

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

Інститут електроенергетики  
Факультет інформаційних технологій  
Кафедра безпеки інформації та телекомунікацій

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
дипломного проекту

напря́м підготовки 6.050903 Телекомунікації  
(шифр и назва галузі знань)

освітній рівень бакалавр  
(назва освітнього рівня)

кваліфікація фахівець з телекомунікаційної інженерії  
(назва кваліфікації)

На тему: Побудова мережі абонентського доступу сільського району  
на основі технології FTTH

Виконавець: студент 4 курсу, групи ТКіТ-15-1

Грищенко Віталій Леонідович  
(підпис) (прізвище і'мя по-батькові)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка	Підпис
проекту	к.т.н., доц. Галушко О.М.		
розділів:			
спеціальний	к.т.н., доц. Галушко О.М.		
економічний	к.е.н., доц. Романюк Н.М.		
Рецензент	д.т.н., проф..Мещеряков Л.І.		
Нормоконтроль	к.т.н., доц. Галушко О.М.		

Дніпро  
2019

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

Інститут електроенергетики  
Факультет інформаційних технологій  
Кафедра безпеки інформації та телекомунікацій

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**

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

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**ЗАВДАННЯ**  
на кваліфікаційну роботу  
ступеня бакалавра

спеціальність 6.050903 Телекомунікації

(код і назва спеціальності)

студента ТКіт-15-1 Грищенко Віталія Леонідовича  
(група) (прізвище і'мя по-батькові)

Тема: Побудова мережі абонентського доступу сільського району на основі технології FTTH

Приказ ректора Державного ВНЗ НТУ «ДП» від 21.05.2019 р. №771-л

Найменування етапів робіт	Строки виконання робіт
Розділ 1. Аналіз технологій побудови мереж абонентського доступу, архітектури мереж FTTH, особливості Ethernet FTTH та PON мереж.	25.02 2019 – 15.04 2019
Розділ 2. Створення характеристики обраного сільського району, розрахунок кількості абонентів та трафіку, вибір обладнання мережі доступу.	17.04 2019 – 04.06 2019
Розділ 3. Розрахунок капітальних та експлуатаційних витрат, прибутку та терміну окупності проекту.	05.06.2019 – 18.06.2019

Завдання видав \_\_\_\_\_  
(підпис) (прізвище, ініціали)

Завдання прийняв \_\_\_\_\_  
(підпис) (прізвище, ініціали)

Дата видачі завдання: 18 лютого 2019 р.

Строк подання дипломного проекту до ДЕК: 20 червня 2019 р.

## РЕФЕРАТ

**Пояснювальна записка:** 86 с., 15 рис., 14 табл., 4 додатки, 28 джерел.

**Об'єкт розробки:** мережа абонентського доступу за технологією FTTH.

**Мета дипломного проекту:** побудова мережі абонентського доступу сільського району за технологією FTTH.

Технологія FTTH має очевидні переваги для користувачів, як сьогодні, так і в доступному для огляду майбутньому, так як вона забезпечує кращу продуктивність у порівнянні з послугами широкосмугового доступу, що подаються у традиційних мідних мережах.

У першому розділі проаналізовано архітектури оптичних мереж абонентського доступу, наведено опис технології FTTH, існуючі рішення побудови мереж абонентського доступу за цією технологією та сформульовані задачі кваліфікаційної роботи.

У спеціальній частині обрано об'єктом проектування населений пункт с. Степове, Дніпровського району, створена характеристика об'єкту, запропонована мережа доступу на базі технології FTTH, розраховано її оптичний бюджет та трафік у ГНН, обрано необхідне обладнання.

В економічному розділі розраховано капітальні та експлуатаційні витрати, прибуток та термін окупності проектованої мережі.

МЕРЕЖА, АБОНЕНТСЬКИЙ ДОСТУП, АРХІТЕКТУРА, ТЕХНОЛОГІЯ, FTTH, ОБЛАДНАННЯ, PON, GPON.

## РЕФЕРАТ

**Пояснительная записка:** 86 с., 15 рис., 14 табл., 4 приложения, 28 источников.

**Объект разработки:** сеть абонентского доступа по технологии FTTH.

**Цель дипломного проекта:** проект сети абонентского доступа сельского района по технологии FTTH.

Технология FTTH имеет очевидные преимущества для пользователей, как сегодня, так и в обозримом будущем, так как она обеспечивает лучшую производительность по сравнению с услугами широкополосного доступа, которые подаются в традиционных медных сетях.

В первой главе проанализированы архитектуры оптических сетей абонентского доступа, приведено описание технологии FTTH, существующие решения построения сетей абонентского доступа по этой технологии и сформулированы задачи квалификационной работы.

В специальной части избран объектом проектирования населенный пункт с. Степовое, Днепроовского района, создана характеристика объекта, предложенная сеть доступа на базе технологии FTTH, рассчитан ее оптический бюджет и трафик в ЧНН, выбрано необходимое оборудование.

В экономическом разделе рассчитаны капитальные и эксплуатационные расходы, прибыль и срок окупаемости проектируемой сети.

**СЕТЬ, АБОНЕНТСКИЙ ДОСТУП, АРХИТЕКТУРА, ТЕХНОЛОГИЯ, FTTH, ОБОРУДОВАНИЕ, PON, GPON.**

## ABSTRACT

**Explanatory note:** 86 p., 15 fig., 14 tab., 4 appendices, 28 sources.

**Development object:** subscriber access network via FTTH technology.

**Purpose of diploma project:** project of subscriber access network of rural area by FTTH technology.

FTTH technology has obvious advantages for users, both today and in the foreseeable future, as it provides better performance compared to broadband services that are served in traditional copper networks.

The first Chapter analyzes the architecture of optical subscriber access networks, describes the FTTH technology, existing solutions for building subscriber access networks using this technology and formulated the tasks of qualification work.

In the special part of the chosen object of design settlement with Stepovoy, Dneprovsky district, the characteristic of the object was created, the proposed access network was based on FTTH technology, its optical budget and traffic in busy hour was calculated, the necessary equipment was selected.

In the economic section, capital and operating costs, profit and payback period of the projected network are calculated.

NETWORK, SUBSCRIBER ACCESS, ARCHITECTURE,  
TECHNOLOGY, FTTH, EQUIPMENT, PON, GEAPON.

## СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- АТС – автоматична телефонна станція;
- ВОК – волоконно-оптичний кабель;
- ВОЛЗ – волоконно-оптична лінія зв'язку;
- КДЗЗ – комплект деталей захисту зварного з'єднання;
- ЛЕП – лінія електропередачі;
- МД – мережа доступу;
- ОБ – оптичний бокс;
- ОВ – оптичне волокно;
- ОМД – оптична мережа доступу;
- ОР – оптичний розгалужувач;
- ОРШ – оптична розподільна шафа;
- ППМК – пристрій підвіски муфт і запасу кабелів;
- ПЛ – повітряна лінія;
- ШРМ – шафа розбірна металева;
- ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) – асиметрична цифрова абонентська лінія;
- AON (Active Optical Network) – активна оптична мережа;
- APON (ATM Passive Optical Network) – пасивна мережа на основі асинхронної передачі даних;
- ATM(Asynchronous transfer mode) – асинхронний спосіб передачі даних;
- BPON (Broadband PON) – широкопasmугова пасивна оптична мережа;
- CPE (Customer premise equipment) – обладнання у приміщенні клієнта;
- EPON (Ethernet PON) – пасивна оптична мережа Ethernet;
- FSP(Fiber concentration point) – точка концентрації волокон;
- FTTB (Fiber to the Building) — волокно до будівлі;
- FTTC (Fiber to the Curb) — волокно до мікрорайону, кварталу або групи будинків;
- FTTH (Fiber to the Home) — волокно до житла (квартири або окремого котеджу);

FTTN (Fiber to the Node) — волокно до вузла мережі;

FTTx (Fiber to the x) – доведення оптичного волокна до об'єкта;

GEAPON (Gigabit Ethernet PON) – гігабітна пасивна оптична мережа Ethernet;

GPON (Gigabit PON) – гігабітна пасивна оптична мережа;

IP (Internet Protocol) – «міжмережевий протокол», протокол мережевого рівня для передавання датаграм між мережами;

IPTV (Internet Protocol Television) – телебачення за протоколом IP;

ITU (International Telecommunication Union) – міжнародний союз електрозв'язку;

ODF (Optical Distribution Frame) – оптична розподільча панель;

OLT (Optical line terminal) – центральний термінал мережі PON;

ONT (Optical network terminal) – оптичний мережевий термінал;

ONU (Optical network unit) – оптична мережева одиниця;

PLC (Planar Lightwave Circuit) – планарний дільник для PON мереж;

PmP (Point to Multipoint) – архітектура мережі «точка-багато точок»;

PON (Passive optical network) – пасивна оптична мережа;

POP (Point to presence) – точка присутності;

P2P (Point to Point) – архітектура мережі «точка-точка»;

SFP (Small Form-factor Pluggable) – стандарт модульних компактних приймачів (трансиверів);

TDMA (Time Division Multiple Access) – множинний доступ з часовим поділом;

WDM (Wave length Division Multiplexing) – спектральне ущільнення каналів передачі;

xDSL – сімейство технологій, що дозволяють значно розширити пропускну здатність абонентської лінії місцевої телефонної мережі.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	11
1 СТАН ПИТАННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ .....	13
1.1 Перехід мереж доступу на оптичні технології.....	13
1.2 Архітектура та технології побудови ОМД .....	14
1.3 Опис мережі FTTH .....	16
1.4 Місце розгортання мережі FTTH.....	17
1.5 Оптичне волокно для мережі FTTH .....	18
1.6 Архітектура мережі FTTH.....	20
1.7 Ethernet FTTH (P2P) .....	21
1.7.1 Загальні відомості про архітектуру мережі .....	22
1.7.2 Переваги та недоліки .....	23
1.8 PON .....	25
1.8.1 Огляд технології PON.....	25
1.8.2 Види технологій PON .....	26
1.8.3 Принципи побудови мереж на базі PON .....	28
1.8.4 Переваги та недоліки технології PON (в порівнянні з класичною схемою FTTH).....	31
1.8.5 Перспективи розвитку технологій PON.....	34
1.9 Постановка задачі.....	35
1.10 Висновки .....	35
2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	36
2.1 Вибір сільського району та технології побудови мережі FTTH .....	36
2.2 Опис проектного населеного пункту.....	37
2.2 Оптичний бюджет проектованої мережі PON .....	38
2.2.1 Особливості розрахунку оптичного бюджету.....	38
2.2.2 Розрахунок оптичного бюджету для проектного населеного пункту.....	42
2.3 Розподільчий сегмент мережі .....	43
2.3.1 Опис, вибір та особливості прокладання ВОЛЗ мережі PON .....	43
2.3.1.1 Розподільні кабелі .....	43



	9
2.3.1.2 Вибір волоконно-оптичного кабелю .....	44
2.3.1.3 Особливості прокладання ВОК .....	45
2.3.1.4 Загальні вимоги про прокладанні оптоволоконних кабелів. ....	46
2.3.2 Опис та вибір обладнання абонентської точки концентрації.....	47
2.3.2.1 Оптичний бокс .....	47
2.3.2.2 Пасивні оптичні розгалужувачі .....	49
2.3.3 Правила будування.....	53
2.4 Станційний сегмент мережі PON .....	53
2.4.1 Опис та вибір OLT .....	53
2.4.2 Оптичні модулі .....	56
2.4.3 Оптична панель .....	58
2.5 Абонентський сегмент мережі PON.....	59
2.5.1 Активне обладнання у абонента.....	59
2.5.2 Абонентські кабелі.....	62
2.5.3 Окінцювання абонентських оптичних кабелів .....	63
2.6 Швидкість передачі даних в мережі PON.....	65
2.7 Розрахунок трафіку .....	66
2.7.1 Розрахунок телефонного навантаження .....	66
2.7.2 Розрахунок навантаження IPTV .....	67
2.7.3 Розрахунок навантаження служб передачі файлів .....	68
2.8 Висновки .....	68
3 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ .....	69
3.1 Розрахунок капітальних витрат .....	69
3.2 Розрахунок експлуатаційних витрат .....	72
3.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань .....	72
3.2.2 Заробітна плата обслуговуючого персоналу та відрахування на соціальні заходи від заробітної плати.....	73
3.2.3 Витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт .....	74
3.2.4 Розрахунок вартості спожитої електроенергії .....	74
3.3 Розрахунок прибутку .....	75

	10
3.4 Розрахунок терміну окупності капітальних вкладень.....	77
3.5 Висновки .....	78
ВИСНОВКИ.....	79
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	80
ДОДАТОК А. Відомість матеріалів дипломної роботи.....	83
ДОДАТОК Б. Відгук керівника дипломної роботи.....	84
ДОДАТОК В. Відгук керівника економічного розділу .....	85
ДОДАТОК Г. Перелік документів на оптичному носії.....	86

## ВСТУП

Сьогодні зв'язок відіграє важливу роль в нашому світі. Якщо раніше для передачі інформації використовувалися мідні кабелі, то тепер настав час оптичних телекомунікаційних технологій.

Оптичне волокно в даний час вважається найдосконалішим фізичним середовищем для передачі інформації, а також самим перспективним середовищем для передачі великих потоків інформації на значні відстані. Підстави так вважати випливають з ряду особливостей, властивих оптичних хвилеводів, таких як: широка смуга пропускання, мале загасання світлового сигналу у волокні, низький рівень шумів, висока перешкодозахищеність, мала вага і об'єм кабелю [5].

Незважаючи на численні переваги перед іншими способами передачі інформації, волоконно-оптичні системи мають також і недоліки, головним чином через відносно високу вартість інтерфейсного обладнання, а також складності монтажу і обслуговування оптичних ліній.

В останні 10 років швидко розвиваються і отримують все більш широке поширення нові послуги зв'язку, а також поліпшується якість традиційних послуг. При цьому різні види послуг надаються різними мережами зв'язку, наприклад, телефонні послуги - телефонна мережа, телевізійні - мережа кабельного телебачення, широкосмуговий доступ в інтернет також за спеціальною, часто волоконно-оптичної мережі. Відповідно, користувач отримує ці послуги за допомогою окремих терміналів: телефонного апарату, телевізора, персонального комп'ютера. Така ситуація створює ряд незручностей і проблем управління мережами доступу при оптимізації надання послуг з високою якістю і в зручний для споживача час.

Інтегральне надання вище зазначених мультимедійних послуг можна здійснити тільки за допомогою широкого впровадження волоконно-оптичних технологій, тобто створення ОМД (оптичних мереж доступу). Поки що повільний їх розвиток зумовлений чисто економічними причинами, головна з яких висока вартість послуг зв'язку, що надаються при відносно низькій

платоспроможності користувачів. Висока вартість послуг обумовлена, перш за все, дорожнечою елементної бази (оптичний кабель, оптичні елементи), а також прокладки оптичного кабелю (особливо в міських умовах) [1].

Узагальнюючим поняттям технологій оптичного доступу виступає термін FTTx - доведення оптичного волокна до об'єкта. Технологія FTTx включає в себе безліч концепцій розгортання мереж доступу, в тому числі технологію FTTH, яка має очевидні переваги для користувачів, як сьогодні, так і в доступному для огляду майбутньому.

Метою кваліфікаційної роботи є проектування мережі абонентського доступу для сільського району за технологією FTTH.

## 1 СТАН ПИТАННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

### 1.1 Перехід мереж доступу на оптичні технології

В останні роки мережі доступу (МД) є найбільш динамічним сегментом телекомунікаційної галузі. Вони безпосередньо пов'язані з наданням операторських послуг абонентам, тому МД добре окупаються навіть в умовах несприятливої економічної ситуації. Тут постійно удосконалюються технології для задоволення нових потреб користувачів, з'являються нові, характерні тільки для цих мереж, технічні рішення. На відміну від транспортних мереж (міжстанційних, міжміських і т.п.), в МД тільки починається перехід на оптичні технології в фіксованого зв'язку. Тому можна з упевненістю сказати, що МД знаходяться в фазі розвитку, що робить їх технічно і фінансово привабливими.

З точки зору швидкості передачі - навіть найсучасніші модеми ADSL-2, ADSL-2 + вже зараз знаходяться «на межі» вимог користувачів. При інтернет обміні прийнятна швидкість передачі 1-2 Мбіт/с, а для потокового відео 4 ... 6 Мбіт/с. Цим практично і вичерпуються можливості модему при невеликій відстані до абонента [12].

При новому будівництві технологія xDSL стає неконкурентоспроможною навіть економічно. Вартість одного 400-парного мідного кабелю перевищить вартість всієї невеликої розгалуженої оптичної мережі. Таким чином, застосування оптичних рішень на мережах доступу стає єдиним підходящим способом організації широкопотокового фіксованого доступу. Вже зараз, використовуючи реальні оптичні технології, можлива організація високошвидкісних потоків 1 Гбіт/с до абонента. А застосування технологій хвильового мультиплексування дозволить передавати такі потоки на кожній з декількох оптичних несучих. Причому оптичні технології постійно вдосконалюються і здешевлюються.

## 1.2 Архітектура та технології побудови ОМД

Концепція реалізації будівництва мережі доступу або будь-якої комп'ютерної мережі, у якій від вузла зв'язку до певного місця доходить волоконно-оптична лінія передачі має назву FTTx. Найчастіше, оптичну мережу доступу, за допомогою концепції FTTx реалізують у варіантах архітектури P2P (точка - точка) та PmP (точка - багато точок) з використанням оптичних розгалужувачів [4].

FTTx - ціле сімейство оптико-волоконних технологій, покликаних для забезпечення оптичним зв'язком. У це сімейство входять різні види архітектури, які відрізняються головним чином тим, наскільки близько до терміналу користувача підходить оптичний кабель (рис.1.1):

- FTTN (Fiber to the Node) — волокно до вузла мережі;

FTTN використовується в основному як бюджетне і швидко впроваджуване рішення там, де існує розподільна "мідна" інфраструктура і прокладка оптики нерентабельна. Пов'язані з цим рішенням труднощі: невисока якість послуг, що надаються, обумовлене специфічними проблемами лежать в каналізації мідних кабелів, істотне обмеження по швидкості і кількості підключень в одному кабелі.

- FTTC (Fiber to the Curb) — волокно до мікрорайону, кварталу або групи будинків;

FTTC - це покращений варіант FTTN, позбавлений частини властивих останньому недоліків. Архітектура FTTC в першу чергу призначена для операторів, що вже використовують технології xDSL або PON, і операторів кабельного телебачення: реалізація цієї архітектури дозволить їм з меншими витратами збільшити і кількість обслуговуваних користувачів, і виділену кожному з них смугу пропускання. У Європі цей тип підключення часто застосовується невеликими операторами Ethernet-мереж. Пов'язано це з більш низькою вартістю мідних рішень і з тим, що монтаж оптичного кабелю вимагає високої кваліфікації виконавця.

- FTTB (Fiber to the Building) — волокно до будівлі;

Архітектура FTTB набула найбільшого поширення, так як при будівництві мереж FTTx на базі Ethernet - це, найчастіше, єдина технічно можлива схема побудови мережі. Крім того, в структурі витрат на створення Ethernet-мережі різниця між варіантами FTTC і FTTB відносно невелика. Також не слід забувати, що операційні витрати при експлуатації мережі FTTB нижче, а пропускна здатність вище [6].

- FTTH (Fiber to the Home) — волокно до житла (квартири або окремого котеджу).

Варіант доступу FTTH є найбільш витратним, але в той же час і найбільш перспективним, серед всіх типів доступу FTTx.

На перший погляд, будівництво мережі FTTH - це дуже трудомісткий і, відповідно, дорогий процес, але на практиці основні витрати при розгортанні мережі FTTH припадають на будівельні роботи, а вартість самого оптоволоконного кабелю становить відносно невелику частину. Це означає, що в разі необхідності проведення будівельних робіт кількість оптоволоконного кабелю, що прокладається вже не має великого значення [16].

Більш того, хоча життєвий цикл мережі FTTH і її електронних компонентів становить кілька років, оптоволоконний кабель і оптична розподільча мережа мають більш тривалий термін служби (принаймі, 30 років).

Всі архітектури FTTx припускають наявність ділянки з розподільними мідними кабелями, але чим він коротший, тим більше пропускна здатність мережі. Максимальне використання оптичних технологій передбачає структура FTTH, при якій оптичний мережевий термінал знаходиться в квартирі користувача і з'єднується короткими кабелями з кінцевими пристроями - телефоном, комп'ютером, телевізором і т.п. [6].

Вибір архітектури залежить від безлічі умов, і в першу чергу - від щільності розміщення абонентів. Але орієнтовно можна висловитися за

доцільність застосування системи FTTB для багатоповерхових житлових будинків. Для приватної забудови або офісів, в залежності від платоспроможності замовника і його потреби в високошвидкісних додатках, більше підійде FTTH [18].

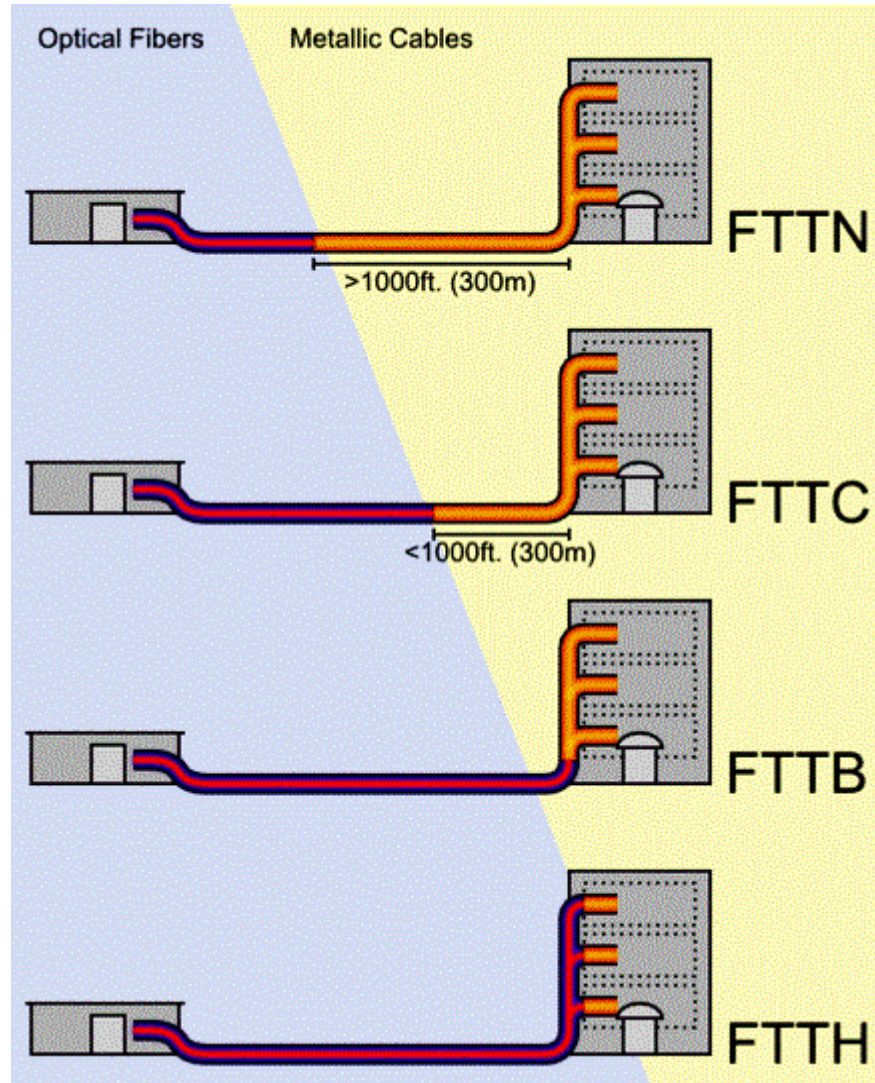


Рисунок 1.1 Архітектури FTТх

### 1.3 Опис мережі FTТН

Мережа FTТН (волокно до абонента) заснована на волоконно-оптичній мережі доступу, яка підключає велику кількість кінцевих користувачів до центрального вузла, званому мережевим вузлом (АТС), вузлом агрегації або точкою присутності (POP). Кожен такий вузол включає в себе необхідне активне обладнання для передачі даних до кінцевого користувача,



використовуючи оптичне волокно. Кожен мережевий вузол в межах великих міст або областей підключається до єдиної волоконно-оптичної транспортної мережі [4].

До мережі доступу можуть бути підключені:

- Фіксована бездротова антенна мережа, наприклад, бездротова LAN або WiMAX;
- Базові станції мобільного зв'язку;
- Кінцеві користувачі, які живуть у приватних або багатоквартирних будинках;
- Великі будівлі (школи, лікарні, бізнес центри);
- Охоронне обладнання (камери спостереження, пристрої охоронної сигналізації).

#### 1.4 Місце розгортання мережі FTTH

Задача підключення кінцевого користувача по волокну може потребувати наявності волоконно-оптичної інфраструктури, розташованої в місцях загального або приватного користування.

Фізичне середовище розгортання мережі FTTH може бути розділена на:

- Місто;
- Котеджне містечко;
- Сільська місцевість;
- Типи будівель і населеність - приватні або багатоквартирні будинки.

Необхідно враховувати, що фізичне середовище розгортання мережі залежить не тільки від різноманітної щільності забудови (на км<sup>2</sup>), але і від специфічних умов (типів) забудови. Саме ці типи забудови є ключовим фактором вибору архітектури мережі. Визначено такі типи забудови:

- Greenfield – новобудови, де розгортання мережі відбуватиметься одночасно з будівництвом будинків;
- Brownfield – будівлі вже побудовані, але мають застарілу кабельну інфраструктуру;

– Overbuild – будівлі вже побудовані і мають сучасну кабельну інфраструктуру.

При проектуванні і будівництві мереж FTTH важливо розуміти взаємини між власниками мереж і операторами, щоб уникнути виникнення будь-яких конфліктів через функціональні або економічні вимоги [2].

### 1.5 Оптичне волокно для мережі FTTH

Оптичне волокно є так званим «каналом для передачі світлового сигналу», що дозволяє транспортувати імпульси лазерного випромінювання, що генеруються лазером або іншими оптичними джерелами випромінювання, до оптичного приймача.

Конструктивно оптичне волокно складається з серцевини, оболонки і зовнішнього покриття. Серцевина - це світлопередаюча частина волокна, тобто серцевина є так званим оптичним каналом, через який поширюється світлове випромінювання.

Оболонка забезпечує відображення світла в серцевину волокна таким чином, щоб світлові хвилі поширювалися тільки по серцевині волокна і не йшли за його межі. Захисна оболонка забезпечує механічну міцність волокна. Такі буферні оболонки зазвичай бувають багатошаровими, виготовляються з полімерних матеріалів і мають діаметр від 250 до 900 мкм. Діаметр серцевини оптичного волокна може мати різні значення в залежності від типу волокна. Існує велика кількість параметрів, що характеризують передачу оптичного сигналу в волокні. Два основних параметри - це загасання і дисперсія.

Загасання - це зменшення інтенсивності світлового променя (сигналу) в залежності від відстані при його проходженні через серцевину волокна. Загасання сигналу в волоконній оптиці зазвичай вимірюють в одиницях дБ, а загасання сигналу в оптичному волокні - в дБ/км. Загасання - важливий фактор, що обмежує передачу цифрового сигналу на великі відстані. Основне

ослаблення випромінювання в оптичних системах викликано розсіюванням, поглинанням і відбиттям в місцях з'єднання волокна і в самому волокні.

Дисперсія – це розсіювання в часі спектральних і хвильових (модових) складових оптичного сигналу. Існують три типи дисперсії: міжмодова, хроматична і матеріальна. З огляду на те, що практично неможливо гарантувати ідеальне проходження світлового випромінювання строго по витягнутій лінії, часто створюється така ситуація, що імпульс містить кілька хвиль (мод), які приходять до приймача не одночасно, а з деяким інтервалом часу. Ті моди, які проходять прямолінійно, швидше добираються до кінця волокна, інші - зигзагоподібно і, отже, трохи запізнюються. Цей часовий діапазон проходження різних хвиль або мод одного випромінювання називається міжмодовою дисперсією.

Існують різні типи оптичних волокон. Для побудови мереж FTTH зазвичай використовується одномодове волокно, однак в деяких випадках можливе використання багатомодового волокна. Вибір типу волокна залежить від безлічі факторів, деякі з яких наведено нижче:

- 1) Архітектура мережі - архітектура мережі залежить від необхідної швидкості передачі даних по волокну, а також від максимально можливого оптичного бюджету мережі. Обидва ці фактори впливають на вибір волокна.
- 2) Розмір мережі - розмір мережі може визначатися кількістю підключених і абонентів, що обслуговуються. Однак в іншому контексті такий фактор визначається фізичної довжиною прокладених волоконно-оптичних ліній. При цьому оптичний бюджет лінії визначає наскільки далеко від абонента буде розташований мережевий вузол POP. На оптичний бюджет лінії впливають всі пасивні компоненти, встановлені на мережі, включаючи оптичне волокно.
- 3) Тип волокна, що використовується на існуючій мережі - якщо відбувається модернізація або розширення існуючої волоконно-

оптичної мережі, то необхідно, щоб новий сегмент мережі був сумісний з волокном, що використовується на існуючому сегменті.

- 4) Очікуваний термін експлуатації - мережі FTTH розробляються з очікуваним терміном експлуатації не менше 30 років. Тому дуже важливо, щоб при будівництві мереж FTTH враховувався можливий розвиток в майбутньому. Це ж стосується і вибору типу волокна, яке повинно використовуватися під час всього терміну експлуатації мережі.

Для побудови мереж FTTH зазвичай використовуються одномодові оптичні волокна стандарту ITUT G.652. Однак, зовсім недавно на ринку телекомунікацій з'явився новий тип оптичного волокна не чутливого до мікрозгибам, яке дозволяє зменшити значення оптичного загасання і мінімального радіусу вигину, що дуже важливо саме для мереж FTTH. Таке волокно стандартизовано в ITU G.657 [4].

## 1.6 Архітектура мережі FTTH

Найбільшого поширення набули два способи (топології) організації мережі доступу FTTH - «точка-багато точок» на базі пасивної оптичної мережі PON (рис.1.2 а) і «точка-точка», яка зазвичай використовує Ethernet технології (рис.1.2 б).

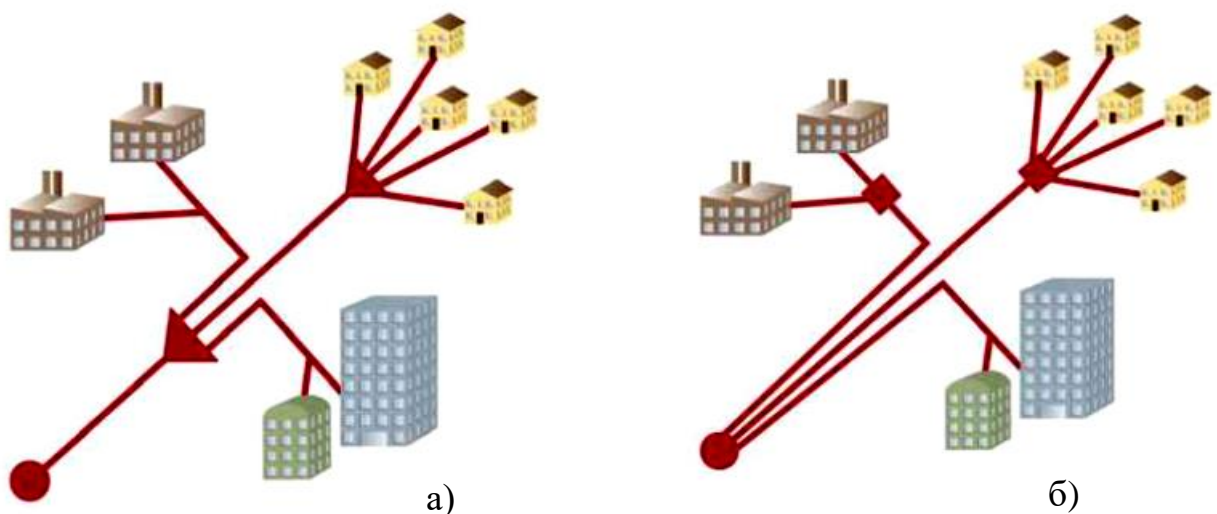


Рисунок 1.2 а) Пасивна оптична мережа б) Активний Ethernet

У топології «точка-точка» для розподілу оптичного сигналу використовуються активні мережеві пристрої (комутатори, маршрутизатори, мультиплексори), в результаті чого трафік, що виходить із обладнання, розташованого в точці присутності (POP), направляється безпосередньо тому користувачеві, якому він адресований. Іншими словами, в цьому випадку імітується оптичне з'єднання «точка - точка». Найбільшого поширення в таких мережах отримав протокол Ethernet, а самі мережі стали називатися «активними оптичними Ethernet-мережами» або активним Ethernet. Така топологія може також включати в себе технології PON шляхом розміщення пасивних оптичних розгалужувачів (сплітерів) в точці доступу [4].

У топології «точка-багато точок» для розподілу оптичного сигналу використовують пасивне обладнання (сплітери). Така технологія має назву PON. Завдяки цим оптичним розгалужувачем, лише одним оптичним волокном можна підключити до 128 абонентів. Саме тому ця технологія набуває популярності у сучасних оптичних мережах доступу.

### 1.7 Ethernet FTTH (P2P)

Пасивна оптична мережа (PON) і технології Ethernet «точка-точка» були розгорнуті по всьому світу. Вибір тієї чи іншої технології залежить від багатьох факторів, включаючи демографічну ситуацію і географічне розташування мережі, специфічні параметри розгортання, капіталовкладення і т.п. Зокрема, обране рішення в великій мірі залежить від легкості побудови пасивної інфраструктури мережі. Тому на сучасному ринку телекомунікацій обидві технології є прийнятними.

Мережі Ethernet будуються в основному за схемою, коли кожен абонент, використовуючи одне призначене волокно, підключається до Ethernet комутатора, розташованому на мережевому вузлі POP. Така схема побудови є найбільш простою і відкритою [4].

### 1.7.1 Загальні відомості про архітектуру мережі

Архітектура Ethernet FTTH передбачає використання на території абонента простих пристроїв підключення до мережі (customer premise equipment, CPE), що володіють достатньою функціональністю для забезпечення зв'язку з мережею доступу і доставки всього спектра послуг кожному абоненту. Ці пристрої Ethernet CPE коштують недорого і зазвичай розміщуються в квартирах або будинках абонентів [4].

Топологія кабельної інфраструктури для будівництва волоконно-оптичних рішень «точка-точка» може здатися ідентичною PON. Однак кількість волокон/кабелів між POP і точкою концентрації волокон буде значно більше, ніж в мережах PON. Лінійні оптичні кабелі, які приходять від мережевого вузла POP, підключаються до точки розподілу. Ця точка може розташовуватися як в муфті під землею, так і в шафі зовнішньої установки. Від точки розподілу волокна йдуть до кінцевих користувачів. Ємність лінійних кабелів значно відрізняється від ємності кабелів абонентської розводки, і тому можливо, що способи прокладки і монтажу будуть відрізнятися при побудові двох ділянок мережі: магістрального і абонентського. При будівництві мережі можуть використовуватися як стандартні канали кабельної каналізації, так і альтернативні системи, наприклад, канали стічної каналізації або тунелі.

Волокна, що приходять в мережевий вузол POP, закінчуються в оптичному кросі (ODF), який являє собою гнучке рішення по організації волокон, що дозволяє підключати абонентів до будь-яких портів оптичних комутаторів, встановлених на мережевому вузлі.

Щоб організувати велику кількість волокон в досить обмеженому просторі необхідно мати компактний оптичний крос великого об'єму.

Необхідність швидкого виведення на ринок і зниження вартості для абонентів привели до появи мережевої архітектури на базі Ethernet-комутації. Передача даних по мережі Ethernet і Ethernet-комутація стали

приносити дохід на ринку корпоративних мереж і привели до зниження цін, появи закінчених продуктів і прискорення освоєння нових продуктів.

В основі перших європейських проектів мереж Ethernet FTTH лежала архітектура, при якій комутатори, розташовані на цокольних поверхах багатоквартирних будинків, були об'єднані в кільце за технологією Gigabit Ethernet.

Ця структура забезпечувала чудову стійкість до різного роду пошкоджень кабелю та була вельми рентабельною, але до її недоліків можна було віднести поділ смуги пропускання всередині кожного кільця доступу - (1 Гбіт/с), що давало в перспективі порівняно невелику пропускну здатність, а також викликало труднощі масштабування архітектури.

Потім широкого поширення набула архітектура Ethernet типу «зірка». Така архітектура передбачає наявність виділених оптоволоконних ліній (зазвичай одномодових, одноволоконних ліній з передачею даних Ethernet за технологією 100BX або 1000BX) від кожного кінцевого пристрою до точки присутності (point of presence, POP), де відбувається їх підключення до комутатора. Кінцеві пристрої можуть знаходитися в окремих житлових будинках, квартирах або багатоквартирних будинках, на цокольних поверхах яких розташовуються комутатори, що доводять лінії по всіх квартирах за допомогою відповідної технології передачі.

### 1.7.2 Переваги та недоліки

Переваги архітектури Ethernet FTTH (P2P) перед пасивною оптичною мережею:

- 1) Практично необмежена дискретна смуга пропускання – пряма оптоволоконна лінія може забезпечити практично необмежену смугу пропускання, що дозволяє досягти максимальної гнучкості при розгортанні сервісу в майбутньому, коли потреба в пропускну здатності зростає.

- 2) Відділення абонентських ліній – це властивість, притаманна архітектурам Ethernet FTTH. Воно важко реалізується в архітектурі пасивної оптичної мережі через загального характеру середовища передачі в дереві PON. Реалізація принципу відділення абонентських ліній стала головним критерієм вибору технології FTTH деякими новими компаніями в Європі, оскільки вони прагнули побудувати мережі, де доступ до інфраструктури оптоволоконної мережі доступу могли б мати кілька провайдерів.
- 3) Безпека – на сьогоднішній день виділена оптоволоконна лінія є найбільш захищеною середовищем (на фізичному рівні). Крім того, комутатори Ethernet, що використовуються в середовищах провайдерів, покликані забезпечити розподіл фізичного рівня портів і логічного рівня абонентів і мають безліч надійних функцій захисту, які в змозі запобігти практично всім спробам вторгнень [15].

Однак, архітектура Ethernet FTTH (P2P) має і свої недоліки, які іноді є ключовими при виборі між архітектурою Ethernet FTTH (P2P) і PON:

- 1) Велика витрата оптоволоконного кабелю - на відміну від мереж PON, в яких для надання послуг великій кількості абонентів потрібно лише 1 волокно, мережі Ethernet FTTH припускають використання оптоволоконних кабелів великої ємності вже на виході з точки присутності.
- 2) Потреба в майданчиках для розміщення обладнання в точках присутності - так як кожному абоненту надається виділений оптичний інтерфейс, то на майданчиках оператора буде зосереджено велике скупчення оптичних волокон. Обслуговування великого числа оптоволоконних ліній представляється дуже складним завданням, якщо відсутні новітні оптичні розподільні стійки, які дозволяють будувати точки присутності з декількома тисячами оптоволоконних ліній, що йдуть від лінійних споруд.



- 3) Результат обриву кабелю - з точки зору мережі Ethernet, найгіршим варіантом є обрив великого кабелю з кількома сотнями оптоволоконних ліній поблизу точки доступу або АТС. Для відновлення цього кабелю буде потрібно набагато більше часу, ніж для кабелю, що передає трафік PON, оскільки в ньому значно менше ліній.

## 1.8 PON

### 1.8.1 Огляд технології PON

PON (англ. Passive Optical Network - пасивна оптична мережа) - це найбільш перспективна технологія широкопasmового мультисервісного множинного доступу з оптичного волокна, що використовує хвильовий поділ трактів прийому/передачі і дозволяє реалізувати одноволоконну деревоподібну топологію «точка-багато точок» без використання активних мережевих елементів в вузлах розгалуження. При цьому архітектура PON володіє необхідною ефективністю нарощування вузлів мережі і пропускну здатності в залежності від дійсних і майбутніх потреб абонентів.

Іншими словами, PON – це повністю пасивна мережа, побудована на оптичному волокні і не має нічого, крім «скла», на шляху проходження Інтернету від провайдера до абонента. Все активне обладнання винесено в відносну безпеку житлових або не житлових будівель, а саме:

- на стороні провайдера розташовується головна станція, яка керує всією пасивної мережею, включаючи абонентські пристрої, і «наливає» трафік в мережу;
- на стороні абонента знаходяться приймально-передавальні конвертери, з яких, власне, і «випливає» трафік споживачам.

Наслідком цієї переваги є зниження вартості системи доступу, зменшення обсягу необхідного мережевого управління, висока дальність передачі і відсутність необхідності в подальшій модернізації розподільної мережі.

Хоча спочатку технологія і позиціонувалася як система широкосмугового абонентського доступу в житловому секторі, останнім часом намітилася тенденція в підключенні комерційних структур, бізнес центрів, установ і підприємств, а в майбутньому в міру здешевлення компонентів можливе застосування сегментів PON і в ролі первинних мереж, наприклад, для мережі базових станцій стільникового зв'язку або точок доступу Wi-Fi.

На сьогоднішній день багато провайдерів будують і масово впроваджують мережі PON, проявляючи революційний підхід у розвитку власної інфраструктури.

### 1.8.2 Види технологій PON

У сімействі PON існує кілька різновидів, що відрізняються, в першу чергу, базовим протоколом передачі (табл.1.1).

Таблиця 1.1 – Технології PON

Назва технології	BPON	EPON (GEPON)	GPON
Стандарт	ITU G.983	IEEE 802.3ah	ITU G.984.6
Смуга пропускання для прямого потоку	622 Мбіт/с	1,244 Гбіт/с	2,488 Гбіт/с
Смуга пропускання для зворотнього потоку	155 Мбіт/с	1,244 Гбіт/с	1,244 Гбіт/с
Ємність	32	32(64)	64
Максимальна довжина передачі, км	20	20	60

Спершу існувала технологія APON, вона функціонувала на передачу інформації в осередку структури АТМ з даними. В даному стандарті надавалася швидкість передачі прямого потоку 622 Мбіт/с і зворотного потоку по 155 Мбіт/с (симетричний режим) або 622 Мбіт/с в прямому потоці і 155 Мбіт/с у зворотному (асиметричний режим). У наш час APON

практично не використовується. Після удосконалення APON через деякий час призвело до формування нового етапу (стандарту) - BPON. У стандарті BPON швидкість потоків вже становила до 622 Мбіт/с в симетричному режимі або 1244 Мбіт/с і 622 Мбіт/с в асиметричному режимі [21].

Зокрема з'явилася можливість передачі ключових типів інформації (голосу, відео, даних), для відеоінформаційного потоку виділена довжина хвилі 1550 нм. BPON формує між окремими абонентами динамічний розподіл смуги. Після розвитку найбільш високошвидкісного стандарту GPON, використання BPON втратило свій сенс.

Застосування стандарту Ethernet в локальних мережах і створення на їх базі оптичних мереж, зумовило створення і розвиток стандарту EPON. Стандарт EPON, розрахований на передачу даних зі швидкістю зворотного і прямого потоку 1 Гбіт/с на основі IP-протоколу для 16 (або 32) користувачів. Через високу швидкість передачі, EPON еволюціонував в GEPON (Gigabit Ethernet PON), який належить до стандарту IEEE 802.3ah. Відстань передачі в подібних системах доходить до 20 км.

Для операторів зв'язку, що формують великі розгалужені мережі з системами зберігання, успішною є технологія GPON, вона несе в собі лінійку APON - BPON, але з високою швидкістю передачі - 1244 Мбіт/с і 2488 Мбіт/с (в асиметричному режимі) і 1244 Мбіт/с (в симетричному режимі). За фундамент був обраний протокол SDH. Імовірність підключення до 32 (або 64) користувачів на дистанції 20 км (з перспективою підвищення до 60 км). GPON підтримує як трафік ATM, так і IP, голос та відео.

Технологія GEPON базується на стандартах Ethernet, які вже працюють зі швидкостями 10 Гбіт/с і мають прийнятну вартість. Тому цілком передбачувані поява стандарту 10GEPON і еволюція платформ GEPON до 10 Гбіт/с. У липні 2007р. IEEE випустила першу чернетку стандарту 10GEPON. У ньому передбачається можливість роботи 10GEPON на довжинах хвиль, відмінних від GEPON, що допускає одночасну роботу GEPON і 10GEPON на одному волокні. У вересні 2009р. прийнятий стандарт IEEE P802.3avTM-2009

для пасивних оптичних мереж 10 Гбіт/с Ethernet (10G-EPON), також відомий як "Характеристики фізичного рівня і Параметри управління пасивних оптичних мереж" (Physical Layer Specifications and Management Parameters). Стандарт IEEE 802.3av10G-EPON підтримує можливість організації симетричних і асиметричних каналів. Симетричний варіант працює зі швидкістю 10 Гбіт/с як в вихідному, так і в низхідному напрямках. Асиметричний варіант має на увазі, що послуги (наприклад, IPTV або відео за запитом) вимагають широкого каналу в бік користувача і значно меншого каналу в бік оператора. У стандарті IEEE 802.3av10G-EPON канали в асиметричному режимі мають смугу пропускання 10 Гбіт/с і 1 Гбіт/с відповідно. Ресурс ВОЛЗ в 10GEPON-мережах в 4 рази перевищує ресурс в рішеннях GPON [20].

Незважаючи на те, що технологія GPON має достатній запас по широкополосності на найближчі роки, нова технологія XG-PON вже стандартизована. Вона являє собою природну еволюцію PON технологій, що дозволяє збільшити в 4 рази швидкість передачі даних (до 10 Гбіт/с) одночасно зі збільшенням довжини лінії з 20 км до 60 км.

### 1.8.3 Принципи побудови мереж на базі PON

Суть технології PON полягає в тому, що між приймально-передавальним модулем центрального вузла OLT (Optical line terminal) і віддаленими абонентськими вузлами ONT (Optical network terminal) створюється повністю пасивна оптична мережа, що має топологію дерева (рис.1.3). У проміжних вузлах дерева розміщуються пасивні оптичні розгалужувачі (сплітери) - компактні пристрої, які не потребують живлення і обслуговування. Один приймально модуль OLT дозволяє передавати інформацію безлічі абонентських пристроїв ONT. Число ONT, підключених до одного OLT, може бути настільки великим, наскільки дозволяє бюджет потужності і максимальна швидкість приймально-передавальної апаратури [19].

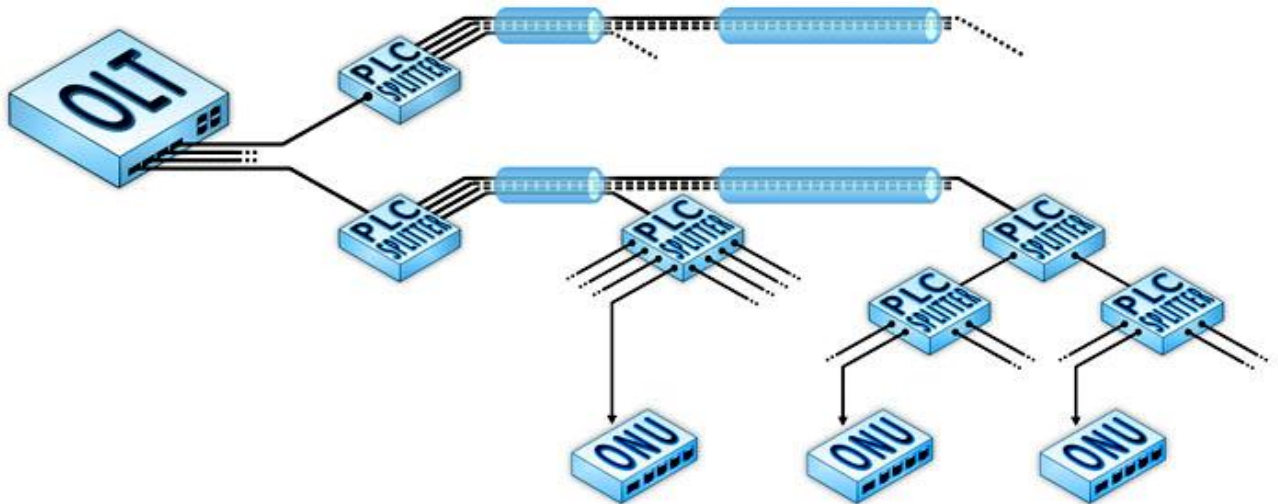


Рисунок 1.3 - Архітектура PON мережі

Всі абоненти мережі PON приєднані до провайдерського обладнання по одному волокну. Передача разом з прийомом відбуваються на різних довжинах хвиль. Для того щоб абонентські сигнали не змішувалися в волокні, кожному окремого абонентському пристрою завжди виділяється певний квант часу, в період якого він може передавати сигнал.

Для передачі прямого і зворотного каналів використовується одне оптичне волокно, смуга пропускання якого динамічно розподіляється між абонентами, або два волокна в разі резервування. Спадний потік (downstream) від центрального вузла до абонентів йде на довжині хвилі 1490 нм і 1550 нм для відео. Висхідні потоки (upstream) від абонентів йдуть на довжині хвилі 1310 нм з використанням протоколу множинного доступу з часовим поділом (TDMA).

Для побудови PON використовується топологія «точка –багато точок» і сама мережа має деревоподібну структуру. Кожен волоконно-оптичний сегмент підключається до одного прийомопередавачу в центральному вузлі (на відміну від топології «точка - точка», що також дає значну економію у вартості обладнання). Один волоконно-оптичний сегмент мережі PON може охоплювати до 32/64 абонентських вузлів у радіусі до 20 км для технологій

EPON/BPON і до 128 вузлів в радіусі до 60 км для технології GPON. Кожен абонентський вузол розрахований на звичайний житловий будинок або офісний будинок і в свою чергу може охоплювати сотні абонентів. Всі абонентські вузли є термінальними, і відключення або вихід з ладу одного або декількох абонентських вузлів ніяк не впливає на роботу інших.

Пасивна ділянка мережі АД на базі PON будується за тими самими принципами, що і традиційна міська телефонна мережа абонентських ліній і зазвичай складається з трьох ділянок:

- магістральної (від АТС до ОРШ);
- розподільчої (від ОРШ до поверхової розподільної коробки);
- абонентської проводки (від поверхової розподільної коробки до абонентського пристрою ONT).

Магістральний сегмент мережі будується з використанням шафових районів. Кінцевими пристроями для магістрального кабелю є оптичний крос високої щільності ODF OLT на АТС з одного боку і оптична розподільна шафа (ОРШ) FDT з іншого. При цьому магістральна мережа може будуватися по топології "зірка", "кільце", "шина" або комбінації зазначених топологій [3].

З метою підвищення надійності мережі застосовують міжшафове або паралельне включення з підключенням резервних волокон на резервні порти сплітера, міжшафове включення від різних АТС, включення абонентів одного будинку від різних ОРШ. Ємність магістрального кабелю і тип ОРШ визначають виходячи з потужності шафового району і чисельності абонентів PON.

При будівництві мереж абонентського доступу найбільшого поширення набули три основні типи оптичних розподільних шаф:

- ОРШ малої ємності: ОРШ-М-ВОК32-64SC - вхідний ВОК - до 32 ОБ, комутаційна панель на 64 роз'єму SC;
- ОРШ середньої ємності: ОРШ-С-ВОК48-96SC - вхідний ВОК - до 48 ОБ, комутаційна панель на 96 SC;

- ОРШ великої ємкості: ОРШ-Б-ВОК96-292SC - вхідний ВОК - до 96 ОВ, комутаційна панель на 292 SC [3].

При дотриманні вимог щодо резервування дані типи ОРШ можуть забезпечити підключення: ОРШ-М ~ 1500; ОРШ-С ~ 2000; ОРШ-В ~ 4000 абонентів. ОРШ бажано встановлювати поряд з розподільними шафами міської телефонної мережі або замість них. Це обумовлено:

- наявністю кабельної каналізації поблизу шафи;
- відсутністю необхідності в додаткових узгодженнях з землекористувачами, власниками житлових приміщень, різними експлуатуючими організаціями;
- наявністю, як правило, власного контуру заземлення у існуючої розподільної шафи або можливістю приєднання до захисного заземлення будинку, яке можна використовувати для заземлення ОРШ і броні оптичного кабелю [3].

#### 1.8.4 Переваги та недоліки технології PON (в порівнянні з класичною схемою FTTH)

До переваг архітектури PON варто віднести:

- 1) Економія оптоволоконного кабелю, до 128 абонентів на одне волокно. Найбільш суттєвим аспектом розгортання мереж FTTH на базі PON є економія оптоволоконних ліній на ділянці від оптичних розгалужувачів до центральної АТС або точки присутності [15].

- 2) Економія портів в точці присутності, де виконується агрегування:

- по-перше, в топології «точка-точка» використовується виділений оптичний інтерфейс для кожного абонента, що значно здорожує цю архітектуру в порівнянні з «точка-багато точок», де порти спільно використовуються великим числом абонентів;

- по-друге, якщо припустити наявність 100-відсоткової передплати на сервіс FTTH, то для точки присутності мережі на базі PON потрібно наполовину менше обладнання, ніж для мережі Ethernet FTTH [15].

3) Відсутність проміжних активних вузлів.

4) Низький рівень споживання енергії.

5) Масштабованість. Деревоподібна структура мережі доступу дає можливість підключати нових абонентів найекономічнішим способом.

Введення нових вузлів не впливає на діючу мережу.

6) Можливість резервування як всіх, так і окремих абонентів.

7) Надійність. У проміжних вузлах дерева знаходяться тільки пасивні оптичні розгалужувачі, які не потребують обслуговування.

8) Накладення відеосигналу. Оскільки PON за своєю природою є ширококомовним середовищем, деякі провайдери знаходять її привабливою для відеомовлення, що дозволяє використовувати коаксіальне розведення у абонента для передачі цифрового телевізійного сигналу. Проте широкого поширення набуло додавання другої оптоволоконної лінії до топології P2P FTTH «точка-точка». В даний час провайдери розгортають гібридні архітектури, що використовують топологію «точка-точка» для всіх інтерактивних послуг, включаючи IP-телебачення, і топологію з накладенням додаткової пасивної оптичної мережі для поширення відеомовлення [15].

9) Ефективне використання смуги пропускання оптоволоконна.

10) Швидкість до 2,488 Гбіт/с по низхідному потоку і 1,244 Гбіт/с по висхідному потоку.

До недоліків можна віднести:

1) Загальна смуга пропускання. Смуга пропускання, в дереві оптоволоконних ліній мережі PON, використовується якомога більшою кількістю абонентів, що дозволяє отримати прибуток за рахунок зниження витрат на кожного абонента [15].

Хоча технологія GPON забезпечує загальну пропускну здатність спадного потоку, що дорівнює 2,5 Гбіт/с, вона не може відповідати зросту сервісів і майбутніх вимог абонентів в довгостроковій перспективі, оскільки потреби в пропускній здатності зростають експоненціально. Більш того, деяку частину смуги пропускання необхідно резервувати для поточкових



послуг (наприклад, IPTV), що призводить до скорочення загальної смуги пропускання [15].

2) Необхідність шифрування. Оскільки PON - це технологія з загальним середовищем передачі, то необхідне шифрування всіх потоків даних.

В технології GPON проводиться шифрування тільки спадного потоку, а використання надійного вдосконаленого стандарту шифрування AES з 256-розрядними ключами дозволяє підвищити безпеку особистої інформації кінцевих користувачів і надає сервіс-провайдерам можливість запобігти розкраданню послуг. Однак надійність стандарту AES обумовлює зниження продуктивності [15].

3) Висока робоча швидкість передачі даних. У зв'язку з використанням в пасивних оптичних мережах PON загального передавального середовища, кожний термінал (ONU або OLT) змушений працювати на сукупній швидкості передачі даних [15].

4) Необхідність більшої потужності оптичного сигналу. При кожному розгалуженні в співвідношенні 1: 2 енергетичний потенціал лінії зв'язку падає на 3,4 дБ. Отже, при розгалуженні в співвідношенні 1:64 енергетичний потенціал лінії зв'язку зменшується на 20,4 дБ (еквівалентно відношенню потужності 110). Таким чином, в цій моделі всі оптичні передавачі в архітектурі PON повинні забезпечувати в 110 разів більшу потужність оптичного сигналу в порівнянні з архітектурою FTTH «точка-точка» при передачі на ті самі відстані [15].

5) Обслуговування, пошук і усунення несправностей. Пасивні оптичні розгалужувачі не можуть передавати інформацію про несправності в центр управління мережею. Тому за допомогою звичайного оптичного тимчасового рефлектометра (OTDR) дуже складно виявити будь-яку несправність оптоволоконної лінії між розгалужувачем і точкою термінації оптичної мережі (ONT) абонента. Це значно ускладнює пошук і усунення несправностей в мережах PON і підвищує витрати на їх експлуатацію [15].

### 1.8.5 Перспективи розвитку технологій PON

Наступним ефективним кроком по збільшенню швидкості передачі побудованих систем PON є застосування систем оптичного ущільнення WDM (WDM PON – мультиплексування з поділом по довжині хвилі PON). У Рекомендації ITU-T G.983.2 описана можливість передачі сигналів на виділених для кожного абонента довжинах хвиль. У технології WDM немає багатьох обмежень і технологічних труднощів, властивих TDM. Для підвищення пропускної здатності замість збільшення швидкості передачі в єдиному складеному каналі, як це реалізовано в технології TDM, в технології WDM збільшують число каналів (довжин хвиль), що застосовуються в системах передачі. Тобто, у мережі передається загальний потік, а кожний абонентський термінал має оптичний фільтр для виділення своєї довжини хвилі. Зростання пропускної здатності при використанні технології WDM здійснюється без дорогої заміни оптичного кабелю [12].

Застосування технології WDM дозволяє здавати в оренду не тільки оптичні кабелі або волокна, а й окремі довжини хвиль, тобто реалізувати концепцію "віртуального волокна". По одному волокну на різних довжинах хвиль можна одночасно передавати найрізноманітніші програми - кабельне телебачення, телефонію, трафік Інтернет, "відео на вимогу" і т.д. Як наслідок, частина волокон в оптичному кабелі можна використовувати для резерву. У технології WDM канали повністю незалежні, а тому вона дає більшу гнучкість, ніж технологія TDM [4].

Технічно можливо забезпечити продуктивність системи зі швидкостями близько 4-10 Гбіт/с по кожному каналу. Після такої реконструкції провайдери отримають можливість налаштовувати пропускну спроможність відповідно до вимог клієнта і успішно додавати або видаляти пристрої ONU без втручання в загальну систему. Тобто, в майбутньому впровадження систем WDM PON принесе реальні переваги операторам при незначних витратах [12].

### 1.9 Постановка задачі

Завдання дипломного проекту, які необхідно вирішити:

- обрати населений пункт, де буде розгорнута мережа FTTH;
- створити характеристику об'єкту;
- зробити загальну схему мережі;
- розрахувати оптичний бюджет мережі;
- обрати обладнання мережі;
- розрахувати загальний трафік.

### 1.10 Висновки

У першому розділі було розглянуто архітектури та переваги оптичних мереж абонентського доступу, описано особливості архітектури мережі FTTH, наведені можливі рішення побудови мережі абонентського доступу на базі технології FTTH.

Наведені особливості мереж FTTH та PON, їх переваги та недоліки та сформульовані задачі кваліфікаційної роботи.

## 2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

### 2.1 Вибір сільського району та технології побудови мережі FTTH

Для проектування оптичної мережі у сільському районі обрано населений пункт с. Степове, Дніпровського району, Дніпропетровської області. Такий вибір обумовлений тим, що:

- по-перше, оптична мережа відсутня, а мідна кабельна лінія повністю вирізана.
- по-друге, район має зручну зосереджену навколо АТС архітектуру.

Загальна площа об'єкту проектування – 1,04 км<sup>2</sup>. Приблизна кількість домогосподарств населеного пункту – 250. Приблизна кількість мешканців – 800 осіб. На незначній площі проектування, щільність розташування домогосподарств є великою. Загальна схема району наведена на рис.2.1.

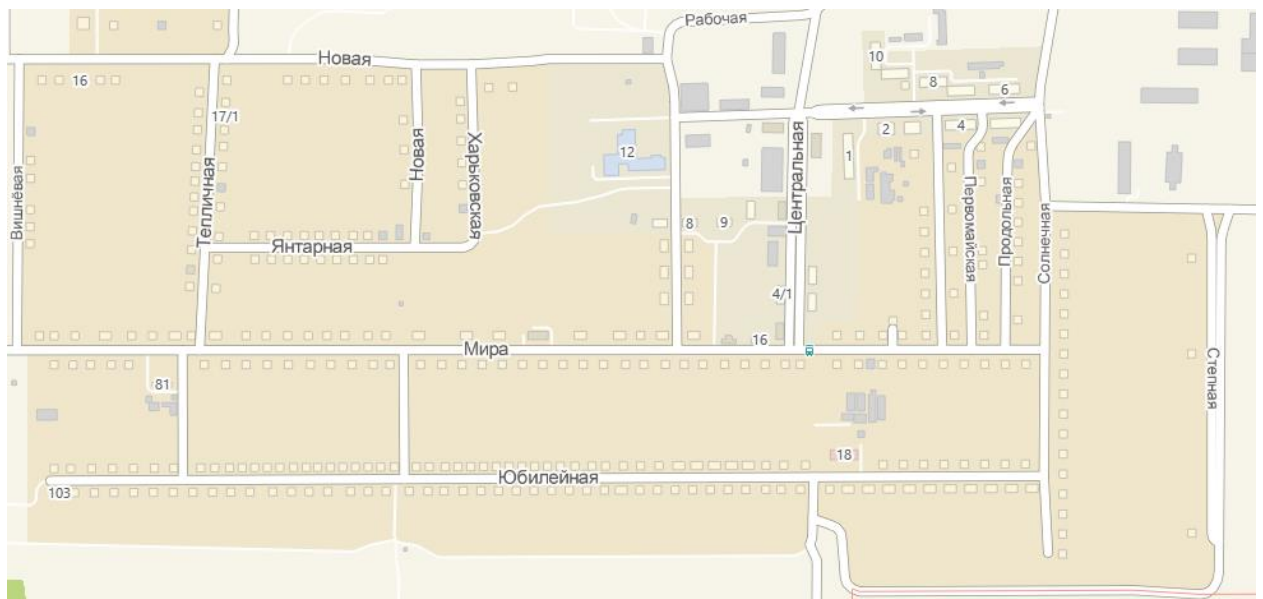


Рисунок 2.1 - Схема району проектування мережі

Зазвичай, єдиний можливий спосіб прокладання розподільчого кабелю в сільських районах – це його підвіс на існуючі опори ліній електропередачі. При виборі технології побудови мережі FTTH слід враховувати, що використання багатоволоконних кабелів на опорах ЛЕП – не доцільне.

Активна мережа FTTH вимагає використання оптоволоконних кабелів великої ємності вже на виході з точки присутності, на відмінно від пасивної оптичної мережі в яких для надання послуг великій кількості абонентів потрібно лише 1 волокно. Проаналізувавши переваги та недоліки пасивних оптичних мереж, у якості технології побудови мережі FTTH було обрано технологію PON.

Оскільки район проектування сільська місцевість з незначної кількістю мешканців, пасивна мережа буде розгорнута на обладнанні стандартів GPON.

## 2.2 Опис проектованого населеного пункту

На території села Степове, за адресою вул. Центральна, 7, розташована АТС, яка може бути майданчиком для розташування активного обладнання PON. Схема проектованої мережі PON показана на рисунку 2.2.

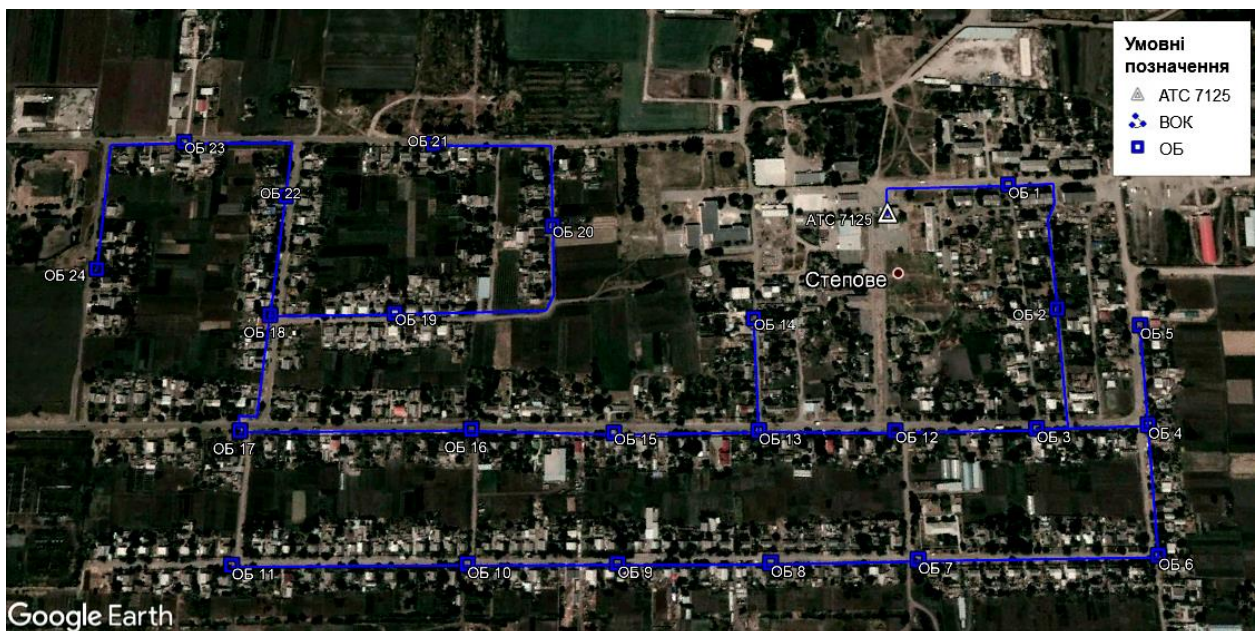


Рис.2.2 - Схема запропонованої мережі PON

У проектованій мережі PON загальна кількість довжини траси, що прокладається складає 4655 метрів. Отже, з урахуванням запасу кабелю 5%,

знадобиться 4888 метрів оптичного кабелю. З них ВОК 8 потрібно 1606 метрів, ВОК 4 – 3283 метри. Точкою розподілу волокон, у якій волокна розподільчих кабелів поділяються та зрощуються з індивідуальними волокнами кабелів абонентської розводки, було обрано оптичні бокси для зовнішнього встановлення. Загальна кількість ОБ – 24.

Для встановлення сплітерів першого каскаду з коефіцієнтом ділення 1:8 було обрано ОБ № 8, №13, №18. Таке розташування сплітерів першого каскаду дозволить раціонально використовувати оптичні волокна кабелів.

Схематичне зображення підключення абонентів до оптичного боксу, який розташований на опорі ЛЕП зображено на рисунку 2.3.

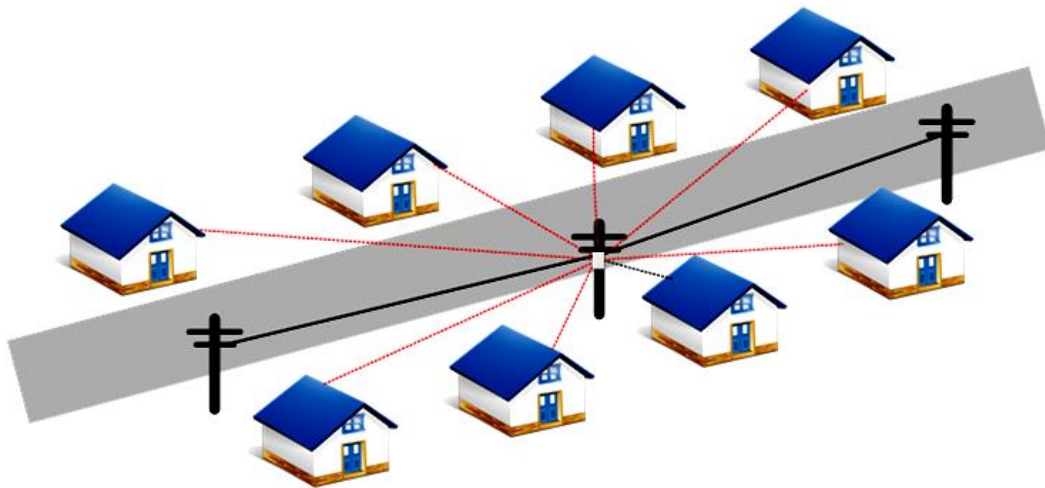


Рисунок 2.3 - Підключення абонентів до оптичного боксу

Схема локального підключення від АТС і до приміщення абонента наведена на рис. 2.4.

## 2.2 Оптичний бюджет проектованої мережі PON

### 2.2.1 Особливості розрахунку оптичного бюджету

Для того, щоб правильно побудувати дерево PON, необхідно враховувати, в першу чергу, оптичні втрати, що вноситься пасивним обладнанням. Оптичний бюджет ВОЛЗ, або орієнтовне загасання оптичної лінії – це прогнозована сума втрат оптичного сигналу на всіх компонентах

ВОЛЗ від проєктованого OLT до максимально віддаленого абонента (ONU). Оптичний бюджет ВОЛЗ розраховується в основному на етапі проєктування лінії і підбору каналотворюючого обладнання.

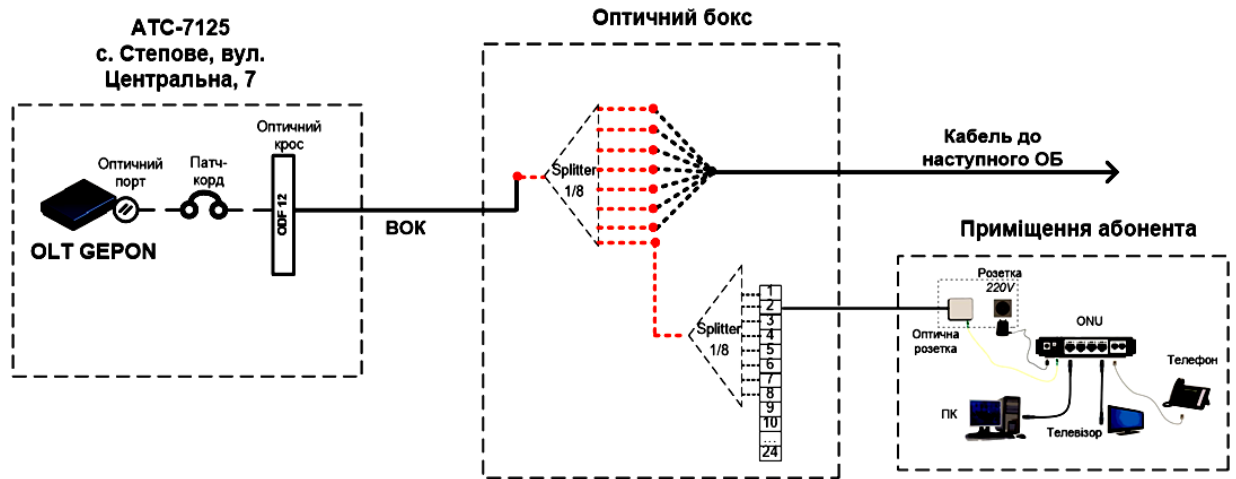


Рисунок 2.4 - Схема підключення абонента

Теоретично, PON може покрити територію радіусом 20 км. Практично – все залежить від бюджету втрат на конкретній ділянці дерева. Для розрахунків необхідно керуватися найгіршими показниками затухання, чутливості і потужності випромінювання передавачів [13].

Основними джерелами втрат в мережах PON є:

- а) Загасання в ВОК, яке залежить від його довжини і коефіцієнта загасання ОБ на певній довжині хвилі (вказується в технічних характеристиках кабелю). На це загасання впливають такі фактори, як: втрати на розсіювання; втрати на поглинання в матеріалі волокна; поглинання на домішках; кабельні втрати. Втрати на розсіювання і поглинання називаються власними втратами, в той час як кабельні втрати, в силу їх природи, називають також додатковими втратами [7].
- б) Втрати в зварних з'єднаннях. Величина цих втрат залежить від втрат в кожному з'єднанні і від їх загальної кількості. Втрати на зварних з'єднаннях складають 0,05 дБ;



- в) Втрати в роз'ємних з'єднаннях. Величина цих втрат залежить від втрат в кожному з'єднувачі і їх загальної кількості. Загасання на конекторі прийнято вважати 0,5 дБ;
- г) Втрати в сплітері (розгалужувачах ОВ). Величина цих втрат залежить від коефіцієнта розгалуження сплітера (табл. 2.1);
- д) Кабельні втрати. При будівництві і експлуатації оптичних кабельних ліній можлива поява так званих експлуатаційних втрат. Вони обумовлені деформацією і вигинами волокон, що виникають при накладенні покриттів і захисних оболонок при виробництві кабелю, а також в процесі його прокладки. Крім того, до уваги береться запас на старіння ОВ і додаткові вставки, а також з'єднання при проведенні в подальшому ремонтних робіт. Величина запасу на кабельні втрати становить 3 дБ;

Таблиця 2.1 – Загасання в сплітерах

Планарні сплітери		Зварні сплітери		
Дільник	Загасання, дБ	Дільник	Загасання на довжині хвилі 1310нм, дБ	Загасання на довжині хвилі 1550нм, дБ
1:2	4,3	50/50	3,17/3,19	3,12/3,17
1:3	6,2	45/55	3,73/2,71	3,73/2,72
1:4	7,4	40/60	4,01/2,34	3,92/2,32
1:6	9,5	35/65	4,56/1,93	4,69/1,96
1:8	10,7	30/70	5,39/1,56	5,53/1,57
1:12	12,5	25/75	6,29/1,42	6,28/1,28
1:16	13,9	20/80	7,11/1,06	7,21/1,06
1:24	16	15/85	8,16/0,76	8,17/0,82
1:32	17,2	10/90	10,08/0,49	10,21/0,60
1:64	21,5	5/95	13,70/0,32	12,83/0,35
1:128	25,5			

Сумарне загасання оптичної лінії всіх компонентів ВОЛЗ становить (формула 2.1):



$$A_{\Sigma} = a \times L_{\Sigma} + A_w \times N_w + A_c \times N_c + A_s, \text{ дБ} \quad (2.1)$$

$A_{\Sigma}$  – сумарне загасання сигналу, дБ;

$a$  – загасання сигналу на 1 км оптоволоконна, дБ;

$L_{\Sigma}$  – сумарна довжина оптоволоконна від OLT до кінцевого вузла, км;

$A_w$  – загасання сигналу на зварному з'єднанні, дБ;

$N_w$  – кількість зварних з'єднань на шляху проходження сигналу від OLT до кінцевого вузла, шт.;

$A_c$  – загасання сигналу на механічному поєднанні, дБ;

$N_c$  – кількість механічних з'єднань на шляху проходження сигналу від OLT до кінцевого вузла, шт;

$A_s$  – сумарне загасання сигналу на каскаді сплітерів, дБ.

Наступний крок - розрахунок оптичного бюджету потужності, але його можна прийняти рівним 30 дБ (виробник гарантує оптичний бюджет потужності 30 дБ). Все, що понад 30 дБ - необхідно тестувати.

Оптичний бюджет потужності визначається як різниця між потужністю передавача (SFP OLT трансивера) і чутливістю приймача в ONU.

Потужність SFP OLT: ~ +4 дБм;

Чутливість ONU: ~ -26 дБм.

Розрахунок бюджету втрат повинен підтвердити, що для кожного ланцюга загальна величина втрат (включаючи запас) не перевищує динамічний діапазон:

$$P \geq A_{\Sigma} + P_{\text{зап}}, \text{ дБ} \quad (2.2)$$

$P_{\text{зап}}$  – експлуатаційний запас PON, дБ.

Експлуатаційний запас необхідно передбачати на випадок пошкоджень в лінійному тракті, погіршення умов передачі і подальшого розвитку мережі. Зазвичай береться запас 3-4 дБ.

### 2.2.2 Розрахунок оптичного бюджету для проєктованого населеного пункту

PLC сплітери ділять сигнал рівномірно, тому у даному випадку немає сенсу рахувати загасання для кожної гілки - досить зробити обчислення тільки для одного кінцевого вузла, який є найвіддаленішим від OLT.

Для проєктованої мережі оптичний бюджет становитиме згідно з формули 2.1:

На довжини хвилі 1310 нм:

$$A_{\Sigma}=0,36 \times 2,53 + 0,05 \times 16 + 0,5 \times 4 + 21,4 = 25,11 \text{ дБ}$$

На довжини хвилі 1490 нм:

$$A_{\Sigma}=0,24 \times 2,53 + 0,05 \times 16 + 0,5 \times 4 + 21,4 = 24,807 \text{ дБ}$$

Оптичний бюджет потужності (динамічний діапазон) розраховується за формулою 2.3:

$$P = A_{\text{tr}} - A_{\text{rec}}, \text{ дБ} \quad (2.3)$$

$A_{\text{tr}}$  – потужність передавача;

$A_{\text{rec}}$  – чутливість ONU.

За формулою 2.3 оптичний бюджет потужності:

$$P = 4 - (-26) = 30 \text{ дБ}$$

Порівняння бюджету потужності зі згасанням в лінії зв'язку згідно (2.2):

$$P \geq A_{\Sigma} + P_{\text{зап}} = 30 \geq 25,11 + 4 \text{ дБ}$$

З розрахунку можна зробити висновок, що затухання в проектованій PONмережі не перевищує оптичної потужності гарантованої виробниками обладнання PON.

### 2.3 Розподільчий сегмент мережі

#### 2.3.1 Опис, вибір та особливості прокладання ВОЛЗ мережі PON

##### 2.3.1.1 Розподільні кабелі

Розподільні кабелі мають середню ємність і призначені для з'єднання первинної точки розподілу волокон мережі FTTH (FCP) з точкою концентрації абонентів (оптичними боксами). Кабелі можуть прокладатися в каналах кабельної каналізації, безпосередньо в ґрунті або підвішуватися на опорах.

Поширеним способом виконання розподільчої мережі в облаштованому і заселеному селищі є підвіска оптичних кабелів на опорах ліній електропередачі ЛЕП 0,38 кВ і повітряних лініях зв'язку (ПЛЗ). До переваг прокладки ВОЛЗ по опорах можна віднести скорочення термінів будівництва поряд зі зниженням капітальних і експлуатаційних витрат (необхідність відведення земель і погоджень з зацікавленими організаціями відсутня), зменшення масштабів можливих пошкоджень в місцях міської забудови та промзонах, а також незалежність від типів ґрунту [14].

І хоча повітряна прокладка оптичних кабелів істотно простіше підземної, потрібно відзначити і такі недоліки прокладки ВОЛЗ по опорах, як скорочення терміну служби через вплив навколишнього середовища, схильність підвищеним механічним напруженням при несприятливих погодних умовах, а також складності розрахунку при впливі навантажень в різних умовах експлуатації.

### 2.3.1.2 Вибір волоконно-оптичного кабелю

З огляду на комплекс таких параметрів, як вартість різних типів кабелів, їх експлуатаційні характеристики, обсягу переданої інформації, перспективи розвитку мережі, відстані від головного комутаційного вузла, обраний діелектричний самонесучий, волоконно-оптичний кабель з одномодовими волокнами. Обраний кабель вітчизняного виробника марки ОКАДт (виробництво «Одесакабель») спеціально призначений для підвішування на опорах ліній електропередачі. Оптичний кабель внутрішньозоновий діелектричний, з бронею з склопластикових прутків.

Задані швидкості, технологія і відстані передачі інформації диктують застосування в якості середовища передачі одномодове волокно. Конструкція волоконно-оптичного кабелю і кількість волокон визначені в залежності від призначення кабелю, цілі використання, умов прокладки, монтажу, і експлуатації, вимог стандартів мережі зв'язку та індивідуальних особливостей застосування.

Конструкція ВОК прийнятого типу (рис.2.5) – повністю діелектрична, стійка до зовнішніх електромагнітних впливів і призначена для монтажу на лініях електропередачі. Повив силових елементів у вигляді високоміцних синтетичних ниток забезпечує гнучкість, малу вагу і діаметр кабелю.[21] Характеристики кабелю наведені у таблиці 2.2.

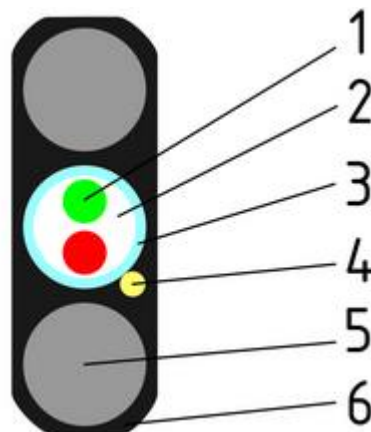


Рисунок 2.5 - Конструкція кабелю ОКАДт

Типова конструкція:

- 1) Оптичне волокно ІТУ-Т G.652 D.
- 2) Тиксотропний гідрофобний заповнювач.
- 3) Центральна трубка.
- 4) Шнур ріжучий.
- 5) Силовий елемент - два склопластикових прутки, розташованих позовжньо.
- 6) Зовнішня оболонка - поліетилен середнього тиску.

Таблиця 2.2 – Характеристика кабелю ОКАДт

Характеристика	Марка кабелю ОКАДт-	
	Д(1,5)П-4Е1	Д(1,5)П-8Е1
Тип ОВ	ІТУ-Т G.652 D	
Кількість ОВ в кабелі, шт	4	8
Діаметр кабелю, мм	6,7x3,1(±0,5)	7,2x3,6(±0,5)
Діапазон допустимих температур при монтажі, °С	Мінімальна температура -40 Максимальна температура +60	
Допустиме розтягуюче навантаження, кН	1,5	1,5
Допустиме роздавлююче зусилля, Н/100 мм	1000	1000
Маса кабелю, кг/км	25	30
Максимальний радіус вигину, мм	Не менше 20 номінальних діаметрів кабелю	
Коефіцієнт хроматичної дисперсії, пс/(нм*км)	1310 нм - 3,5 1550 нм - 20	
Коефіцієнт загасання, дБ/км	1310 нм – 0,36 1550 нм – 0,22	

### 2.3.1.3 Особливості прокладання ВОК

Основними особливостями підвіски оптичних кабелів по опорах ЛЕП є:

- оптичний кабель підвішується на опорі нижче проводів лінії електропередачі на відстані не менше 1 м від них (зазвичай від землі відстань становить 46 м);

- при використанні технології PON по всій трасі досить підвісити одну лінію (нитку) оптичного розподільного кабелю. Відгалуження кабелів абонентської проводки виконують з однієї муфти (боксу) не більше ніж на 4-8 житлових будинків. Розміщувати муфти (бокси) на опорах біля кожного будинку недоцільно;
- в якості пристрою кріплення кабелів на опорі застосовують траверси або кронштейни. Для укладання запасу кабелів застосовують хрестоподібний пристрій типу ППМК або спеціальна шафа типу ШРМ. Дані пристрої не повинні заважати виконувати підйом на опори монтажникам електромереж для експлуатації ліній електропередачі;
- для забезпечення електробезпеки і виключення необхідності виконання заземлення, в якості кабелів розподільчої мережі та абонентської проводки, як правило, використовують повністю діелектричні оптичні кабелі (самонесучі або несучі з діелектричним тросом);
- для підвіски оптичних кабелів по опорах ЛЕП потрібне отримання технічних умов (ТУ) та погоджень від відповідних експлуатуючих організацій.

#### 2.3.1.4 Загальні вимоги про прокладанні оптоволоконних кабелів.

При прокладанні ВО кабелів слід виконувати такі вимоги:

- не допускати пошкодження зовнішньої оболонки кабелю;
- не допускати перекручування кабелю;
- хомути повинні затягуватися вручну без використання інструменту;
- тягнуче зусилля докладати рівномірно, без ривків;
- при прокладанні волоконно-оптичного кабелю необхідно враховувати, що його мінімальний радіус вигину 150 мм;
- максимальне зусилля, що додається при протягуванні кабелю, не повинно перевищувати допустиме значення для конкретного ВО кабелю;

Вимоги при прокладці волоконно-оптичних ліній зв'язку по існуючим опорам ліній електропередачі напругою 220В / 380В:

- заборонено закріплювати кабель до труб газової вентиляції та димовидалення;
- заборонено порушувати герметичність покрівлі будівлі;
- кабель не повинен стосуватися інших кабельних і дротяних ліній зв'язку, конструкцій даху та огорожень, якщо зіткнень уникнути не можливо, то зіткнення необхідно захистити металорукавом або металевою трубкою.
- провис кабелю повинен бути не більше 1,2 м на 50 м прольоту.

Тестування кабельних сегментів необхідно здійснювати за допомогою спеціалізованих вимірювальних приладів, що відповідають вимогам діючих стандартів.

### 2.3.2 Опис та вибір обладнання абонентської точки концентрації

#### 2.3.2.1 Оптичний бокс

Серед компонентів волоконно-оптичної мережі важливе значення має кросове обладнання, без якого не обходиться ні одна оптична мережа. Основним видом такого обладнання є оптичний бокс, який слугує для окінцювання оптичного кабелю і підключення до нього активних елементів.

Оптичний бокс, на відміну від муфти, як правило, являє собою не герметичну конструкцію і призначений для установки всередині приміщень. Випускаються також пило- і вологозахищені оптичні бокси, які можуть встановлюватися поза приміщеннями.

Конструктивно оптичний бокс (в залежно від моделі) виготовляється з пластику або металу. Для доступу всередину має знімну або кришку, що відкидається. Усередині розташовані елементи фіксації вводиться кабелю і силових елементів оптичного кабелю. Більшість моделей має два введення кабелю, але є також моделі великої місткості з великою кількістю введів кабелю [8].

Окінцювання оптичних волокон, як правило, проводиться шляхом приварки до кожного волокна оптичного пігтейлу - відрізка волокна в захисному буфері з попередньо змонтованим в заводських умовах оптичним коннектором необхідного типу. Для розміщення зварних з'єднань і волокон оптичний бокс оснащений однією або декількома сплайс-касетами.

Опираючись на коефіцієнт ділення розгалужувачів, кількість та волоконність кабелю, обрано оптичний кросово-розподільчий бокс середньої ємності FOB-05-24, призначений для закінцювання лінійного оптичного кабелю пігтейлами, розміщення оптичних конекторів усередині боксу, а також забезпечує виведення абонентських кабелів (рис.2.6). Бокс може застосовуватися у волоконно-оптичних мережах з глибоким проникненням оптики (FTTH, PON та інші).

Бокс FOB-05-24 дозволяє розмістити до 24 оптичних конекторів і вивести 24 абонентських FTTH кабелі. Є два вводи лінійного кабелю, які оснащені зажимними втулками, що забезпечують надійне ущільнення, а також два додаткових вводи у разі необхідності. Кабель кріпиться спеціальними притискачами, а для закріплення силових елементів кабелю бокс комплектується додатковими фіксаторами.



Рисунок 2.6 - Оптичний бокс FOB-05-24



Оптичний бокс FOB-05-24 має міцний корпус із стабілізованого до впливу ультрафіолетового випромінювання пластику. Спеціальний замок, розташований на кришці, обмежує доступ стороннім особам всередину боксу. Захист від вологи і пилу забезпечує гумова ущільнююча прокладка між кришкою і корпусом по всьому периметру. Вводи кабелів укомплектовані гумовими заглушками. Не допускається повне занурення боксу в воду в процесі експлуатації.

Всередині боксу розташована відкидна панель, яка з одного боку має панель для установки 24-х оптичних адаптерів типу SC і організатор волокон, а з іншого боку являє собою велику сплайс-касету, в якій передбачено місце для розміщення 48 зварних з'єднань волокон. Таким чином, крім 24-х з'єднань для відводів, можна розміщувати ще з'єднання транзитних волокон. У глибині боксу є ще один організатор, призначений для абонентських кабелів. Також тут можлива установка додаткових оптичних пристроїв в плоскому корпусі типу дільників, мультиплексорів та ін.

Кріплення боксу на стовпи здійснюється бандажною стрічкою шириною 10 мм за допомогою перехідних металевих пластин.

#### 2.3.2.2 Пасивні оптичні розгалужувачі

У зв'язку з початком широкого впровадження пасивних оптичних мереж (PON) значний інтерес викликають параметри і конструкції оптичних розгалужувачів (OR). Саме це додає мережі необхідну гнучкість архітектури, масштабованість, максимальне задоволення системним вимогам, економічність. В принципі OR вже досить тривалий час успішно застосовується на магістральних ділянках в мережах кабельного телебачення, там, де необхідно створення розгалуженої деревоподібної архітектури з рівномірним або нерівномірним розподілом оптичної потужності. Однак саме під час проектування та інсталяції PON розгалужувачі проявили себе ключовим елементом мережі [9].

Завдяки розгалужувачам пасивна оптоволоконна мережа отримує свої переваги:

- оптимальне використання оптоволоконного кабелю - сплітер ділить одне оптоволокно на кілька, не допускаючи ситуації, коли у кінцевих споживачів пропускна здатність використовується лише частково;
- невибагливість до умов експлуатації - для оптичних дільників не потрібно електроживлення та опалення при розміщенні, не потрібне налаштування і ремонт;
- економічність - сплітери дешевші активного обладнання, яке використовується в стандартних оптоволоконних мережах.

Якщо дільник має один вхід оптоволоконна, його можуть називати сплітером (коплером) Y-подібної форми. Сплітер з двома входами класифікують як такі, що мають X-подібну форму. Класика PON - Y-образні дільники. Для мереж зі складною конфігурацією використовуються X-образні, так як вони дають більше можливостей реалізації розгалуженої архітектури [9].

За технологією виробництва сплітери діляться на планарні і зварні.

У зварних дільників два волокна зварюються. Якщо потрібно отримати дільник X-подібний, залишають два входи і два виходи, якщо Y-подібний - один з входів запаюється. У процесі зварювання досягається потрібний коефіцієнт ділення каналу (5/95, 10/20 і так далі). Можливість нерівномірного розподілу пропускної здатності оптоволоконна - головна перевага зварних подільників (їх також називають відгалужувачі або коплерами. Це може бути корисним, якщо в процесі побудови мережі вам необхідно зробити відгалуження для абонентів, які знаходяться на різній відстані від точки поділу, наприклад, 3 і 7 км. першому в цьому випадку дається відгалуження в 30% каналу, другого - в 70%. Крім того, сплавні дільники дешевше, ніж планарні сплітери. Особливості технології дозволяють виробляти коплери тільки з двома виходами. Однак у продажу зустрічаються зварні сплітери з

набагато більшим числом "хвостів". Досягається це комбінацією декількох звичайних коплерів в заводському корпусі [11].

PLC Splitters виготовляються за більш складною технологією, ніж зварні, і тому їх вартість вища. Їх основа - так званий планарний чіп, який проводиться методом витравлення необхідної кількості хвилеводів за шаблоном в кварцовому склі або пластику.

Планарні сплітери найчастіше використовуються для побудови PON через їх переваги:

- Загасання сигналу при проходженні через PLC розгалужувач менше, ніж при проходженні через зварений.
- Число виходів, тобто відгалужень основного волокна може доходити до 128.
- Кількість хвостів-виходів найчастіше дорівнює  $2^k$  N (2, 4, 8, 16, 32 і так далі), але виробляються дільники і з вільним числом виходів (3, 6).
- Планарні розгалужувачі ділять сигнал на рівні частини, що найчастіше і потрібно при побудові мережі. Показники загасання в різних примірниках сплітерів практично однакові і тому передбачувані, на відміну від зварних.
- Діапазон хвиль, який підтримує планарний чіп, досить широкий, тому в мережі із застосуванням PLC дільників можуть бути використані додаткові технології ущільнення трафіку.

Як і будь-який електротехнічний пристрій, ОР може бути схильний до різних механічних, кліматичних, хімічних та інших впливів. Виходячи з передбачуваного способу розміщення і умов експлуатації, конструкції розгалужувачі діляться на дві великі групи: безкорпусні та корпусні.

Безкорпусні сплавні дільники мають малогабаритне виконання і призначені для встановлення в сполучних касетах в посадкове місце гільзи для захисту зварного з'єднання. При корпусному виконанні конструкція розгалужувача поміщається в міцний пластиковий корпус, що захищає ОР

від механічних, кліматичних і хімічних впливів. У корпусах є наскрізні отвори діаметром  $2 \div 3$  мм для кріплення до плоскої поверхні.

У якості оптичних розгалужувачів було обрано оптичний дільник PLC Splitter 1x8, 900  $\mu\text{m}$ , G657A (рис. 2.7). Характеристики розгалужувача наведені у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Характеристики PLC Splitter 1x8, 900  $\mu\text{m}$ , G657A

Дільник	1 × 8
Робочі довжини хвиль, нм	1260-1650
Максимальні втрати, дБ	10,6
Тип конекторів	без конекторів
Направленість, дБ	55
Зворотні втрати, дБ	50
Втрати, пов'язані з поляризацією, дБ	0,25
Довжина виводів, м	1,5
Оптичний діаметр, мм	0,9
Тип волокна	G.657.A1
Робоча температура зберігання і експлуатації, °C	- 40 - +85

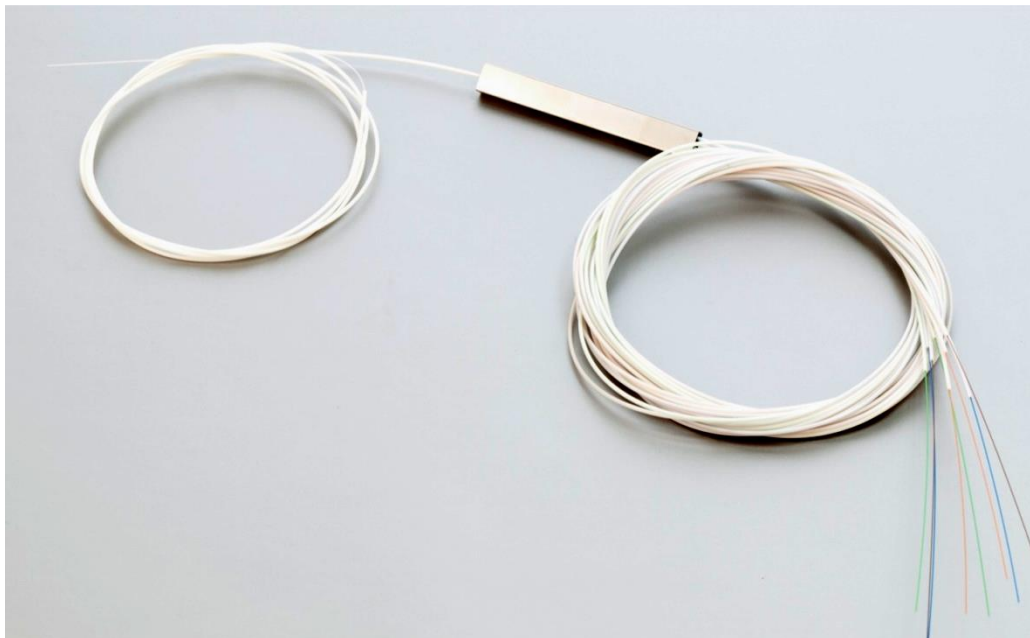


Рисунок 2.7 - Оптичний дільник PLC Splitter 1x8, 900  $\mu\text{m}$ , G657A

### 2.3.3 Правила будування

До початку робіт необхідно скласти акт про стан опор, на момент будівництва, а також узгодження з власником опор умови оренди, доступу, монтажу та обслуговування мережі.

Окремі відрізки ОК об'єднуються оптичними боксами, які розміщуються на опорах. Висота розміщення оптичних боксів на опорах повітряних ліній не менше 5 м від основи опори.

Оптичні бокси служать також для розгалуження кабелю на окремі ділянки мережі.

До опор ПЛ, на яких розміщуються оптичні бокси, в будь-який час року забезпечується під'їзд транспортних засобів зі зварювальним і вимірювальним обладнанням.

Оптичні бокси виконані з міцного пластику, не містять струмоведучих частин і не містять в собі активне обладнання.

Монтажні роботи необхідно проводити в строгій відповідності з діючими нормами і правилами.

## 2.4 Станційний сегмент мережі PON

### 2.4.1 Опис та вибір OLT

«Відправною точкою» мережі PON і головним обладнанням в ній є OLT - комутатор. OLT (Optical Line Terminal) - обладнання для GPON і GEPON мереж, також зване PON-комутатором. Пристрій здійснює передачу інформації на абонентські термінали і прийом зворотних пакетів від них, агрегацію і комутацію трафіку. Його функціонал відповідає світчу 2-го рівня, який оснащений Uplink портами (щоб підключатися до комутатора L3), та Downlink портами (для створення мережі PON) [23].

Застосовуючи пристрої OLT можна побудувати стійкі до відмов, безпечні і масштабовані мережі «останньої милі», які передають дані на значні відстані (до 40 км), не знижуючи швидкості.

У якості головного активного обладнання мережі було обрано OLT від компанії «BDCOM» марки P3310C (рис. 2.8), характеристики якого наведені у таблиці 2.4.

BDCOM P3310C – оптичний лінійний термінал (OLT) для мереж GPON. Відповідає вимогам стандартів IEEE 802.3ah, YD/T 1475-2006 та STC 2.0/2.1. Підтримує автоматичне виявлення і роботу з абонентськими терміналами (ONU) різних виробників.

P3310C підтримує симетричну швидкість передачі даних 1,25 Гбіт/с в низхідному та висхідному напрямках, а також ефективне управління смугою пропускання. Максимальний коефіцієнт ділення 1:64.

Основні особливості:

1. Чотири порти GPON з коефіцієнтом ділення 1:64, максимальна кількість ONU 256;
2. Підтримка стандартів IEEE 802.3ah, YD/T 1475-2006, STC2.0/2.1;
3. Мідні та SFP-порти Gigabit Ethernet для підключення до рівня агрегації;
4. Механізм динамічного розподілу смуги пропускання (DBA) та підтримка якості обслуговування QoS;
5. Підтримка багатоадресної розсилки (multicast) та Multicast VLAN;
6. Компактні розміри і низьке енергоспоживання;
7. Підтримка двох блоків живлення;
8. Широкий набір функцій експлуатації, адміністрування та обслуговування (OAM).

Таблиця 2.4 – Характеристики OLT

Ємність системи	Макс. коефіцієнт ділення 1:64 Пропускна спроможність «backplane» 32 Гбіт/с
Інтерфейси	6 портів GE (2 RJ45, 2 COMBO, 2 SFP) 4 фіксованих порти EPON
Інтерфейс PON	Симетрична швидкість передачі downlink/uplink 1 Гбіт/с Середня оптична потужність порту PON: +2 дБм – +7 дБм Чутливість порту PON: -30 дБм Безпека: механізм автентифікації ONU

## Продовження таблиці 2.4

Стандарти	IEEE 802.3ah IEEE 802.1D, Spanning Tree IEEE 802.1Q, VLAN IEEE 802.1w, RSTP
QoS	Управління потоком шляхом зворотного тиску (halfduplex) Управління потоком IEEE 802.3x (fullduplex) IEEE 802.1p, CoS WR, SP та FIFO Обмеження швидкості приймання/передавання на основі ONU Підтримка DBA та SLA
Віртуальні локальні мережі (VLAN)	VLAN на основі порту IEEE802.1Q VLAN
Багатоадресна розсилка (multicast)	IGMP v1/v2 IGMP Snooping
Надійність	Виявлення однонаправленого з'єднання (UDLD) Гаряча заміна оптичних модулів EPON
Мережева безпека	Обмеження кількості користувачів на кожному порті Ізоляція портів Контроль штормів Списки керування доступом (ACL) Шифрування даних на інтерфейсі PON
Управління	Різні режими управління: CLI, Web, SNMP, TELNET Оновлення ПЗ через TFTP та FTP Англійський інтерфейс командного рядка Режим відлагодження
Фізичні характеристики	Розміри мм (Ш×Г×В) : 442x315x44 Установка: стандартна стійка 19” Маса: 2 кг
Навколишнє середовище	Робочі умови: 0°C – 55°C 10% – 85% без конденсації Умови зберігання: -40°C – 80°C 5% – 95% без конденсації
Електроживлення	Вхідна напруга: ~ 100 – 240 В Частота: 47 – 63 Гц Вхідний струм: 1 А / 230 В Споживана потужність: до 48 Вт



Рисунок 2.8 - Оптичний лінійний термінал BDCOMP3310C

#### 2.4.2 Оптичні модулі

Створення мережі за технологією PON в нинішній час користується великою популярністю, завдяки багатьом перевагам, зокрема через мінімальне використання активного обладнання. Але все ж, головним елементом виступає OLT комутатор, який має в своєму розпорядженні кілька PON портів. Саме в ці порти встановлюються спеціальні оптичні модулі, які передають інформацію абонентським терміналам.

Оптичні модулі (трансивери) призначені для перетворення електричних сигналів в оптичні для подальшої передачі по волоконно-оптичній лінії і подальшого оптоелектронного перетворення на прийомі. На початковому етапі розвитку волоконної оптики прийомо-передавачі монтувалися на друкованих платах активного обладнання. Згодом з ростом номенклатури таких пристроїв (комутаторів, маршрутизаторів, мультиплексорів, медіаконверторів) з'явилася необхідність поділу частин, що відповідають за обробку інформації та за її передачу (по суті - сполучення з оптичною лінією).

В останні 10-15 років оптичні трансивери представляють собою компактні змінні модулі, розраховані на різні параметри ліній передачі і встановлюються в стандартизовані електричні порти активного обладнання. Це дозволяє оптимізувати витрати при проектуванні, і особливо - реконструкції оптичних мереж. Наприклад, збільшення швидкості, дальності передачі, збільшення обсягу інформації, що передається можливе за рахунок



застосування систем спектрального мультиплексування (WDM, CWDM, DWDM). Або використовувати в одному комутаторі різні типи трансиверів для різновіддалених абонентів.

Зараз найбільш популярним стандартом змінних оптичних трансиверів стали SFP модулі (англ. Small Form-factor Pluggable). Вони являють собою малогабаритні конструкції в металевому корпусі (для механічного захисту і електромагнітного екранування) з висновками для підключення до слотів активного обладнання. Також в модулі є два оптичних порту: випромінювача (Tx) і фотоприймача (Rx) для роботи у двоволоконні режимі. У одноволоконних SFP є тільки один оптичний порт, а напрямок передачі і прийому розділяється всередині модуля за допомогою вбудованого WDM-мультиплексора (BOSA, Bidirectional Optical Sub-Assemblies). В такому випадку трансивери працюють в парі на двох довжинах хвиль [10].

Залежно від того, який роз'єм встановлений на модулях SFP, вони також діляться на дві групи. Представником першої групи є SFP модуль SC з одним волокном. А до другої групи відноситься стандартний модуль SFP LC, в якому може бути задіяно одне або два оптичних волокна.

Для 10 Гбіт/с мереж з'явилися нові форм-фактори модулів, одним з яких є SFP +. Причиною появи послужило бажання застосувати вигоди формату SFP для 10-гігабітних потоків, зокрема, необхідність збільшення щільності портів комутаторів. Варто звернути увагу на те, що до обладнання, з SFP + портами, можна підключати і звичайні SFP модулі, які будуть працювати так само, як і в обладнанні з оригінальними SFP портами. Зворотній процес, встановлення SFP + модулів в обладнання з SFP-портами, неможливий [10].

У якості оптичного модуля було обрано трансивер FoxGate 1,25 Gbps, 1490 nmTx / 1310 nmRx, SC, SFP, 20 km (рис 2.9) – SFP GEAPON трансивер для встановлення у оптичний лінійний термінал. Трансивер забезпечує двонаправлену передачу даних з симетричною швидкістю 1,25 Гбіт/с по

одному оптичному волокну в пасивній оптичній мережі (PON) на відстань до 20 км.

Основні особливості:

- 1) Трансивер відповідає стандарту IEEE 802.3ah-2004;
- 2) Довжини хвиль: передача 1490 нм, прийом 1310 нм;
- 3) Вихідна потужність до +7 дБ;
- 4) Тип оптичного роз'єму: SC.



Рисунок 2.9 Оптичний модуль

#### 2.4.3 Оптична панель

Оптична панель (ODF) є пристроєм, де всі волокна лінійних кабелів повинні бути перетворені в комутаційний інтерфейс для підключення до активного обладнання.

У якості оптичної панелі було обрано ODF Line-1U SC-12 від компанії «Укрком Лайн» (рис.2.10).

ODF Line-1U SC-12 - компактний універсальний оптичний крос фронтального типу для зрощування і комутації 12 волокон з конекторами SC / UPC.

Панель ODF Line-1U може бути встановлена в будь-стійки і шафи 19 "або 21" (при використанні перехідних кронштейнів). Встановлений в

металоконструкцію корпус регулюється по глибині. Висувна поворотна конструкція забезпечує легкий доступ до всіх встановлених всередині оптичних компонентів навіть в умовах підключених комутаційних шнурів.

Адаптери на фронтальній частині оптичного кросу розташовані під кутом  $45^\circ$ , що запобігає пряме попадання лазерного випромінювання при проведенні експлуатаційних робіт.

Корпус панелі не має отворів більше 10 мм, що забезпечує надійний захист від проникнення гризунів. Можливе окінцювання оптоволоконних кабелів будь-яких типів. Захисні зростки і запас волокон укладаються в сплайс касету FOSC A-Tray [24].



Рисунок 2.10 Оптична панель ODF Line-1U

## 2.5 Абонентський сегмент мережі PON

### 2.5.1 Активне обладнання у абонента

У приміщенні абонента розташовується оптичний термінал ONU (від аббр. Оптична Мережева Одиниця), що представляє собою компактний пристрій, який служить для перетворення оптичного сигналу, що приходить з мережі FTTH, в електричний сигнал.

Стандартно ONU оснащений 1-им оптичним 1Г портом (Uplink) і одним 1Г, або 4-ма 0.1Г мідними портами (Downlink). Є моделі ONU с 8-ма, 16-ма і 24-ма портами і модель з приймачем CATV. Вони дозволяють надати широкосмуговий доступ для клієнтського кінцевого обладнання та мають функцію видаленої конфігурації і управління з центрального концентратора (OLT).

Абонентський термінал може відправляти, агрегувати і обробляти різні типи даних, що надходять від клієнта, і посилати їх вгору в OLT.

У більшості випадків для стабільної та ефективної роботи рекомендується використовувати обладнання від одного виробника, тому абонентський термінал повинен бути тієї ж торгової марки, що і OLT.

У якості абонентського терміналу, типовим рішенням є ONU марки BDCOM P1501C1 (рис 2.11). Його характеристики наведені у табл. 2.5



Рисунок 2.11 Абонентський термінал ONU

Таблиця 2.5 – Характеристика ONU

<b>Особливості PON інтерфейсів</b>	
Максимальна відстань	до 20 км
Швидкість передачі даних	1.25 Гбіт/с (downlink/uplink)
Потужність оптичного передавача	0 – 4 дБм
Чутливість порту PON	-27 дБм
Тип конектору	SC/UPC

## Продовження таблиці 2.5

<b>Управління пристроєм</b>	
Режими управління	CLI, Web, SNMP, TELNET
Оновлення програмного забезпечення (ПЗ)	TFTP и FTP
<b>Мережа</b>	
Інтерфейси	1 x 10/100/1000 Мбіт/с Ethernet порт 1 x PON порт
Стандарти	IEEE 802.3ah PRC Community Industry Standard (YD/T 1475-2006) IEEE 802.1D, Spanning Tree IEEE 802.1Q, VLAN IEEE 802.1w, RSTP ITU-T Y.1291
Підтримка QoS	Управління зворотним потоком шляху даних (half duplex) Управління потоком даних IEEE 802.3x (full duplex) IEEE 802.1p, CoS 4 черги передачі на кожному порту з'являються з вісьмома значеннями пріоритету 802.1p WR, SP и FIFO Механізм запобігання HOL блокування Управління швидкістю передачі даних
Віртуальні приватні мережі (VLAN)	VLAN на порт (Port-based VLAN) IEEE802.1Q VLAN
Багатоадресна розсилка (multicast)	IGMP v1/v2, IGMP Snooping
Надійність	Виявлення односпрямованого з'єднання (UDLD) Підтримка функції Dying-Gasp
Безпека мережі	Обмеження кількості користувачів на кожному порту Контроль штурму пакетів Автентифікація IEEE 802.1x Захист портів
<b>Основне</b>	
Вхідна напруга	DC 12В 0.5А
Споживна потужність	до 6 Вт
Умови зберігання	-40°C – 80°C, вологість 5% – 95% (без конденсату)
Розміри	105 x 76 x 26 мм

### 2.5.2 Абонентські кабелі

Кабелі абонентської розводки формують останню ділянку зовнішньої кабельної мережі і прокладаються від останньої точки FCP до приміщення абонента на відстань не більше 500 м. Кабелі абонентської розводки, як правило, включають в себе одне волокно, але можуть також містити додаткові резервні волокна. Під землею кабелі абонентської розводки можуть прокладатися в невеликих каналах, в мікроканалах, або безпосередньо в ґрунті. При повітряній прокладці кабелі абонентської розводки відводяться від найближчої опори до будівлі і далі прямують до точки окінцювання. У деяких випадках кабелі абонентської розводки можуть бути з вже встановленими роз'ємами для швидкого підключення до абонентського пристрою.

Абонентські кабелі є найбільш малогабаритними, гнучкими і зручними для установки конструкціями абонентських кабелів. У таких ОК практично немає сформованого сердечника, а волокна розташовуються між двома смужками не горючого пластика (LSZH) квадратного перетину. Захист від механічних навантажень забезпечують два склопластикових стержня або сталеві проволоки, вбудовані в зовнішній покрив. Конструкція виходить дуже легкою, гнучкою (згинається під прямим кутом з радіусом 12-15 мм), малогабаритною (прокладається в прямокутних каналах шириною 8-10 мм) і зручною для прокладки – плоска поверхня дозволяє легко кріпити його до стін, плінтусів, дверних стояків і т.п.

Кабелі абонентської розводки поділяються на чотири типи за способом прокладки: в кабельних каналах, під землею, по фасадах будівель і підвішуються на опорах.

Для підвісу на опорах доцільно використовувати кабель виробництва «Одесакабель» марки ОКАД-Д, характеристики наведені у таб. 2.6.

ОКАД-Д (0,1) Пнг-НФ...1Е7 – плоский FTTH абонентський кабель з двома силовими діелектричними елементами. Кабель призначений для підвіски і експлуатації на опорах повітряних ліній зв'язку, міського

електротранспорту та повітряних лініях електропередачі в умовах впливу навантажень від вітру, ожеледі, температури і їх комбінацій. Може прокладатися по зовнішніх стінах будівель і споруд [22].

З огляду на експлуатаційні показники та ціну даний тип кабелю є оптимальним рішенням для абонентської розводки.

Особливості ОКАД-Д:

- Оптичні волокна, згруповані в пучки.
- Тиксотропний гідрофобний заповнювач.
- Центральна-розташована трубка.
- Силовий елемент – поздовжньо розташовані сталеві дроти.
- Оболонка з поліетилену високої щільності.

Таблиця 2.6 – Характеристики кабелю ОКАД-Д (0,1) Пнг-НФ...1Е7

Тип ОВ	ITU-T G.652 D
Кількість ОВ в кабелі, шт	1
Діаметр кабелю, мм	3,0 x 2,0 ±0,2
Діапазон допустимих температур при монтажі, °С	-40 °С - +60 °С
Допустиме розтягуюче навантаження, кН	0,1
Допустиме роздавлююче зусилля, Н/100 мм	1000
Маса кабелю, кг/км	6
Максимальний радіус вигину, мм	Не менше 20 номінальних діаметрів кабелю
Коефіцієнт хроматичної дисперсії, пс/(нм*км)	1310 нм – 3,5 1550 нм – 18
Коефіцієнт загасання, дБ/км	1310 нм – 0,36 1550 нм – 0,22

### 2.5.3 Окінцювання абонентських оптичних кабелів

Для того щоб завести в будь-яке приміщення оптичні волокна, використовується спеціальне обладнання, яке називається абонентська

оптична розетка. Як правило, така розетка використовується для мереж типу PON. Розетка чудово поєднується з усіма існуючими типами кабелю.

Конструкція оптичної розетки проста: корпус, монтажна пластина і кріпильні елементи. Розміри розетки невеликі, але це не заважає вкласти в неї деякий запас оптичного кабелю. Кабель, який вводиться в таку розетку, фіксується за допомогою металевого затиску, або хомутів. Також в конструкції такої абонентської оптичної розетки є ложементи. Їх призначення - можливість установки гільз КДЗЗ. Для з'єднання ONU з оптичної розеткою використовують оптичний шнур – патч-корд.

Типовим рішенням окінцювання абонентського ВОК є пластикова настінна оптична розетка Crosver FOR-02 (рис.2.12). Вона дозволяє зрощувати до 2-х оптичних волокон, конструкція допускає установку у відповідні посадочні місця 2-х адаптерів. Також є можливість закріплення оптичного кабелю кабельним зажимом, що запобігає його висмикуванню. Призначена для «закінцювання» патчкордових оптичних кабелів або кабелів типу FTTH [25].

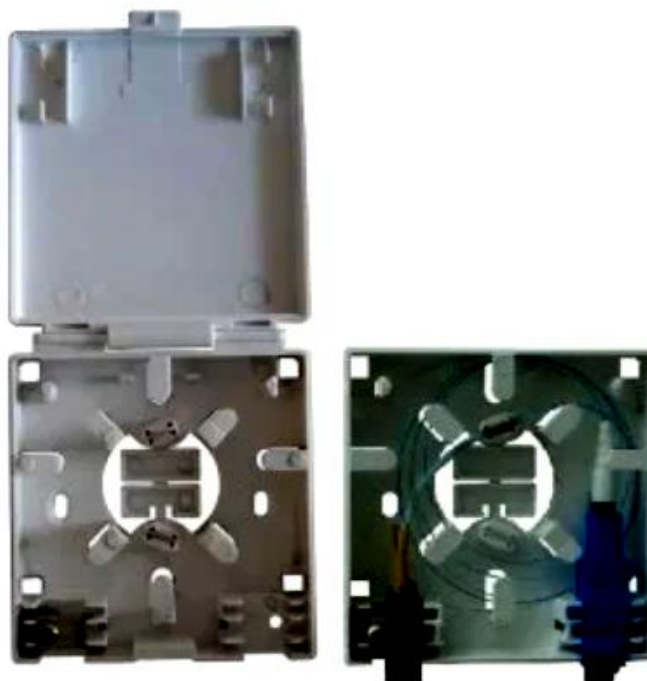


Рис. 2.12 Оптична розетка



## 2.6 Швидкість передачі даних в мережі PON

Розрахунок швидкості передачі даних в мережі PON будується на тому факті, що клієнт не завжди знаходиться в мережі, а якщо і знаходиться, то не завжди використовує всю ємність відведеного під нього каналу. Розрахунок проводиться виходячи з припущення, що до одного PON-порту OLT підключено максимально можливе число ONU (64 одиниці).

Технологія GEPON працює на швидкості 1.25 Гбіт/с, проте 0.25 Гбіт/с є надлишковими даними, які використовуються для канального кодування. Таким чином, реальна швидкість передачі становить 1Гбіт/с.

Теоретично швидкість для кожного абонента становитиме пропускну здатність каналу поділену на кількість абонентів. Фактично ж, якщо якісь абоненти в даний момент використовують не всю свою смугу трафіку або не підключені зовсім - швидкість у інших збільшується.

Швидкість низхідного потоку становить 1000 Мбіт/с, значить, на одну ONU приходить  $1000/64 = 15,6$  Мбіт/с. Це мінімальна швидкість при повній завантаженості мережі.

Припускаємо, що одночасно в мережу включено 50% ONU - швидкість на одну ONU зростає до 32 Мбіт/с. З огляду на той факт, що не всі користувачі активно використовують канал зв'язку (торент та інше), приймемо допущення, що з усіх активних в одиницю часу кількість користувачів, активно навантажуючих канал - 50%. За підсумком, швидкість на одну ONU складе близько 65-70 Мбіт/с. Під час Prime Time (час найменшим мережним, рано вранці з 4-х до 8-ми) кожна ONU може отримувати до 1Гбіт/с. Необхідно також враховувати сезонні коливання клієнтських вимог (взимку більше клієнтів активно в мережі, особливо ввечері, влітку - менше) [28].

Провайдери не можуть гарантувати фіксовану швидкість для кожного інтернету у абонента, хоча і мінімальних 15 Мбіт/с при у більшості випадків достатньо. Проте можуть обмежити швидкість для абоненту. Провайдер користується цим для можливості встановити різні тарифні плани. Якщо ж

потрібна гарантована швидкість більша за 15 Мбіт/с то провайдери можуть надати послугу виділення каналу з гарантованою смугою пропускання. Тоді від загальної швидкості в 1 Гбіт/с віднімається гарантована смуга пропускання і залишкова швидкість ділиться між іншими абонентами. Зазвичай цією послугою користуються бізнес-клієнти.

## 2.7 Розрахунок трафіку

Розрахунок трафіку у ГНН для мережі абонентського доступу на основі технології PON проводиться не для всієї мережі, а лише для одного порту OLT. Максимальна кількість абонентів на одному порті  $N_{a.макс}=64$ .

Сумарна необхідна пропускна здатність для IP-телефонії, IPTV та передачі файлів розраховується за формулою 2.4:

$$C_{заг}=C_T+C_{IPTV}+C_{ТФ}, \text{ Мбіт/с} \quad (2.4)$$

$C_T$  – навантаження від трафіку IP-телефонії, Мбіт/с;

$C_{IPTV}$  – навантаження від трафіку IPTV, Мбіт/с;

$C_{ТФ}$  – навантаження від трафіку передачі файлів, Мбіт/с.

### 2.7.1 Розрахунок телефонного навантаження

В IP-телефонії на сьогоднішній день найбільш поширене перетворення за допомогою кодека G.711. Сигнал в даному кодеку надано потоком величиною 64 кбіт/с.

Для передачі мови по IP-мережі, в IP-шлюзі до мовних повідомлень, розбитим аудіокодеком на пакети, додаються заголовки протоколів RTP / UDP / IP / Ethernet, що вносить значну частку надмірності.

У ГНН абонентів, що користуються послугою IP-телефонії, приблизно 50% від максимально можливої кількості абонентів  $N_{a.макс}$ , і складає 32 абоненти.

Пропускна здатність, яку треба виділити для пропуску навантаження служби телефонії розраховується за формулою 2.5:

$$C_T = N \times V \times K_{\text{надмір}}, \text{ Мбіт/с} \quad (2.5)$$

$K_{\text{надмір}}$  – коефіцієнт надмірності (за рахунок службових заголовків);

$N$  – кількість абонентів, шт;

$V$  – швидкість кодеку G.711, Мбіт/с.

Для кодеку G,711  $K_{\text{надмір}}=1,4$ .

Отже, навантаження для IP-телефонії згідно формули 2.5:

$$C_T = 32 \times 64 \times 1,4 = 2,867 \text{ Мбіт/с}$$

### 2.7.2 Розрахунок навантаження IPTV

Для цифрового телебачення, де використовується кодек MPEG4, швидкість інформаційного потоку для HD-каналів  $V_{\text{HD}} = 20$  Мбіт/с, для SD-каналів  $V_{\text{SD}} = 5$  Мбіт/с [27].

Оскільки місце проектування мережі сільський район, візьмемо кількість каналів, які дивляться абоненти у ГНН на одному порті – 20. З них лише 50% каналів у якості HD.

Необхідна пропускна здатність для IPTV розраховується за формулою 2.6:

$$C_{\text{IPTV}} = N \times V_{\text{HD}} + N \times V_{\text{SD}}, \text{ Мбіт/с} \quad (2.6)$$

$N$  – кількість абонентів;

Згідно формули 2.6, навантаження IPTV складає:

$$C_{\text{IPTV}} = 10 \times 20 + 10 \times 5 = 250 \text{ Мбіт/с}$$

### 2.7.3 Розрахунок навантаження служб передачі файлів

Розрахунок пропускної здатності для служб передачі файлів здійснюється при 100% відсотковій активності абонентів, та середньому навантаженні кожного абонента  $V=10$  Мбіт/с. Необхідна пропускна здатність для служб передачі файлів розраховується за формулою 2.7:

$$C_{\text{ПФ}}=N \times V, \text{Мбіт/с} \quad (2.7)$$

$N$  – кількість абонентів;

Згідно формули 2.7, для передачі файлів необхідна пропускна здатність:

$$C_{\text{ПФ}}=64 \times 10=640 \text{ Мбіт/с}$$

Отже, загальне навантаження згідно формули 2.4 складає:

$$C_{\text{заг}}=2,867 + 250 + 640 = 892,8 \text{ Мбіт/с}$$

З отриманих розрахунків, можна зробити висновок, що смуги пропускання у 1 Гбіт/с вистачить для забезпечення високої якості послуг.

## 2.8 Висновки

У другому розділі проекту у якості проектованої мережі абонентського доступу було обрано населений пункт с. Степове, Дніпровського району, Дніпропетровської області. Розроблена схема мережі FTTH на базі технології PON, обрано необхідне обладнання мережі та наведені його характеристики, розраховано оптичний бюджет та трафік проектованої мережі.

### 3 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

В даній роботі було спроектовано мережу абонентського доступу на основі технології FTTH, використовуючи архітектуру пасивної оптичної мережі (PON) для населеного пункту с. Степове, Дніпровського району, Дніпропетровської області.

У економічному розділі наведено:

- розрахунок капітальних витрат;
- розрахунок річних експлуатаційних витрат;
- чистий прибуток за перший рік;
- термін окупності проекту.

#### 3.1 Розрахунок капітальних витрат

Капітальні витрати розраховується за формулою 3.1:

$$K = K_{\text{обл}} + K_{\text{ок}} + K_{\text{тр}} + K_{\text{м}} + K_{\text{пр}}, \text{ грн} \quad (3.1)$$

$K_{\text{обл}}$  – витрати на придбання обладнання, грн;

$K_{\text{ок}}$  – витрати на придбання оптичного кабелю, грн;

$K_{\text{тр}}$  – транспортно-заготівельні та складські витрати, грн;

$K_{\text{м}}$  – витрати на монтаж, налаштування обладнання, монтаж кабелю та зварювання ОВ, грн;

$K_{\text{пр}}$  – витрати на проектно-вишукувальні роботи, грн.

Ціни на необхідне обладнання складені відповідно до прайс-листів офіційних дистриб'юторів заводу-виробника на поточний 2019 рік з урахуванням ПДВ 20% наведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Витрати на придбання обладнання

Обладнання	Одиниці виміру	Кількість	Вартість, грн	Загальна вартість, грн
<b>Станційний сегмент</b>				
Модуль SFP-1,25G-GEAPON(C+)-20SC	1 шт.	3	650,73	1952,19
Шнур оптичний з'єднувальний (патч корд) LC - SC 5м	1 шт.	3	24,72	74,16
Центральний термінал BDCOM P3310C	1 шт.	1	11416,36	11416,36
Перетворювач напруги 48/220	1 шт.	1	3781,70	3781,70
Панель оптична ODF Line-1U LC-12	1 шт.	1	1209,68	1209,68
Стійка 32U для розміщення OLT	1 шт.	1	2005	2005
<b>Розподільчий сегмент</b>				
Міні-бокс FOB-05-24	1 шт.	24	694,10	16658,40
Оптичний сплітер PLC Splitter 1x8, 900 um, G657A.	1 шт.	27	99,74	2692,98
<b>УСЬОГО</b>				<b>39790,48</b>

Ціни на оптичний кабель від виробника «Одесакабель» наведені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Витрати на придбання оптичного кабелю

Марка оптичного кабелю	Одиниці виміру	Кількість	Вартість, грн	Загальна вартість, грн
ОКАДт-Д(1,5)П-4Е1	1 м	3283	3,16	10368,37
ОКАДт-Д(1,5)П-8Е1	1 м	1606	4,68	7520,68
<b>УСЬОГО</b>				<b>17889,05</b>

Транспортно-заготівельні витрати складають 6% від вартості обладнання та оптичного кабелю є –3406,77 грн.

Орієнтовна ціна в Україні на послуги підрядних організацій з будівництва волоконно-оптичних ліній наведена у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Витрати на монтаж, налаштування обладнання та монтаж ВОК

Вид робіт	Одиниці виміру	Кількість	Вартість, грн	Загальна вартість, грн
<b>Станційний сегмент</b>				
Монтаж активного мережевого обладнання в стійку, підключення до електроживлення та заземлення, перевірка налаштувань підключення до мережі	1 шт.	1	240,76	240,76
Монтаж ODF	1 шт.	1	488,86	488,86
Зрощування ОВ у ODF	1 шт.	8	44,56	356,48
<b>Розподільчий сегмент</b>				
Монтаж оптичного боксу	1 шт.	24	111,15	2667,60
Монтаж оптичного сплітера 1:8 зі зваркою волокон	1 шт.	27	387,77	10469,79
Зварювання ОВ кабелю в оптичних боксах	1 шт.	38	40,47	1537,86
Підвіс ВОК	1 м	4888	14,61	71413,68
Вимірювання оптичних параметрів ВОК рефлектометром та оптичним тестером у двох напрямках на змонтованій ділянці	1 регенераційна ділянка	24	544,42	13066,08
<b>УСЬОГО</b>				<b>100241,11</b>

Для проектування мережі абонентського доступу та підготовки відповідної документації достатньо одного інженера-проектувальника. Вартість його послуг та попереднього виїзду для огляду місць встановлення обладнання спеціалістів підрядної організації наведені у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Проектно-вишукувальні роботи

Вид робіт	Одиниці виміру	Кількість	Вартість, грн	Загальна вартість, грн
Проектування ділянок прокладання/підвісу кабелю	1 м	4655	3,74	17409,70
Попередній виїзд та огляд місць для встановлення обладнання у одному населеному пункті	1 об'єкт	1	839	839
УСЬОГО				18248,70

Отже, капітальні витрати складають згідно формули 3.1:

$$K=39790,48+17889,05+3406,77 +100241,11+18248,70=179575,41 \text{ грн}$$

### 3.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

До основних експлуатаційних витрат відносяться:

- Амортизаційні відрахування  $C_a$ , грн;
- Заробітна плата обслуговуючого персоналу  $C_3$ , грн;
- Відрахування на соціальні заходи від заробітної плати  $C_c$ , грн;
- Витрати на технічне обслуговування й поточний ремонт устаткування та мереж  $C_T$ , грн;
- Вартість електроенергії, що споживається  $C_e$ , грн.

Загальні річні експлуатаційні витрати по об'єкту проектування розраховуються за формулою 3.2:

$$Z=C_a+C_3+C_c+C_T+C_e \quad (3.2)$$

#### 3.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Амортизаційні відрахування розраховуються методом прискореного зменшення залишкової вартості.



Норма амортизації визначається за формулою 3.3:

$$H_a = 2/T \times 100\% \quad (3.3)$$

$T$  – термін експлуатації об'єкта, р;

Для електроустаткування термін корисного використання 4 роки, для оптичного кабелю та пасивних елементів мережі – 20 років.

Сума амортизації розраховується за формулою 3.4:

$$C_a = H_a \times V_{II}, \text{ грн} \quad (3.3)$$

Розрахунок амортизаційних відрахувань наведений у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Амортизаційні відрахування [26]

Період	Найменування	Первісна вартість основних засобів $V_{II}$ , грн	Норма амортизації $H_a$ , %	Сума амортизації $C_a$ , грн
1 рік	Електроустаткування	18435	50	9217,50
	Оптичний кабель та пасивні компоненти мережі	148962	10	14897
	УСЬОГО			24114,50

3.2.2 Заробітна плата обслуговуючого персоналу та відрахування на соціальні заходи від заробітної плати

Розрахунок фонду заробітної плати не потрібен. Керуванням центрального терміналу займається інженер, у обов'язки якого входить дистанційне керування усього активного обладнання мережі Дніпропетровської області.

Тоді, фонд заробітної плати  $C_3 = 0$  грн.

Відповідно, відрахування на соціальні заходи  $C_c = 0$  грн.

### 3.2.3 Витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт

Річні витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт електротехнічного устаткування і мереж розраховуються за формулою 3.4:

$$C_T = V_K + V_{\text{ел}}, \text{ грн} \quad (3.4)$$

$V_K$  – річні витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт для повітряних ліній, що складають 0,5% від первісної вартості оптичних кабелів та пасивних компонентів мережі, грн;

$V_{\text{ел}}$  – річні витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт електроустаткування, складають 1% від первісної вартості електроустаткування, грн.

Отже, річні витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт електротехнічного устаткування і мереж складає згідно формули 3.4:

$$C_T = 744,81 + 184,35 = 929,16 \text{ грн}$$

### 3.2.4 Розрахунок вартості спожитої електроенергії

Вартість електроенергії, що споживається протягом року, визначається за формулою 3.5:

$$C_e = W_T \times C_e, \text{ грн} \quad (3.5)$$

$W_T$  – кількість спожитої за рік електроенергії, кВт×годин;

$C_e$  – тариф на електроенергію, грн/кВт×годин.

Кількість спожитої електроенергії за рік для нового обладнання на станції визначається формулою 3.6:

$$W_p = P \times t_p, \text{ кВт} \times \text{год} \quad (3.6)$$

$P$  – споживча потужність обладнання, кВт;

$t_p$  – кількість годин роботи за рік, год.

Згідно формули 3.6 кількість спожитої електроенергії складає:

$$W_p = 0,048 \times 8760 = 420,48 \text{ кВт} \times \text{год}$$

Вартість спожитої електроенергії за рік згідно формули 3.5 складатиме:

$$C_e = 420,48 \times 1,97 = 828,35 \text{ грн}$$

Отже, річні експлуатаційні витрати складають згідно формули 3.2:

$$З = 24114,50 + 0 + 0 + 929,16 + 828,35 = 25872 \text{ грн}$$

### 3.3 Розрахунок прибутку

Прибуток розрахуємо припустивши, що після будівництва і введення в експлуатацію мережі, послугами провайдера захочуть скористатися 25% від максимально можливої кількості абонентів. Кожен абонент сам обирає собі послуги які хоче отримати (таблиця 3.6). При прирості абонентів за перший рік у 19,2% від максимально можливої кількості та умові, що відсоток абонентів по наданим тарифам не зміниться, дохід за перший рік визначається за формулою 3.7:

$$Д = K_v \times K_{аб} \times П_{аб}, \text{ грн} \quad (3.7)$$

$K_v$  – відсоток абонентів для тарифів, %;

$K_{аб}$  – кількість абонентів, з урахуванням проросту абонентів, шт;

$П_{аб}$  – вартість тарифу, грн.

Таблиця 3.6 – Послуги для абонентів

Тариф	Вартість тарифу $\Pi_{аб.}$ , грн	Відсоток абон. $K_B$ , %
Інтернет 50 Мбіт/с	110	10
Інтернет 100 Мбіт/с	150	14
Інтернет 1 Гбіт/с	250	3
Інтернет 50 Мбіт/с +ІР-телефонія+ IPTV	180	14
Інтернет 100 Мбіт/с +ІР-телефонія+ IPTV	220	7
Інтернет 1 Гбіт/с +ІР-телефонія+ IPTV	320	1
Інтернет 50 Мбіт/с +ІР-телефонія	150	9
Інтернет 100 Мбіт/с +ІР-телефонія	190	25
Інтернет 1 Гбіт/с +ІР-телефонія	290	1
Інтернет 50 Мбіт/с + IPTV	155	9
Інтернет 100 Мбіт/с + IPTV	180	5
Інтернет 1 Гбіт/с + IPTV	200	2

Дохід за кожний місяць першого року розраховується за формулою 3.7 та наведений у таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Дохід за перший рік

Місяць	Кількість абонентів $K_{аб.}$ , осіб	Дохід $D$ , грн
1	48	8360
2	51	8882
3	54	9404
4	57	9926
5	60	10449
6	63	10971
7	66	11493
8	69	12016
9	72	12538
10	75	13061
11	78	13583
12	81	14106
Усього		134789

Прибуток до оподаткування за перший рік розраховується за формулою 3.8:

$$\Pi_B = D - Z, \text{ грн} \quad (3.8)$$

З – річні експлуатаційні витрати, грн.

Отже, прибуток до оподаткування за перший рік складає:

$$\Pi_{\text{Б}}=134789-25872= 108917 \text{ грн}$$

Податок на прибуток розраховується за формулою 3.9:

$$\Pi_{\text{пр}}=\frac{\Pi_{\text{Б}}\times C_{\text{п}}}{100}, \text{ грн} \quad (3.9)$$

$C_{\text{п}}$  – податкова ставка, складає 18%.

Отже, річний податок на прибуток складає:

$$\Pi_{\text{пр}}=\frac{108917\times 18}{100}=19605,06 \text{ грн}$$

Чистий прибуток розраховується за формулою 3.10:

$$\Pi_{\text{ч}}=\Pi_{\text{Б}}-\Pi_{\text{пр}}, \text{ грн} \quad (3.10)$$

Чистий прибуток, згідно формули 3.10, складає:

$$\Pi_{\text{ч}}=108917-19605,06=89311,94 \text{ грн}$$

#### 3.4 Розрахунок терміну окупності капітальних вкладень

Для визначення терміну окупності проекту скористаємося формулою 3.11:

$$T_{\text{ок}}=\frac{K}{\Pi_{\text{ч}}}, \text{ р} \quad (3.11)$$

Згідно формули 3.11, термін окупності:

$$T_{\text{ок}} = \frac{179575,41}{89311,94} = 2,01 \text{ р}$$

Термін окупності складає 2,01 роки. Даний термін розрахований з урахуванням того, що на наступні 2 роки чистий прибуток залишиться незмінним.

### 3.5 Висновки

В економічному розділі було розраховано:

- капітальні витрати – 179575,41 грн
- експлуатаційні витрати – 25872 грн;
- чистий прибуток – 89311,94 грн;
- термін окупності капітальних вкладень – 2,01 роки.

На основі розрахованого терміну окупності можна зробити висновок, що будівництво по технології FTTH з архітектурою пасивної оптичної мережі – доцільне. При середньому терміні служби активного обладнання 4 років та лінійного обладнання – 20 років, термін окупності є економічно виправданим і може бути прийнятим до реалізації.

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі було спроектовано мережу абонентського доступу сільського району за технологією FTTH.

У першому розділі було розглянуто архітектури та переваги оптичних мереж абонентського доступу, описано особливості архітектури мережі FTTH. Наведені можливі рішення побудови мережі абонентського доступу на базі технології FTTH.

Наведені особливості активної мережі FTTH та пасивної, перераховані їх переваги та недоліки і сформульовані задачі кваліфікаційної роботи.

У другому розділі проекту було обрано населений пункт с. Степове, Дніпровського району, Дніпропетровської області, у якості проектованої мережі абонентського доступу, та обрана технологія побудови мережі GPON. Розроблена схема мережі FTTH за технологією PON, обрано необхідне обладнання мережі та наведені його характеристики, розраховано оптичний бюджет та трафік проектованої мережі.

В економічному розділі було розраховано:

- капітальні витрати – 179575,41 грн
- експлуатаційні витрати – 25872 грн;
- чистий прибуток – 89311,94 грн;
- термін окупності капітальних вкладень – 2,01 роки.

На основі розрахованого терміну окупності можна зробити висновок, що будівництво по технології FTTH з архітектурою пасивної оптичної мережі – доцільне. При середньому терміні служби активного обладнання 4 років та лінійного обладнання – 20 років, термін окупності є економічно виправданим і може бути прийнятим до реалізації.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Алексеев Е.Б. Оптические сети доступа. Учебное пособие - М: ИПК при МТУ СИ, 2005 г. - 140 с.
2. Коммерческое руководство по сетям FTTH / ред. Эйлин Конноли Бул, Connolly Communication AB. – 3-е издание – Совет Европы по сетям FTTH, 2012.
3. Основы проектирования и строительства сетей абонентского доступа на базе технологии PON/ Мир телекома. – 2012. – №1. – с. 3 – 22
4. Справочное руководство по сетям FTTH / ред. Эйлин Конноли Бул, Connolly Communication AB. – 5-е издание – Совет Европы по сетям FTTH, 2012.
5. Убайдуллаев Р.Р. Волоконно-оптические сети - М.: Эко-Трендз 2001г 267с
6. Архитектура FTTH Сетей Доступа на базе Ethernet и PON (Электрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <https://www.fs.com/ru/an-overview-of-gpon-ftth-access-network-aid-972.html>. - Загол. з екрана
7. Основные составляющие оптических потерь (Электрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <http://foos.sfedu.ru/glava2/2.1.html>. - Загол. з екрана
8. Оптические боксы. Особенности, характеристики, применение (Электрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <https://nettech.ua/news/opticheskie-boksi-osobennosti-harakteristiki-primenenie>. - Загол. з екрана
9. Оптические разветвители в сетях доступа (Электрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <https://deps.ua/knowegable-base-ru/articles/item/467-opticheskie-razvetviteli-v-setjah-dostupa.html>. - Загол. з екрана
10. Основные параметры и сертификация оптических SFP модулей (Электрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <https://deps.ua/knowegable-base-ru/articles/item/1961-osnovnye-parametry-i-sertifikatciia-opticheskikh-sfp-modulei.html>. - Загол. з екрана



11. Как выбрать сплиттер (делитель) для PON? (Электрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <https://lantorg.com/article/kak-vybrat-splitter-delitel-dlya-pon>. - Загол. з екрана
12. Практика впровадження пасивних оптичних мереж (PON) (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <https://deps.ua/ua/knowegable-base/articles/item/praktika-vn-passivnyh-op-mer-pon.html>. - Загол. з екрана
13. Практика проектування пасивних оптичних мереж (PON) (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <https://deps.ua/ua/knowegable-base/articles/item/praktika-proektyvanna-passivnyh-opticheskikh-setej-pon.html>. - Загол. з екрана
14. Прокладка ВОЛС по опорам (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: [https://skomplekt.com/technology/prokladka\\_vols\\_po\\_oporam.htm](https://skomplekt.com/technology/prokladka_vols_po_oporam.htm). - Загол. з екрана
15. Сети FTTx (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <http://www.ftth.ru/networks-fttx>. - Загол. з екрана
16. Технологии широкополосной передачи информации FTTx (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <https://lanmarket.ua/stats/tehnologii-i-oborudovanie-opticheskikh-setey-na-primere-OLT-kompanii-ZTE>. - Загол. з екрана
17. GEAPON концентратор BDCOM P3310C (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <https://deps.ua/katalog/ru-kontsentratoryi-olt/bdcom-p3310c.html>. - Загол. з екрана
18. Fiber to the x (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Fiber\\_to\\_the\\_x](https://ru.wikipedia.org/wiki/Fiber_to_the_x). - Загол. з екрана
19. PON - пассивные оптические сети (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <https://skomplekt.com/technology/pon/#d>. - Загол. з екрана
20. 10G-EPON (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/10G-EPON>. - Загол. з екрана

21. Виды технологий PON (Электрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <http://www.techelements.ru/eletovs-455-1.html>. - Загол. з екрана
22. Волоконно-оптические кабели абонентского доступа (Электрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <http://odeskabel.com/products/vok-kabeli/volokonno-opticheskie-kabeli-abonentskogo-dostupa/kabel-abonentskogo-dostupa-okad-m-d.html>. - Загол. з екрана
23. Введение в технологию PON (Электрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <http://ic-line.ua/wiki/pon-glava1/>. - Загол. з екрана
24. ODF Line-1U (Электрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <https://ukrcomline.com.ua/prod/opticheskie-paneli-odf-ukrcomline-odf-line-1u/>. - Загол. з екрана
25. Оптическая розетка Crosver FOR-02 (Электрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <https://deps.ua/katalog/opticheskie-boksyi/ru-rozetka-opticheskaya-crosver-for-02.html>. - Загол. з екрана
26. Кузьмин В. М. К-89 Економіка підприємства: навчальний посібник. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2012. – 197 с
27. Расчет трафика сети передачи данных в сельской местности (Электрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: [http://zinref.ru/000\\_uchebniki/00850\\_energetica/010\\_01\\_00\\_Metodichka\\_organizatsia\\_setey\\_selskoy\\_svyazi\\_hackevich\\_2012/004.htm](http://zinref.ru/000_uchebniki/00850_energetica/010_01_00_Metodichka_organizatsia_setey_selskoy_svyazi_hackevich_2012/004.htm). - Загол. з екрана
28. Расчёт скорости передачи данных в сети PON (Электрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <http://ic-line.ua/wiki/raschjot-skorosti-peredachi-dannykh-v-seti-pon>. - Загол. з екрана

## 29.ДОДАТОК А. Відомість матеріалів дипломної роботи

<b>№</b>	<b>Формат</b>	<b>Найменування</b>	<b>Кількість листів</b>	<b>Примітки</b>
<i>Документація</i>				
1	A4	Реферат	3	
2	A4	Список умовних скорочень	2	
3	A4	Зміст	3	
4	A4	Вступ	2	
5	A4	Стан питання. Постановка задачі	23	
6	A4	Спеціальна частина	33	
7	A4	Економічний розділ	10	
8	A4	Висновки	1	
9	A4	Перелік посилань	3	
10	A4	Додаток А	1	
11	A4	Додаток Б	1	
12	A4	Додаток В	1	
13	A4	Додаток Г	1	

ДОДАТОК Б. Відгук керівника дипломної роботи

**ВІДГУК**

**на дипломний проект**

студента Грищенка В.Л. гр. ТКІТ-15-1

на тему: «Побудова мережі абонентського доступу сільського району на основі технології FTTH»

**Керівник дипломного проекту,  
к.т.н., доцент кафедри БІТ**

**Галушко О.М.**



## ДОДАТОК Г. Перелік документів на оптичному носії

1 Пояснювальна записка Грищенко В.Л.pdf

2 Презентація Грищенко В.Л.pptx