень та дослідження нових можливостей з метою оптимізації роботи мережі та скорочення капітальних та експлуатаційних витрат.

Розроблений проєкт по будівництву мережі абонентського доступу на новій технології пасивної мережі виконується в зв'язку з необхідністю реконструкції існуючих абонентських мереж, які раніше були побудовані на морально і фізично застарілому мідному кабелі. Будівництво сучасної оптичної мережі з прокладанням в кожному доміжку оптичної лінії зв'язку забезпечить жителів якісними послугами телефонного зв'язку, високошвидкісним доступом в Інтернет і цифровим телебаченням.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ МЕРЕЖ ДОСТУПУ

1.1 Передумови виникнення волоконно-оптичних мереж

З початку минулого століття людство значно продвинулося у використанні електромагнітних хвиль. Волоконно-оптична комунікація не є новою - вона була винайдена Олександром Гремом Беллом ще у 1880 році для Фотофону (Photophone). Фотофон ніс звук на пучку світла. Пристрій не завоював популярності, тому що він не працював коли було хмарно.

Сучасна епоха оптичного зв'язку почалася з винаходу Басовим і Прохоровим лазера. Винахід лазера на початку 1960-х років сприяв прискоренню розвитку оптоелектроніки.

У 1966 році інженери-електрики Чарльз Као та Джордж Хокхем, працюючи в Англії, запропонували використовувати оптичні волокна для телекомунікацій, і протягом двох десятиліть волокна з силікатного скла виготовлялися з достатньою чистотою, щоб інфрачервоні світлові сигнали могли проходити через них на відстань 100 км (60 миль) або більше, не використовуючи ретрансляторів. У 2009 році Као був удостоєний Нобелівської премії з фізики за свою роботу.

Оптичне волокно було успішно розроблено компанією Corning Glass Works у 1970 році. Воно володіло достатньо низьким загасанням для комунікаційних цілей (близько 20 дБ/км), і в той же час були розроблені напівпровідникові лазери GaAs (на основі арсенід галію), які були компактними та придатними для передачі світла через волоконно-оптичні кабелі на великі відстані.

Винайдення цих двох розробок було однією із рушійних сил, що призвело до бурхливих розробок у галузі оптоелектроніки у 1970-х. У 1980-х роках були розроблені оптоелектронні пристрої та системи із застосуванням в оптичному зв'язку та обробці оптичного сигналу, і розробки продовжуються стрімкими темпами.

На сьогоднішній день загасання кварцових оптичних волокон складає менш 0,2 дБ/км. Головною метою розробки оптичних волокон було забезпечення оптичних засобів зв'язку.

У жовтні 1973 року Corning Glass підписала контракт на розробку з CSELТ та Pirelli, спрямований на випробування оптики волокон у міському середовищі. У вересні 1977 року другий кабель із цієї тестової серії під назвою COS-2 був експериментально розгорнутий у дві лінії (9 км) в Турині, вперше у великому місті, зі швидкістю 140 Мбіт/с.

Друге покоління волоконно-оптичної комунікації було розвинене для комерційного використання на початку 1980-х, працювало на довжині 1,3 мкм і використало напівпровідникові лазери InGaAsP. Ці ранні системи спочатку були обмежені багатомодовою дисперсією волокон, і в 1981 році було виявлено, що одномодове волокно значно покращує продуктивність системи, проте практичні роз'єми, здатні працювати з одномодовим волокном, виявилися складними для розробки. У 1984 році вони розробили волоконно-оптичний кабель, який би сприяв подальшому їх просуванню в напрямку виготовлення волоконно-оптичних кабелів, що могли б охопити земну кулю. Канадський постачальник послуг SaskTel завершив будівництво тодішньої найдовшої у світі комерційної волоконно-оптичної мережі, що простягалася на 3268 км та пов'язала 52 громади. До 1987 р. ці системи працювали зі швидкістю передачі до 1,7 Гбіт/с, використовуючи ретранслятори з інтервалами до 50 км.

Першим трансатлантичним телефонним кабелем, який використовував оптичне волокно, був TAT-8, заснований на оптимізованій технології лазерного підсилення. Він вступив в експлуатацію в 1988 році.

Наступне покоління волоконно-оптичних систем зв'язку використовувало підсилення оптичного сигналу, для зменшення потреби в ретрансляторах, і мультиплексування з поділом довжини хвилі для збільшення ємності даних. Ці вдосконалення спричинили революцію, що призвела до подвоєння потужності системи кожні 6 місяців, починаючи з

1992 року, поки не було досягнуто бітової швидкості 10 Тб/с 2001 року. В 2006 бітова швидкість 14 Тб/с була досягнута на суцільній 160 кілометровій лінії, використовуючи оптичні підсилювачі.

1.2 Розвиток мереж доступу

До широкого використання Інтернету клієнти телекомунікаційних служб використовували лише стандартні телефони, факсимільні апарати або комутовані модеми для спілкування по всьому світу. Для підключення до зовнішнього світу ці додатки зазвичай використовували телефонну мережу комутації загального користування (PSTN), яка складається з мідних дротяних ліній крученої пари, що проходять від приміщень клієнта до локальних комутаційних (розподільних) центрів зв'язку. За винятком свят, коли можливі великі потреби використання, цей потік трафіку PSTN дотримувався регулярних та передбачуваних навантажень з обмеженим часом з'єднання. У цьому сценарії телефонні компанії концентрувались на побудові мереж високої потужності до локального пункту розповсюдження. Крім того, з'єднання з приміщеннями клієнтів здійснювались за допомогою низькошвидкісних мідних дротів.

Основна технологія дротового доступу – це технологія цифрової абонентської лінії (DSL), заснована на телефонних лініях, тобто мідна технологія доступу. Швидким розвитком Інтернет-сервісів світ увійшов у епоху широкосмугової мережі, і очікується, що вимоги пропускної здатності користувачів збільшуватимуться з року в рік. Для задоволення високих вимог пропускної здатності технологія мідних ліній постійно розвивається.

Зі збільшенням ширини спектру перехресні наведення між мідними лініями різко збільшуються, а відстань передачі стає коротшою. У початковій фазі голосові сигнали, що передаються мідними лініями, є низькочастотними сигналами 64 кГц і підтримують відстань передачі до 5 км. В даний час найшвидша технологія доступу NG.fast використовує частоту до 106 МГц і

підтримує найвищу швидкість в 5000 Мбіт/с, типова відстань передачі скорочується до приблизно 50 м. Розглянемо структуру мережі традиційного доступу по мідних лініях.

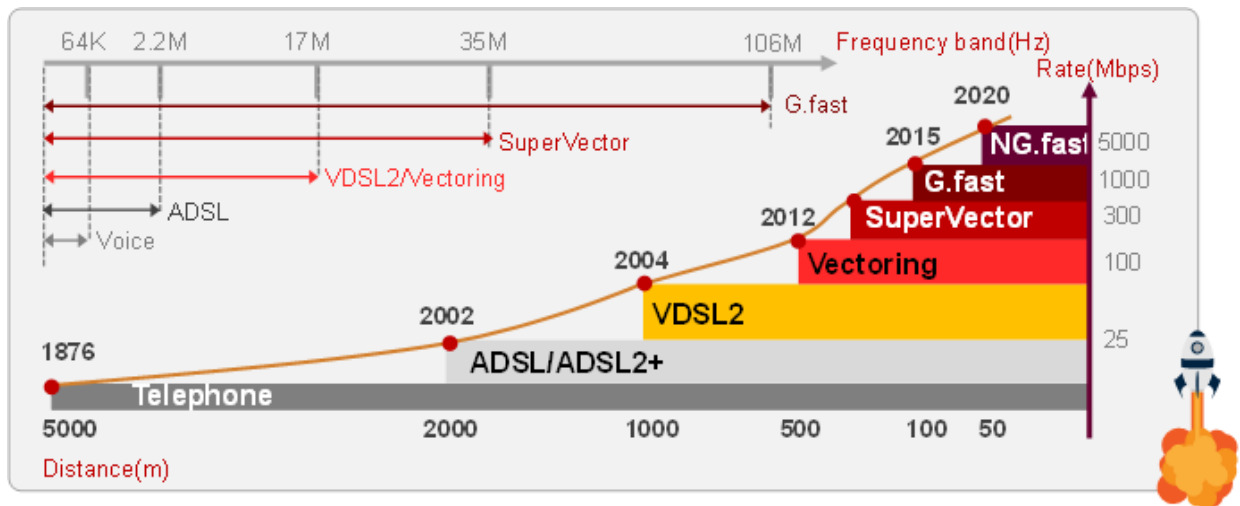


Рисунок 1.1 – Еволюція технології дротового доступу

Візьмемо для прикладу доступ за технологією VDSL2. Як правило, пристрій доступу встановлюється у закритому кабінеті, розміщується в приміщенні з обладнанням центрального офісу (CO) разом з комутаторами PSTN або шлюзами доступу смарт-комутаторами, що передає дані вище за течією комутатору в режимі GE/10GE. Потім виті пари підключаються до мідних клем в будинках користувачів через пристрої, такі як сплайс-касети, які застосовуються для зрощення кабелів. Відстань передачі кручених пар становить близько 1000 м. Пристрій єдиного доступу може підключитися до максимум 1024 користувачів.

Доступ до мідних ліній можна прискорити за допомогою технології SuperVector з відстані доступу близько 300 м або за технологією G.fast з відстані доступу близько 100 м. Тому пристрої доступу в приміщенні з обладнанням центрального офісу потрібно перемістити ближче до сторони користувача. Через обмежену відстань доступу 1024 користувачі не можуть

отримати доступ до одного пристрою доступу, тому потрібно встановити більше пристроїв доступу.

Незалежно від того, яка технологія широкопasmового доступу використовується, основне правило полягає в тому, що довжина мідних ліній повинна бути скорочена для забезпечення більшої пропускної здатності. Більш короткі мідні лінії потрібно компенсувати довгими оптичними волокнами. В даний час глобальні оператори планують або починають реалізовувати стратегію переміщення пристроїв доступу ближче до користувачів. Для досягнення цієї мети необхідно збільшити довжину оптичного волокна та перемістити пристрої доступу ближче до користувачів.

Поява та різкий сплеск у користуванні всесвітньою павутиною (загальновідомої мережі) у 90-х роках значно змінили фундаментальний характер використання мережі та використання її. До цього часу основним напрямком роботи мережевих провайдерів було посилення використання найбільш довготривалих телефонних зв'язків шляхом мультиплексування багатьох низькошвидкісних користувачів на високошвидкісні оптичні зв'язки великої потужності. Телефонні компанії витратили великі суми грошей на побудову таких мереж до локального пункту розповсюдження. Крім того, підключення до приміщень споживачів були виконані низькошвидкісними мідними проводами. Кабельна система, яка з'єднує між собою користувачів та величезну мережу за межами точки розподілу телекомунікаційних зв'язків (наприклад, станція комутації телефонів), називається мережею доступу. Вартість мереж великої місткості, що вимагає встановлення дорогого складного комутаційного обладнання, розподіляється на велику кількість користувачів, тому відносна вартість на одного абонента послуги невисока.

Ця картина змінилася з появою потужних персональних комп'ютерів, які створили попит на нові програми та сервіси, що потребують високої пропускної здатності, кожен з яких міг споживати кілька мегабіт в секунду. Це вимагало нового погляду на можливості мережі доступу, яка охоплює

з'єднання, що простягаються від локального комутаційного об'єкта до окремих підприємств, організацій та будинків.

Однією з головних проблем розвитку високошвидкісних мереж є відсутність достатньої кількості високошвидкісних ліній зв'язку «останньої милі» в Україні [1]. Проблема особливо актуальна в середніх і дрібних населених пунктах, в яких «остання миля» організована за допомогою телефонних ліній зв'язку. Технології передачі даних на таких лініях в даний момент практично не розвиваються (V92, ISDN, xDSL), оскільки в перспективі вимоги до пропускну здатності мереж будуть рости в кілька разів, що неможливо при використанні телефонних ліній. Тому необхідні швидкості передачі інформації можуть охопити тільки оптоволоконні технології в різних їх варіаціях.

Зважаючи на те, що мережа та постачальники послуг прагнуть зменшити свої експлуатаційні витрати, концепція використання пасивної оптичної мережі (PON) є привабливим варіантом. У PON немає активних компонентів між центральним офісом та приміщеннями замовника. Натомість у шляху передачі мережі розміщуються лише пасивні оптичні компоненти, які спрямовують сигнали трафіку, що містяться в межах певної оптичної довжини хвилі, до кінцевих точок користувача та назад до центрального офісу. Заміна активних пристроїв на пасивні компоненти забезпечує економію витрат постачальнику послуг, усуваючи необхідність живлення та управління активними компонентами в кабельній системі мережі доступу. Крім того, оскільки пасивні пристрої не мають потреби в електричній потужності або обробці сигналів, вони мають практично необмежений середній час між відмовами. Це, очевидно, значно знижує загальні витрати на обслуговування постачальника послуг.

1.3 Висновки до розділу 1

Підведення волокна все ближче до абонента – очевидна тенденція сучасних телекомунікацій. Чим ширше смуга пропускання, тим більше привабливих сервісів оператор може запропонувати своїм клієнтам, а значить, підвищити їх лояльність та свій дохід. Ще нещодавно у операторів був певний страх перед оптикою – складно, дорого, незрозуміло. Зараз ситуація змінилася кардинально: представлені на ринку сучасні рішення значно спростили інсталяцію та обслуговування оптичних інфраструктур. А інвестиції, вкладені в високошвидкісну оптичну мережу доступу, будуть працювати ще багато років у майбутньому.

2 ПРИНЦИПИ МОДЕРНІЗАЦІЇ МЕРЕЖ ДОСТУПУ

2.1 Розвиток технологій оптичного доступу. Технології FTТх

Як описано в попередньому розділі, довжина мідних кабелів скорочується, а оптичних волокон збільшується аж до будинків користувачів. У випадку технології «волокно до дому» (FTTH) користувачі підключаються до приміщення обладнання центрального офісу за допомогою незалежних волокон для формування оптичної мережі «точка-точка» (P2P), в якій користувачі отримують доступ до мережі через приватні лінії.

Переваги оптичної мережі P2P включають більшу пропускну здатність, високу якість обслуговування та гарну безпеку. Недоліком є використання невеликої кількості оптичних волокон, що робить це мережеве рішення застосовним лише до областей низької щільності з розсіяними користувачами. Вартість різко зростає зі збільшенням кількості користувачів. Крім того, у густонаселених районах потрібно враховувати ємність обладнання центрального офісу, кількість волокон, що підлягають маршрутизації, та приміщення для розподільних кабельних пристроїв.

Для усунення вищезазначених недоліків розроблена деревоподібна мережева топологія, тобто оптична мережа «точка-багатоточка» (P2MP). Одне оптичне волокно магістралі передає сигнали від приміщення обладнання до вулиць, а потім до терміналів користувача, використовуючи оптичні сплітери. Порівняно з оптичними мережами P2P, можна зберегти 50% оптичних волокон та оптичних модулів. Оптичні мережі P2MP в даний час класифікуються на активну оптичну мережу (AON) та пасивну оптичну мережу (PON).

У мережі AON активні оптичні пристрої передачі, такі як оптичні комутатори та активні фотоелектричні пристрої, встановлюються між розподільними пристроями центрального офісу та користувачами. Активні пристрої потрібно налаштувати та підтримувати під час розгортання мережі. Вартість технічного обслуговування є високою, а також обладнання має бути

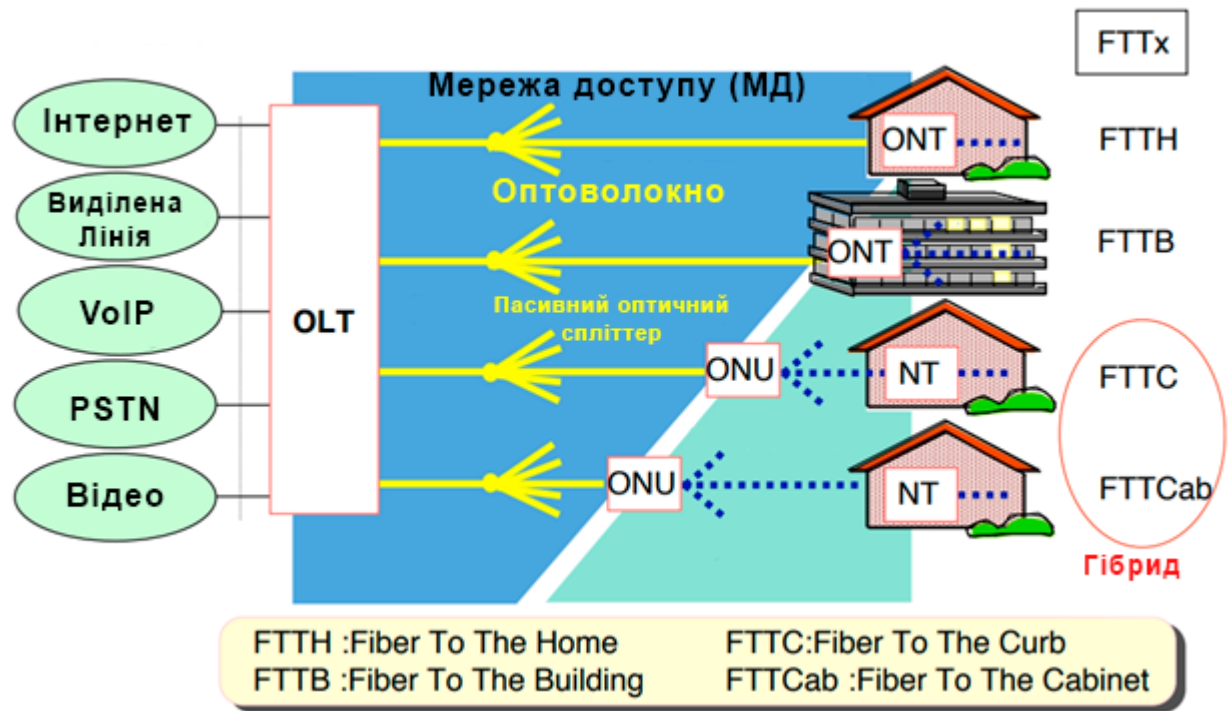
завжди підключене до живлення. Тому вводиться пасивна оптична мережа P2MP. В пасивній оптичній мережі P2MP всі елементи, що знаходяться між центральним офісом та користувачем – пасивні. Пасивні оптичні розгалужувачі використовуються для фізичного розподілення оптичних сигналів від магістральних волокон до будинків користувачів.

Застосування технології PON для забезпечення широкосмугового підключення в мережі доступу до будинків або підрозділів з декількома будівлями зазвичай називається Fiber-To-The-x (оптоволокно до точки «x»). Це застосування отримало позначення FTTx.

Мережі FTTH належать до сімейства систем передачі FTTx. Ці мережі, які вважаються широкосмуговими, мають можливість транспортувати велику кількість даних та інформації з дуже високою швидкістю передачі бітів до точки, близької до кінцевого споживача.

Сімейство FTTx (рис. 2.1) включає набір технологій, заснованих на транспортуванні цифрових сигналів через оптичне волокно як середовище передачі. Різні рівні сфери застосування, залежно від ступеня оптичного волокна, наближеного до кінцевого споживача, які виникають внаслідок більшого або меншого зниження цін цих систем.

Всі мережі FTTx підтримують логічну мережеву конфігурацію дерева, зірки, шини та кільця, і все з постійно наявною можливістю використання активних компонентів залежно від місцезнаходження користувачів або кінцевих клієнтів.



OLT – Optical 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;

 – оптичний кабель;

 – металевий кабель.

Рисунок 2.1 – Деякі види FTTx

Залежно від ступеня проникнення FTTx, ці мережі можна класифікувати наступними [2]:

FTTB – Fiber-To-The-Building – стосується розгортання оптичного волокна від центрального офісного обладнання безпосередньо на підприємство.

FTTC – Fiber-To-The-Curb (волокно до бордюру) – описує проходження оптичних волоконних кабелів від обладнання центрального офісу до комутатора зв'язку, розташованого в межах 300 м від будинку або підприємства. Для підключення обладнання до замовників у будівлі

використовується Коаксіальний кабель, кручені мідні дроти (наприклад, для DSL) або якийсь інший носій передачі.

FTTH – Fiber-To-The-Home (волокно до дому) – стосується розгортання оптичного волокна від центрального офісного обладнання безпосередньо в будинок. Різниця між FTTB і FTTH полягає в тому, що зазвичай підприємства вимагають більшої пропускної здатності протягом більшої частини дня, ніж домашні користувачі. Як результат, постачальник послуг мережі може зібрати більше доходів від мереж FTTB і тим самим відшкодувати витрати на встановлення раніше, ніж від мереж FTTH.

FTTN – Fiber-To-The-Neighborhood (волокно до сусідства) – відноситься до архітектури PON, в якій оптичні волоконні кабелі проходять до 1 км від будинків і підприємства, які обслуговуються мережею.

FTTO – Fiber-To-The-Office – аналогічна FTTB тим, що проходження оптичного волокна виконується аж до приміщень бізнес-замовника.

FTTP – Fiber-To-The-Premises – став переважаючим терміном, який охоплює різні концепції FTTx. Таким чином, архітектури FTTP включають реалізацію FTTB та FTTH. Мережа FTTP може використовувати технології GPON або GPON.

Приведемо характеристику для описаних вище варіантів FTTx [3].

FTTN доцільно використовувати там, де існує розподільча «мідна» інфраструктура і прокладання оптоволокна є нерентабельним. Для цього варіанта характерна низька якість надаваних послуг, що обумовлена суттєвим обмеженням за кількістю та швидкістю підключень по одному кабелі, що пов'язано зі своєрідними проблемами багатопарних мідних кабелів, що знаходяться у кабельній каналізації. Довжина мідної ділянки абонентської лінії достатньо велика, тому для надання послуг широкосмугового доступу в даному варіанті передбачається використання оптичних технологій разом з технологією VDSL.

У випадку з FTTC здебільшого використовуються мідні кабелі, що прокладаються всередині будівель, тому невелика протяжність кабельної мідної ділянки АЛ дозволяє досягти більш високої швидкості передавання.

Технологію FTTC у першу чергу доцільно використовувати операторам, що вже застосовують технології xDSL, та також операторам кабельного телебачення: реалізація даної архітектури дозволить їм збільшити кількість користувачів, що обслуговуються та збільшити смугу пропускання, що виділяється кожному з них.

В такому випадку оптимальним варіантом буде вважатися поєднання оптичних технологій та VDSL, але також існують випадки, коли деякі оператори можуть використовувати концепцію FTTC для будівництва Ethernet-мереж (для переходу від «оптики» до «міді» в даному варіанті застосовуються медіаконвертери).

Варіант FTTB вирішує задачу проведення оптики до офісів та багатоквартирних будинків. Прокладка всередині будинку виконується кабелем типу «кручена пара» за технологією Ethernet або VDSL. Такий варіант, завдяки коротким мідним лініям, забезпечує високою швидкістю доступу для підключення до операторів, що надають Інтернет-послуги для офісів та для житлового багатоквартирного сектору.

Технологія доступу FTTH є найбільш витратною, але у той же час також є найбільш перспективною серед інших типів доступу FTTx, бо забезпечує найбільшу смугу пропускання, а тому цей варіант загалом може задовольнити зростаючі потреби абонентів в отриманні інформації.

Для вибору технології FTTx слід враховувати декілька факторів, а саме: наявність існуючої мідної розподільної інфраструктури, платоспроможність абонентів та щільність їх розміщення. Варіант FTTH орієнтовано на застосування в бізнес-центрах, багатоквартирних та елітних котеджних новобудовах, що характеризуються великими необхідними швидкостями доступу та високою платоспроможністю. Технологія FTTB буде гарним рішенням для багатоквартирних забудов з великою щільністю населення та їх

платоспроможністю середнього рівня. Варіант FTTC/FTTN орієнтовано на застосування у малоповерхівках, дачних та житлових забудовах не елітного типу, які характеризуються невеликою концентрацією абонентів, відсутністю попиту на високошвидкісне з'єднання та у випадку існуючої розподільної мідної інфраструктури.

Використання оптоволокна як середовища передачі до дому, і таким чином, для кінцевих користувачів, забезпечує мережу, повністю адаптовану до потреб як сучасних, так і майбутніх. Повторне використання цієї фізичної інфраструктури зекономить гроші, незважаючи на сильні витрати на початковій фазі, амортизуючи їх за короткий час.

Історія сімейства PON. В даний час основні технології PON включають EPON та GPON. У більш ранні часи існували також APON і BPON, де APON означає асинхронний режим передачі PON (ATM PON), а BPON – широкосмуговий PON. Найбільша відмінність технологій PON полягає в протоколах рівня зв'язку даних, які визначають режим прийому сигналів даних верхнього рівня.

У середині 1990-х деякі основні оператори мережі (British Telecom, France Telecom, Deutsche Telecom, NTT, KPN, Telefonica і Telecom Italia) створили консорціум для того, щоб втілити в життя ідеї множинного доступу по одному волокну (FSAN, Full Service Access Network) для складання єдиних стандартів для обладнання PON, щоб постачальники обладнання та оператори могли конкурувати між собою на ринку обладнання PON. Першим результатом стали стандарти для ранніх систем PON з серії рекомендацій ITU-T G.983. APON визначає асинхронний режим передачі (ATM) в якості протоколу каналного рівня. Оскільки система часто неправильно розуміється як надання послуг автоматичного повідомлення, ім'я системи змінилося на широкосмугову пасивну оптичну мережу (BPON, Broadband PON), що вказує на те, що система надає широкосмугові послуги, такі як доступ до мережі Ethernet, розподіл відеотрафіку та високошвидкісні орендовані лінії. Однак для систем FSAN першого покоління

найпоширенішою назвою все ж був APON. Пізніше стандарт APON був удосконалений і були додані такі функції, як захист та динамічне розподілення пропускної здатності (DBA).

В даний час технологія цифрового зв'язку перейшла від ATM до IP, щоб забезпечити послуги відео-, аудіо- та комунікаційних даних. Тому впровадження оптичної мережі IP вимагає структури мережі доступу, яка може відповідати поточним вимогам доступу, а також адаптуватися до ключових майбутніх мережевих технологій.

Оскільки передача на основі IP вимагає поділу даних на пакети змінної довжини, мережа APON, яка передає комірки фіксованої довжини, не відповідає цій вимозі. Через інші проблеми, такі як висока складність і низька ефективність передачі даних, APON поступово виходить з ринку.

2.2 Склад та принцип роботи пасивної оптичної мережі

Пасивна оптична мережа – це мережа, яка за своєю природою надає різноманітні широкосмугові послуги користувачам через оптоволоконний доступ. PON дозволяє уникнути всіх активних компонентів між сервером і клієнтом, використовуючи пасивні оптичні компоненти, направляючи трафік по всій мережі. Основним пасивним елементом є оптичний сплітер.

Використання пасивної архітектури може знизити витрати, і в основному використовується в мережах FTTH.

Рухаючись у напрямку від мережі до користувача, можна сказати, що архітектура PON складається з наступного обладнання: оптичного лінійного терміналу (OLT) в центральному офісі постачальника послуг, певної кількості оптичних дільників (сплітерів) та деякої кількості оптичних мережевих одиниць (ONU) або оптичних мережевих терміналів (ONT), що знаходяться близько до кінцевих користувачів (рис. 2.2).

В загальних рисах, пасивна оптична мережа завжди працює в режимі передачі між OLT та різними ONT через оптичні сплітери. Тому у ній

використовується три різних пристрої в мережі: OLT, ONT і сплітер, кожен з яких виконує необхідну та пріоритетну функцію в пасивній оптичній мережі.

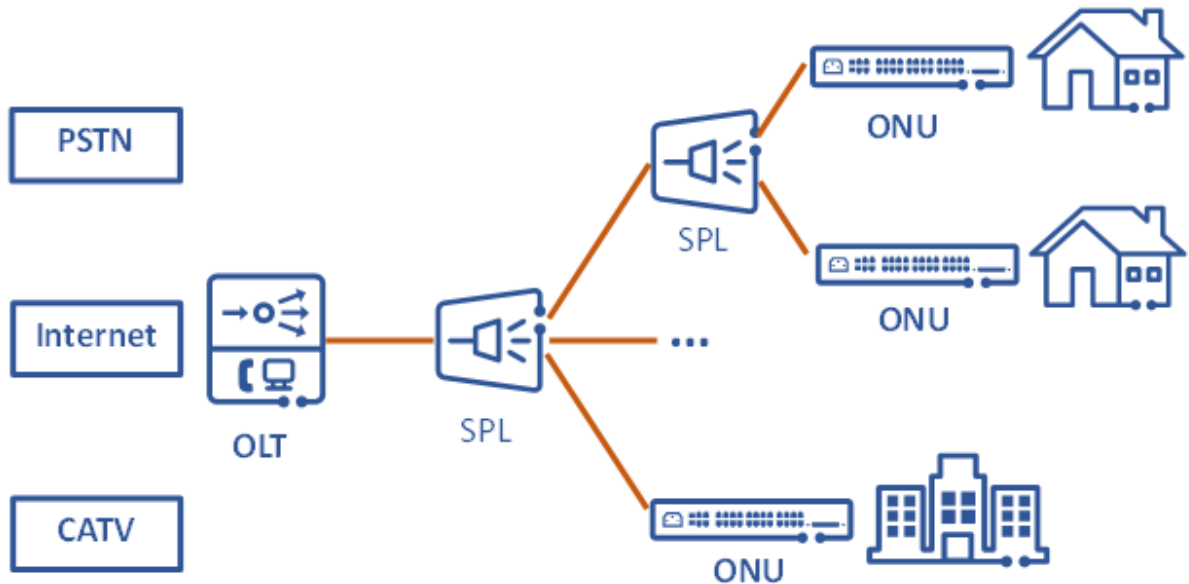


Рисунок 2.2 – Схема роботи PON

Мережа FTТх за технологією PON складається з трьох основних частин:

1. Станційна ділянка – це активне обладнання OLT (OLT – Optical Line Terminal) і оптичний крос високої щільності ODF (ODF – Optical Distribution Frame), змонтовані на вузлі зв'язку;
2. Лінійна ділянка – це волоконно-оптичний кабель, шафи, сплітери, конектори і з'єднувачі, розташовані на всьому просторі між станційною та абонентською ділянками;
3. Абонентська ділянка – це персональна абонентська розводка одноволоконного кабелю дроп-кабелем від елементів загальних розподільних пристроїв до оптичної розетки і активного обладнання ONT (ONT – Optical Network Terminal) в квартирі абонента; або до групового мережевого вузла ONU (ONU – Optical Network Unit), змонтованого в офісі корпоративного клієнта.

Нижче, на рисунку 2.3, представлена схема підключення абонентських пристроїв за технологією PON в двох варіаціях включення сплітерів: багаторівнева та однорівнева.



Рисунок 2.3 – Схема підключення сплітерів при використанні технології PON

OLT розташований у центральному офісі (CO, Central Office) або у точці присутності (PoP, Point of Presence) і контролює двонаправлений потік інформації через оптичну мережу розподілу (ODN, Optical Distribution Network). У низхідному напрямку функція OLT полягає у прийомі голосу, даних та відео трафіку та передачі їх усім модулям ONU в ODN. У зворотному напрямку OLT приймає та розподіляє весь трафік від користувачів мережі.

У мережі GPON передаються пакети даних у висхідному та низхідному потоці на довжинах хвиль 1310 нм та 1490 нм відповідно. Система GPON використовує технологію ущільнення за довжинами хвиль (WDM) для досягнення передачі по одному волокну декількох потоків. Також є можливість забезпечити користувачів послугами CATV з використанням довжини хвилі 1550 нм.

Процес передачі даних низхідній лінії зв'язку з OLT до декількох ONU відбувається наступним чином. Дані транслюються нижче від потоку OLT до декількох ONU у вигляді пакетів змінної довжини. Кожен пакет містить заголовок пакету GEPON, однозначно ідентифікуючи, чи адресується пакет ONU-1, ONU-2 або ONU-3. Він також може бути ідентифікований як пакет широкомовної передачі, що надсилається всім ONU або певній групі ONU (багатоадресний пакет). Коли дані доходять до ONU, ONU отримує та ідентифікує адреси, та відкидає пакети, надіслані іншим ONU. Після реєстрації ONU виділяється унікальний LLID. Коли OLT отримує дані, він порівнює список реєстрації LLID. Коли ONU отримує дані, він отримує лише кадри або широкомовні кадри, які відповідають його власній LLID.

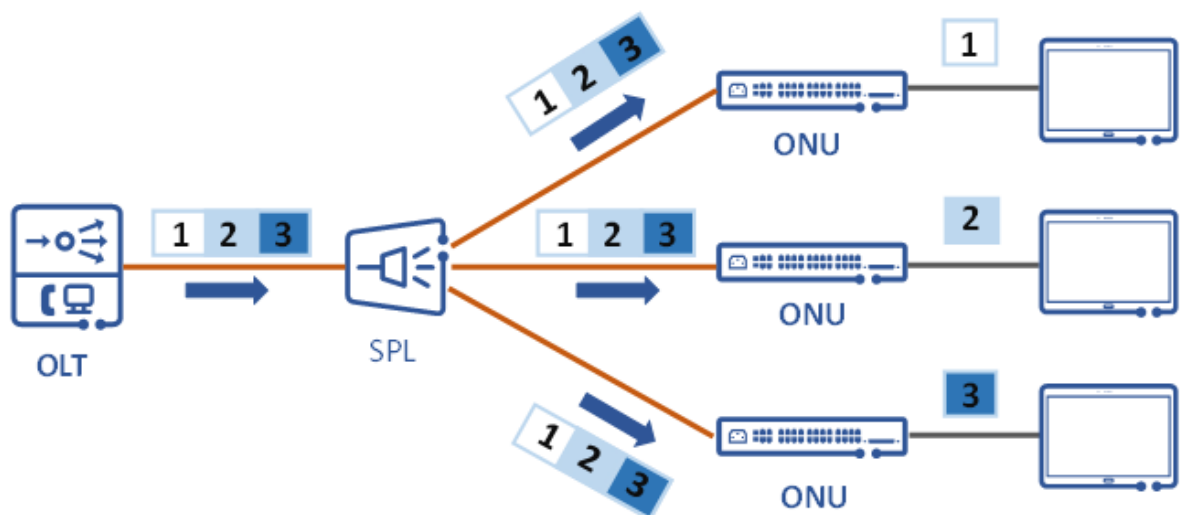


Рисунок 2.4 – Потік даних у низхідній лінії зв'язку

LLID (англ. Logical Link Identifier) - 2 байта, вказує індивідуальний ідентифікатор вузла GEPON. Перший біт поля вказує режим передачі кадру (unicast або multicast). Решта 15 біт містять індивідуальну адресу вузла GEPON.

При відстані до 10 км між станційним OLT і клієнтським ONT підтримується до 64 клієнтських ONT в одному дереві GEPON. При відстані

до 20 км між станційним OLT і клієнтським ONT підтримується до 32 клієнтських ONT в одному дереві GEAPON.

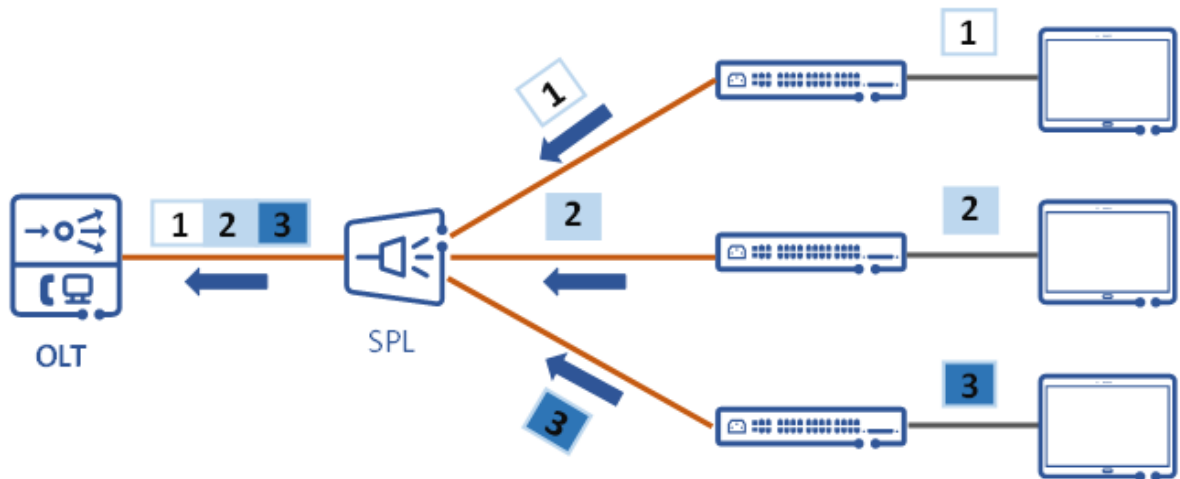


Рисунок 2.5 – Потік даних у висхідній лінії зв'язку

Обладнання для мережі PON:

OLT – це основний компонент оптичної мережі доступу. Він еквівалентний комутатору L2 або маршрутизатору L3 в традиційній комунікаційній мережі і функціонує як багатокористувальна платформа. З одного боку, він конвертує сигнали, які несуть різні послуги на стороні центрального офісу, передає сигнали до мережі доступу у певному форматі та передає сигнали абонентам. З іншого боку, він посилає сигнали, отримані від абонентів, до різних сервісних мереж на основі типів послуг.



Рисунок 2.6 – BDCOM OLT GEAPON P3608-2TE-AC/DC

Один OLT може підключати певну кількість ONU через оптичні розгалужувачі для управління та конфігурації налаштувань ONU. OLT, як головний командир, доручає кожному ONU надавати користувачам економічні та швидкісні послуги зв'язку, тісно з'єднуючи користувачів за допомогою світлових сигналів. OLT складається з основного шару, службового рівня та загального шару.

1. Основний рівень: забезпечує агрегацію, розподіл, обробку послуг та адаптацію ODN.
2. Сервісний рівень: надає сервісні інтерфейси для підтримки різних служб.
3. Загальний шар: надає функції живлення та обслуговування.

Абонентські термінали (модеми) – ONU розташований на стороні абонента і працює з OLT, щоб надавати голосові, дані та мультимедійні послуги для абонентів. Містить один PON-порт і один або декілька, у залежності від моделі, порти для підключення клієнтського обладнання. Існують моделі з виходом кабельного ТБ. Прикладом такого обладнання є BDCOM P1504C1. На рис.2.7 зображено зовнішній вигляд ONU BDCOM P1504C1.



Рисунок 2.7 – ONU BDCOM P1504C1

ONU реалізує такі функції:

1. Приймає та фільтрує дані, що надсилаються з OLT.
2. Відповідає на інструкції з управління OLT та вносить корективи відповідно.

3. Буферизує дані Ethernet від абонентів і передає дані вище за потоком у вікнах передачі, виділених OLT.
4. Реалізує інші функції управління абонентами.

Оптичні розгалужувачі відіграють важливу роль у мережах FTTH PON, де один оптичний вхід розділений на декілька вихідних даних, таким чином дозволяючи ділитися одним інтерфейсом PON між багатьма абонентами. Оптичні розгалужувачі не мають активної електроніки і не потребують енергії для роботи. Вони, як правило, встановлюються у кожній оптичній мережі між PON OLT (оптичний лінійний термінал) та ONT (оптичні мережеві термінали), які обслуговує OLT. Як правило, популярними є два види волоконно-оптичних розгалужувачів - це сплітери FBT та сплітери PLC.

Найпоширеніші розгалужувачі, розгорнуті в системі PON, – це рівномірний розподільник потужності зі співвідношенням поділу 1:N або 2:N, де N – кількість вихідних портів. Оптична вхідна потужність розподіляється рівномірно по всіх вихідних портах. Роздільники з нерівномірним розподілом потужності також доступні, але такі розгалужувачі, як правило, виготовляються на замовлення і коштують дорожче. Як правило, розгалужувачі 1:N розгорнуті в деревовидних мережах, тоді як 2:N розгалужувачі розгорнуті в кільцевих мережах для забезпечення резервних ліній.

Використання оптичних розгалужувачів в PON дозволяє постачальнику послуг економити волокна в магістралі, фактично використовуючи одне волокно для підключення до 64 кінцевих користувачів. Типовий коефіцієнт поділу становить 1:32. І оптичний сигнал може передаватися на відстань до 20 км. Якщо відстань між OLT та ONT невелика (до 5 км), то можна розраховувати на коефіцієнт 1:64. При більш високих коефіцієнтах поділу мережа PON має як переваги, так і недоліки. Більші показники поділу дозволяють отримати більшу гнучкість. У той же час, вони зменшують пропускну здатність на один блок ONU (оптичний блок).

Волоконно-оптичні розгалужувачі з більш високими коефіцієнтами поділу можуть розділяти витрати на оптику і електроніку OLT, а також розподіляти витрати на волоконно-оптичні фідери і потенційні витрати на нову установку. Крім того, великі розрізи забезпечують більшу гнучкість, а управління волокнами на головному кінці простіше. У той же час подільники з більш високим коефіцієнтом поділу зменшують пропускну здатність на один блок ONU (оптичний блок). І буде підвищена вартість оптики або у OLT, або у ONU, або у обох для досягнення більшої оптичної потужності.

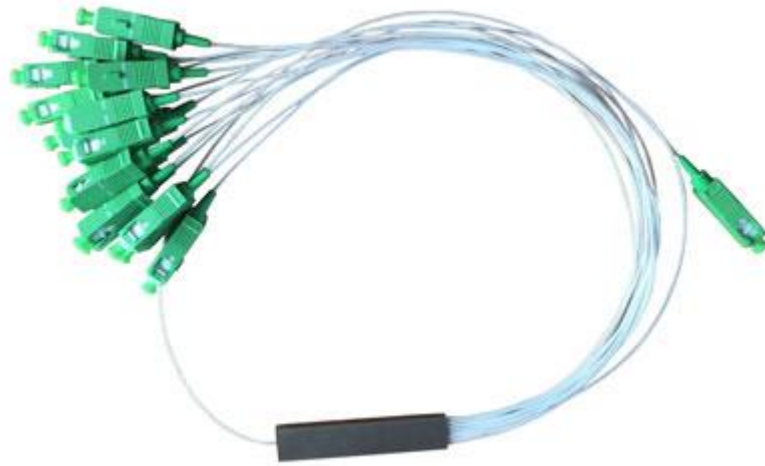


Рисунок 2.8 – Волоконно-оптичний розгалужувач (спілттер)

2.3 Порівняння технологій xPON

З безперервним розвитком науки і техніки, Інтернет поступово увійшов до будинку звичайних людей, і швидкість широкосмугового доступу все частіше стає потребою людей у розвагах та роботі. Від вузькосмугового комутованого до широкосмугового Інтернету, а потім і до оптичного доступу до Інтернету, швидкими темпами технології PON поступово виходять на передову.

APON і ВРОН на сьогоднішній день є застарілими технологіями. Вони характеризуються низькою підтримуваною швидкістю разом з досить високою ціною розгортання мережі доступу на їх основі. Це і стало причиною їхнього відходу у минуле. Українському провайдеру залишається вибрати між GEPON, розробленим робочою групою IEEE 802.3ah і GPON, розроблений ІТУ-Т G.984. Незважаючи на схожі назви і високу швидкість, це різні стандарти.

GPON (Gigabit Passive Optical Network) базується на стандарті TU-TG.984.x для нових поколінь широкопasmового пасивного оптичного доступу. Технологія забезпечує безпрецедентно високу швидкість пропускнуої здатності до 2,5 Гбіт / с, має хороший рівень обслуговування, можливість підтримувати QoS забезпечення та доступ до сервісу. GPON також забезпечує механізм захисту рівня доступу в мережі та повноцінні функції OAM; широко розгорнуто в мережах FTTH. Він може розвиватися у двох напрямках - 10 GPON та WDM-PON. У технології GPON, загальна процедура кадрівування (GFP), визначена MCE-T, посиляється на рівень 2 для інкапсуляції Ethernet, TDM та АТМ послуг у загальні кадри методу інкапсуляції (GEM), що передаються через PON (рис. 2.9).

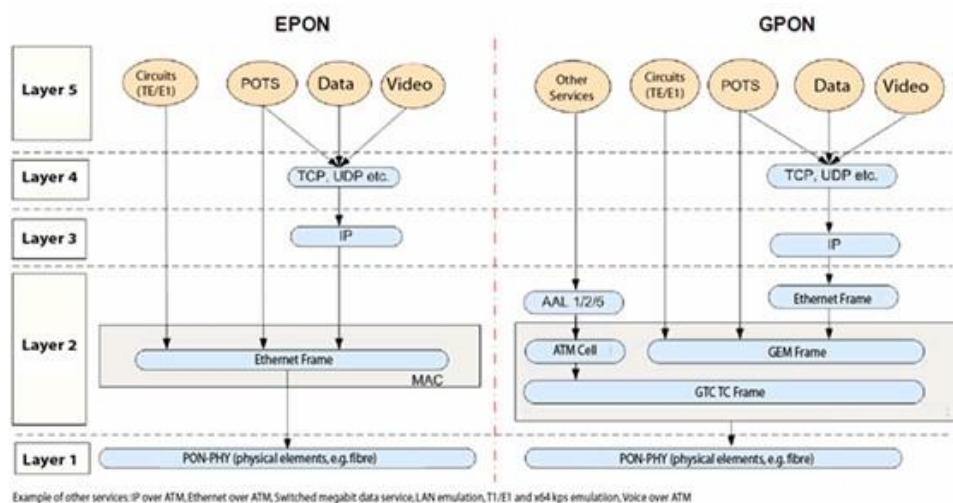


Рисунок 2.9 – Порівняння форматів кадрів

Заголовок кадру GEM містить байт індикації довжини кадру для підтримки передачі пакетів даних змінної довжини, тим самим підвищуючи ефективність передачі та підтримуючи повний сервіс більш простим, універсальним та ефективним способом.

GEAPON (Пасивна оптична мережа Ethernet) – є суперником технології GPON, та використовує Ethernet-пакети замість комірок ATM. Має низьку вартість, високу пропускну здатність та гнучку мережу. Забезпечує швидкість 1,25 Гбіт / с як у висхідному, так і у низхідному потоках. Використовуючи як мережу широкопasmового доступу, GEAPON може покращити пропускну здатність мережі та продуктивність, а також зменшити витрати на обслуговування.

Таблиця 2.2 – Порівняння технологій GPON і GEAPON

Назва	GPON	GEAPON
Швидкості передачі	Downstream: 2.5 Gbit/s, Upstream 1.25 Gbit/s	1.25-Gbit/s symmetrical bandwidth
Максимальне число ONT (ONU) на 1 порт OLT	64 (128)	32 (64)
Витрати на абонента	Вищі	Нижчі
Структура рівнів	Комірки ATM та кадри GEM (Що включають кадри Ethernet і TDM)	Кадри Ethernet (Що включають TDM)
Системи управління	Не підтримує послуги багатоадресної передачі	Єдина система управління
Підтримка CATV	Так	Так
Шифрування	Тільки Downstream	Downstream та upstream.
Район використання	Сполучені Штати	Азія та Європа

Здійснивши порівняння даних технологій, виділимо їх основні переваги та недоліки у табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Перелік переваг та недоліків GPON і GEPON

	Переваги	Недоліки
GPON	<ol style="list-style-type: none"> 1. Повністю стандартизована технологія (рекомендація ІТУ-Т G.984) 2. Повністю стандартизований протокол управління OMCI (Протокол TR-069) 3. Використання лінійного коду NRZ без надмірності 4. Більш ефективні механізми для передачі TDM-трафіку 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Більш висока вартість, ніж GEPON 2. Більш складне конфігурування обладнання
GEPON	<ol style="list-style-type: none"> 1. Більш низька ціна OLT 2. Порівняно просте налаштування обладнання 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Технологія без стандарту (в основі лежить стандарт IEEE 802.3ah) 2. Використання надлишкового лінійного коду 8B / 10B («чиста» смуга менше на ~ 20%)

Важко сказати, що GPON кращий, ніж GEPON, або навпаки. Кожен з них має свої переваги та недоліки. Що стосується певних послуг IP / Ethernet, то GEPON є більш відповідним та економічно вигідним. У той час як GPON має свої переваги у більшій пропускній здатності та більшій швидкості передачі.

За результатами зробленого дослідження зупиняємо свій вибір на технології GEPON, як більш бюджетне та поширене рішення серед європейських провайдерів.

2.4 Висновки до розділу 2

Технологічні зміни та інновації в телекомунікаціях змушують абонента вимагати більше мультимедійних послуг у своїх будинках. Для поліпшення ємності мережі для внутрішнього середовища використовувались різні методи підвищення швидкості передачі даних. FTTH дозволяє збільшити пропускну здатність та швидкість передачі інформації, що є важливим для сучасних потрійних передач, в яких постачальники доступу пропонують послуги відео, даних та телефонії. У деяких випадках системи FTTH можуть поєднувати елементи як пасивної, так і активної архітектури для формування гібридної системи.

Пасивні оптичні мережі або мають певні переваги. Вони ефективні, оскільки кожна волоконно-оптична гілка може обслуговувати до 64 користувачів. Також мають низьку вартість будівництва відносно активних оптичних мереж разом із меншими витратами на обслуговування. Найбільш очевидною перевагою мережі PON є усунення активних зовнішніх пристроїв.

Широкопasmові з'єднання FTTH також дозволяють абонентам "комплектувати" свої комунікаційні послуги. Наприклад, абонент може отримувати телефонні послуги, відео, аудіо, телебачення і майже будь-який інший тип цифрового потоку даних за допомогою FTTH. Така домовленість була б рентабельнішою і простішою, ніж отримання цих послуг різними лініями, як це часто буває сьогодні. Оскільки попит на потужність широкопasmового зв'язку продовжує зростати, ймовірно, уряди та приватні розробники зроблять більше, щоб надати широкопasmове з'єднання FTTH до більшої кількості користувачів.

3 ПЛАНУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ МЕРЕЖІ ДОСТУПУ

3.1 Зведена характеристика Південно-Східного мікрорайону

Для створення технічних рішень варто визначити сектор проектування та вихідні дані. Основні дані – це перелік послуг, ступінь охоплення абонентів, плани будівель та окремих приміщень. Зазвичай, перед початком проектування підрядна група організації замовляє маркетингові дослідження для отримання даних про цільову групу об'єкта дослідження.

Для з'ясування вихідних даних по цільовій групі абонентів мережі PON, були використані дані з мережі інтернет. Кількість будинків та квартир в Південно-Східному мікрорайоні було визначено шляхом безпосередньої перевірки та за допомогою використання онлайн-ресурсу OpenStreetMap.

Відповідно до проведених досліджень, Південно-Східний мікрорайон міста Черкаси, розташований в південній його частині, знаходиться на околиці міста. Новобудови, для яких розробляється проект, знаходяться за межею міста, що позначається на їх вартості. В подальшому планується приєднання даного сектору до м. Черкаси, відповідно до генерального плану міста.

У зв'язку зі зростаючою популярністю новобудов типу «таунхаус» передбачається заселення даного сектору молодими сім'ями, що в подальшому вплине на збільшення потреб у високошвидкісному інтернеті.

На рис. 3.1 схематично зображений сектор, в якому заплановано організувати абонентський доступ. Числа на будівлях відповідають кількості абонентів, що будуть підключені до мережі доступу. Сумарна кількість абонентів складає 54.

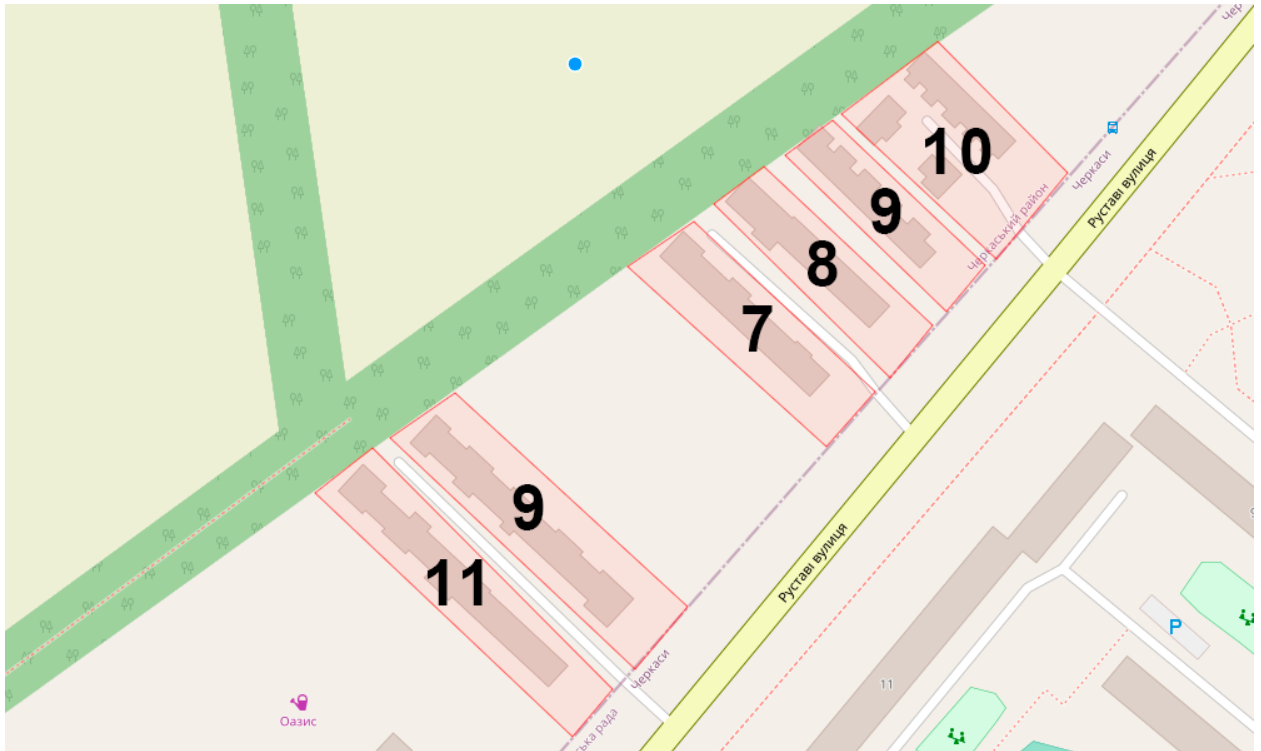


Рисунок 3.1 – Схема впровадження доступу до мережі

Було визначено, що точку присутності можна створити у приміщенні технічного поверху дев'ятиповерхівки, що знаходиться через дорогу від об'єкту проектування.

Таким чином, проектувана мережа розраховується на 64 порти абонентського доступу. Беручи до уваги переваги та недоліки технологій організації абонентського доступу та умови району проектування, а саме Південно-Східного мікрорайону міста Черкаси, прийнято рішення розраховувати проект за технологією GPON.

Великі інвестиції потребують ретельного планування для мінімізації фінансового ризику. Добре спланована мережа також є ключем до мінімізації інвестицій та покращення середнього прибутку на одного підключеного користувача. Термін "Планування" часто передає різні значення залежно від того, де в кінцевому процесі введення в експлуатацію мережі ви перебуваєте.

3.2 Модернізація станційної ділянки

Проаналізувавши вихідні дані та особливості Південно-Східного мікрорайону (передмістя Черкас) прийнято рішення проводити розрахунок АД за технологією GPON. У загальному вигляді принципова схема організації абонентського доступу Південно-Східного мікрорайону планується така, як на рис. 3.2.

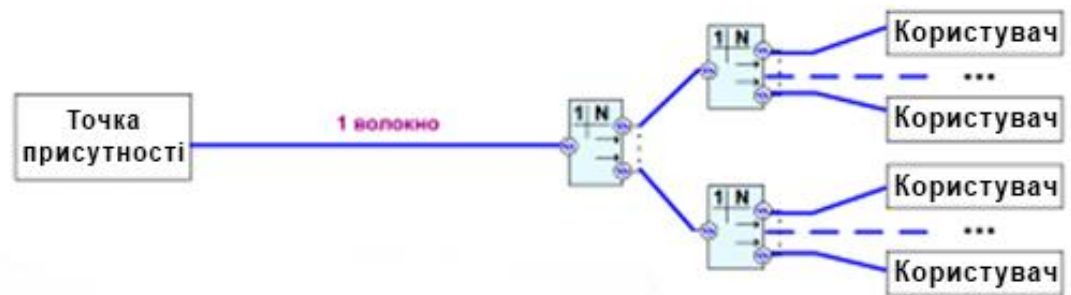


Рисунок 3.2 – Схема організації абонентського доступу

Вибір місця розташування OLT головним чином залежить від фактичного сценарію застосування. Зазвичай рекомендується розмістити OLT у центральному офісі, щоб полегшити технічне обслуговування та управління, заощадити витрати та полегшити обмін ресурсами. У процесі формування мережі при виборі ліній передачі оптичних волокон необхідно враховувати вплив загасання оптичного волокна. Розробляючи структуру мережі, необхідно переконатися, що оптична потужність знаходиться в межах норми передачі та прийому. Для установки станційного обладнання всередині дев'ятиповерхівки виділено приміщення, яке знаходиться на технічному поверсі. При розрахунку даного проекту буде використано BDCOM OLT GPON P3310C-2AC, характеристики якого представлено в табл. 3.1, а зовнішній вигляд на рис. 3.3.

Комутатор BDCOM P3310C-2AC підтримує симетричну швидкість GPON порту в 1,25 Гбіт / с, але варто відзначити що реальна швидкість для

абонента становитиме 1 Гбіт / с, оскільки 0.25 Гбіт / с є надмірною швидкістю, яка використовується для каналного кодування. Максимальна дальність в першу чергу залежить від GEAPON модулів, які будуть встановлені в відповідні порти. Але тим не менш для даної OLT максимальна дальність роботи, при відповідних модулях становить 20 км.

Комутатор має в своєму розпорядженні шість гігабітних uplink-портів, зокрема два гігабітних RJ45 портів, для підключенням по крученій парі, два порти SFP, за допомогою яких можна підключити оптоволоконну лінію і також для збільшення гнучкості, присутні два гігабітних комбо порти RJ45 / SFP. Також він володіє двома блоками живлення AC, причому перший працює як основний, а другий вважається резервним, і перемикання на нього відбувається у випадку збою роботи першого.

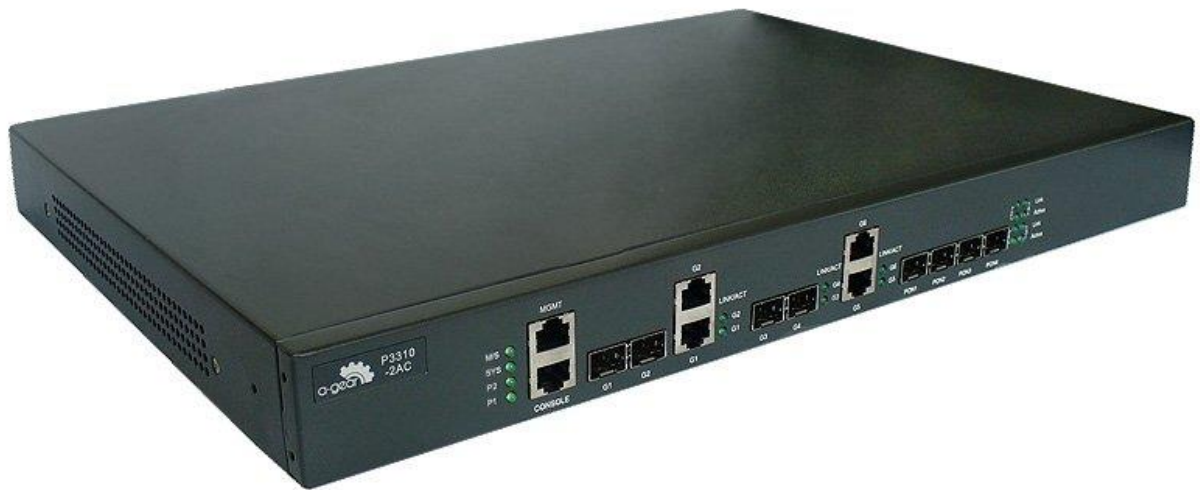


Рисунок 3.3 – Зовнішній вигляд оптичного лінійного терміналу BDCOM P3310-2AC

Таблиця 3.1 – Характеристики оптичного лінійного терміналу BDCOM GEPON P3310C-2AC

Найменування характеристики	Значення
Кількість PON портів:	4 x GEPON
Ємність одного PON порту:	64 абоненти
Сумарна ємність PON портів:	256 абонентів
Uplink порти:	2 x 100/1000Mbps RJ45, 2 x 100/1000Mbps SFP, 2 x 100/1000Mbps SFP/RJ45 Combo
Живлення:	2 x 90-264V AC
Управління:	Різні режими управління: CLI, Web, SNMP, TELNET. Оновлення ПЗ через TFTP і FTP. Англійська та китайський інтерфейс командного рядка. Режим налагодження
Потужність оптичного передавача (хв / макс):	-8дБм / -3 дБм
Чутливість порту PON:	-30 дБм

У PON порти встановлюються спеціальні оптичні модулі, які передають інформацію абонентським терміналам. Трансівер FoxGate SFP-1,25G-GEPON (C++)-20SC (рис. 3.4, табл. 3.2) є тим самим модулем, який в залежності від технології здатний передавати інформацію, одночасно на кілька десятків абонентських терміналів. Він забезпечує двосторонню передачу даних з симетричною швидкістю 1,25 Гбіт / с по одному оптичному волокну в пасивної оптичної мережі (PON) на відстань до 20 км. Трансівер відповідає стандарту IEEE 802.3ah-2004. Вихідна потужність становить до +8 дБ.



Рисунок 3.4 – Трансівер FoxGate SFP-1,25G-GEAPON (C++) - 20SC

Таблиця 3.2 - Характеристики BDCOM OLT GEAPON P3310C-2AC

Швидкість прийому / передачі даних:	Значення
Коефіцієнт розгалуження:	1:32, 1:64
Клас лазера:	C ++
Чутливість оптичного приймача:	-24 dBm
Довжина хвилі на передачу:	1490 nm
Довжина хвилі на прийом:	1310 nm
Технологія роботи:	GEAPON
Тип конектора:	SC
Потужність оптичного передавача (хв / макс):	-8дБм / -3 дБм
Робоча відстань:	до 20км
Тип оптичного волокна:	SM

Уникнути пошкодження кабелів і значно полегшити роботи по інсталяції та експлуатації кабельної системи дозволяють монтажні

конструктиви зі спеціальними засобами для укладання і організації кабелів. До таких конструктиву відноситься оптична патч-панель компанії Zet.

Оптична панель Zet ODF 1U 24 SC / FC / Duplex LC (рис. 3.5) призначена для установки роз'ємів, оброблення оптичного кабелю методом зварювання та захисту зварних стиків. Для зберігання зайвої довжини пігтейлів і захисту зварних з'єднань в корпус встановлюються сплайс-касети.

Оптичний крос може комплектуватися лицьовими панелями SC Duplex 16, що дає можливість розварки і комутації 48-ми оптичних з'єднань в одному юніті з додатковою сплайс-касетою.



Рисунок 3.5 – Оптична панель Zet ODF 1U 24 SC / FC / Duplex LC

Телекомунікаційна монтажна шафа (Рис. 3.6) призначена для розміщення електронного та/або електротехнічного устаткування систем передачі інформації, виконаного в 19-дюймовому стандарті. Шафа постачається в розібраному вигляді, в картонній упаковці. Передні металеві двері обладнані замком. Шафа встановлена на опори, що регулюються по висоті. У кришці шафи передбачені технологічні отвори для вводу кабелів і

установки вентиляційних полиць. Розміри шафи становлять: 600×600×2000. Висота – 42U.



Рисунок 3.6 – Зовнішній вигляд телекомунікаційної шафи

Для забезпечення продовження роботи активного обладнання у точці присутності у випадку відключення від електромережі використаємо наступне рішення: джерело безперебійного живлення RITAR ONLINE RT-1KL-LCD 36V (Рис. 3.7) та три акумуляторних батареї Challenger A12-33 12В. Серія А12 (Рис. 3.8), що розроблена для використання в джерелах безперебійного живлення, системах безпеки, медицині, системах зв'язку. Таке рішення дозволить обладнанню автономно працювати до 10 годин.

Також варто замовити: блок розеток для шафи 19" на 5 розеток; організатор кабельний HuperNet CM-4M 2 шт.



Рисунок 3.7 – Зовнішній вигляд ДБЖ RITAR ONLINE RT-1KL-LCD 36V



Рисунок 3.8 – Зовнішній вигляд акумуляторної батареї Challenger A12-33

3.3 Модернізація ділянки розподілу

Правильний вибір системи побудови мережі, топології, визначення умов і правил організації доступу дозволить виключити зайві витрати при подальшому розвитку мережі.

Реалізація мережі GEPON в районі будівництва житлових таунхаусів Південно-Східного мікрорайону виконана за схемою $1 \times 8 - 1 \times 16$. Схематичне зображення наведено на рис. 3.9.

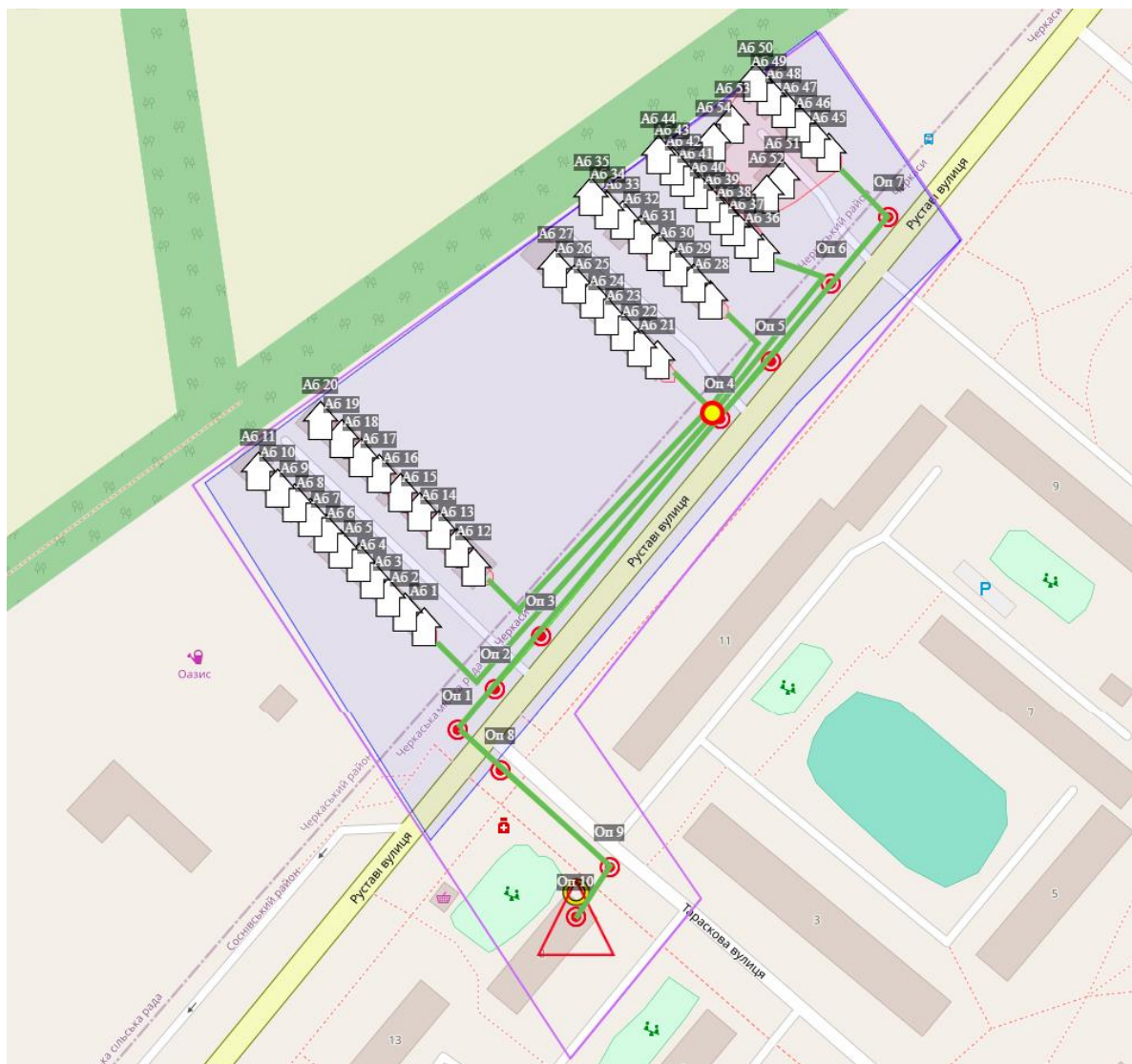


Рисунок 3.9 – Схема мережі GEPON в районі житлового будівництва таунхаусів

В основі прагматичного підходу вибрано топологію «дерево» як більш економічна, внаслідок скорочення сумарної довжини оптичних волокон, тому що на шляху від оптичного лінійного терміналу до сплітера використовується лише одне волокно. Проектовані розподільні ОК мережі PON прокладаються «повітряним» способом за допомогою анкерних затискачів.

Анкерні затискачі можуть використовуватися як з «8-образними», так і з самонесучими кабелями. Затискачі для підвісу кабелів з несучим елементом зі сталевго троса дозволяють швидко провести монтаж кабелю, без зачистки і відділення силового елемента. Пластикові петлі на тросі затиску забезпечують ізоляцію несучого елемента в разі замикання на масу опори (рис. 3.10).

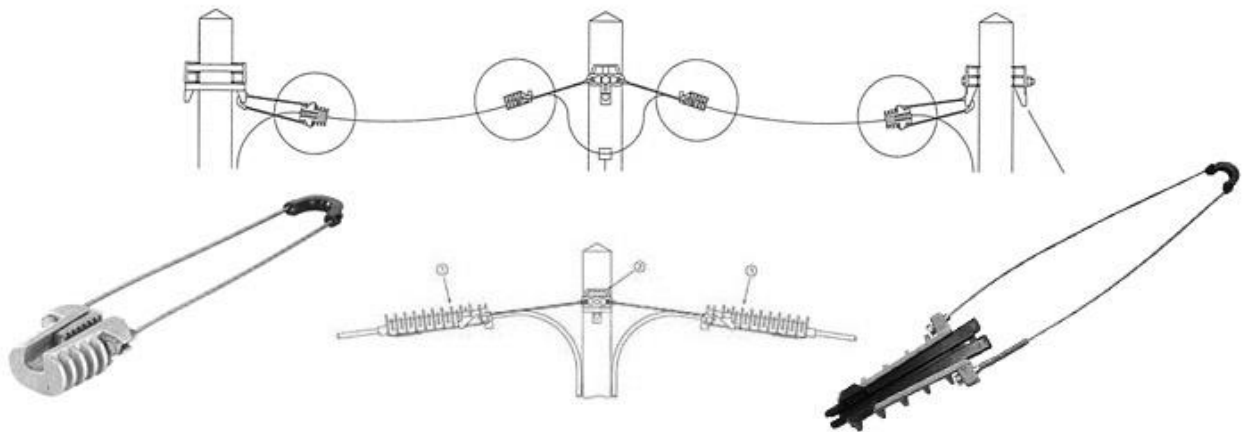


Рисунок 3.10 – Приклад застосування анкерних затискачів

В цьому розрахунку проекту використано кабель ОКТ-Д (1,0)П-4Е1, 4 волокна, зовнішній вигляд представлено на рис. 3.11. Кабель типу ОКТ-Д (1,0) П-4Е1 використовується для підвіски та експлуатації на опорах повітряних ліній зв'язку, міського електротранспорту та повітряних лініях електропередачі в умовах впливу навантажень від вітру, ожеледі, температури і їх комбінацій. Кількість волокон складає 4, що обґрунтовується подальшим можливим розвитком мережі доступу, при

якому не потрібно буде прокладати ще один або декілька кабелів. Згідно з проведеними розрахунками, відстань до найвіддаленішого абонента складає 420 м.



Рисунок 3.11 – Кабель ОКТ-Д (1,0)П-4Е1

PON бокс RCI MDU 216 (Рис. 3.12) являє собою оптичний бокс зовнішнього застосування. Його головне призначення - це розподіл лінії оптоволокна між користувачами, приєднаними за технологією FTTH. За допомогою пристрою створюється високошвидкісна приватна пасивна мережа. Бокс обладнаний відкидною сплайс-касетою і кросом на 16 адаптерів. Передбачені також 12 спеціальних тримачів, різні фіксатори і напрямні. виготовлення з міцного пластику, стійкого до ультрафіолету, дозволяє використовувати оптичний PON бокс RCI MDU 216 під відкритим небом. Конструкція кріплень оптичного боксу дозволяє розміщувати його як на стовпах, так і на стінах або іншій поверхні.



Рисунок 3.12 – PON бокс RCI MDU 216

3.4 Модернізація абонентської ділянки

Введення в житловий будинок можуть бути організовані трьома способами:

- підземний введення через підвальне приміщення;
- повітряний ввід через горищне приміщення;
- підземне (повітряне) введення на зовнішню стіну будівлі.

У даному проекті застосовується повітряне введення ОК в будинок на зовнішню стіну будівлі. Варіант такого вводу представлений на рис. 3.13. У цьому варіанті також використано PON бокс RCI моделі MDU 216 (Рис. 3.12).

Абонентська ділянка (абонентська розводка) - це ділянка мережі від елементів загальних розподільних пристроїв (ОРК, бокс) до приміщення абонента, включаючи ОРА. В абонентську ділянку також входить активне

обладнання на стороні абонента (ONT, ONU), яке є невід'ємним елементом технології PON і знаходиться під управлінням оператора зв'язку.



Рисунок 3.13 – Розміщення оптичного боксу на зовнішній стінці будинку

Для з'єднання абонентського обладнання з боксом використано абонентський кабель FinMark FTTH-001-SM, що прокладається на зовнішній стінці будинку, захований у декоративний короб (рис. 3.14). В даному кабелі є одне оптичне волокно, що повністю відповідає рекомендації ITU-T G.652D. Зовнішній шар оболонки зроблений з спеціального безгалогенного малодимного матеріалу – LSZH. Надійність кабелю забезпечують два силові елементи.

Переваги FTTH-001-SM:

1. Проста конструкція, невелика вага;
2. Новий дизайн, який спрощує з'єднання і монтаж;

3. Пара стрижнів, які розташовані паралельно один до одного, забезпечують високий рівень міцності механічної системи кабелю;
4. Підвищена гнучкість;
5. Сама оболонка зроблена з негорючого, безгалогенового та малодимного матеріалу.



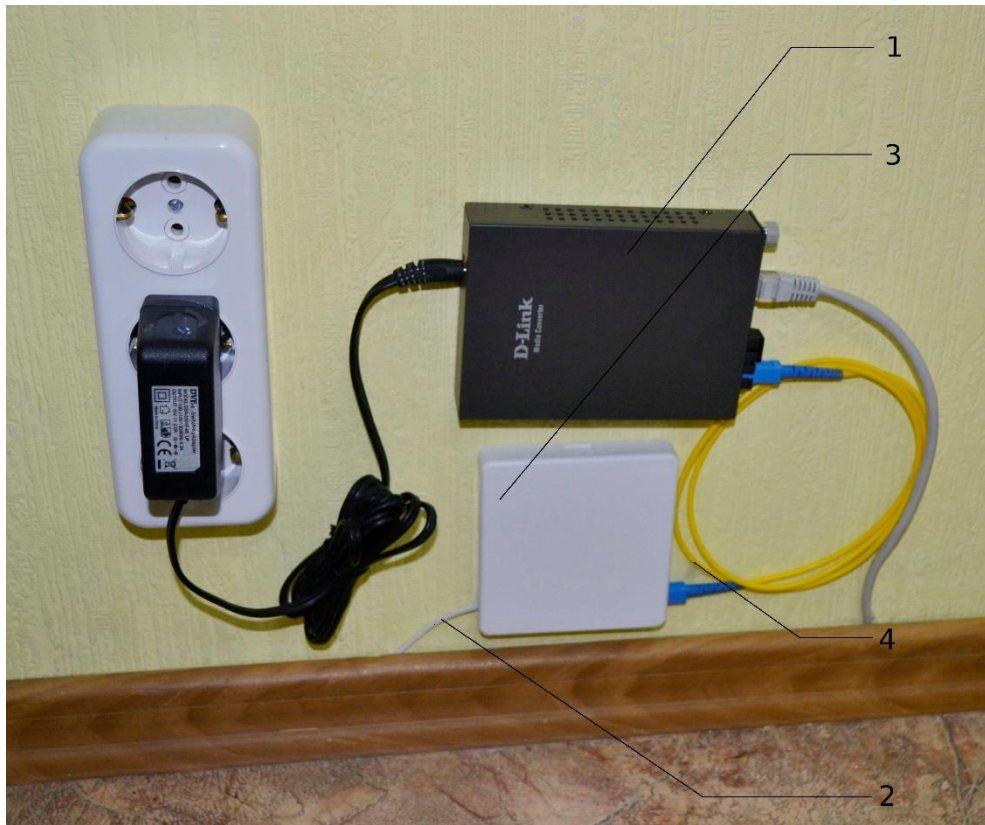
Рисунок 3.14 – Зовнішній вигляд FinMark FTTH-001-SM

В квартиру до абонента заводиться абонентський кабель FinMark FTTH-001-SM, що закінчується оптичною розеткою. За допомогою патч-корду до розетки підключається ONU.

Оптичний патч-корд (рис. 3.15) призначений для з'єднання медіаконверторів, SFP модулів, інших оптичних пристроїв при передачі даних по мережі. Являє собою відрізок кабелю, що закінчується з двох сторін конекторами.

Для реалізації проекту використано ONU BDCOM P1501DT (рис. 3.16) – гігабітний абонентський термінал технології GPON на чіпсеті Realtek, розроблений для застосування в рішеннях FTTH / FTTB. Відповідність стандартам IEEE802.3ah і STC 3.0 дозволяє використовувати дане обладнання в мережах, побудованих із застосуванням обладнання GPON різних світових виробників. Висока пропускна здатність: підтримка симетричній швидкості передачі PON з висхідною та низхідною швидкістю 1,25 Гбіт / с. Забезпечення якості обслуговування: VLAN, STP, ізоляція портів, ACL, QoS, шторм-контроль. Підтримка високого рівня сервісу: DBA і Rate-Limit, підтримка розширеного розподілу динамічної смуги пропускання і точних меж смуги пропускання, які дозволяє користувачам відповідно

розподіляти пропускну здатність. Багаті функції OAM: стандартний і розширений OAM, відповідно до стандартів CTC2.1 / 3.0, включаючи настройку, сигналізацію і моніторинг продуктивності.



1. Абонентський термінал
2. Оптичний кабель для внутрішньої прокладки
3. Абонентська розетка
4. Оптичний патч-корд

Рисунок 3.15 – Приклад підключення абонентського обладнання



Рисунок 3.16 – Оптичний мережевий пристрій BDCOM P1501DT

3.5 Розрахунок оптичного бюджету мережі

Розрахунки загасання виконуються для оптичної лінії від підключення волокна на активному обладнанні (на передавачі) до самого віддаленого абонента (на приймачі). У пасивної мережі PON джерелами втрат є:

- повне затухання в оптичному волокні, залежить від коефіцієнта загасання волокна на певній довжині хвилі і довжини волокна;
- повні втрати в зростках (зварні з'єднання), залежать від втрат в кожному зростку і їх загальної кількості;
- повні втрати в з'єднувачах (роз'ємні з'єднання), залежать від втрат в кожному з'єднувачі та їх загальної кількості;
- втрати в розгалужувачах, залежать від коефіцієнта розгалуження;
- експлуатаційні втрати: втрати на додаткових зростках і кабельних вставках при проведенні ремонтних робіт.

Розрахунки проводять для кожної точки присутності по найвіддаленішій оптичній лінії з урахуванням магістральної, розподільної ділянок мережі, абонентської проводки і внутрішньостанційних з'єднань з усіма пасивними пристроями в ланцюзі з'єднання.

З урахуванням використовуваної в проєкті топології мережі, немає необхідності розраховувати відсоток розподілу потужності в оптичних розгалужувачах, мережа вийде збалансованою, що забезпечить безпомилковий прийом потоків даних оптичним приймачем обладнання OLT.

При розрахунках враховуються такі параметри вносяться в лінію втрат:

- коефіцієнт загасання волокна (по Рек. G.652D) на довжині хвилі 1490 нм – 0,24 дБ/км;
- нероз'ємні з'єднання (зварні) – 0,05 дБ;
- роз'ємні з'єднання (конектори) – 0,3 дБ;
- разветвители: 1×8 – 10,7 дБ, 1×16 – 13,9 дБ;
- експлуатаційний запас – 3 дБ;

Розрахунок оптичного бюджету повинен підтвердити, що для самої протяжної ділянки мережі загальна величина втрат (разом з експлуатаційним запасом) не перевищує динамічний діапазон всієї системи. Експлуатаційний запас необхідний через можливих пошкоджень на лінійній ділянці, погіршення умов передачі і подальшого розвитку мережі. Визначаємо величину експлуатаційного запасу рівну 3 дБ.

Найвіддаленіший абонент (номер 54) даної проєктованої мережі знаходиться в останньому секторі на 10 квартир (рис. 3.9). На даній ділянці 6 рознімних з'єднань, 6 зварних з'єднань, довжина ОВ від обладнання OLT до будинку (квартири) становить 420 м. У розрахунках Використаємо значення довжини 500 м, враховуючи експлуатаційний запас кабелю. Згідно з технічними характеристиками обладнання, максимальна величина оптичного бюджету лінії становить максимальна величина оптичного бюджету лінії становить 35 дБм.

Для визначення сумарного загасання всіх елементів ланцюга можна скористатися формулою, представленої нижче:

$$A_{\Sigma} = \alpha \cdot L_{\Sigma} + A_W \cdot N_W + A_C \cdot N_C + A_S + X, \text{ дБ}$$

де: A_{Σ} – сумарне загасання сигналу;

α – загасання сигналу на 1 км оптоволоконна на довжині хвилі 1490 нм;

L_{Σ} – сумарна довжина оптоволоконна від OLT-а до кінцевого вузла;

A_W – загасання сигналу на зварному з'єднанні;

N_W – кількість зварних з'єднань на шляху проходження сигналу від OLT до кінцевого вузла;

A_C – загасання сигналу на роз'ємному з'єднанні;

N_C – кількість роз'ємних з'єднань на шляху проходження сигналу від OLT-а до кінцевого вузла;

A_S – сумарне загасання сигналу на каскаді сплітерів;

X – експлуатаційний запас 3 дБ.

Звідси:

$$A_{\Sigma} = 0,24 \cdot 0,5 + 0,05 \cdot 6 + 0,3 \cdot 6 + (10,7 + 13,9) + 3 = 29,82 \text{ дБ}$$

Як бачимо, розраховані втрати на лінії (найгіршій) не перевищують бюджету втрат (29,82 дБ < 35 дБ). Отже, ця умова буде дотримуватися і для інших ділянок з меншими загасаннями.

3.6 Оцінка обсягу обладнання

В рамках даного дипломного проекту, зважаючи на специфіку завдання, використовується метод оцінки обсягу обладнання, необхідного для його реалізації. Обліку підлягають: обладнання станційної ділянки, включаючи OLT, обладнання ділянки розподілу та обладнання, що встановлюються в квартирах кінцевих користувачів, включаючи ONU.

У таблиці 3.3 наведено перелік найменувань і кількості обладнання згідно з проведеними розрахунками.

Таблиця 3.3 – Зведена таблиця використовуваного обладнання

№	Тип обладнання	Найменування	Ціна	Кількість	Од. виміру	Вартість, грн.
1	Лінійний термінал	GEPON OLT P3310C-2AC от BDCOM	12374	1	шт.	12374
2	Абонентський термінал	BDCOM P1501DT	416,95	54	шт.	22515,3
3	Трансивер	FoxGate SFP-1,25G-GEPON (C++)-20SC	1323	1	шт.	1323
4	Сплітер 1:8	Планарний PLC сплітер 1:8	192,33	1	шт.	192,33
5	Сплітер 1:16	Планарний PLC сплітер 1:16	390,05	6	шт.	2340,3
6	Оптичний кабель	ОКТ-Д (1,0)П-4Е1, 4 волокна	4,5	1000	м	4500
7	Абонентський кабель	FTTH-001-SM-02	1,4	2000	м	2800
8	Оптична розетка	Crosver FOR-02	13,45	54	шт.	726,3
9	Оптичний бокс	RCI MDU 216	349,7	7	шт.	2447,9
10	Оптична панель	Zet ODF 1U 24 SC / FC / Duplex LC	768,00	2	шт.	1536
11	Шафа телекомунікаційна 19"		2100	1	шт.	2100
12	Джерело безперебійного живлення	RITAR ONLINE RT-1KL-LCD, REC 1000VA (800BT), 36V	6100	1	шт.	6100
13	Акумуляторна батарея	Challenger A12-33 / 35	2481	3	шт.	7443
14	Організатор кабельний	Hypernet CM-4M	61,75	2	шт.	123,5
15	Блок розеток 19 "(5 розеток)		470	1	шт.	470
16	Патч-корд оптичний	SC-SC SM 1m	60	57	шт.	3420
	Сума					70411,63
	Витрати на одного абонента					1303,9191

3.7 Висновки до розділу 3

В результаті аналізу району для проектування мережі була обрана найбільш відповідна топологія, здійснено обстеження будинків і приміщення точки присутності, обрано обладнання для будівництва мережі та розраховані його кількісні характеристики.

Тому можна сказати, що розраховані в розділі параметри дозволять побудувати збалансовану і надійну оптичну мережу доступу.

Вибір здійснено на основі надійності, економічних показників і зручності монтажу. Розглянуто типи і характеристики оптичних волокон, зроблений вибір кабелю для прокладки мережі. Виконано розрахунок бюджету оптичної потужності для технології GERON. Розрахунок показав, що значення сумарних втрат і експлуатаційного запасу менше максимального оптичного бюджету. Отже, дана оптична мережа є працездатною.

ВИСНОВКИ

З величезним збільшенням вимог до пропускну здатності для розвитку дуже чутливих до затримок програм, таких як стрімінгові платформи, онлайн-ігри та хмарні сховища, виникає потреба в збільшенні пропускну потужності, яку можна транспортувати за допомогою оптичних мереж. Впровадження інтернету та його сервісів продовжує зростати, і на сьогоднішній день вже відноситься до ключових побутових послуг, представляючи індустрії оптичних комунікацій нові можливості та виклики в 2020 році. Тому пріоритетними напрямками для галузі зв'язку є підтримка потреби в збільшенні швидкості передачі даних, більш потужному перемикачній та розумніших мережевих архітектурах, які можуть обробляти непередбачувані та швидко мінливі схеми руху та покращувати економічну ефективність.

У дипломному проекті в результаті проведеної роботи була спроектована мультисервісна мережа для Південно-Східного мікрорайону м. Черкаси. Загальна кількість абонентів становить 54, з можливим подальшим зростанням. Користувачі мультисервісної мережі мають доступ до мережі Інтернет, послуг IP-телефонії, і цифрового інтерактивного телебачення.

Основна увага була приділена розгляду технологій пасивних оптичних мереж, а саме технології GPON. В силу своєї економічності, масштабованості, мультисервісності і можливості забезпечити високі, до 1,25 Гбіт / с, швидкості передачі, GPON може вважатися однією з небагатьох технологій, здатної задовольнити зростаючі вимоги абонентів до якості і набору послуг, що надаються в перспективі на найближчі роки.

В ході виконання технічного завдання була досліджена методика проектування оптимальних пасивних оптичних мереж. Також був проведений розрахунок оптичних втрат мережі, що підтверджує

працездатність системи. В результаті була розроблена схема мережі доступу на основі GEPON і складена комплектація проектованого обладнання.

Загальні капітальні витрати на побудову мережі складають 71 тис. гривень. Результати соціологічного опитування свідчать про те, що послуга доступу в Інтернет має попит, навіть при відносно високих цінах. Необхідно інвестувати в розвиток мережі доступу та транспортної мережі в майбутньому, для підвищення конкурентоспроможності, швидкості передачі інформації та кількості користувачів. Реалізація даного проекту дозволить надати весь спектр пропонованих послуг абоненту, наростити абонентську базу та таким чином збільшити доходи.

На підставі вище викладеного вважаю, що мета дипломної роботи досягнута в повній мірі.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Телекомунікаційні та інформаційні мережі: Підручник (для вищих навчальних закладів) / П.П. Воробієнко, Л.А. Нікітюк, П.І. Резніченко. – К.: САММІТ-Книга, 2010. – 708 с.: іл. (Електронний ресурс) / Спосіб доступу: URL: <http://ktpu.kpi.ua/wp-content/uploads/2014/02/Vorobiyenko-P.P.-Telekomunikatsijni-ta-informatsijni-merezhi.pdf>.
2. DESIGN OF PASSIVE OPTICAL NETWORK, Juan Salvador Asensi Pla, BRNO, 2011, page 42.
3. Проектування та експлуатація сучасних мереж широкосмугового доступу: навч. посіб. для дипломного проектування та магістерських робіт / [В.О. Балашов, А.Г. Лашко, Л.М. Ляховецький, В.І. Орешков]. – Одеса: РВЦ ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2019. – 267 с.
4. Построение и расчет гибридных СКТ с глубоким проникновением оптики: метод. пособие по дисц. «Современные технологии систем и средств телекоммуникаций» для студ. спец. 1-45 01 01 «Многоканальные системы телекоммуникаций» и 1-45 01 02 «Системы радиосвязи, радиовещания и телевидения» днев. и заоч. форм обуч. /В. Ю. Бунас [и др.]. – Минск : БГУИР, 2012. – 55 с. : ил. ISBN 978-985-488-706-7.
5. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://policom.dei.polimi.it/education/comunicazioni/lezione-PON.pdf>.
6. Методичні вказівки до виконання практичних та самостійних робіт з дисципліни "Проектування комп'ютерних мереж" для студентів спеціальностей 8.05010203 "Спеціалізовані комп'ютерні системи" та 8.05010201 "Комп'ютерні системи та мережі", усіх форм навчання. Частина 3 / Укл. Г. Г. Киричек, М. П. Проскурін, С. Ю. Скрупський, О. В. Щекотіхін.–Запоріжжя: ЗНТУ, 2015.–38с.
7. Технології територіально-розподілених мереж: Курс лекцій для студентів спеціальності "Виробництво електронних засобів" / Уклад.: П.В. Кучернюк – К.: НТУУ «КПІ», 2010 р. – 81 с.

8. Опис технічного обладнання [Електронний ресурс] geron.com.ua
Інтернет - магазин // Режим доступу - URL: <https://geron.com.ua/>.