

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(повне найменування закладу вищої освіти)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

магістр
(ступінь вищої освіти)

на тему **Модернізація інфокомунікаційної системи підприємства на основі технології PON**

Виконав: студент 6 курсу, групи 601ТТ
спеціальності 172 «Електронні
комунікації та радіотехніка»
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Волоський С.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник Штомпель М.А.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Дрючко О.Г.
(прізвище та ініціали)

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки

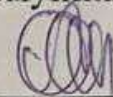
Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 172 «Електронні комунікації та радіотехніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
автоматики, електроніки та
телекомунікацій


О.В. Шефер
“ 02 ” “ 09 ” 2024 р.

З А В Д А Н Н Я

НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Волоському Сергію Валерійовичу

1. Тема проекту (роботи) **«Модернізація інфокомунікаційної системи підприємства на основі технології PON»**
керівник проекту (роботи) **Штомпель Микола Анатолійович, д.т.н., професор,** затверджена наказом вищого навчального закладу від **“09” серпня 2024 року № 818-ф.а.**
2. Строк подання студентом проекту (роботи) **20.12.2024 р.**
3. Вихідні дані до проекту (роботи) **Мережа – GPON, мережева топологія – зірка, оптичний термінал (OLT) – GL5610-16P, абонентський термінал (ONU) – BDCOM GP1702-1G, SFP трансивер – CISCO GLC-T, оптичний спліттер – PLC Splitter 1x32, оптична муфта – Crosver FOSC-A, оптичний кабель – Finmark PS001-SM-02, операційна система – Microsoft Windows Server 2022.**
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) **Описання технології PON. Вибір топології. Постановка задачі на**

проектування. Вибір обладнання. Розрахунок параметрів мережі. Проектування мережі. Висновки по роботі.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів):

- 1) Основи технології PON;
- 2) Топологія мережі;
- 3) Порівняння поточної та планової мережі;
- 4) Обладнання;
- 5) Тестування мережі;
- 6) Оцінка ефективності впровадження
- 7) Висновки по роботі.

6. Дата видачі завдання 02.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів магістерської роботи	Термін та обсяг виконання етапів роботи			Примітка (плакати)
1	Аналіз літератури та джерел. Вступ	07.10.24		15%	Пл. 1
2	Дослідження архітектури та принцип дії технології PON	16.10.24	I	25%	Пл. 2
3	Порівняння поточної та планової мережі	05.11.24		40%	Пл. 3
4	Вибір обладнання для реалізації системи	12.11.24		50 %	Пл. 4
5	Тестування системи	19.11.24	II	60%	Пл. 5
6	Оцінка ефективності впровадження	26.11.24		70%	Пл. 6
8	Оформлення пояснювальної записки	20.12.24	III	100%	

Магістрант

Волоський С.В.

Керівник роботи

Штомпель М.А.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	5
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧОЇ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ТОВ НВ «СОЛВЕР»	8
1.1. Загальна характеристика ТОВ НВ «СОЛВЕР»	8
1.2. Структура та характеристика наявної інфокомунікаційної системи	11
1.3. Проблеми та недоліки поточної системи	14
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ PON (GPON ТА XG-PON)..	18
2.1. Загальні принципи роботи пасивних оптичних мереж (PON)	18
2.2. Технологія GPON: переваги та недоліки	21
2.3. Технологія XG-PON: порівняння з GPON	25
2.4. Перспективи впровадження технології PON на підприємствах	27
РОЗДІЛ 3. ПРОЕКТУВАННЯ МОДЕРНІЗОВАНОЇ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ PON	30
3.1. Вимоги до нової системи підприємства ТОВ НВ «СОЛВЕР»	30
3.2. Архітектура мережі на базі GPON та XG-PON	32
3.3 План впровадження системи та етапи розгортання	34
3.4. Вибір обладнання для реалізації системи	39
РОЗДІЛ 4. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ	58
4.1. Методи тестування продуктивності нової системи	58
4.2. Оцінка ефективності впровадження GPON та XG-PON	66
ВИСНОВКИ	71
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	73
ДОДАТКИ	74

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

APON	– ATM PON - перший стандарт пасивних оптичних мереж ІТУ-Т G.983.х, що базується на транспорті осередків АТМ
BPON	– Broadband PON - широкосмугова PON (розвиток стандарту APON ІТУ.983)
CATV	– Cable Television – кабельне телебачення
DOCSIS	– (Data Over Cable Service Interface Specifications) - це стандарт передачі даних по коаксіальному кабелю, який використовується для надання широкосмугового доступу в Інтернет.
PON	– Пасивна оптична мережа
HFC	– Гібридні оптико-коаксіальні мережі
FTTH	– Fiber To The Home - доведення кабелю з ОВ до житлового будинку
ITU-T	– (від англ. International Telecommunication Union, Telecommunication sector) - Міжнародний союз електрозв'язку
GPON	– Gigabit PON - стандарт пасивних оптичних мереж ІТУ-Т G.984.3, що розглядається як органічне продовження APON/BPON
OLT	– (Optical Line Terminal) - пристрій, що встановлюється в центральному офісі. Це пристрій приймає дані з боку магістральних мереж через інтерфейси SNI (Service Node Interfaces) і формує низхідний потік до абонентських вузлів (прямий потік) по дереву PON
ONT	– (Optical Network Terminal) - має, з одного боку, абонентські інтерфейси, а з іншого, - інтерфейс для підключення до дерева PON. ONT приймає дані від OLT, конвертує їх і передає абонентам через абонентські інтерфейси
ONU	– (від англ. Optical Network Unit) - оптичний мережевий модуль

ВСТУП

У сучасному світі стрімкий розвиток інформаційних технологій та глобалізація вимагають від підприємств адаптації до нових умов функціонування. Одним із ключових аспектів забезпечення ефективної діяльності підприємства є побудова сучасної інфокомунікаційної системи, яка відповідає високим стандартам швидкості, надійності та безпеки. Традиційні локальні мережі на базі мідних технологій поступово втрачають актуальність через їхню обмежену пропускну здатність, складність масштабування та високу вразливість до зовнішніх факторів. Натомість оптичні мережі, зокрема пасивні оптичні мережі (PON), пропонують інноваційне рішення, що дозволяє значно підвищити продуктивність та надійність мережевої інфраструктури.

Об'єктом дослідження є інфокомунікаційна система підприємства ТОВ НВ «Солвер», яка забезпечує внутрішню та зовнішню комунікацію компанії, передачу даних, а також підтримку роботи мережевої інфраструктури.

Предметом дослідження є технології пасивних оптичних мереж GPON та XG-PON, їхнє впровадження в інфокомунікаційну систему підприємства з метою підвищення її продуктивності, масштабованості, надійності та відповідності сучасним і перспективним вимогам.

Метою дослідження є аналіз існуючої інфокомунікаційної системи підприємства ТОВ НВ «Солвер» та розробка ефективного проєкту її модернізації на основі технологій GPON та XG-PON. Це передбачає вивчення поточного стану мережевої інфраструктури, виявлення її недоліків і обмежень, оцінку технічних і економічних переваг впровадження нових технологій, а також розробку рекомендацій для оптимального використання ресурсів і забезпечення відповідності сучасним та перспективним потребам підприємства. Основна увага приділяється підвищенню продуктивності, надійності, масштабованості та безпеки мережі, що є критично важливим для ефективної роботи компанії в умовах цифровізації.

Впровадження технологій GPON та XG-PON відкриває широкі можливості для модернізації інфокомунікаційних систем підприємств. Завдяки високій пропускній здатності, енергоефективності та відсутності активних компонентів між вузлами ці технології забезпечують надійний зв'язок навіть на значних відстанях. Особливо актуальним це стає для компаній, що працюють у віддалених регіонах або мають складну територіальну структуру. GPON забезпечує стабільну передачу даних для поточних потреб, тоді як XG-PON пропонує перспективу для масштабування та підтримки майбутніх високонавантажених застосунків.

Актуальність дослідження обумовлена необхідністю підвищення конкурентоспроможності підприємств шляхом впровадження інноваційних рішень у сфері інформаційно-комунікаційних технологій. Вибір GPON та XG-PON як базової технології модернізації пояснюється їхньою відповідністю сучасним вимогам швидкості, стабільності та надійності передачі даних. Результати цієї роботи сприятимуть не лише покращенню роботи підприємства, а й створенню надійної основи для його подальшого розвитку в умовах цифрової трансформації.

Ця кваліфікаційна робота присвячена аналізу існуючої інфокомунікаційної системи підприємства ТОВ НВ «Солвер», оцінці її недоліків та розробці рекомендацій щодо модернізації на основі технологій GPON та XG-PON. У роботі розглядаються технічні аспекти побудови мережі, методи оцінки ефективності впровадження нових технологій, а також їхня економічна доцільність.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧОЇ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ НВ ТОВ «СОЛВЕР»

1.1. Загальна характеристика ТОВ НВ «СОЛВЕР»

НВ ТОВ «Солвер», яке функціонує під торговою маркою «Оптінет», є одним з провідних інтернет-провайдерів у місті Полтава та області. Підприємство надає послуги високошвидкісного доступу до Інтернету на основі сучасних технологій оптичного зв'язку (FTTH – Fiber to the Home) для приватних осіб та корпоративних клієнтів.

Основні напрямки діяльності:

1. Надання широкосмугового доступу до Інтернету через оптичні лінії.
2. Забезпечення телекомунікаційними послугами (IP-телебачення, телефонія).
3. Підтримка інфраструктури мереж передачі даних для бізнесу та державних установ.

ТОВ "Солвер" впровадило технологію пасивної оптичної мережі (PON), що дозволяє забезпечувати клієнтам стабільний і швидкісний доступ до Інтернету з мінімальними витратами на підтримку мережі. Оптичний кабель прокладається безпосередньо до будинку чи квартири абонента, що дає змогу гарантувати високу якість з'єднання та низькі затримки передачі даних.

Компанія забезпечує високошвидкісний доступ до Інтернету: швидкість з'єднання до 1 Гбіт/с забезпечує комфортне використання інтернет-ресурсів, онлайн-сервісів та хмарних платформ, надійність: завдяки використанню оптичного зв'язку і сучасного обладнання, компанія забезпечує стабільне з'єднання без перебоїв навіть в умовах тривалих відключень електроенергії та клієнтоорієнтованість: пропонує різні тарифні плани, гнучку систему знижок і технічну підтримку 24/7.

Клієнтами компанії є як приватні особи, які потребують стабільного доступу до Інтернету для домашнього використання (відео, онлайн-ігри,

дистанційне навчання тощо) так і малий і середній бізнес, що використовує інтернет для повсякденної діяльності, а також великі підприємства та установи, в т.ч. державні, які потребують складних мережевих рішень та надійної інфраструктури.

НВ ТОВ "Солвер" є критично важливим підприємством інфраструктури м. Полтави та області, бере активну участь у житті місцевої громади, підтримуючи різні соціальні проекти та ініціативи, спрямовані на розвиток цифрової грамотності та проводить постійну роботу над забезпеченням доступу до інтернету у віддалених куточках області.

Підприємство "Оптінет" м. Полтава спеціалізується на наданні послуг доступу до інтернету для приватних осіб, підприємств та організацій. Основна діяльність компанії зосереджена на підключенні клієнтів до високошвидкісної інтернет-мережі та забезпеченні їх якісним і стабільним сервісом. Процес надання послуг можна умовно розділити на два основні етапи: підключення та подальше технічне обслуговування.

Компанія "Оптінет" пропонує різні варіанти підключення до Інтернету, враховуючи потреби та вимоги клієнтів. Підключення здійснюється за допомогою таких технологій:

- FTTH (Fiber to the Home) — оптоволоконне підключення до будинків користувачів, що забезпечує високу швидкість і стабільність з'єднання.

- GPON (Gigabit Passive Optical Network) — пасивні оптичні мережі, які дозволяють значно підвищити пропускну здатність для обслуговування великої кількості користувачів одночасно.

- LAN-підключення — традиційні дротові підключення через локальні мережі, переважно для багатоквартирних будинків.

Процес підключення включає наступні етапи:

1. Попередня консультація — клієнт отримує детальну інформацію про наявні тарифи, можливості підключення та специфіку обслуговування.

2. Оформлення заявки — клієнт обирає відповідний тарифний план та залишає заявку на підключення через вебсайт компанії, телефон або в офісі.

3. Огляд місця підключення — технічні фахівці підприємства виїжджають до клієнта для оцінки можливостей підключення, прокладання мережі та вибору необхідного обладнання.

4. Встановлення обладнання — інженери компанії здійснюють встановлення та налаштування оптоволоконних або мережевих кабелів, маршрутизаторів, модемів та іншого необхідного обладнання.

5. Тестування підключення — після завершення монтажних робіт проводиться тестування якості з'єднання, налаштування швидкості доступу та перевірка роботи обладнання.

Після підключення клієнта до Інтернету, підприємство "Оптінет" пропонує повний спектр послуг з технічного обслуговування та підтримки для забезпечення стабільної роботи мережі.

Основні послуги з обслуговування включають:

1. Технічна підтримка — служба підтримки клієнтів, яка забезпечує вирішення питань, пов'язаних з роботою інтернету, обслуговуванням обладнання або зміною тарифних планів. Технічна підтримка доступна через телефон, електронну пошту та онлайн-чати.

2. Моніторинг мережі — системи автоматизованого моніторингу постійно відслідковують стан мережі, швидкість з'єднання, активність та можливі технічні проблеми. Це дозволяє своєчасно виявляти та усувати неполадки.

3. Усунення технічних несправностей — у випадку виникнення технічних проблем у клієнта (наприклад, втрати з'єднання, низька швидкість або збій у роботі обладнання), технічні фахівці виїжджають на місце для оперативного усунення несправностей.

4. Оновлення обладнання та тарифних планів — у разі необхідності компанія здійснює модернізацію обладнання клієнта або надає консультації щодо оптимальних варіантів зміни тарифних планів для задоволення потреб у швидшому Інтернеті.

5. Профілактичне обслуговування — регулярне обслуговування мережевого обладнання для запобігання можливим несправностям та підтримки високої якості надання послуг.

Компанія "Оптінет" пропонує різноманітні тарифні плани, які підходять як для приватних осіб, так і для корпоративних клієнтів. Спектр тарифів охоплює різні рівні швидкості доступу до Інтернету, від бюджетних варіантів до преміум-сегменту з високими швидкостями та пріоритетним обслуговуванням. [2]

Підприємство "Оптінет" м. Полтава є надійним провайдером Інтернет-послуг, яке забезпечує не тільки якісне підключення, а й комплексне технічне обслуговування своїх клієнтів. Компанія постійно вдосконалює свою мережу, впроваджує сучасні технології та прагне задовольнити потреби як приватних, так і корпоративних клієнтів у високоякісному та стабільному інтернет-з'єднанні. Тому у м. Полтава та області постійно розширюється мережа GPON, що надає можливість отримати енергонезалежний інтернет.

1.2. Структура та характеристика наявної інфокомунікаційної системи

Офіс підприємства складається з трьох кабінетів та серверної, сукупно має 9 робочих місць.

Локальна мережа (LAN) є основою інформаційної інфраструктури будь-якого офісу, забезпечуючи внутрішнє з'єднання між робочими станціями, сервером і периферійними пристроями. В офісі з трьома кабінетами, серверною та 9 робочими місцями LAN має забезпечити стабільну та швидку передачу даних між усіма користувачами.

У даному офісі доцільно використовувати зіркоподібну топологію, де всі робочі місця підключені до центрального мережевого комутатора (світча). Це дозволяє легко контролювати мережу та швидко виявляти проблеми в разі збоїв. Схема зіркоподібної топології зображено на рисунку 1.

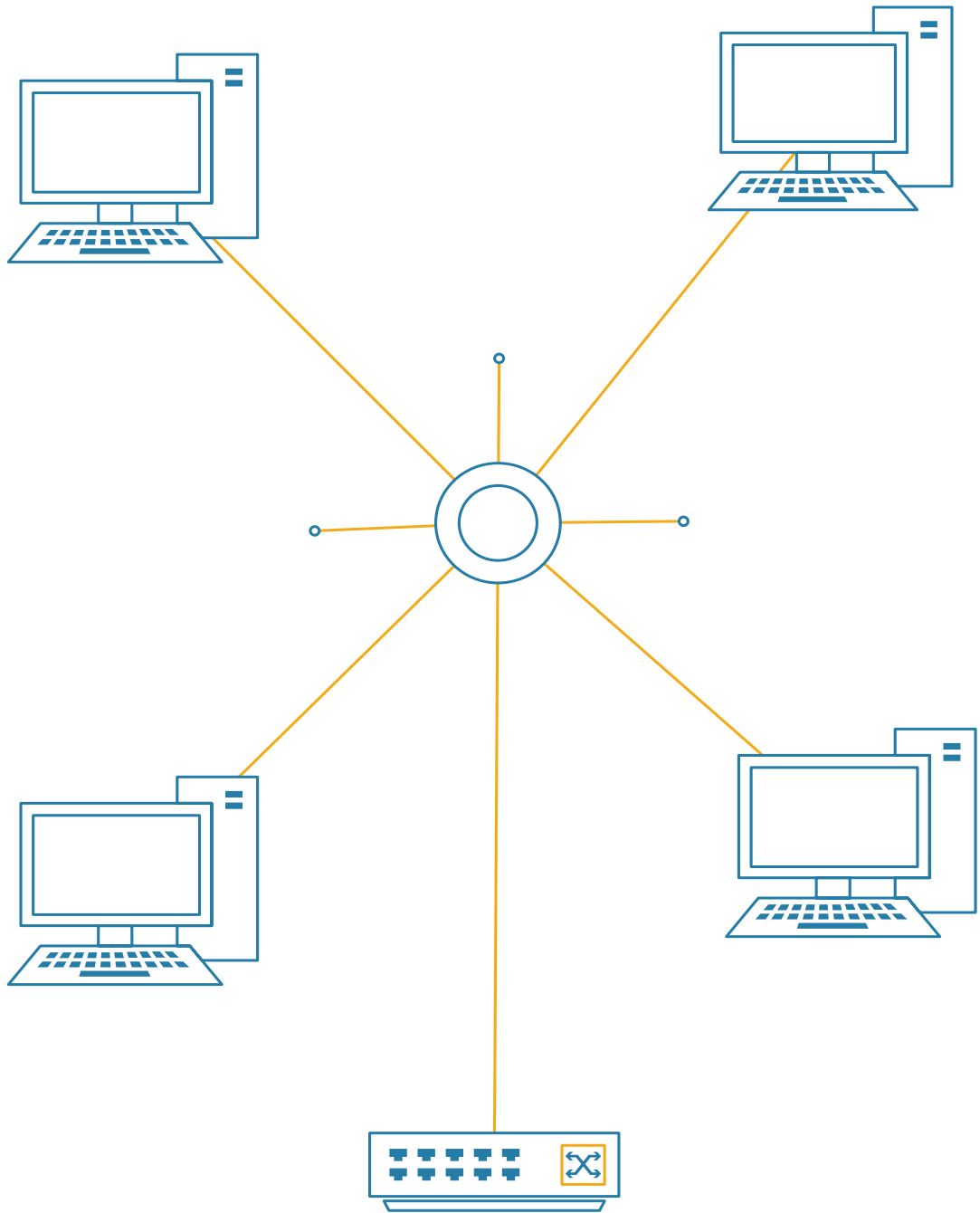


Рисунок 1.1 Зіркоподібна топологія мережі

Для об'єднання 9 робочих місць та сервера використовується комутатор на 12 портів (1 порт для підключення сервера, 9 портів для робочих місць та кілька портів для можливих додаткових пристроїв, таких як принтери або IP-телефони). Встановлений комутатор TP-LINK TL-SG116 підтримує швидкість

передачі даних не менше 1 Гбіт/с для забезпечення швидкої та стабільної роботи в мережі.

Маршрутизатор потрібен для підключення локальної мережі до інтернету. Він також може виконувати функції розподілу трафіку та захисту мережі. Маршрутизатор також встановлено з підтримкою гігабітного Ethernet і вбудованими функціями захисту (фільтри трафіку, брандмауер).

У серверній встановлено сервер, який може виконувати функції зберігання даних, управління доступом, а також надавати інші послуги (наприклад, файловий сервер або сервер баз даних).

Для забезпечення мобільного доступу або підключення бездротових пристроїв у кабінетах встановлено точку доступу Wi-Fi.

Для підключення робочих місць до комутатора можна використовувється пара категорії 5e. Кабель категорії 5e забезпечує передачу даних зі швидкістю до 1 Гбіт/с.

Кабелі прокладені між серверною, кабінетами та робочими місцями. Для зручності та безпеки кабелі прокладені через кабельні канали. Також передбачено резервні кабелі для можливого підключення нових пристроїв у майбутньому.

У локальній мережі кожному робочому місцю та серверу призначено унікальну IP-адресу. Маршрутизатор виконує функцію DHCP-сервера, автоматично надаючи адреси всім пристроям у мережі.

Сервер має налаштовані політики прав доступу, щоб кожен працівник міг використовувати лише ті ресурси, які йому необхідні для роботи (спільний доступ до файлів, принтерів або баз даних).

Для співробітників, які працюють віддалено, можна налаштувати VPN для захищеного доступу до ресурсів локальної мережі.

Для кожного кабінету в офісі підключено принтер до мережі через принт-сервер для надання доступу всім робочим місцям.

Адміністратор мережі має можливість віддалено керувати мережею, проводити діагностику і усувати проблеми, що дозволяє швидше реагувати на неполадки.

1.3. Проблеми та недоліки поточної системи

Однак, незважаючи на те, що на даний момент мережа забезпечує стабільну роботу існує ряд проблем, з якими може стикнутися підприємство в процесі подальшої експлуатації.

Поточна локальна мережа (LAN) на основі комутатора обмежена пропускною здатністю, яка може не відповідати зростаючим потребам у передачі даних. Це може спричинити повільний обмін даними, особливо при збільшенні навантаження або додаванні нових пристроїв до мережі.

LAN без резервних з'єднань означає, що збої у роботі комутатора або кабельних з'єднань можуть повністю відключити зв'язок між робочими місцями, що призводить до простою в роботі. Відсутність резервування робить систему вразливою до технічних несправностей та впливає на її загальну надійність.

Якщо підприємство планує розширювати мережу, поточна інфраструктура може бути неготова до цього. Додавання додаткових робочих місць чи пристроїв може вимагати модернізації комутатора або додаткового обладнання, оскільки прості LAN-мережі на базі одного комутатора часто мають обмежену кількість портів.

LAN на основі простого комутатора має мінімальний рівень безпеки. Якщо мережа не захищена належним чином, це може створити ризики для конфіденційних даних підприємства. Відсутність сегментації мережі ускладнює контроль доступу та відстеження підозрілих активностей, особливо якщо мережа пов'язана з Інтернетом без додаткових заходів захисту, таких як фаєрволи чи шифрування даних.[1]

Звичайні комутатори без розширених функцій управління не дозволяють відстежувати стан мережі та контролювати трафік у режимі реального часу. Це ускладнює виявлення потенційних проблем, як-от перевантаження мережі чи несанкціонований доступ, що може вплинути на продуктивність та безпеку.

LAN на основі простого комутатора може бути обмеженою у функціях дистанційного управління. Якщо немає можливості віддаленого доступу до мережевого обладнання, це ускладнює оперативне усунення проблем, особливо якщо доступ до робочих місць потрібен з інших локацій або за відсутності технічного персоналу на місці.

Поточна LAN може не підтримувати сучасні сервіси, які потребують високої швидкості передачі даних або низької затримки (як-от відеоконференції, IP-телефонія, передача великих файлів у реальному часі). Це може обмежувати можливості підприємства у впровадженні нових цифрових рішень.

Поточна мережа на основі простого комутатора і LAN може задовольняти базові потреби невеликого підприємства, але має низку обмежень. Основні слабкі місця стосуються низької пропускної здатності, відсутності резервування, проблем з безпекою та управлінням, а також складнощів з масштабуванням. Модернізація мережі на основі технології PON дозволить вирішити ці проблеми, забезпечивши високу швидкість передачі даних, підвищену надійність, можливості для масштабування та підвищену безпеку мережі.

Часті відключення електроенергії в зимовий період можуть серйозно вплинути на стабільність роботи поточної мережі на основі комутатора та LAN. Ось основні негативні наслідки:

Відключення електроенергії призводить до повного відключення комутатора та інших мережевих пристроїв, що миттєво розриває всі активні з'єднання між робочими місцями. Це особливо критично для робочих процесів, які вимагають постійного доступу до мережі, зокрема для збереження даних у реальному часі чи обміну файлами.

Різке відключення живлення може призвести до втрати або пошкодження небережених даних. Якщо працівники використовують мережеві ресурси, наприклад, для роботи з файлами на спільному сервері або в локальних додатках, небережена інформація може бути втрачена при раптовому вимкненні живлення.

Часті відключення електроенергії можуть негативно позначитися на стані комутатора та інших електронних компонентів мережі. Постійні перепади напруги при включенні та вимкненні живлення можуть призвести до швидкого зносу обладнання, а в деяких випадках навіть до його пошкодження. Це може збільшити витрати на ремонт або заміну пристроїв.

Після відновлення електропостачання комутатор і підключені до нього пристрої можуть повертатися до роботи з певною затримкою, що може викликати конфлікти у мережі, наприклад, проблеми з IP-адресами чи дублюванням підключень. Це може вимагати ручного втручання для налаштування мережі після кожного відновлення живлення.

Відсутність резервного живлення для мережевої інфраструктури унеможлиблює безперервну роботу під час відключень електроенергії. Це може серйозно вплинути на продуктивність підприємства, особливо якщо мережевий доступ є критичним для виконання щоденних завдань.

За відсутності стабільного живлення і підключення до Інтернету працівники не зможуть підключатися до хмарних сервісів або дистанційно доступних систем, що може затримати виконання важливих робочих процесів або доступ до необхідних даних.

Часті відключення електроенергії суттєво знижують стабільність і надійність роботи наявної LAN-мережі, що підвищує важливість резервного живлення та плану модернізації мережі, наприклад, на основі PON, яка також може бути налаштована з резервними джерелами живлення для критичних вузлів.

Таблиця 1.1 Порівняльна характеристика PON та LAN мереж.

Параметр	PON	LAN
Пропускна здатність	До 10 Гбіт/с (XG-PON, NG-PON2)	До 1 Гбіт/с (Ethernet)
Економічність	Знижені експлуатаційні витрати завдяки пасивним компонентам	Вищі витрати на обладнання та енергоспоживання
Масштабованість	Підтримує до 128 користувачів на один розгалужувач	Розширення вимагає додаткових комутаторів та кабелів
Дальність передачі	До 20-60 км без повторювачів	До 100 метрів на кабель Ethernet
Енергоспоживання	Пасивні компоненти не потребують живлення	Активні пристрої споживають значну кількість енергії
Простота обслуговування	Мінімальна кількість точок відмови, просте обслуговування	Потребує регулярного моніторингу та оновлення
Безпека	Волоконно-оптичні кабелі стійкі до перехоплень та перешкод	Мідні кабелі вразливі до перехоплення та електромагнітних перешкод
Актуальність технології	Сумісність із майбутніми стандартами та високими швидкостями	Часто потребує значних оновлень інфраструктури

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ PON (GPON ТА XG-PON)

2.1. Загальні принципи роботи пасивних оптичних мереж (PON)

Пасивні оптичні мережі (PON) стали одним із найефективніших рішень для побудови сучасних інфокомунікаційних систем, орієнтованих на високу пропускну здатність, стабільність та економічність. Їх виникнення та розвиток тісно пов'язані зі зростанням попиту на швидкісний доступ до Інтернету, передачу даних, голосу та відео через єдину мережу.

Історія розвитку PON почалася наприкінці 1980-х років, коли з'явилася потреба у створенні нових телекомунікаційних технологій, здатних забезпечити стабільний зв'язок у великих мережах. У 1995 році Міжнародний союз електрозв'язку (ITU-T) розробив перший стандарт пасивної оптичної мережі, який отримав назву APON (Asynchronous Transfer Mode Passive Optical Network). Цей стандарт використовував асинхронний режим передачі даних і став першим кроком у розвитку PON як комерційної технології. Однак APON мав певні обмеження щодо швидкості передачі даних та ефективності, тому вже у 2003 році був прийнятий новий стандарт — GPON (Gigabit Passive Optical Network), який забезпечував пропускну здатність до 2,5 Гбіт/с.[1]

На початку 2000-х років технологія PON почала активно впроваджуватися в телекомунікаційні мережі розвинених країн, таких як США, Японія, Південна Корея та країни Європи. Її переваги включали можливість одночасної передачі даних, голосу та відео через одну лінію, зменшення експлуатаційних витрат завдяки відсутності активного обладнання на проміжних ділянках мережі, а також високу надійність та енергоефективність.

В Україні технологія PON почала впроваджуватися з середини 2000-х років. Основним драйвером її популяризації стала необхідність модернізації застарілої мідної інфраструктури, яка не могла задовольнити зростаючий

попит на швидкісний доступ до Інтернету. Першими провайдерами, які почали використовувати PON, були великі телекомунікаційні компанії, що прагнули забезпечити доступ до Інтернету в густонаселених міських районах. Завдяки значним перевагам, таким як економічність, масштабованість та стабільність, PON поступово став основою для побудови мереж у нових житлових комплексах та бізнес-центрах.

Пасивна оптична мережа базується на трьох ключових компонентах: оптичному лінійному терміналі (OLT), розташованому у центральному офісі провайдера, пасивних оптичних розгалужувачах (splitters) і оптичних мережевих терміналах (ONT/ONU), які встановлюються на стороні абонента. OLT виконує функцію управління мережею, формує сигнали для абонентів та обробляє вхідні дані. Оптичні розгалужувачі забезпечують поділ сигналу, що надходить від OLT, між кількома абонентами, що дозволяє значно зменшити витрати на побудову мережі. При цьому відсутність активного обладнання на проміжних ділянках забезпечує високу надійність мережі, оскільки немає потреби у зовнішньому живленні чи регулярному обслуговуванні таких елементів.[2]

На рисунку 2.1 наведена схема архітектури пасивної оптичної мережі (PON), яка показує основні компоненти: OLT (оптичний лінійний термінал), оптичний розгалужувач (Splitter) і ONU (оптичний мережевий термінал). Вона ілюструє потік даних між центральним офісом провайдера і кінцевими користувачами.

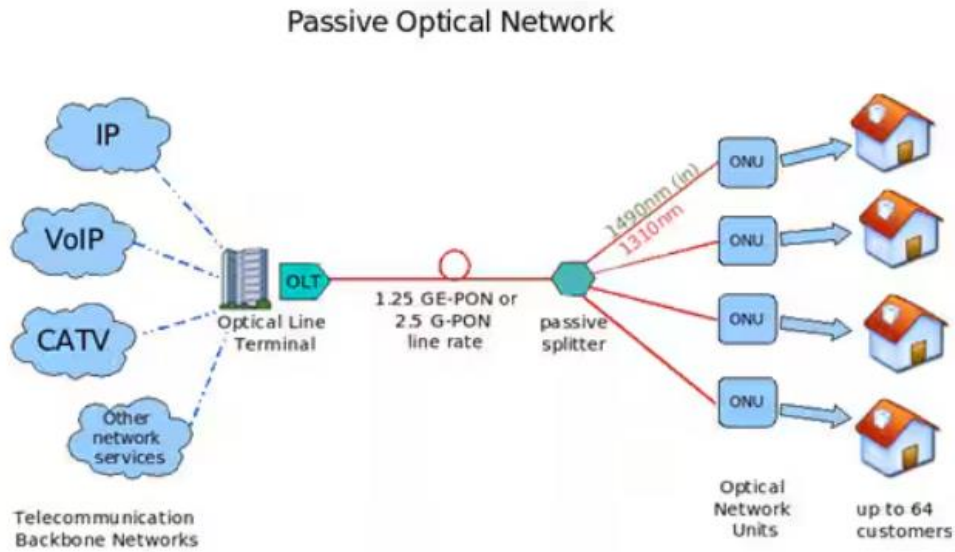


Рис 2.1. Архітектура пасивної оптичної мережі

Передача даних у PON здійснюється за допомогою мультиплексування з часовим поділом (TDM), що дозволяє розподілити доступ до однієї оптичної лінії між кількома користувачами. Це досягається шляхом виділення кожному абоненту певного тимчасового інтервалу для передачі чи отримання даних. Завдяки цьому технологія PON є асиметричною, тобто швидкість завантаження (uplink) може відрізнятися від швидкості вивантаження (downlink). Такий підхід забезпечує ефективне використання мережевих ресурсів, особливо у випадках, коли більшість користувачів використовують Інтернет переважно для споживання контенту.

Сьогодні PON є основою сучасних телекомунікаційних систем, пропонуючи швидкості передачі даних, які постійно зростають. Нові стандарти, такі як XG-PON (10 Gigabit-capable PON) та NG-PON2 (Next Generation PON2), забезпечують пропускну здатність до 10 Гбіт/с та більше, що відкриває можливості для впровадження інноваційних послуг, таких як IPTV, хмарні сервіси, системи "розумного дому" та Інтернет речей (IoT). Завдяки своїй економічності, енергоефективності та можливостям масштабування, технологія PON продовжує залишатися одним із найкращих рішень для модернізації інфокомунікаційних систем в Україні та світі. [3]

2.2. Технологія GPON: переваги та недоліки

Технологія GPON (Gigabit Passive Optical Network) є одним із найбільш популярних рішень для побудови сучасних телекомунікаційних мереж, що поєднують високу швидкість передачі даних, надійність і економічність. Ця технологія базується на стандарті ITU-T G.984, що дозволяє забезпечити швидкісний доступ до Інтернету, передачу голосу, відео і даних через єдину волоконно-оптичну інфраструктуру. Завдяки своїм характеристикам GPON активно використовується інтернет-провайдерами, комунікаційними компаніями та для побудови корпоративних мереж.

Головною перевагою GPON є її здатність забезпечувати високу пропускну здатність, яка досягає 2,5 Гбіт/с у напрямку до абонента і до 1,25 Гбіт/с у зворотному напрямку. Це дозволяє підтримувати роботу багатьох користувачів одночасно без значних втрат у швидкості. Іншою важливою перевагою є економічність технології, яка досягається завдяки використанню пасивних компонентів, таких як оптичні розгалужувачі (splitters). Це означає, що між центральним вузлом (OLT) та кінцевими пристроями (ONT) немає активних компонентів, що значно знижує витрати на енергоспоживання і обслуговування мережі.

GPON також відрізняється високою масштабованістю, оскільки дозволяє підключати до 64 або навіть 128 абонентів на одну оптичну лінію через розгалужувачі. Це робить її ідеальним рішенням для багатоповерхових будинків, житлових комплексів або інших щільно забудованих районів. Інтеграція різних типів трафіку, таких як дані, голос (VoIP) і відео (IPTV), через єдину інфраструктуру забезпечує додаткову зручність для провайдерів і користувачів. Довжина оптичної лінії в мережах GPON може досягати 20-60 км без використання повторювачів, що робить цю технологію ефективною для розгортання у сільській місцевості або віддалених районах. Крім того, GPON забезпечує високу надійність і безпеку, оскільки волоконно-оптична

технологія стійка до електромагнітних перешкод, а передача даних є захищеною від перехоплення.

Проте, незважаючи на значні переваги, GPON має і свої недоліки. Одним із ключових обмежень є високі початкові витрати на впровадження, оскільки ця технологія потребує закупівлі дорогого обладнання, такого як OLT, ONT та волоконно-оптичні кабелі, а також проведення робіт із прокладання інфраструктури. Крім того, хоча GPON забезпечує високу загальну пропускну здатність, вона розподіляється між усіма абонентами, підключеними до однієї оптичної лінії. Це може призводити до зниження швидкості доступу під час пікових навантажень, особливо в мережах із великою кількістю користувачів.

Ще одним недоліком є залежність мережі від центрального вузла. У разі збою роботи OLT або пошкодження основного волокна вся мережа може вийти з ладу. Це робить GPON вразливою до централізованих збоїв і вимагає наявності резервних механізмів для забезпечення безперервної роботи. Хоча GPON є сучасною технологією, її модернізація до стандартів із вищими швидкостями, таких як XG-PON чи NG-PON2, може вимагати заміни обладнання, що також пов'язане зі значними витратами. Крім того, якість сигналу і ефективність роботи мережі можуть залежати від кількості абонентів і відстані до них.

Отже, GPON є потужною технологією для побудови телекомунікаційних мереж завдяки високій швидкості, надійності та економічності. Водночас, її впровадження потребує значних фінансових вкладень, а робота мережі може бути обмежена залежністю від централізованих компонентів. Незважаючи на це, GPON залишається одним із найкращих варіантів для створення сучасних інфокомунікаційних систем, особливо у великих житлових комплексах і корпоративних середовищах.

Технологія GPON (Gigabit Passive Optical Network) знаходить широке застосування у різних сферах завдяки своїм перевагам у швидкості, надійності та економічності. Вона є одним із провідних рішень для побудови сучасних

телекомунікаційних мереж, забезпечуючи широкий спектр можливостей як для приватних користувачів, так і для бізнесу.

GPON активно використовується провайдерами Інтернету для надання швидкісного доступу до мережі. Завдяки високій пропускній здатності технологія дозволяє забезпечувати стабільне підключення навіть для великої кількості користувачів у багатоквартирних будинках, житлових комплексах або офісних центрах. GPON підтримує передачу великих обсягів даних, що робить її ідеальним вибором для стрімінгових сервісів, онлайн-ігор, відеоконференцій та хмарних платформ.

GPON дозволяє інтегрувати передачу даних, голосу (VoIP) та відео (IPTV) в одній мережі. Це особливо корисно для провайдерів послуг, які можуть пропонувати пакети "три в одному" (Internet, VoIP, IPTV), що значно спрощує інфраструктуру і зменшує витрати на обслуговування. У користувачів з'являється доступ до якісного потокового відео, цифрового телебачення та телефонного зв'язку через одну лінію.

GPON широко використовується для створення внутрішніх корпоративних мереж, які потребують високої швидкості та стабільності. Наприклад, у великих компаніях, банківських установах, університетах або на підприємствах з географічно розподіленими підрозділами технологія GPON дозволяє об'єднувати всі відділи в єдину мережу. Завдяки довгим відстаням передачі до 20-60 км та низькій чутливості до перешкод, GPON може ефективно обслуговувати як центральні офіси, так і віддалені філії.

GPON активно впроваджується у сферу "розумного дому". Завдяки високій пропускній здатності ця технологія забезпечує стабільне підключення до різноманітних пристроїв, таких як камери відеоспостереження, системи безпеки, датчики освітлення, клімат-контроль та побутові пристрої, що підключені до Інтернету. Це дозволяє мешканцям керувати своїм житлом дистанційно через смартфони або інші пристрої.[4]

GPON є ефективним рішенням для покращення телекомунікаційної інфраструктури у віддалених або малонаселених районах. Завдяки можливості

передачі даних на відстань до 60 км без повторювачів, технологія дозволяє з'єднувати села, ферми або віддалені поселення з мережею Інтернет. Це сприяє покращенню якості життя у сільській місцевості, відкриваючи доступ до онлайн-освіти, телемедицини та інших послуг.

У нових житлових комплексах GPON стає стандартом для побудови мереж, які забезпечують мешканців швидкісним Інтернетом, цифровим телебаченням і телефонним зв'язком. Завдяки можливості підключення до 128 користувачів на один розгалужувач ця технологія забезпечує ефективність і економічність, спрощуючи монтаж і обслуговування.

GPON застосовується в університетах, школах, бібліотеках і лікарнях, де потрібен стабільний зв'язок із високою пропускнуою здатністю. Це дозволяє підтримувати одночасне підключення великої кількості пристроїв, забезпечувати відеоконференції, доступ до онлайн-ресурсів та баз даних, що є особливо важливим у сфері освіти та медицини.

У межах концепції "розумного міста" GPON використовується для створення єдиної мережі, яка об'єднує системи відеоспостереження, моніторингу дорожнього руху, управління освітленням і системами екстреного реагування. Завдяки надійності та високій пропускнуій здатності ця технологія сприяє підвищенню ефективності управління міськими ресурсами.

GPON може використовуватися для створення підключень у дата-центрах, де важливо забезпечити стабільну і швидку передачу даних між серверами, сховищами та зовнішніми мережами. Завдяки низькій затримці і великій швидкості ця технологія стає актуальним рішенням у сфері обробки великих обсягів даних.

GPON є універсальною технологією, яка знаходить застосування у широкому спектрі галузей, від надання послуг домашнім користувачам до побудови складних корпоративних і міських інфраструктур. Її висока швидкість, надійність і можливість інтеграції різних типів послуг роблять GPON одним із найефективніших рішень для сучасних телекомунікаційних систем.

2.3. Технологія XG-PON: порівняння з GPON

Технології GPON (Gigabit Passive Optical Network) та XG-PON (10-Gigabit Passive Optical Network) є двома ключовими стандартами пасивних оптичних мереж, які використовуються для побудови сучасних телекомунікаційних систем. Хоча обидві технології мають схожу архітектуру та базуються на використанні пасивних оптичних розгалужувачів, вони мають суттєві відмінності в технічних характеристиках, що визначає їхні можливості та області застосування.

GPON є перевіреним стандартом, що забезпечує швидкість передачі даних до 2,5 Гбіт/с у напрямку до користувача та до 1,25 Гбіт/с у зворотному напрямку. Ця технологія стала популярною завдяки своїй економічності, високій масштабованості та здатності інтегрувати кілька послуг, таких як Інтернет, голосовий зв'язок (VoIP) і цифрове телебачення (IPTV), на єдиній інфраструктурі. GPON підходить для більшості стандартних застосувань, таких як побудова мереж у житлових комплексах, корпоративних середовищах або у сільській місцевості. Вона дозволяє обслуговувати до 64 або 128 користувачів через одну оптичну лінію.[5]

XG-PON, як наступне покоління технології, була розроблена для подолання обмежень GPON, зокрема у швидкості передачі даних. XG-PON підтримує швидкість до 10 Гбіт/с у напрямку до користувача та до 2,5 Гбіт/с у зворотному напрямку. Цей стандарт орієнтований на задоволення зростаючих потреб у високошвидкісному доступі до Інтернету, який потрібен для таких сучасних застосувань, як потокове відео у форматі 4K та 8K, хмарні сервіси, інтерактивні ігри та масивний обмін даними. XG-PON стає ключовим рішенням для провайдерів, які прагнуть забезпечити конкурентні переваги у боротьбі за ринок користувачів із високими запитами.

Однією з основних переваг XG-PON є її здатність підтримувати більшу пропускну здатність, що дозволяє обслуговувати більшу кількість абонентів із збереженням високої якості послуг. Крім того, XG-PON забезпечує сумісність

із інфраструктурою GPON, що дає змогу поступово модернізувати існуючі мережі без необхідності повної заміни обладнання.

Однак варто врахувати, що XG-PON вимагає значніших інвестицій на етапі впровадження. Обладнання для XG-PON, включаючи OLT (оптичні лінійні термінали) та ONT (оптичні мережеві термінали), має вищу вартість у порівнянні з аналогами GPON. Крім того, не всі користувачі потребують таких високих швидкостей, що може зробити впровадження XG-PON економічно недоцільним у деяких регіонах або для невеликих провайдерів.

GPON залишається оптимальним вибором для застосувань із помірними вимогами до швидкості та пропускної здатності, тоді як XG-PON є ідеальним рішенням для задоволення зростаючих вимог до високошвидкісних мереж у містах, великих корпоративних середовищах або для провайдерів, які прагнуть забезпечити готовність своїх мереж до майбутніх потреб.

У підсумку, вибір між GPON та XG-PON залежить від конкретних завдань, які потрібно вирішити. GPON підходить для більшості стандартних сценаріїв, де швидкість до 2,5 Гбіт/с є достатньою, а витрати на розгортання мають бути мінімальними. XG-PON, зі своєю значно більшою пропускною здатністю, є найкращим вибором для сучасних мереж із високими вимогами до продуктивності та готовністю інвестувати в інфраструктуру майбутнього.

Таблиця 2.1 Порівняння технологій GPON, XG-PON.

Характеристика	GPON	XG-PON
Довжина хвилі	Downstream: 1480-1500 nm Upstream: 1290-1330 nm;	Downstream: 1575-1580 nm Upstream: 1260-1280 nm;
Центральна довжина хвилі	Downstream: 1490 nm Upstream: 1310 nm;	Downstream: 1577 nm Upstream: 1270 nm;
Максимальна швидкість передачі	Downstream: 2.488 Gbit/s Upstream: 1244 Gbit/s;	Downstream: 9.953Gbit/s Upstream: 2.488 Gbit/s;
Максимальна фізична відстань передачі	60 km	100 km
Максимальне співвідношення розгалуження	1:128	1:256

2.4. Перспективи впровадження технології PON на підприємствах

Технологія PON (Passive Optical Network) є однією з найбільш перспективних технологій у сфері телекомунікацій, яка дозволяє значно покращити якість передачі даних, оптимізувати інфраструктуру підприємств і знизити витрати на обслуговування мережі. Впровадження PON на підприємствах відкриває нові можливості для підвищення ефективності роботи, покращення взаємодії з клієнтами, а також для інтеграції сучасних інформаційних систем.

PON — це тип волоконно-оптичної мережі, що використовує пасивні компоненти для передачі даних між точками, такими як центральний офіс або дата-центр, і кінцевими користувачами. Технологія PON не вимагає використання активного обладнання (наприклад, повторювачів або комутаторів) між центральним вузлом і клієнтськими точками, що дозволяє значно зменшити витрати на обслуговування та енергоспоживання. [6]

Основні стандарти PON включають:

- GPON (Gigabit Passive Optical Network) — забезпечує передачу даних зі швидкістю до 2,5 Гбіт/с.
- XG-PON (10-Gigabit Passive Optical Network)** — наступне покоління PON, що забезпечує швидкість до 10 Гбіт/с.

Однією з основних переваг технології PON є висока пропускна здатність мережі. Порівняно з традиційними мідними кабелями або бездротовими технологіями, оптичні волокна, які використовуються в PON, дозволяють передавати значно більший обсяг даних на великі відстані без втрат якості сигналу.

Для підприємств це означає можливість швидкого обміну великими обсягами інформації між офісами або з клієнтами. У сучасному бізнес-середовищі, де роль великих даних (Big Data), хмарних обчислень та інших технологій зростає, швидкісна передача даних стає критично важливою.

Впровадження PON дозволяє знизити витрати на обслуговування мережі, оскільки пасивна оптична мережа не потребує живлення проміжних пристроїв, таких як повторювачі або комутатори. Це зменшує витрати на енергоспоживання, а також на технічне обслуговування та ремонт активного обладнання.

Більш того, оптичні кабелі мають довший термін служби порівняно з традиційними мідними кабелями. Це робить PON надійнішим рішенням для підприємств, яке не потребує частих оновлень інфраструктури, що також знижує капітальні витрати.

Технологія PON відзначається високою надійністю завдяки пасивному характеру передачі сигналу. Відсутність активних компонентів між центральним вузлом і клієнтськими точками знижує ймовірність поломок і збоїв у мережі. Це особливо важливо для підприємств, які потребують стабільного та безперебійного з'єднання для роботи своїх інформаційних систем і сервісів. Крім того, оптоволоконні кабелі є менш вразливими до впливу електромагнітних завад або погодних умов, що додатково підвищує стабільність роботи мережі.

Пасивна оптична мережа забезпечує легку масштабованість, що є важливим фактором для підприємств, які планують розширення або мають декілька офісів. Однією з особливостей PON є можливість підключення багатьох користувачів до одного оптичного лінійного терміналу (OLT) через розгалужувачі. Це означає, що мережу можна легко розширювати, підключаючи нових користувачів без значних витрат на модернізацію. [7]

Ця гнучкість особливо важлива для підприємств, які планують зростання або розширення своєї діяльності, оскільки PON дозволяє адаптувати мережу до нових вимог без значних додаткових витрат.

Оптоволоконні мережі мають вищий рівень безпеки порівняно з мідними або бездротовими технологіями. Оптичні кабелі складніше прослуховувати або підключати до них несанкціоновані пристрої, що робить PON безпечнішим рішенням для передачі чутливих даних.

Для підприємств, які працюють з конфіденційною інформацією (наприклад, фінансові установи або державні організації), впровадження PON може значно підвищити рівень безпеки внутрішньої мережі.

Підприємства, які активно використовують хмарні обчислення, віртуалізацію, аналітику великих даних та інші сучасні IT-рішення, можуть виграти від впровадження PON. Високошвидкісні оптичні мережі дозволяють ефективно інтегрувати ці технології в інфраструктуру підприємства та забезпечити стабільну роботу додатків і сервісів. [6]

Особливо актуально це для компаній, які використовують хмарні платформи для зберігання даних або для розгортання корпоративних додатків. Висока пропускна здатність та надійність PON дозволяють швидко передавати великі обсяги даних між хмарними сервісами та користувачами.

Важливою перевагою PON є її екологічність. Оскільки технологія не потребує активного обладнання на проміжних вузлах, вона значно знижує енергоспоживання. Це робить пасивні оптичні мережі енергоефективнішим рішенням порівняно з традиційними мідними мережами або мережами з використанням активного обладнання.

Для підприємств, які прагнуть зменшити свій вуглецевий слід та впроваджувати стратегії сталого розвитку, PON може стати одним із кроків до зниження впливу на навколишнє середовище.

Хоча технологія PON має багато переваг, існують і деякі виклики, які варто враховувати під час її впровадження.

Незважаючи на те, що PON знижує витрати на обслуговування мережі, початкові інвестиції можуть бути досить високими через необхідність прокладки оптичних кабелів і закупівлі оптичного обладнання.

Впровадження та обслуговування PON вимагає спеціальних знань і навичок, що може потребувати додаткового навчання персоналу або залучення зовнішніх експертів, а також певні обмеження щодо дальності передачі сигналу (зазвичай до 20 км).

РОЗДІЛ 3. ПРОЕКТУВАННЯ МОДЕРНІЗОВАНОЇ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ PON

3.1. Вимоги до нової системи підприємства ТОВ НВ «СОЛВЕР»

Модернізація інфокомунікаційної системи ТОВ НВ «СОЛВЕР» передбачає впровадження нової мережі, яка повинна відповідати сучасним стандартам і задовольняти потреби підприємства як у поточному періоді, так і в довгостроковій перспективі. Основною метою є створення інфраструктури, яка забезпечить стабільну, надійну та швидку передачу даних із можливістю масштабування та модернізації. Однією з ключових вимог є висока пропускна здатність, що дозволить підприємству обробляти значні обсяги трафіку без втрати продуктивності. Нова система повинна підтримувати стабільну роботу таких критично важливих сервісів, як передача великих обсягів даних, використання хмарних платформ, проведення ІР-телефонії та відеоконференцій. Швидкість передачі даних має відповідати сучасним стандартам і бути не нижчою за 2,5 Гбіт/с для downstream та 1,25 Гбіт/с для upstream, із можливістю подальшого підвищення, щоб задовольнити майбутні потреби підприємства.

Важливою вимогою є надійність та відмовостійкість системи, що гарантує мінімізацію ризиків перебоїв у роботі. Це особливо актуально з урахуванням частих відключень електроенергії у зимовий період, які можуть вплинути на стабільність мережі. Для забезпечення надійності необхідно передбачити використання джерел безперебійного живлення (UPS) для ключових компонентів інфраструктури, таких як оптичний лінійний термінал (OLT). Крім того, система повинна мати резервування критичних вузлів, щоб уникнути втрат зв'язку у разі технічних несправностей чи збоїв.

Серед інших вимог виділяється масштабованість нової системи, яка дозволить підприємству легко адаптувати мережу до зростаючих потреб. Це передбачає можливість підключення нових робочих місць, інтеграцію

додаткових підрозділів або пристроїв без необхідності значних фінансових витрат на модернізацію. Система повинна підтримувати підключення до 128 користувачів на одну оптичну лінію через пасивні розгалужувачі, що забезпечить її ефективне використання навіть у випадках значного розширення.

З огляду на сучасні виклики, пов'язані зі зростанням витрат на електроенергію, нова система повинна бути енергоефективною. Це можливо завдяки використанню пасивних оптичних компонентів, таких як розгалужувачі, які не потребують додаткового живлення, а також завдяки оптимізації роботи активного обладнання. Зниження енергоспоживання не лише зменшить експлуатаційні витрати, але й зробить інфраструктуру більш екологічною.[8]

Безпека передачі даних є ще однією ключовою вимогою до нової системи. Система повинна забезпечувати високий рівень захисту даних від несанкціонованого доступу, перехоплення сигналів чи електромагнітних перешкод. Для цього необхідно впровадити сучасні механізми шифрування даних, автентифікації користувачів та управління доступом до мережі. Це гарантує захист конфіденційної інформації підприємства та запобіжить можливим загрозам.

Інтеграція сервісів є важливою складовою модернізації інфокомунікаційної системи. Нова мережа повинна підтримувати одночасну передачу різних типів трафіку, таких як дані, голосові виклики та цифрове телебачення (IPTV). Це дозволить підприємству консолідувати всі послуги на єдиній інфраструктурі, зменшивши витрати на обслуговування та підвищивши ефективність роботи. Такий підхід також створить основу для впровадження сучасних рішень, зокрема систем відеоспостереження, автоматизації процесів та управління "розумними" пристроями.

Враховуючи сучасні тенденції дистанційної роботи, нова система повинна забезпечувати стабільний і безпечний доступ до корпоративної мережі для віддалених працівників. Це включає високу швидкість з'єднання,

підтримку захищених протоколів доступу, таких як VPN, а також можливість проведення відеоконференцій із високою якістю зображення та звуку.

Нарешті, довговічність системи та готовність до модернізації є критично важливими для її ефективного функціонування у довгостроковій перспективі.

Нова інфраструктура повинна відповідати сучасним стандартам та забезпечувати можливість переходу на швидші технології, такі як XG-PON чи XGS-PON, без необхідності повної заміни обладнання. Це дозволить підприємству гнучко реагувати на зростання вимог до мережевих ресурсів.

Загалом, нова система для ТОВ НВ «СОЛВЕР» повинна поєднувати високу продуктивність, енергоефективність, масштабованість і надійність, відповідаючи сучасним викликам та потребам підприємства. Вибір технології GPON забезпечить впровадження рішень, які будуть вигідними як у короткостроковій, так і довгостроковій перспективі, створюючи основу для подальшого розвитку бізнесу.

3.2. Архітектура мережі на базі GPON

Архітектура GPON-мережі для офісного приміщення з 10 робочими місцями, розподіленими у трьох кабінетах, та серверною кімнатою є ефективним рішенням для побудови сучасної телекомунікаційної інфраструктури. Вона базується на використанні волоконно-оптичних ліній для передачі даних і включає три основні компоненти: оптичний лінійний термінал (OLT), оптичні розгалужувачі (Splitters) та оптичні мережеві термінали (ONT).

Центральним елементом системи є OLT, який встановлюється в серверній кімнаті. Це обладнання відповідає за управління всією мережею, зокрема передачею даних до робочих місць у кабінетах та отриманням зворотного трафіку. Серверна кімната також виконує функцію центрального вузла, де розташовується джерело безперебійного живлення (UPS) для підтримання роботи OLT у разі перебоїв електроенергії. Зі серверної

прокладається магістральний волоконно-оптичний кабель до оптичного розгалужувача, розташованого у зручному місці.

Розгалужувач (Splitter) використовується для поділу оптичного сигналу на кілька напрямків, які ведуть до кожного кабінету. Враховуючи розташування трьох кабінетів, у яких розміщено по три-чотири робочих місця, розгалужувач розподіляє сигнал таким чином, щоб кожен кабінет мав власну оптичну лінію. Від розгалужувача до кожного робочого місця прокладається окремий волоконно-оптичний кабель, що забезпечує стабільне з'єднання.

У кожному робочому місці встановлюється ONT, який перетворює оптичний сигнал у формат, придатний для підключення кінцевих пристроїв, таких як комп'ютери, IP-телефони чи принтери. ONT також забезпечує інтеграцію кількох типів послуг, таких як Інтернет, голосовий зв'язок (VoIP) та відеоконференції.

Для забезпечення якісного покриття та зручного управління кабельна інфраструктура організована через кабельні канали або лотки, які прокладаються у стінах, підлозі чи стелі. Кабінети підключаються за допомогою окремих кабельних трас, що дозволяє уникнути плутанини й спрощує обслуговування. Довжина волоконно-оптичних кабелів визначається плануванням приміщення, але з урахуванням стандартів GPON, відстань до робочих місць не перевищує 100 метрів.

Серверна кімната виконує функцію центрального вузла, забезпечуючи об'єднання всіх робочих місць у єдину мережу. У разі потреби встановлюється додатковий комутатор Ethernet для підтримки локальної мережі всередині серверної.

Архітектура GPON-мережі для 10 робочих місць у трьох кабінетах і серверною є ефективним і масштабованим рішенням. Вона дозволяє підприємству забезпечити високу швидкість передачі даних, інтегрувати різні послуги та забезпечити надійність зв'язку. Така мережа легко адаптується до майбутніх потреб, дозволяючи розширення кількості користувачів або

модернізацію обладнання до стандартів, таких як XG-PON, без необхідності суттєвої перебудови інфраструктури.

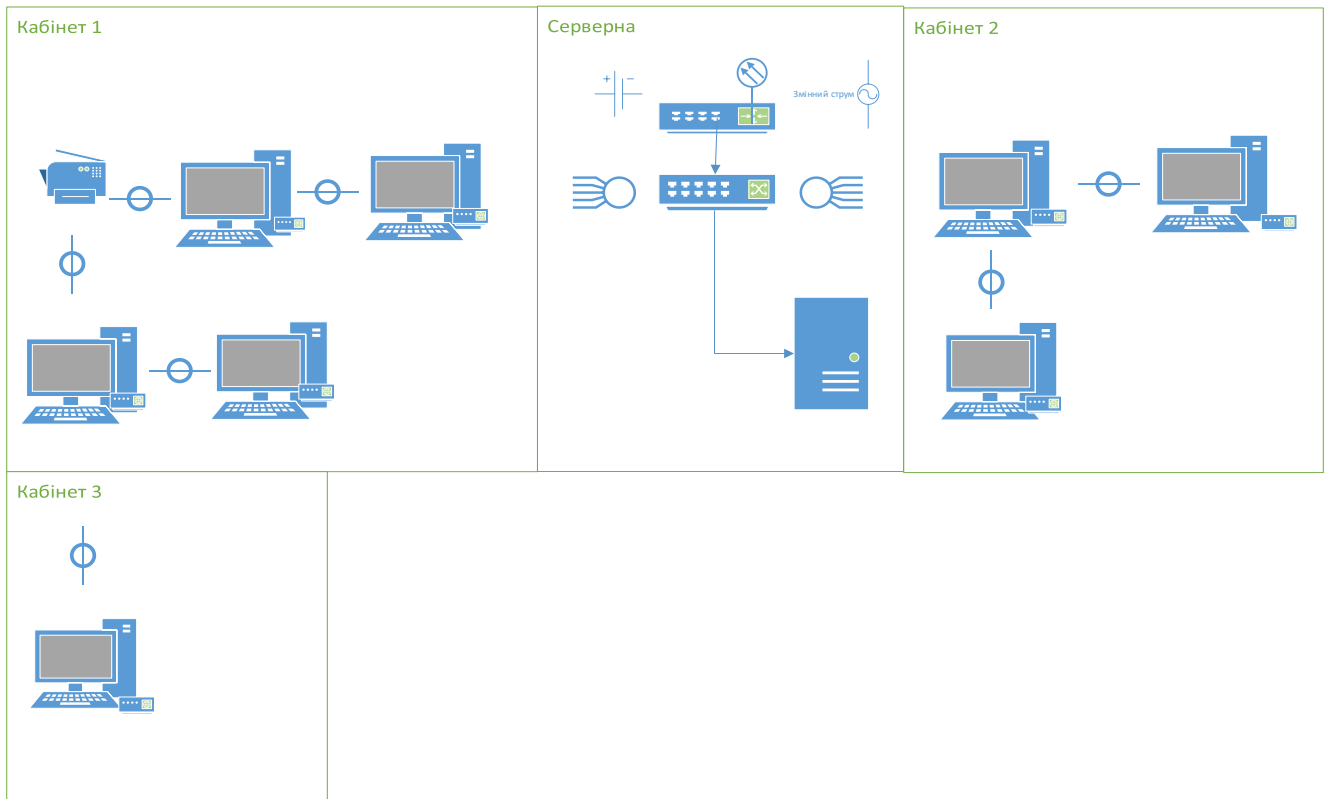


Рисунок 3.1 План інфокомунікаційної системи підприємства

3.3 План впровадження системи та етапи розгортання

Для успішного впровадження системи на базі технології GPON у ТОВ НВ «СОЛВЕР» необхідно дотримуватися чітко визначеного плану, який охоплює всі ключові етапи розгортання. Першим кроком є аналіз потреб підприємства, що включає оцінку кількості користувачів, обсягу трафіку, типів послуг (Інтернет, VoIP, IPTV) та вимог до швидкості передачі даних. На основі цих даних розробляється проект архітектури GPON-мережі, який визначає місця встановлення оптичного лінійного терміналу (OLT), розташування розгалужувачів та прокладання оптичних кабелів. Важливим аспектом є врахування можливостей масштабування мережі для підключення додаткових користувачів у майбутньому.

Для успішного впровадження GPON-мережі та підключенням 10 робочих місць і серверної необхідно ретельно спланувати архітектуру мережі, враховуючи всі технічні аспекти. Серверна кімната буде використовуватися як центральний вузол для встановлення OLT (оптичного лінійного терміналу), а розгалужувачі та оптичні кабелі забезпечать з'єднання між OLT і робочими місцями.

Матеріали та обладнання для проекту:

1. Оптичний лінійний термінал (OLT) – 1 шт.
2. Оптичний розгалужувач (Splitter) – 1 шт. (на 1:16, з запасом для можливого розширення).
3. Оптичні мережеві термінали (ONT) – 10 шт. (по одному на кожне робоче місце).
4. Волоконно-оптичний кабель – 120 метрів (з розрахунку 10 метрів від серверної до кожного робочого місця, з урахуванням запасу на прокладання через стіни або кабельні канали).
5. Кабельні канали або кабельні лотки – 40 метрів (для організації прокладання кабелів у приміщенні).
6. Кріплення та аксесуари – дюбелі, кабельні затискачі та розетки для закріплення кабелів та обладнання.
7. Джерело безперебійного живлення (UPS)** – 1 шт. для забезпечення безперебійної роботи OLT у серверній кімнаті.
8. Комутатори Ethernet (за потреби) – 1-2 шт., якщо на робочих місцях необхідні додаткові з'єднання для локальних пристроїв.
9. Патч-корди для підключення ONT до кінцевих пристроїв – 10 шт. довжиною 1 метр.

Етапи виконання.

1. Підготовка приміщення та інфраструктури
 - У серверній кімнаті площею 6-8 кв. м (частина загального приміщення) встановлюється шафа для обладнання, яка буде містити OLT, UPS і можливі комутатори.

- Монтуються кабельні канали або лотки для прокладання волоконно-оптичних кабелів від серверної до кожного робочого місця.
- Встановлюються розетки або кабельні виходи в місцях розташування робочих місць.

2. Монтаж волоконно-оптичних кабелів

- Прокладається основний оптичний кабель від OLT до розгалужувача.
- Від розгалужувача прокладаються окремі кабелі до кожного з 10 робочих місць.
- Кабелі закріплюються в кабельних каналах і проходять через відповідні отвори у стінах чи стелі, якщо це необхідно.

3. Встановлення та підключення обладнання

- У серверній кімнаті встановлюється OLT, який підключається до магістрального Інтернету.
- Оптичний розгалужувач монтується у зручному місці для розподілу сигналу між 10 кабелями, які ведуть до робочих місць.
- У кожному робочому місці встановлюється ONT, який підключається до кінцевих пристроїв, таких як комп'ютери, IP-телефони або принтери.

4. Налаштування мережі

- На OLT налаштовується розподіл пропускнуої здатності, пріоритизація трафіку та шифрування даних.
- Налаштовується робота ONT для кожного робочого місця, забезпечуючи доступ до Інтернету та інших мережевих послуг.
- Виконується тестування роботи всіх компонентів системи, включаючи швидкість з'єднання та стабільність роботи.

5. Тестування та введення в експлуатацію

- Перевіряється робота мережі на всіх робочих місцях, стабільність передачі даних, якість зв'язку для відеоконференцій і IP-телефонії.
- Система вводиться в експлуатацію після усунення можливих недоліків і налаштування всіх сервісів.

Після завершення всіх етапів підприємство отримає сучасну GPON-мережу, яка забезпечить високу швидкість передачі даних, стабільний зв'язок і можливість масштабування. У приміщенні площею 40 кв. м буде організовано зручне підключення 10 робочих місць і серверної, що дозволить підвищити ефективність роботи компанії.

Після завершення етапу проектування здійснюється закупівля обладнання, яке відповідає вимогам проекту. До нього належать OLT для центрального вузла, оптичні розгалужувачі (splitters) для поділу сигналу, ONT/ONU для кінцевих точок і волоконно-оптичні кабелі для передачі даних. Закуплене обладнання повинно відповідати стандарту ITU-T G.984 (GPON) та мати можливість модернізації до майбутніх стандартів, таких як XG-PON.

Наступним етапом є підготовка інфраструктури. Це включає монтаж кабельних каналів, прокладання волоконно-оптичних кабелів між центральним вузлом, розгалужувачами та кінцевими точками, а також підготовку серверної кімнати для встановлення OLT. Забезпечується джерело безперебійного живлення (UPS) для критичних компонентів системи. Підготовчі роботи також включають вибір доступних місць для монтажу розгалужувачів, щоб спростити обслуговування.

Після цього виконується встановлення обладнання. OLT монтується у центральному вузлі підприємства, де підключається до магістрального Інтернету та оптичних ліній. Оптичні розгалужувачі встановлюються у проміжних точках мережі, забезпечуючи поділ сигналу на кілька кінцевих ліній. ONT/ONU встановлюються на робочих місцях або в інших кінцевих точках мережі.

Далі здійснюється налаштування системи. На цьому етапі OLT налаштовується для управління трафіком, забезпечення якості обслуговування (QoS), шифрування даних та управління доступом. ONT налаштовуються для підтримки кінцевих пристроїв. Проводяться всі необхідні заходи для захисту інформації та забезпечення резервування ключових вузлів, що підвищує відмовостійкість системи.

Після налаштування виконується тестування мережі. Перевіряється швидкість передачі даних, стабільність роботи під навантаженням, а також відповідність фактичних характеристик системи до вимог проекту. Під час тестування виявляються можливі технічні недоліки, які усуваються до введення системи в експлуатацію. Особлива увага приділяється інтеграції послуг, таких як Інтернет, VoIP та IPTV, щоб забезпечити їхню стабільну роботу.

Після успішного тестування система вводиться в експлуатацію. Проводиться навчання IT-персоналу підприємства, щоб забезпечити ефективне управління мережею та її обслуговування. Розробляється документація, яка містить інформацію про налаштування мережі, схему підключень та рекомендації з технічного обслуговування.

Завершальним етапом є моніторинг та підтримка мережі. Це включає регулярний контроль за трафіком, оновлення програмного забезпечення, перевірку стану оптичних кабелів та обладнання. У разі необхідності проводиться оптимізація налаштувань для забезпечення максимальної продуктивності системи. Також здійснюється підтримка користувачів та швидке реагування на можливі технічні проблеми.

Реалізація такого плану впровадження системи на базі GPON забезпечує структурований підхід до модернізації інфокомунікаційної інфраструктури. Дотримання кожного етапу дозволить створити стабільну, масштабовану та надійну мережу, яка відповідатиме потребам ТОВ НВ «СОЛВЕР» як у короткостроковій, так і в довгостроковій перспективі. Такий підхід не лише гарантує високий рівень продуктивності мережі, але й забезпечує її готовність до майбутніх викликів.

3.4. Вибір обладнання для реалізації системи

Оптичний Лінійний Термінал (OLT) є центральним елементом мережі PON, який забезпечує зв'язок між кінцевими користувачами та глобальними інформаційними потоками. Розташований у центральній точці мережі, OLT взаємодіє з оптичними терміналами користувачів (ONT), забезпечуючи ефективне управління трафіком та стабільну передачу даних.

Основними перевагами OLT є висока швидкість обробки великих обсягів даних, їх передача на великі відстані без втрати якості та стійкість до електромагнітних перешкод. Використання оптичного сигналу через волоконно-оптичний кабель забезпечує надійну роботу навіть за умов інтенсивного навантаження.

Ключовою особливістю OLT є його масштабованість і здатність керувати великою кількістю каналів одночасно, що робить його ідеальним рішенням для швидкозростаючих мереж. Його висока пропускна здатність дозволяє задовольнити потреби сучасних користувачів у швидкісному Інтернеті та інших послугах.

Сучасні OLT також відзначаються високою надійністю, включаючи функції резервування маршрутів для забезпечення безперебійної роботи навіть у разі збоїв. Ця технологія гарантує стабільність оптичної мережі, що особливо важливо для сучасної телекомунікаційної інфраструктури.

Наприклад, модель OLT GL5610-16P від компанії GCOM розроблена для універсального використання, включаючи міські та сільські мережі, багатоквартирні будинки та приватні резиденції. Її компактна конструкція забезпечує зручну установку в телекомунікаційних шафах або обмежених просторах, що робить її оптимальним вибором для різноманітних сценаріїв розгортання мереж GPON.



Рисунок 3.1 – Термінал оптичної лінії GCOM OLT GPON GL5610-16P

GPON OLT-термінал GCOM GL5610-16P демонструє чудові характеристики, що роблять його ідеальним вибором для реалізації мереж доступу PON. Завдяки коефіцієнту розгалуження PON-дерева, який досягає вражаючого показника 1:128, цей пристрій здатний підключати до 2048 абонентських пристроїв. Це дозволяє ефективно масштабувати мережу, задовольняючи потреби як малих, так і великих інфраструктур. [9]

Універсальність є ключовою особливістю GCOM GL5610-16P, оскільки він підтримує взаємодію з різноманітними ONT різних виробників. Пристрій також забезпечує можливість конфігурацій з резервним живленням, що підвищує його надійність у складних умовах експлуатації. Вбудовані технологічні рішення покращують відмовостійкість, забезпечуючи стабільну роботу навіть за умов високих навантажень або несприятливих факторів.

Пристрій підтримує ключові протоколи маршрутизації, що сприяє інтеграції з іншими мережевими компонентами. Його сумісність з обладнанням різних брендів забезпечує гнучкість у побудові та модернізації інфраструктури. Окрім цього, офіційна гарантія та технічна підтримка від виробника додають впевненості у виборі цього рішення.

Завдяки високій функціональності, надійності та сумісності з різними пристроями, GCOM GL5610-16P є передовим рішенням для побудови сучасних GPON-мереж. Його технічні характеристики роблять його одним із

найкращих виборів для забезпечення стабільного і швидкісного доступу до мережі в різних умовах використання.

Таблиця 3.1 Характеристики GCOM OLT GPON GL5610-16P

Найменування характеристики	Значення
Кількість PON-портів	16
Мережеві інтерфейси	GPON – 16 10GE SFP+ -2 GE COMBO - 4
Сумарна ємність PON портів:	256 абонентів
Технологія	GPON
Живлення:	AC: вхід 90 ~ 264 В 47/63 Гц DC: вхід 36 В ~ 72 В
Безпека:	Anti-ARP-spoofing Anti-ARP-flooding IP Source Guard create IP+VLAN+MAC+Port binding Port Isolation MAC address binding to the port and MAC address filtering IEEE 802.1x and AAA/Radius authentication Support the control layer to prevent a variety of DOS attacks
Кількість портів Uplink	8
Порти	1 Гбіт/с, 10 Гбіт/с

OLT зазвичай встановлюється у спеціально обладнаному приміщенні, яке називають технічною кімнатою або серверним центром. Це приміщення може розташовуватись у будівлі, яка обслуговує мережу FTTH GPON, або в окремій будівлі поблизу. Технічна кімната оснащена спеціальними стійками

для встановлення станційного обладнання, зокрема OLT, а також іншими компонентами мережевої інфраструктури. Серед них комутаційні панелі, джерела живлення, системи охолодження та допоміжне обладнання.

Розташування OLT у технічному приміщенні забезпечує оптимальний доступ до пристрою для обслуговування і налаштування, захищаючи при цьому обладнання від впливу шкідливих факторів навколишнього середовища, таких як вологість, пил або екстремальні температури. Це гарантує стабільну роботу мережі та знижує ризик відмови обладнання.

Абонентські термінали (ONU) є невід'ємним компонентом будь-якої PON-мережі. Для даного проєкту обрано модель абонентського терміналу BDCOM GP1702-1G, яка відзначається високою надійністю та функціональністю. Завдяки компактності та підтримці сучасних стандартів цей термінал ідеально підходить для використання у проєктованій мережі. Його зображення представлено на рисунку 3.2, що демонструє основні особливості конструкції та ергономічність пристрою. [10]



Рисунок 3.2 Зовнішній вигляд абонентського терміналу BDCOM GP1702- 1G

BDCOM GP1702-1G – це сучасний інтелектуальний оптичний мережевий термінал (ONU) нового покоління, розроблений для інтегрованих мультисервісних мереж широкопasmового доступу. Пристрій повністю відповідає міжнародному стандарту ITU-T G.984/988, а також промислового стандарту PRC GPON ONU та технічним вимогам China Telecom GPON STC2.0, що забезпечує його відповідність сучасним вимогам мереж доступу.

Ця ONU виконує кілька важливих функцій, зокрема прийом і передачу оптичного сигналу, передачу даних, перетворення протоколів, управління послугами та забезпечення безпеки. Завдяки підтримці міжнародних стандартів, BDCOM GP1702-1G забезпечує надійну інтеграцію в сучасні PON-мережі та пропонує високу стабільність у роботі.

Пристрій підтримує мультисервісну інфраструктуру, дозволяючи ефективно розподіляти ресурси для різних послуг, таких як високошвидкісний Інтернет, IPTV, VoIP та інші. Його сумісність із широким спектром GPON-мереж і відповідність сучасним стандартам робить BDCOM GP1702-1G оптимальним вибором для побудови масштабованих та надійних систем широкопasmового доступу.

Таблиця 3.2 Характеристики BDCOM GP1702-1G

Найменування характеристики	Значення
Швидкість передачі даних, Гбіт/с	2,5 (нижній канал), 1,25 (верхній канал)
Коефіцієнт ділення	1:128
Радіус покриття мережі, км	20
Безпека	VLAN, STP, ізоляція портів, ACL, QoS, контроль широкопasmового шторму
Керування послугами	DBA, обмеження швидкості, QoS
OMCI	Стандартний OMCI ITU-T, приватний OMCI BDCOM
Відповідність стандартам	ITU-T G.984/988, галузевий стандарт GPON ONU Спільноти KHP, Технічні вимоги STC2.0 China Telecom GPON

Оптична потужність, дБм	-28 (приймальний порт PON), 0,5-5(вихідний порт PON)
-------------------------	--

SFP (Small Form-factor Pluggable) – це стандартний модуль для оптичного інтерфейсу, що забезпечує гнучке підключення між оптичним лінійним терміналом (OLT) і оптичними мережевими терміналами (ONU). Ці модулі пропонують значні переваги, які роблять їх незамінним компонентом сучасних оптичних мереж.

Однією з ключових переваг SFP-модулів є їх зручність у використанні. Вони легко замінюються без необхідності розбирати OLT або ONU, що спрощує технічне обслуговування і модернізацію. Завдяки універсальності SFP-модулі можуть використовуватися для підключення обладнання різних виробників, що значно розширює можливості інтеграції мереж. Їх гнучкість у масштабуванні дозволяє підключати пристрої з різними характеристиками, такими як пропускна здатність чи відстань передачі.

Попри переваги, SFP-модулі мають і певні недоліки. Їх вартість може бути вищою, ніж у стандартних оптичних кабелів, що впливає на бюджет проекту. Крім того, для використання SFP-модулів потрібне додаткове обладнання, таке як спеціальні роз'єми на OLT і ONU, що додає складності до інфраструктури.

Одним із прикладів SFP-модулів є Cisco GLC-T – одномодовий модуль із роз'ємом SC/UPC. Він підтримує швидкість передачі даних до 1 Гбіт/с, що робить його оптимальним для багатьох мережових застосувань. Його технічні характеристики включають чутливість приймача менше -28 дБм і потужність передавача в межах 0,5–5 дБм. Ці показники забезпечують стабільну передачу даних та високу надійність у роботі. [11]

SFP-модулі є важливою частиною сучасної оптичної інфраструктури, забезпечуючи гнучкість, масштабованість та зручність інтеграції в мережі різного рівня складності. Вибір відповідного SFP-модуля залежить від специфічних вимог проекту, таких як відстань передачі, швидкість даних та сумісність із наявним обладнанням.



Рисунок 3.3 – Зовнішній вигляд Cisco GLC-T

Трансивер Cisco GLC-T є універсальним та надійним компонентом, який забезпечує стабільне підключення між пристроями, такими як BDCOM GP1702-1G та GCOM OLT GPON GL5610-16P. Однією з його ключових переваг є підтримка режиму "гарячої заміни", що дозволяє підключати або відключати модуль без необхідності перезавантаження мережевого обладнання. Це значно спрощує процес обслуговування та модернізації мережі. [12]

Основні характеристики Cisco GLC-T:

- Стандарти: IEEE 802.3z, IEEE 802.3ab, що забезпечує сумісність із широким спектром мережевих пристроїв.
- Швидкість передачі даних: 1 Гбіт/с, що відповідає сучасним вимогам до пропускної здатності.
- Довжина хвилі: 1310 нм, оптимальна для більшості оптичних мереж.
- Роз'єм: SC/UPC, що забезпечує стабільне з'єднання.
- Чутливість приймача: менше -28 дБм, що дозволяє працювати з низькоенергетичними сигналами.

- Потужність передавача: від 0,5 до 5 дБм, що забезпечує ефективну передачу даних на середні та великі відстані.

Трансивер Cisco GLC-T відповідає всім вимогам для інтеграції в мережі GPON, є доступним за ціною та забезпечує надійну роботу.

Оптичний розгалужувач (сплітер) є ще одним важливим компонентом пасивних оптичних мереж, який використовується для розподілу оптичного сигналу між декількома виходами. У випадку побудови GPON-мережі вибір оптичних розгалужувачів залежить від кількох важливих факторів:

1. Кількість розгалужень (Split Ratio): Це визначає кількість портів на вході та виході. Наприклад, сплітер із відношенням 1:32 дозволяє розподілити сигнал з одного входу на 32 виходи, що є оптимальним для масштабованих мереж.
2. Довжина хвилі: Оптичні розгалужувачі повинні підтримувати довжини хвиль, які використовуються у мережі, наприклад, 1310 нм або 1550 нм.
3. Втрати розгалужувача: Важливо вибирати розгалужувачі з мінімальними втратами, оскільки це безпосередньо впливає на якість сигналу.
4. Спектральні характеристики: Визначають, як розподіляється оптична потужність на різних довжинах хвиль, що впливає на ефективність роботи мережі.

Оптичні розгалужувачі зі співвідношенням 1:32 є оптимальним вибором для побудови масштабованої мережі GPON із врахуванням бюджету потужності та потреб користувачів. Завдяки використанню трансиверів Cisco GLC-T та якісних оптичних розгалужувачів забезпечується стабільна та ефективна робота мережі, задовольняючи потреби сучасних мультисервісних інфраструктур.

При розрахунку даного проекту буде використано спліттер PLC Splitter (Спліттер) 1x32, SC/UPC, 900 um, G657AFiberField зовнішній вигляд показано на рисунку 3.4, а характеристики наведено в таблиці 3.3. [13]



Рисунок 3.4 - Зовнішній вигляд PLC Splitter 1x32, SC/UPC, 900 um, G657A
FiberField

Таблиця 3.3 Характеристики PLC Splitter 1x32, SC/UPC, 900 um, G657A
FiberField

Найменування характеристики	Значення
Співвідношення розподілу:	1x32
Тип коннектора:	SC / UPC
Тип оптичного волокна:	Одномодовое (SM)
Стандарт оптичного волокна:	G.657.A
Втрати при зворотних відображеннях:	≥ 50
Спрямованість:	≥ 55
Максимальні втрати від поляризації (PDL):	≤ 1
Максимальні втрати уніформатності:	≤ 1
Довжина хвиль:	1260 ~ 1650 нм
Внесені втрати (хв / макс):	max ≤ 13.8 dBm
Тип інтерфейсу:	SC
Температура роботи:	-40 ... + 85 ° C
Розміри:	1500 мм

Переваги PLC-розгалужувачів у PON-мережах:

PLC-розгалужувачі (Planar Lightwave Circuit) є ключовими компонентами пасивних оптичних мереж, які забезпечують ефективний розподіл оптичного сигналу між декількома портами. Їхні переваги порівняно з іншими типами розгалужувачів, такими як сварні, роблять їх ідеальним вибором для сучасних PON-інфраструктур.

Однією з основних переваг є низькі втрати. Це означає, що більша частина оптичної потужності, що надходить на вхідний порт розгалужувача, передається на вихідні порти. Це критично важливо для забезпечення стабільної роботи мережі, особливо на великих відстанях.

PLC-розгалужувачі підтримують широкий діапазон довжин хвиль — від 1260 нм до 1650 нм, що робить їх універсальними для використання у PON-мережах, які передають сигнали різних довжин хвиль. Ця функція дозволяє інтегрувати їх у складні мультисервісні інфраструктури.

Зворотне відбиття становить ≥ 55 , що означає мінімальне відображення оптичної потужності назад до джерела сигналу. Це підвищує ефективність роботи мережі та знижує ймовірність втрат якості сигналу. Додатково, максимальні втрати від поляризованості (PDL) на рівні 0,03 забезпечують рівномірний розподіл сигналів різних поляризацій між вихідними портами, що позитивно впливає на продуктивність мережі.

На відміну від сварних розгалужувачів, PLC-розгалужувачі мають значно нижчі втрати, працюють у широкому діапазоні довжин хвиль та є менш схильними до зворотного відбиття. Завдяки цим характеристикам вони забезпечують більш високу ефективність, надійність та стабільність у роботі, що робить їх оптимальним вибором для сучасних PON-мереж.

При розрахунку даного проекту буде використано IPCOM COUPLER FBT 1X2 1310/1550-30/70-0 -SC/UPC-0.9MM CORD-1.0M, зовнішній вигляд показано на рисунку 3.5, а характеристики наведено в таблиці 3.4.

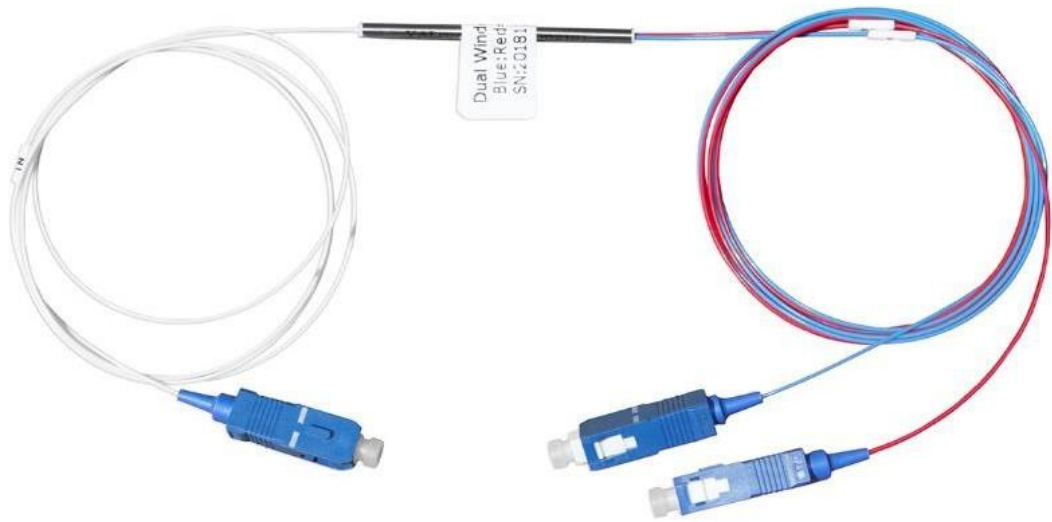


Рисунок 3.5 Зовнішній вигляд IPCOM COUPLER FBT 1X2 1310/1550-30/70-0 -SC/UPC-0.9MM CORD-1.0M

Таблиця 3.4 Характеристики IPCOM COUPLER FBT 1X2 1310/1550- 30/70-0 -SC/UPC-0.9MM CORD-1.0M

Найменування характеристики	Значення
Співвідношення розподілу:	1x2
Тип оптичного волокна:	Одномодовое (SM)
Стандарт оптичного волокна:	G.657.A
Прямі втрати	3,4 дБ
Довжина хвиль:	1310-1550 нм
Тип інтерфейсу:	SC
Температура роботи:	-40 ... + 85 ° C

Зварний одномодовий роздільник FBT 1x2 30/70 є надійним рішенням для фізичного розподілу трафіку у мережах PON. Його компактні габарити (3x60 мм) дозволяють легко інтегрувати пристрій у будь-яку мережеву інфраструктуру. Однією з головних переваг FBT-роздільника є можливість "нерівного" розподілу сигналу, що дозволяє адаптувати потужність вихідного сигналу залежно від конкретних потреб мережі. Наприклад, розподіл сигналу

у співвідношенні 30/70 забезпечує більший обсяг потужності на одному виході, що може бути критично важливим для підтримки високоякісного зв'язку в певних сегментах мережі.[14]

Ще однією перевагою FBT-роздільників є їх доступна ціна, що робить їх економічно вигідним вибором порівняно з більш складними та дорогими планарними роздільниками. Це дозволяє знизити загальні витрати на побудову оптичної мережі, зберігаючи при цьому високу якість роботи.

Оптичний кабель для GPON-мереж є не лише засобом передачі даних, але й високотехнологічним рішенням, яке оптимізує передачу великого обсягу інформації на значні відстані. Ці кабелі слугують "кровоносною системою" для мережі, забезпечуючи високу стійкість до впливу зовнішніх чинників, таких як погодні умови або механічні пошкодження, що робить їх незамінними для створення надійної інфраструктури.

Однією з ключових характеристик оптичних кабелів є їхня висока пропускна здатність. Завдяки використанню оптичного сигналу, вони забезпечують гігабітні швидкості передачі даних, що ідеально підходить для великих міських мереж, корпоративних платформ або домашніх мереж доступу. Це робить їх універсальним рішенням для широкого спектра застосувань, від великих інтернет-провайдерів до приватних користувачів.

Використання таких компонентів, як FBT-роздільники та оптичні кабелі, дозволяє забезпечити високу продуктивність, економічність та надійність у побудові сучасних мереж GPON, задовольняючи потреби як великих інфраструктур, так і індивідуальних споживачів.

В цьому проекті буде використано 2 типи кабелів: G.652 та G.657, зовнішній вигляд представлено на рис. 3.6. та 3.7 відповідно.

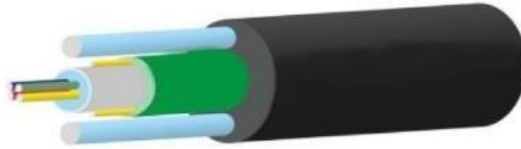


Рисунок 3.6 - Оптичний кабель Fifix OTLMr-2F-G652D-PE-1,5kN

Fifix та броньований кабель OTLMr nF G 652D PE для телекомунікаційних мереж. Система Fifix розроблена для прокладки телекомунікаційних мереж у кабельній каналізації, трубах, блоках та колекторах. Вона забезпечує ефективне рішення для створення нових оптичних мереж або інтеграції з існуючими інфраструктурами. Основною перевагою цієї системи є використання броньованого кабелю OTLMr nF G 652D PE, який поєднує в собі надійність, зручність монтажу та універсальність.[15]

Броньований кабель відзначається міцною конструкцією, яка включає захисний шар, що надає додаткову стійкість до механічних пошкоджень і несприятливих умов. Діаметр кабелю разом з оболонкою становить 9,5-11 мм, а його вага — не більше 100 кг на кілометр, що спрощує транспортування, прокладання і монтаж. Завдяки компактності та легкості цей кабель є ідеальним рішенням для міських телекомунікаційних мереж високої щільності.

Кабель OTLMr nF G 652D PE забезпечує захист від зовнішніх факторів, таких як затоплення або пошкодження гризунами, що робить його придатним для використання в складних умовах. Він ідеально підходить для прокладки у кабельній каналізації, трубах, а також у місцях із підвищеною ймовірністю впливу агресивних середовищ. Завдяки малому діаметру та невеликій вазі кабель можна використовувати навіть у районах із обмеженим доступом до інфраструктури.

Цей кабель є універсальним і практичним рішенням для побудови телекомунікаційних мереж, де необхідні висока щільність, надійність і стійкість до зовнішніх впливів. Завдяки своїм технічним характеристикам і

захисним властивостям, кабель OTLMr nF G 652D PE забезпечує стабільну роботу оптичних мереж навіть у найскладніших умовах.



Рисунок 3.7- Оптичний кабель FinMark PS001-SM-02

Кабелі для абонентських ділянок відрізняються короткою довжиною, але великою кількістю прокладених ділянок. Вибір конструкцій таких кабелів вимагає врахування певних факторів, які забезпечують надійність та безпеку їх експлуатації. Абонентські волоконно-оптичні кабелі (ВОК), прокладені всередині будівель, повинні мати підвищену стійкість до механічних пошкоджень, таких як вплив гризунів або недбале поводження користувачів. Важливим елементом конструкції є захисні оболонки та компоненти, які мінімізують ризик пошкодження волокон.

Ще однією ключовою вимогою є наявність зовнішньої оболонки, яка не поширює горіння, оскільки кабелі часто проходять через різні приміщення. Така оболонка забезпечує безпеку в разі пожежі, особливо в умовах багатоквартирних будинків або офісних споруд. Для абонентських ділянок зазвичай не передбачається запас волокон, адже в разі потреби більш ефективно прокладати нові кабелі з потрібною кількістю волокон.

Оптичний кабель FinMark PS001-SM-02 є чудовим прикладом кабелю для абонентських ділянок. Він містить одне оптичне волокно у щільному легко знімному буфері. Це одномодове волокно відповідає стандарту ITU-T. [16]

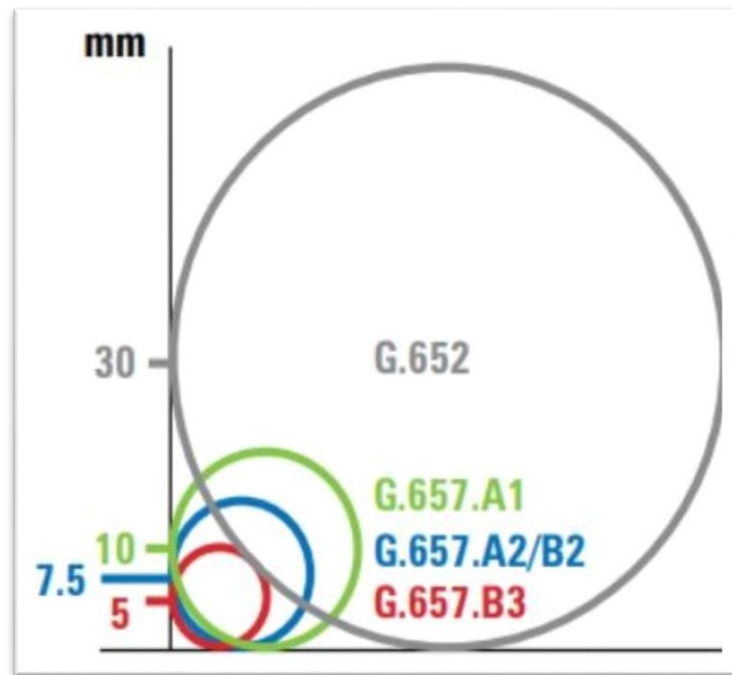


Рисунок 3.8 Різниця в радіусі вигину між G.652 і G.657

G.657.A2, що дозволяє укласти кабель із малим радіусом вигину без значного збільшення втрат. Його зовнішня оболонка виготовлена з безгалогенного низькодимного матеріалу LSZH (Low Smoke Zero Halogen), який не поширює горіння, що забезпечує безпеку під час використання всередині приміщень. Додатковий захист від поздовжнього натягу забезпечується підсилюючим шаром кевларових (арамідних) волокон.

Волокно G.657 є вдосконаленням стандартного волокна G.652, забезпечуючи меншу чутливість до вигинів і нижчий рівень загасання. Волокно G.657 поділяється на категорії A і B:

- G.657.A використовується в мережах доступу.
- G.657.B оптимізоване для кінцевих ділянок, де багато вигинів.

Кожна категорія має підкатегорії (A1, A2, B2, B3), які визначають допустимі радіуси вигину. Завдяки своїм характеристикам, волокно G.657 забезпечує сумісність із волокном G.652, але водночас підвищує гнучкість мережі, що є важливим для абонентських ділянок.

Таким чином, оптичні кабелі для абонентських ділянок, такі як FinMark PS001-SM-02, забезпечують надійність, безпеку та ефективність передачі

даних, що робить їх оптимальним вибором для використання в сучасних оптичних мережах.

Оптична муфта є ключовим елементом волоконно-оптичних ліній зв'язку (ВОЛЗ), що забезпечує надійність і довговічність роботи мережі. Вона виконує дві основні функції, які роблять її незамінною в інфраструктурі оптичного зв'язку. [17]

Перша функція — захист оптичних волокон від зовнішніх впливів. Умови зовнішнього середовища, такі як ультрафіолетове випромінювання, волога або механічні пошкодження, можуть негативно вплинути на волокна, спричиняючи втрати сигналу чи пошкодження кабелів. Оптична муфта створює надійний бар'єр, що захищає волокна від цих негативних чинників, забезпечуючи стабільність передачі даних навіть у складних умовах.

Друга функція — герметизація місць з'єднання оптичних кабелів. Місця з'єднання різних кабелів є критичними точками, через які може проникати волога, пил чи інші шкідливі речовини. Муфта герметизує ці з'єднання, запобігаючи їх пошкодженню, що сприяє довговічності роботи ВОЛЗ. Завдяки герметизації зменшується ймовірність виходу мережі з ладу через вплив зовнішніх факторів.

Для даного проекту буде використано два види оптичних муфт:

1. FOSC-X (FOSC-X108/16-2-32) — багатофункціональна муфта, що забезпечує герметизацію та захист кабелів, підходить для широкого спектра застосувань у міських і сільських мережах. Вона дозволяє легко з'єднувати оптичні кабелі різної довжини та діаметра. Її зображення представлено на рисунку 3.9. [18]
2. Crosver FOSC-A — компактна муфта, яка підходить для невеликих мереж або ділянок з обмеженим простором. Завдяки своїй конструкції вона забезпечує швидке встановлення та високу ефективність герметизації. Її зображення представлено на рисунку 3.10.[19]

Обидва типи муфт забезпечують високий рівень захисту та надійності, що робить їх оптимальним вибором для побудови сучасних волоконно-

оптичних мереж зв'язку. Завдяки використанню цих компонентів можна гарантувати стабільність і довговічність роботи оптичної мережі навіть у складних умовах експлуатації.



Рисунок 3.9 Оптична муфта FOSC-X (FOSC-X108/16-2-32)

Міні-муфта FOSC-S108 AM/4-2-32 є сучасним і компактним рішенням для побудови волоконно-оптичних мереж із обмеженою кількістю волокон. Цей компонент використовується в мережах PON для технологій FTTB (Fiber to the Building) і FTTH (Fiber to the Home), забезпечуючи стабільне підключення абонентів. Завдяки своїй універсальності, муфта може встановлюватися в кабельних каналізаціях, на стінах будівель або стовпах ліній електропередач.

Характеристики та конструктивні особливості:

- Розміри та ємність: Муфта має компактну прямокутну форму та розрахована на 32 зварні з'єднання, які організовані в два шари за допомогою термоусаджуваних гільз.
- Кабелевводи: Оснащена 4 кабелеводами діаметром 18 мм ($4 \times \text{Ø}18$ мм), що дозволяє зручно підключати оптичні кабелі різних розмірів.
- Матеріал: Захисний кожух виготовлений із ультрафіолетостійкого поліетилену високої щільності (HDPE), що забезпечує стійкість до механічних пошкоджень, вологи та ультрафіолетового випромінювання.

- Сплайс-касети: Внутрішня конструкція включає дві сплайс-касети, кожна з яких підтримує до 16 термоусаджуваних гільз. Це забезпечує компактну та впорядковану організацію з'єднань.
- Кріплення: Кабельоводи обладнані металевими напрямними та гвинтоподібними кріпленнями для фіксації силових елементів оптичного кабелю. Це забезпечує надійну фіксацію кабелів, запобігаючи їх пошкодженню під час експлуатації.
- Доступ: Знімна кришка муфти закріплюється чотирма болтами, що забезпечує легкий доступ до внутрішніх компонентів для обслуговування або модернізації.

Переваги:

1. Компактність: Плоска форма та невеликі розміри дозволяють використовувати муфту в обмежених просторах.
2. Надійність: Захисний кожух із HDPE гарантує довговічність і стійкість до зовнішніх впливів.
3. Універсальність: Можливість встановлення в різних умовах: під землею, на будівлях або стовпах.
4. Зручність обслуговування: Простий доступ до внутрішніх елементів завдяки знімній кришці.

Міні-муфта FOOSC-S108 AM/4-2-32 є оптимальним вибором для створення надійних оптичних мереж, які потребують високої стійкості до зовнішніх впливів і забезпечення зручного підключення абонентів за технологіями FTTH і FTTH.



Рисунок 3.10 – Оптична муфта FOOSC-A

Муфта Crosver FOSC-A є надійним і універсальним рішенням для з'єднання та розгалуження оптичного кабелю в різних умовах експлуатації, включаючи встановлення на повітрі та під землею. Вона поєднує компактність конструкції, високу міцність і надійний захист волоконно-оптичних з'єднань.

Конструктивні особливості:

- Корпус: Виготовлений із високоміцного пластику, що забезпечує стійкість до механічних пошкоджень, вологи та ультрафіолетового випромінювання.
- Сплайс-касети: Внутрішній простір муфти містить сплайс-касети, які забезпечують зручну організацію та захист оптичних з'єднань.
- Фіксація кабелів: Передбачено спеціальні елементи для надійного закріплення оптичних кабелів,

Герметизація:

- Корпус: Герметичність між половинками корпусу забезпечується гумовою прокладкою.
- Клинові механізми: Для рівномірного стискання корпусу по всій довжині використовуються чотири клинові стягуючі механізми.
- Герметизуюча стрічка: У місцях введення кабелів використовується спеціальна стрічка, яка підвищує герметичність і компенсує механічне напруження в широкому температурному діапазоні від -40°C до $+60^{\circ}\text{C}$.

Додаткові переваги:

- Корозійностійкі матеріали: Усі металеві компоненти виготовлені з матеріалів, які не піддаються корозії, що забезпечує довговічність муфти навіть у складних умовах.
- Широкий діапазон застосувань: Муфта підходить для використання в різних типах мереж, включаючи PON, FTTH і FTTB.

Муфта Crosver FOSC-A є ідеальним вибором для побудови надійних оптичних мереж, забезпечуючи захист оптичних з'єднань і стабільну роботу в умовах екстремальних температур і агресивних зовнішніх впливів. Її конструкція та матеріали гарантують довговічність і ефективність експлуатації.

РОЗДІЛ 4. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

4.1. Методи тестування продуктивності нової системи

Тестування продуктивності нової системи на базі GPON є важливим етапом, який дозволяє оцінити її ефективність, стабільність та відповідність технічним вимогам. Для цього використовуються різноманітні методи, які охоплюють перевірку пропускну здатності, затримки, стабільності під навантаженням, а також якість обслуговування. Тестування виконується на всіх рівнях мережі, починаючи з оптичного лінійного терміналу (OLT) і закінчуючи кінцевими пристроями, підключеними до оптичних мережевих терміналів (ONT).

Одним із ключових методів є тестування пропускну здатності мережі. Цей метод дозволяє визначити максимальну швидкість передачі даних у напрямку до користувача (downstream) та у зворотному напрямку (upstream). Для перевірки використовуються спеціалізовані інструменти, такі як програмне забезпечення для генерації трафіку. Дані порівнюються з технічними характеристиками GPON, які передбачають швидкість до 2,5 Гбіт/с downstream і 1,25 Гбіт/с upstream.

За допомогою сервісу Speedtest by Ookla проводимо тестування нашої мережі, які відображені на рисунку 4.1.

Затримка (Ping) має значення 1 мс, що є винятково низьким і вказує на ідеальні умови з'єднання. Такий результат характерний для високоякісних локальних мереж із мінімальною затримкою. Швидкість завантаження склала 608,93 Мбіт/с – це відмінна швидкість, яка відповідає сучасним стандартам високошвидкісного Інтернету. Така швидкість є ідеальною для роботи з інтенсивними мережевими завданнями, такими як потокове 4К-відео, великі завантаження файлів або робота з хмарними платформами. Швидкість вивантаження (Upload) – 419,19 Мбіт/с, також чудовий показник, який

забезпечує ефективну передачу даних, наприклад, під час відеоконференцій, завантаження великих файлів або роботи з віддаленими серверами.

Вцілому середня швидкість завантаження та вивантаження відповідають високоякісному рівню з'єднання, забезпечуючи стабільну роботу для будь-яких мережевих завдань. Рівень з'єднання характерний для гігабітних з'єднань, які зазвичай надаються оптоволоконними провайдерами або корпоративними мережами.

Результати Speedtest демонструють високоякісне з'єднання із низькою затримкою та великою пропускнуою здатністю. Це показує, що мережа добре налаштована і відповідає сучасним вимогам для швидкісного Інтернету.

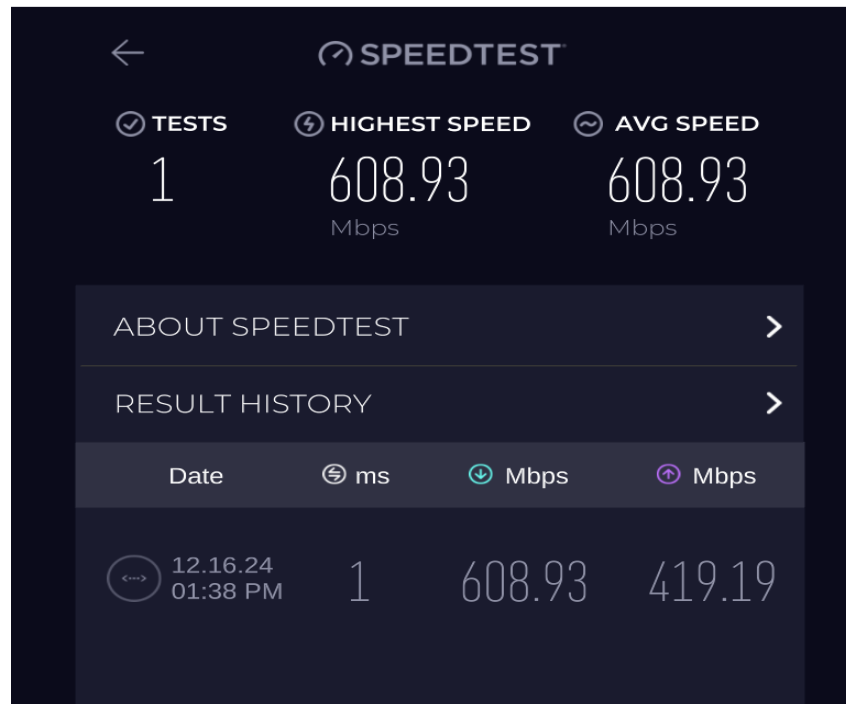


Рисунок 4.1 Результати тестування швидкості мережі за допомогою сервісу Speedtest by Ookla

Для оцінки затримки у передачі даних застосовується метод вимірювання латентності. Затримка є критично важливим параметром для роботи додатків реального часу, таких як відеоконференції чи IP-телефонія. Тестування виконується шляхом надсилання контрольних пакетів даних через мережу (наприклад, за допомогою протоколу ICMP) та вимірювання часу їх

проходження між кінцевими точками. Результати повинні відповідати нормам, прийнятим для GPON, які забезпечують низький рівень латентності.

Для визначення стабільності системи виконується тестування під навантаженням. Цей метод імітує роботу мережі у реальних умовах, коли одночасно працює велика кількість користувачів. Для цього генерується штучне навантаження, яке перевищує середньодобові значення трафіку. Під час тестування вимірюються швидкість передачі даних, рівень затримки та відсоток втрат пакетів. У разі необхідності вносяться зміни до конфігурації системи для забезпечення її стабільної роботи.

Ще одним важливим методом є перевірка якісних показників обслуговування (QoS). Це включає аналіз пріоритизації трафіку для різних типів послуг, таких як Інтернет, голосовий зв'язок чи відео. Тестування проводиться за допомогою інструментів, які дозволяють оцінити, чи правильно система розподіляє ресурси мережі між користувачами.

Перевірка захищеності даних також є невід'ємною частиною тестування продуктивності. Використовуються методи аналізу шифрування та автентифікації, які гарантують безпечну передачу даних через GPON-мережу. В рамках цього тесту проводяться спроби моделювання атак для перевірки стійкості системи до зовнішніх загроз.

Крім того, можуть виконуватися інтеграційні тести, які перевіряють роботу всіх компонентів системи у комплексі. Це включає перевірку взаємодії OLT, Splitters та ONT, а також з'єднання з кінцевими пристроями. Особлива увага приділяється перевірці надійності передачі даних на довгих дистанціях, що є однією з ключових характеристик GPON.

Результати тестування документуються для подальшого аналізу. У разі виявлення недоліків система доопрацьовується до досягнення необхідного рівня продуктивності. Таким чином, використання цих методів забезпечує впевненість у стабільності, безпеці та ефективності нової системи.

У нашому випадку для аналізу продуктивності використаємо PingPlotter — потужний інструмент, який дозволяє вимірювати затримку (latency),

джитер (jitter) та втрату пакетів на маршруті до цільового вузла. Інструмент забезпечує наочний інтерфейс, який допомагає швидко ідентифікувати проблеми в мережі.

У полі Target Address необхідно введіть IP-адресу або доменне ім'я вузла, який потрібно протестувати

Обираємо інтервал тестування у секундах (наприклад, 1 або 2 секунди для реального часу). Натискаємо кнопку Start для початку моніторингу, PingPlotter почне надсилати ICMP-запити до зазначеного вузла та аналізувати відповіді.

Затримка показана червоною лінією на графіку в нижній частині вікна. Графік демонструє час, необхідний для проходження пакету до кожного вузла на маршруті. Затримка в межах 0-50 мс є нормальною для більшості мереж; значення понад 100 мс може вказувати на проблеми.

Джитер відображає варіацію у часі затримки між пакетами. На графіку PingPlotter ви можете помітити коливання затримки: більш гладка лінія означає низький джитер, тоді як різкі стрибки свідчать про проблеми. Низький джитер (менше 20 мс) є оптимальним для голосових і відео-додатків.

Відсоток втрат пакетів вказується для кожного вузла на маршруті. Якщо втрата пакетів перевищує 1-2%, це може бути ознакою проблем у мережі. У таблиці відображаються значення Min, Max, Avg (мінімальна, максимальна та середня затримка) для кожного вузла.

Стовпець PL% показує відсоток втрачених пакетів.

Проведено тестування до вузла pupr.edu.ua (IP: 77.121.11.7) та отримано наступні результати, які відображено на рисунку 4.2:

- Кількість стрибків (Hop): 9;
- Інтервал запитів: 2,5 секунди;
- Тривалість тесту: 10 хвилин (з 13:08:14 до 13:18:14);
- Загальна затримка: 12,6 мс (середній Round Trip Time на кінцевому вузлі);

Проблемні вузли:

- Нор 4 (80.93.127.190):
 - Середня затримка: 11,1 мс.
 - Втрати пакетів (PL%): 9,5% – показник незначної нестабільності.
- Нор 5 (194.146.198.209):
 - Середня затримка: 18,8 мс.
 - Втрати пакетів (PL%): 18,2% – суттєва втрата пакетів.
- Нор 7 (77.121.8.254):
 - Середня затримка: 13,2 мс.
 - Втрати пакетів: 17,3% – продовження проблеми зі стабільністю.

Загальна втрата пакетів:

- Втрати пакетів на кінцевому вузлі (nupr.edu.ua, Нор 9): 12,6%.
- Це вказує на помірну нестабільність у мережі, ймовірно, викликану проміжними вузлами.

Джитер:

- На графіку помітний джитер (коливання затримки), який досягає 30 мс у певні моменти. Це може вплинути на якість голосового та відео-зв'язку.

Затримка:

- Максимальна затримка на маршруті: 18,8 мс (Нор 5).
- Кінцева затримка до цільового вузла: 13,3 мс – це прийнятне значення, але з нестабільністю через втрати пакетів.

Основні проблеми виникають на Нор 5 та Нор 7, де фіксуються значні втрати пакетів. Підсумковий вузол (nupr.edu.ua) має втрати 12,6%, що є помірним рівнем нестабільності. Джитер на рівні 30 мс вказує на можливі проблеми із трафіком реального часу.

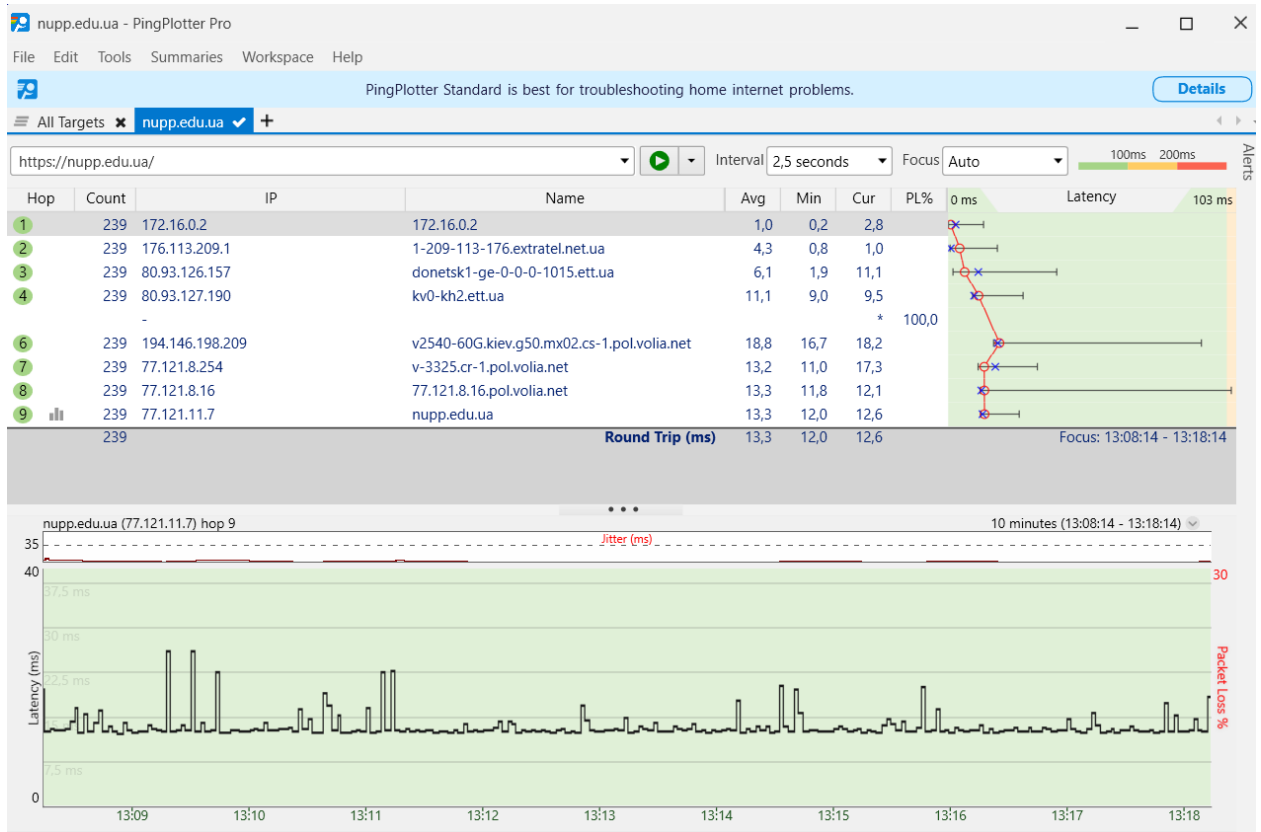


Рисунок 4.2 Аналіз результатів PingPlotter

Проведено аналіз загальної активності мережевого трафіку у безпроводній мережі протягом 2241 секунди (~37 хвилин) за допомогою Wireshark I/O Graphs. На графіку, що наведено на рисунку 4.3, представлені два типи даних: загальний обсяг усіх переданих пакетів (чорна лінія) та кількість помилок TCP (червоні стовпчики). Інтервал аналізу встановлено на 1 секунду, що дозволяє детально оцінити динаміку трафіку.

Загальний обсяг переданих пакетів демонструє стабільну активність протягом більшої частини часу, з незначними коливаннями на рівні до 2 тисяч пакетів за секунду. Проте в окремі моменти спостерігаються пікові значення до 8 тисяч пакетів за секунду, що може бути пов'язано зі збільшенням навантаження на мережу, наприклад, через інтенсивну передачу даних або потокове відео. Ці піки є характерними для мереж із високою активністю користувачів або сервісів, які передають великі обсяги даних.

Червоні стовпчики, що відображають помилки TCP, вказують на наявність проблем із передачею даних у певні моменти часу. Найбільший пік

помилку спостерігається ближче до кінця аналізу, що може свідчити про перевантаження мережі або збої в роботі транспортного рівня. Помилки TCP можуть включати повторні передачі, дубльовані підтвердження або пакети, що надходять у неправильному порядку. Такі проблеми часто виникають через високий рівень трафіку, недостатню пропускну здатність мережі або проблеми з налаштуванням обладнання.

Загальний характер трафіку показує, що мережа працює стабільно за звичайних умов, однак пікові навантаження та зростання кількості помилок TCP можуть негативно впливати на якість передачі даних у критично важливі моменти. Для зменшення впливу помилок рекомендується провести детальну діагностику причин появи TCP-помилку. Можливо, необхідно оптимізувати налаштування мережевого обладнання, забезпечити більшу пропускну здатність або впровадити механізми контролю трафіку, такі як QoS (Quality of Service). Аналіз графіка вказує на те, що проблеми мережі, хоча і незначні, можуть проявлятися під час високих навантажень, що варто враховувати при її подальшому плануванні та оптимізації.

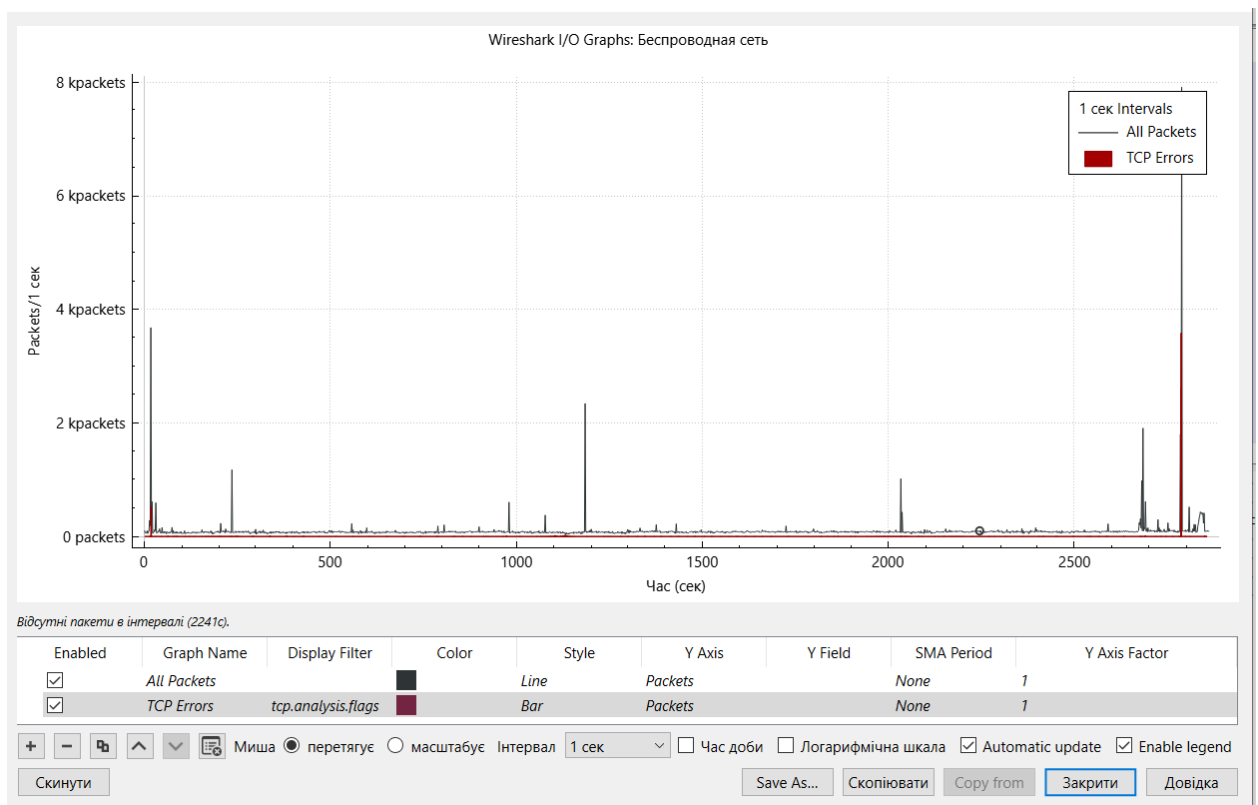


Рисунок 4.3 Аналіз загальної мережевої активності у Wireshark

Аналіз захопленого трафіку у Wireshark зображено на рисунку 4.4. Він показує, що загальна кількість кадрів становить 274 350, а обсяг переданих даних – 63 287 444 байтів, що приблизно дорівнює 63 МБ. Усі дані передавалися через Ethernet, а основними транспортними протоколами були IPv4 та IPv6. Трафік IPv4 є домінуючим і становить 100% переданих пакетів у межах цього протоколу, тоді як IPv6 використовується мінімально, лише 35 пакетів, що вказує на слабе впровадження цієї технології в мережі.

Основна частина трафіку в IPv4 належить до TCP, який займає 95% усіх пакетів цього протоколу, або 260 663 пакетів. Обсяг переданих даних через TCP становить 53 626 242 байти, що дорівнює 85% загального обсягу. Це вказує на те, що TCP є ключовим транспортним протоколом для передачі даних у мережі. Значна частка TCP-пакетів, 46,8%, містить дані, обсяг яких становить 1 125 103 341 байт. Однак у мережі також були виявлені малформовані пакети, що свідчить про можливі проблеми у передачі даних або помилки в мережевому обладнанні.

UDP становить 4,9% пакетів IPv4, або 13 571 пакетів, із загальним обсягом 10 856 806 байтів. Це може свідчити про активне використання протоколів, що базуються на UDP, таких як DNS або мультимедійні служби. Протокол QUIC IETF займає 2,9% пакетів IPv4, що становить 7 870 пакетів із загальним обсягом 5 987 471 байт. Це вказує на використання сучасних протоколів, таких як HTTP/3, які базуються на QUIC. TLS, що забезпечує шифрування переданих даних, також займає 2,9% пакетів IPv4, але його обсяг даних є найбільшим серед службових протоколів – 24 523 573 байтів, що становить 67% обсягу переданих даних через TLS.

IPv6 представлений лише 35 пакетами, які передають 22 960 байтів, що вказує на мінімальну активність цього протоколу в мережі. Це свідчить про недостатню інтеграцію IPv6 у мережеву інфраструктуру, незважаючи на його потенціал для масштабування.

У межах додатків значну активність демонструє DNS, який передає 711 пакетів із загальним обсягом 51 392 байтів. Інші протоколи, такі як STUN,

використовуються для NAT-транзиту і займають 2 721 пакет, що вказує на активність P2P-з'єднань. HTTP використовується мінімально, лише 59 пакетів, що може свідчити про перехід на HTTPS.

Аналіз трафіку показує, що мережа активно використовує захищені протоколи, такі як TLS і QUIC, що свідчить про високу увагу до безпеки передачі даних. У той же час мінімальна активність IPv6 та наявність малоформованих пакетів вказують на можливості для вдосконалення. Рекомендується посилити впровадження IPv6 для майбутньої масштабованості мережі, а також виконати детальний аналіз некоректних пакетів, щоб виявити і усунути потенційні проблеми. Це дозволить покращити загальну продуктивність і стабільність мережі.

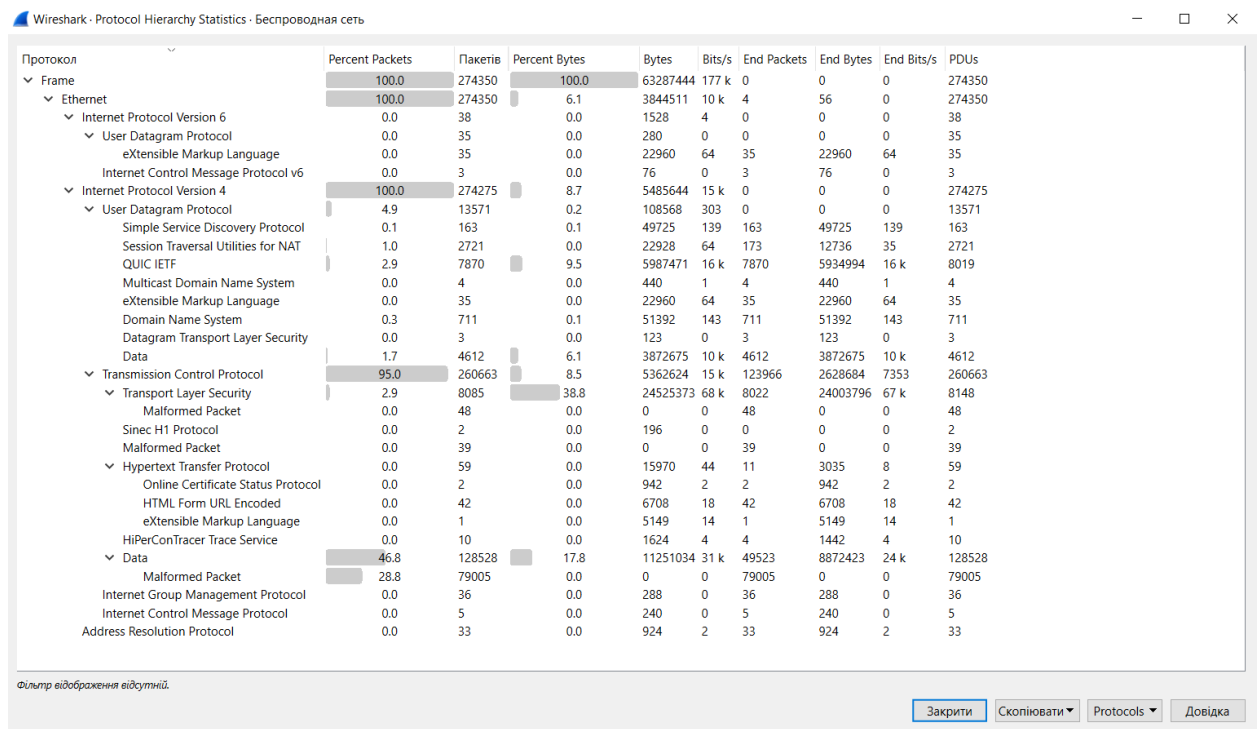


Рисунок 4.4 Аналіз захопленого трафіку у Wireshark

4.2. Оцінка ефективності впровадження GPON та XG-PON

Оцінка ефективності впровадження технологій GPON (Gigabit Passive Optical Network) базується на детальному аналізі технічних характеристик,

економічної доцільності та перспектив розвитку мережевої інфраструктури. GPON є сучасним рішенням, яке забезпечує високу швидкість передачі даних і стабільність зв'язку для більшості організацій, що працюють з помірними обсягами трафіку.

На рисунку 4.5 зображено порівняння оновленої інфокомунікаційної системи на основі GPON та попередньої на технології LAN по 5-и бальній системі за критеріями: дальність передачі, масштабованість, пропускна здатність, витрати на обслуговування, енергоефективність, надійність, дальність передачі.



Рисунок 4.5. Порівняння PON та LAN мереж.

Порівняння показує, що GPON значно перевершує LAN за всіма ключовими параметрами.

1. **Пропускна здатність:** GPON забезпечує значно вищу швидкість передачі даних, що дозволяє підтримувати сучасні додатки з високими вимогами до продуктивності, такі як потокове відео та IoT. LAN обмежується нижчими швидкостями, що створює вузькі місця в мережі.
2. **Дальність передачі:** GPON може передавати дані на відстань до 20 км без активного обладнання, що робить її ідеальною для розподілених мереж. LAN обмежується відстанню до 100 метрів, що вимагає додаткових пристроїв для підсилення сигналу.
3. **Масштабованість:** GPON легко масштабується, підтримуючи до 128 користувачів на один сплітер. LAN вимагає додаткового обладнання, що збільшує витрати та ускладнює інфраструктуру.
4. **Надійність:** GPON стійка до електромагнітних завад і забезпечує стабільну роботу навіть у складних умовах. LAN є більш вразливою до завад, що може призводити до збоїв у роботі.
5. **Енергоефективність:** GPON використовує пасивні компоненти, що знижує споживання енергії та витрати. LAN потребує активного обладнання, яке споживає більше енергії.
6. **Витрати на обслуговування:** Завдяки простій архітектурі GPON витрати на обслуговування є мінімальними. LAN вимагає більше технічного обслуговування через складну структуру активних компонентів.

Водночас, враховуючи стрімкий розвиток технологій у сучасному світі, при виборі технології для оновлення існуючої інфокомунікаційної системи необхідно розглянути можливість впровадження як GPON так і XG-PON.

GPON забезпечує швидкість передачі даних до 2,5 Гбіт/с у напрямку downstream і 1,25 Гбіт/с у напрямку upstream, що є достатнім для сучасних корпоративних задач, таких як передача великих обсягів даних, IP-телефонія та відеоконференції. Завдяки стабільній роботі на відстані до 20 км між оптичним лінійним терміналом (OLT) і кінцевими користувачами (ONT), ця технологія підходить для компаній, які розташовані у віддалених регіонах. Водночас XG-PON має швидкість передачі даних до 10 Гбіт/с downstream і 2,5

Гбіт/с upstream, що робить її оптимальним рішенням для високонавантажених мереж, що потребують підтримки інтенсивного потокового відео, 8К-медіа, VR/AR-додатків або масштабованих IoT-мереж. Сумісність XG-PON із GPON дозволяє підприємствам здійснювати поступовий перехід на нову технологію без значних додаткових витрат на модернізацію мережевого обладнання. [20]

Ефективність GPON проявляється у її економічності. Початкові витрати на впровадження цієї технології є порівняно низькими, що робить її доступною для малого та середнього бізнесу. Водночас XG-PON потребує більш значних інвестицій на етапі впровадження через вищу вартість обладнання, але пропонує перспективу довготривалої рентабельності завдяки можливості обслуговування значно більших обсягів трафіку. З точки зору витрат на експлуатацію обидві технології є досить схожими, оскільки використовують пасивні компоненти, такі як оптичні розгалужувачі, які не потребують додаткового живлення. Проте XG-PON дозволяє уникнути витрат на модернізацію в майбутньому, оскільки вже зараз відповідає високим стандартам продуктивності.[21]

Масштабованість є ще одним важливим параметром ефективності. GPON здатний забезпечити якісний зв'язок у мережах із середнім рівнем навантаження, проте може виявитися недостатньо гнучким у разі значного збільшення кількості користувачів або обсягу трафіку. XG-PON, завдяки вищій пропускній здатності та можливості обслуговування більшої кількості кінцевих пристроїв через один розгалужувач, є кращим рішенням для великих організацій, що працюють у динамічних умовах.

Технологія GPON залишається актуальною для сучасних задач, забезпечуючи стабільну роботу мережі та високу швидкість передачі даних. Однак, у майбутньому, з урахуванням зростання вимог до пропускної здатності через розвиток додатків, таких як автоматизація промисловості, системи штучного інтелекту та розумні міста, GPON може виявитися обмеженою. XG-PON, у свою чергу, вже зараз відповідає цим вимогам і

забезпечує гнучкість, яка дозволяє адаптувати мережу до змін у навантаженні без втрати якості обслуговування.

Результати оцінки показують, що вибір між GPON і XG-PON залежить від конкретних потреб організації. Для невеликих компаній із відносно низьким обсягом трафіку GPON є оптимальним варіантом через низькі витрати на впровадження та достатню пропускну здатність. Водночас XG-PON ідеально підходить для великих підприємств або організацій, які планують довготривалий розвиток мережевої інфраструктури. Інвестиції в XG-PON є стратегічно виправданими, оскільки ця технологія дозволяє забезпечити стабільність, масштабованість і продуктивність навіть за умов інтенсивного використання мережевих ресурсів.

ВИСНОВКИ

У ході проведеного дослідження було виконано аналіз існуючої інфокомунікаційної системи підприємства ТОВ НВ «Солвер» та визначено її ключові недоліки, які знижують ефективність роботи компанії. Основними проблемами виявлено обмежену пропускну здатність локальної мережі, складність масштабування та нестабільність роботи за умов підвищених навантажень. Для усунення цих недоліків і забезпечення сучасного рівня продуктивності було запропоновано впровадження пасивних оптичних мереж GPON та XG-PON.

Аналіз технічних характеристик показав, що GPON забезпечує достатню пропускну здатність для сучасних потреб підприємства, тоді як XG-PON надає можливість підтримки майбутніх високонавантажених застосунків, таких як системи штучного інтелекту, IoT, відеоконференції у форматі 8K та інші цифрові сервіси. Висока швидкість передачі даних, низька затримка та стабільність роботи мережі на значних відстанях роблять ці технології оптимальним вибором для модернізації інфокомунікаційної системи підприємства.

Економічний аналіз підтвердив доцільність впровадження GPON для середньострокових потреб компанії через порівняно низькі витрати на обладнання та його високу енергоефективність. Разом із тим, впровадження XG-PON є стратегічно виправданим рішенням для довгострокового розвитку інфраструктури, оскільки ця технологія забезпечує масштабованість і відповідність майбутнім потребам. Крім того, сумісність XG-PON із GPON дозволяє здійснити поступовий перехід між технологіями без значних витрат на заміну обладнання.

Було розроблено архітектурну модель мережі на основі GPON із можливістю інтеграції XG-PON, запропоновано план впровадження та визначено етапи розгортання системи. У ході дослідження було розглянуто

питання забезпечення безпеки та тестування нової системи, а також проведено оцінку ефективності впровадження за технічними та економічними показниками.

В результаті виконаної роботи підтверджено, що впровадження пасивних оптичних мереж GPON та XG-PON дозволяє значно підвищити ефективність інфокомунікаційної системи підприємства ТОВ НВ «Солвер». Це забезпечує не лише стабільну і швидку передачу даних, але й створює основу для подальшого розвитку підприємства в умовах цифрової трансформації. Рекомендації, надані у роботі, можуть бути використані для модернізації мережі та забезпечення її відповідності сучасним вимогам.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. WDM-PON vs GPON vs XG-PON | FS Community [Електронний ресурс] // Knowledge. – Режим доступу: <https://community.fs.com/article/wdm-pon-versus-gpon-and-xg-pon.html> (дата звернення: 16.10.2024). – Назва з екрана.
2. М.А. Штомпель. Аналіз технологій пасивних оптичних мереж / Штомпель М.А., Швидкий В.Ю. // Збірник наукових праць за матеріалами ІХ Всеукраїнської науково-практичної конференції «Електронні та мехатронні системи: теорія, інновації, практика». (Полтава, 10 листопада 2023 р.) – Полтава: Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2023, с.126-128.
3. DESIGN OF PASSIVE OPTICAL NETWORK, Juan Salvador Asensi Pla, BRNO, 2011, page 42.
4. "Design, implementation and evaluation of a Fiber To The Home (FTTH) access network based on a Giga Passive Optical Network GPON" Zouhaira Abdellaoui, Yiyi Dieudonne, Anoir Aleya, July 2021.
5. Overview of GPON Technology | FS Community. Knowledge. URL: <https://community.fs.com/article/overview-of-gpon-technology.html> (дата звернення: 05.11.2023).
6. The Fundamentals of Passive Optical Networking (PON). URL: <https://www.prooptix.com/news/passive-optical-networking/> (дата звернення: 12.12.2024).
7. Pedia T. Traffic flow in GPON FTTH network. Technopediasite. URL: <https://www.technopediasite.com/2021/02/traffic-flow-in-gpon-ftth-network.html> (дата звернення: 18.12.2024).
8. Anderson R. Keeping The Lights On - Protecting Your Remote Active Fiber Elements Against Unplanned Outages. SCTE Cable-Tec Expo, 2022.
9. Термінал оптичної лінії GPON OLT GCOM GL5610-16P -

GCOM. GCOM. URL: <https://gcom.com.ua/uk/pon/gpon-gl5610-16p/> (дата звернення: 12.12.2024).

10. Абонентський термінал BDCOM GP1702-1G. URL: <https://miatis.com.ua/abonentskyi-terminal-bdcom-gp1702-1g/> (дата звернення: 12.12.2024).

11. Модуль Cisco 1000BASE-T SFP (GLC-TE=) - купити за найкращою ціною в Києві від компанії "Нетворк Дискаунт" - 528615411. "Network Discount" інтернет-магазин мережевого обладнання. URL: <https://networkdiscount.com.ua/ua/p528615411-modul-cisco-1000base.html> (дата звернення: 15.12.2024).

12. Passive optical networks: cabling considerations and reference architectures white paper. Cisco. URL: <https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/switches/catalyst-pon-series/nb-06-cat-pon-wp-cte-en.html> (дата звернення: 17.12.2024).

13. Купити PLC splitter (спліттер) 1x32, SC/UPC, 900 um, G657A fiberfield з доставкою по Україні в інтернет-гіпермаркеті lanmarket.ua. Магазин мережевого обладнання Lanmarket роздрібний та оптовий продаж мережевого обладнання. URL: <https://lanmarket.ua/ua/plc-splitters-deliteli-planarnye/fiberfield-plc-splitter-1x32-sc-upc-900-um-1500-mm-2787/> (дата звернення: 12.12.2024).

14. Дільник оптичний FBT 1x2 з коннекторами SC / UPC | IPCOM. Ipcom.ua. URL: <https://ipcom.ua/uk/delytel-optycheskyj-coupler-fbt-1x2-13101550-3070-0-scupc-09mm-cord-10m> (дата звернення: 18.12.2024).

15. OTLMr-2F-G652D-PE-1,5kN - Оптичний кабель Fifix OTLMr-2F- G652D-PE-1,5kN URL: <https://e-server.com.ua/opticheskie-komponenty/opticheskij-kabel/kabel-singlemode/opticheskij-kabel-fifix-otlmr-2f-g652d-pe-1-5kn-detail> (дата звернення: 18.12.2024).

16. Оптичний кабель FinMark PS001-SM-02. Мережеве

обладнання. URL: <https://ua.setevoe.com.ua/opticheski-kabel/kabel-ftth/finmark-ps001-sm-02.html> (дата звернення: 20.12.2024).

17. Partha Pratim Sahu. Fundamentals of Optical Networks and Components. / Sahu Partha Pratim; First edition. — 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300, Boca Raton, FL: CRC Press, 2021. — 389с.

18. Муфта оптична FOSC-X (FOSC-X108/16-2-32) Crosver купити в Україні – ціни, характеристики | Lanmarket.ua. Магазин мережевого обладнання Lanmarket - роздрібний та оптовий продаж мережевого обладнання. URL: <https://lanmarket.ua/ua/mufty/mufta-opticheskaya-fosc-z04-4-1-1-4/> (дата звернення: 19.12.2024).

19. Муфта оптична Crosver FOSC-A. Інтернет-магазин мережевих технологій Гепон. URL: <https://gepon.com.ua/mufti-optic/mufta-FOSC-a> (дата звернення: 20.12.2024).

20. Телекомунікаційні та інформаційні мережі : Підручник [для вищих навчальних закладів] / П.П. Воробієнко, Л.А. Нікітюк, П.І. Резніченко. – К.: САММІТ-Книга, 2010. – 708 с.: іл.

21. Проектування, будівництво та експлуатація мереж широкопasmового доступу : навч. посіб. з дипломного проектування та виконання магістерських робіт /: В.О. Балашов, І.Б. Барба, В.І. Корнійчук, А.Г. Лашко, Л.М. Ляховецький, В.І. Орешков. – Одеса: РВЦ ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2012. – 240 с.

Додаток А

SECTION 2. THEORETICAL FOUNDATIONS OF PON TECHNOLOGY (GPON AND XG-PON)

2.1. General principles of operation of passive optical networks (PON)

Passive Optical Networks (PON) have become one of the most effective solutions for building modern infocommunication systems, emphasizing high bandwidth, stability, and cost efficiency. Their emergence and development are closely linked to the growing demand for high-speed Internet access, as well as the transmission of data, voice, and video over a unified network.

The history of PON development began in the late 1980s, driven by the need to create new telecommunication technologies capable of ensuring reliable communication in large networks. In 1995, the International Telecommunication Union (ITU-T) developed the first passive optical network standard, known as APON (Asynchronous Transfer Mode Passive Optical Network). This standard employed asynchronous data transfer and marked the first step in the commercialization of PON technology. However, APON had limitations in data transmission speed and efficiency, which led to the adoption of a new standard in 2003—GPON (Gigabit Passive Optical Network)—capable of providing a bandwidth of up to 2.5 Gbps.

In the early 2000s, PON technology began gaining traction in the telecommunication networks of developed countries such as the USA, Japan, South Korea, and various European nations. Its advantages included simultaneous data, voice, and video transmission over a single line, reduced operational costs due to the absence of active equipment in intermediate network segments, and high reliability and energy efficiency.

In Ukraine, PON technology began implementation in the mid-2000s. The primary driver of its adoption was the need to modernize outdated copper infrastructure,

which could no longer meet the growing demand for high-speed Internet access. The first providers to adopt PON were large telecommunication companies aiming to provide Internet access in densely populated urban areas. Due to significant advantages such as cost-efficiency, scalability, and stability, PON gradually became the foundation for network development in new residential complexes and business centers.

A passive optical network is built on three key components: an Optical Line Terminal (OLT) located at the provider's central office, passive optical splitters, and Optical Network Terminals/Units (ONT/ONU) installed at the subscriber's end. The OLT manages the network, generates signals for subscribers, and processes incoming data. Optical splitters distribute the signal from the OLT among multiple subscribers, significantly reducing network construction costs. Additionally, the absence of active equipment in intermediate segments ensures high network reliability, as external power supply or regular maintenance is not required for these components.

Figure 2.1 shows the architecture of a passive optical network (PON), illustrating its main components: OLT (Optical Line Terminal), Optical Splitter, and ONU (Optical Network Terminal). The diagram demonstrates the data flow between the provider's central office and end users.

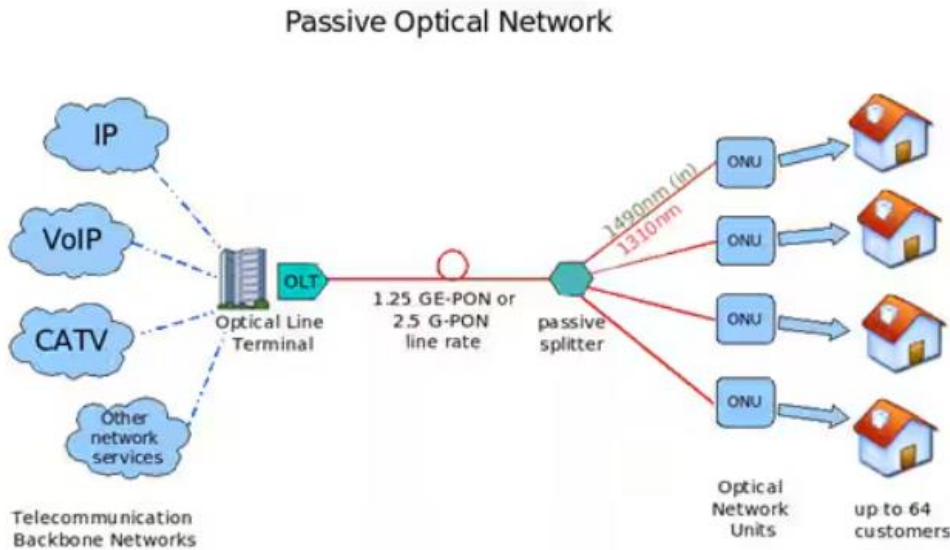


Fig. 2.1. Architecture of a Passive Optical Network

Data transmission in PON is carried out using Time Division Multiplexing (TDM), which allows sharing access to a single optical line among multiple users. This is achieved by assigning each subscriber a specific time slot for transmitting or receiving data. Consequently, PON technology is asymmetrical, meaning the uplink speed may differ from the downlink speed. This approach ensures efficient utilization of network resources, particularly in scenarios where most users primarily consume content online.

Today, PON serves as the backbone of modern telecommunication systems, offering ever-increasing data transmission speeds. New standards, such as XG-PON (10 Gigabit-capable PON) and NG-PON2 (Next Generation PON2), provide bandwidths of up to 10 Gbps and beyond. These advancements enable the deployment of innovative services such as IPTV, cloud services, smart home systems, and the Internet of Things (IoT). Thanks to its cost-efficiency, energy efficiency, and scalability, PON technology remains one of the best solutions for modernizing infocommunication systems in Ukraine and worldwide.

2.2 GPON Technology: Advantages and Disadvantages

GPON (Gigabit Passive Optical Network) technology is one of the most popular solutions for building modern telecommunication networks, offering high data transfer speeds, reliability, and cost-effectiveness. This technology is based on the ITU-T G.984 standard, enabling high-speed Internet access, voice, video, and data transmission over a single fiber-optic infrastructure. Thanks to its features, GPON is widely used by Internet service providers, communication companies, and for building corporate networks.

The primary advantage of GPON lies in its high bandwidth capability, reaching up to 2.5 Gbps downstream and 1.25 Gbps upstream. This allows simultaneous support for multiple users without significant speed degradation. Another significant benefit is its cost-efficiency, achieved through the use of passive components, such as optical

splitters. This means that between the central hub (OLT) and end devices (ONT), no active components are needed, substantially reducing energy consumption and network maintenance costs.

GPON also stands out for its scalability, allowing up to 64 or even 128 subscribers to connect via a single optical line through splitters. This makes it an ideal solution for multi-story buildings, residential complexes, or other densely populated areas. Integrating different types of traffic, such as data, voice (VoIP), and video (IPTV), through a single infrastructure provides added convenience for providers and users alike. The optical line length in GPON networks can reach 20-60 km without repeaters, making this technology effective for rural or remote areas. Additionally, GPON ensures high reliability and security since fiber-optic technology is resistant to electromagnetic interference, and data transmission is protected against interception.

However, despite its numerous advantages, GPON also has certain drawbacks. One of the main limitations is the high initial deployment cost, as this technology requires expensive equipment, such as OLTs, ONTs, and fiber-optic cables, as well as infrastructure installation work. Moreover, while GPON provides high overall bandwidth, it is shared among all subscribers connected to a single optical line. This can lead to reduced access speeds during peak loads, especially in networks with a large number of users.

Another disadvantage is the network's dependency on the central hub. In case of an OLT failure or damage to the main fiber, the entire network may go down. This makes GPON vulnerable to centralized failures and requires backup mechanisms to ensure uninterrupted operation. While GPON is a modern technology, upgrading it to standards with higher speeds, such as XG-PON or NG-PON2, may require equipment replacement, which is also associated with significant costs. Additionally, signal quality and network efficiency can depend on the number of subscribers and their distance.

In conclusion, GPON is a powerful technology for building telecommunication networks due to its high speed, reliability, and cost-effectiveness. At the same time, its

implementation requires significant financial investment, and the network operation can be limited by its reliance on centralized components. Despite this, GPON remains one of the best options for creating modern information and communication systems, especially in large residential complexes and corporate environments.

GPON (Gigabit Passive Optical Network) finds widespread application across various sectors due to its advantages in speed, reliability, and cost-efficiency. It is one of the leading solutions for building modern telecommunication networks, offering a wide range of opportunities for both private users and businesses.

GPON is actively used by ISPs to provide high-speed Internet access. Its high bandwidth ensures stable connections even for many users in apartment buildings, residential complexes, or office centers. GPON supports the transmission of large data volumes, making it an ideal choice for streaming services, online gaming, video conferencing, and cloud platforms.

GPON enables the integration of data, voice (VoIP), and video (IPTV) transmission into a single network. This is particularly beneficial for service providers, allowing them to offer "triple-play" packages (Internet, VoIP, IPTV), which simplify infrastructure and reduce maintenance costs. Users gain access to high-quality streaming video, digital television, and telephony through a single line.

GPON is widely used for creating internal corporate networks requiring high speed and stability. For instance, in large companies, banking institutions, universities, or enterprises with geographically dispersed branches, GPON allows all departments to be united into a single network. Its long transmission distances of up to 20-60 km and low interference sensitivity make it suitable for both central offices and remote branches.

GPON is increasingly implemented in smart home systems. Its high bandwidth ensures stable connectivity to various devices, such as surveillance cameras, security systems, lighting sensors, climate control, and home appliances connected to the

Internet. Residents can control their homes remotely through smartphones or other devices.

GPON is an effective solution for improving telecommunications infrastructure in remote or sparsely populated regions. With a data transmission range of up to 60 km without repeaters, the technology can connect villages, farms, or remote settlements to the Internet. This enhances the quality of life in rural areas by providing access to online education, telemedicine, and other services.

In new residential complexes, GPON is becoming the standard for building networks that provide residents with high-speed Internet, digital television, and telephony. Its ability to connect up to 128 users to a single splitter ensures efficiency and cost-effectiveness, simplifying installation and maintenance.

GPON is used in universities, schools, libraries, and hospitals, where stable, high-capacity connectivity is essential. It supports simultaneous connections for many devices, enabling video conferencing, access to online resources, and databases—critical for education and healthcare.

As part of smart city concepts, GPON is used to create unified networks that connect video surveillance systems, traffic monitoring, lighting control, and emergency response systems. Its reliability and high bandwidth improve the efficiency of urban resource management.

GPON can be utilized to establish connections in data centers, where stable and fast data transmission between servers, storage devices, and external networks is crucial. Its low latency and high speed make it a relevant solution for handling large data volumes.

GPON is a universal technology with applications across a wide range of industries, from providing services to home users to building complex corporate and urban infrastructures. Its high speed, reliability, and ability to integrate various types of services make GPON one of the most efficient solutions for modern telecommunication systems.

2.3 XG-PON Technology: Comparison with GPON

GPON (Gigabit Passive Optical Network) and XG-PON (10-Gigabit Passive Optical Network) are two key standards of passive optical networks used to build modern telecommunication systems. While both technologies share similar architectures and rely on passive optical splitters, they differ significantly in technical characteristics, which define their capabilities and areas of application.

GPON is a proven standard offering data transfer speeds of up to 2.5 Gbps downstream and 1.25 Gbps upstream. This technology has gained popularity due to its cost-effectiveness, high scalability, and ability to integrate multiple services—such as Internet, voice (VoIP), and digital television (IPTV)—into a single infrastructure. GPON is suitable for most standard applications, such as networks in residential complexes, corporate environments, or rural areas. It can serve up to 64 or even 128 users on a single optical line.

XG-PON, as the next generation of technology, was developed to overcome the limitations of GPON, particularly in data transfer speeds. XG-PON supports speeds of up to 10 Gbps downstream and 2.5 Gbps upstream. This standard addresses the growing demand for high-speed Internet access, which is essential for modern applications such as 4K and 8K video streaming, cloud services, interactive gaming, and large-scale data exchange. XG-PON is becoming a key solution for providers looking to gain competitive advantages in markets with high-demand users.

One of the primary advantages of XG-PON is its ability to support higher bandwidth, allowing it to serve more subscribers while maintaining high-quality service. Additionally, XG-PON ensures compatibility with GPON infrastructure, enabling a gradual upgrade of existing networks without the need for a complete equipment replacement.

However, it is worth noting that XG-PON requires more significant investments during implementation. Equipment for XG-PON, including OLT (Optical Line

Terminals) and ONT (Optical Network Terminals), is more expensive compared to GPON counterparts. Moreover, not all users require such high speeds, making the deployment of XG-PON economically unjustifiable in some regions or for smaller providers.

GPON remains the optimal choice for applications with moderate speed and bandwidth requirements, while XG-PON is ideal for addressing the increasing demands of high-speed networks in urban areas, large corporate environments, or for providers preparing their networks for future needs.

In summary, the choice between GPON and XG-PON depends on the specific tasks to be addressed. GPON is suitable for most standard scenarios where speeds of up to 2.5 Gbps are sufficient and deployment costs need to be minimized. XG-PON, with its significantly higher bandwidth, is the best choice for modern networks with high-performance demands and a readiness to invest in future-proof infrastructure.

Table 2.1 Comparison of GPON, XG-PON Technologies

Characteristic	GPON	XG-PON
Wavelength	Downstream: 1480-1500 nm Upstream: 1290-1330 nm;	Downstream: 1575-1580 nm Upstream: 1260-1280 nm;
Central wavelength	Downstream: 1490 nm Upstream: 1310 nm;	Downstream: 1577 nm Upstream: 1270 nm;
Maximum transfer speed	Downstream: 2.488 Gbit/s Upstream: 1244 Gbit/s;	Downstream: 9.953Gbit/s Upstream: 2.488 Gbit/s;
Maximum physical transmission distance	60 km	100 km
Maximum branching ratio	1:128	1:256

2.4. Prospects for implementing PON technology in enterprises

PON (Passive Optical Network) technology is one of the most promising technologies in the field of telecommunications, which allows to significantly improve the quality of data transmission, optimize the infrastructure of enterprises and reduce the costs of network maintenance. The implementation of PON in enterprises opens up new opportunities for increasing work efficiency, improving interaction with customers, as well as for integrating modern information systems.

PON is a type of fiber-optic network that uses passive components to transmit data between points, such as a central office or data center, and end users. PON technology does not require the use of active equipment (for example, repeaters or switches) between the central node and client points, which allows to significantly reduce maintenance costs and energy consumption. [3]

The main PON standards include:

- GPON (Gigabit Passive Optical Network) - provides data transmission at speeds up to 2.5 Gbps.
- XG-PON (10-Gigabit Passive Optical Network)** is the next generation of PON, providing speeds of up to 10 Gbps.

One of the main advantages of PON technology is its high network bandwidth. Compared to traditional copper cables or wireless technologies, optical fibers used in PON allow for the transmission of significantly larger amounts of data over long distances without loss of signal quality.

For enterprises, this means the ability to quickly exchange large amounts of information between offices or with customers. In today's business environment, where the role of Big Data, cloud computing and other technologies is growing, high-speed data transmission is becoming critically important.

Implementing PON allows for reduced network maintenance costs, since a passive optical network does not require powering intermediate devices such as

repeaters or switches. This reduces energy consumption costs, as well as maintenance and repair costs for active equipment.

Moreover, optical cables have a longer service life compared to traditional copper cables. This makes PON a more reliable solution for enterprises that does not require frequent infrastructure upgrades, which also reduces capital costs. [4]

PON technology is highly reliable due to the passive nature of signal transmission. The absence of active components between the central node and client points reduces the likelihood of breakdowns and failures in the network. This is especially important for enterprises that require a stable and uninterrupted connection for the operation of their information systems and services. In addition, fiber-optic cables are less vulnerable to the effects of electromagnetic interference or weather conditions, which further increases the stability of the network.

Passive optical networks provide easy scalability, which is an important factor for enterprises that plan to expand or have multiple offices. One of the features of PON is the ability to connect many users to a single optical line terminal (OLT) through splitters. This means that the network can be easily expanded by connecting new users without significant modernization costs. [5]

This flexibility is especially important for enterprises that plan to grow or expand their operations, since PON allows you to adapt the network to new requirements without significant additional costs.

Fiber-optic networks offer a higher level of security compared to copper or wireless technologies. Fiber-optic cables are more difficult to eavesdrop on or connect to by unauthorized devices, making PON a more secure solution for transmitting sensitive data.

For enterprises that work with confidential information (for example, financial institutions or government organizations), implementing PON can significantly increase the level of security of the internal network.

Enterprises that actively use cloud computing, virtualization, big data analytics, and other modern IT solutions can benefit from implementing PON. High-speed optical networks allow for the effective integration of these technologies into the enterprise infrastructure and ensure the stable operation of applications and services. [6]

This is especially important for companies that use cloud platforms for data storage or for deploying corporate applications. The high bandwidth and reliability of PON allow for the rapid transfer of large volumes of data between cloud services and users.

An important advantage of PON is its environmental friendliness. Since the technology does not require active equipment at intermediate nodes, it significantly reduces power consumption. This makes passive optical networks a more energy-efficient solution compared to traditional copper or active networks.

For enterprises looking to reduce their carbon footprint and implement sustainable development strategies, PON can be one step towards reducing their environmental impact.

While PON technology has many advantages, there are also some challenges that should be considered when implementing it.

Although PON reduces network maintenance costs, the initial investment can be quite high due to the need to lay optical cables and purchase optical equipment.

Implementing and maintaining PON requires specialized knowledge and skills, which may require additional training of personnel or the involvement of external experts, as well as certain limitations on the signal transmission distance (usually up to 20 km).

Додаток Б

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

«ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА»

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

за матеріалами X Всеукраїнської науково-практичної конференції

**«ЕЛЕКТРОННІ ТА МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ:
ТЕОРІЯ, ІННОВАЦІЇ, ПРАКТИКА»**

20 грудня 2024 року



Полтава 2024

О.Г. Дрючко, Н.В. Бунякіна, І.А. Штанько, М.Ю. Першін, М.В. Качан З'ЯСУВАННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ФУНКЦІОНУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧОЇ СИСТЕМИ УСТАНОВКИ КОМПЛЕКСНОЇ ПІДГОТОВКИ ГАЗУ.....	83
Е. V. Kyslytsia, О.В. Petryaeva MANAGEMENT SKILLS OF A HEALTHCARE FACILITY MANAGER IN THE CONTEXT OF TREATING PATIENTS WITH COMBAT INJURIES.....	85
С.Г. Кислиця, А.С. Боровик НАДІЙНІСТЬ ДУБЛЬОВАНОЇ МЕРЕЖІ СИСТЕМ КОМП'ЮТЕРНОГО УПРАВЛІННЯ.....	87
А.М. Федоренко МОДЕЛЬ НАЗЕМНОЇ РОБОТОТЕХНІЧНОЇ ПЛАТФОРМИ ДЛЯ УСУНЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ У ГАЛУЗІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ.....	89
С.С. Голубцов ОРГАНІЗАЦІЙНА СТРУКТУРА СИСТЕМИ КІБЕРБЕЗПЕКИ В ІТС ПОЛЬОВИХ ВУЗЛІВ ЗВ'ЯЗКУ ПУ РІЗНИХ ЛАНОК УПРАВЛІННЯ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ.....	90
С.В. Волоський, М.А. Штомпель АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ ПАСИВНИХ ОПТИЧНИХ МЕРЕЖ В УМОВАХ ТРИВАЛИХ ВІДКЛЮЧЕНЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ.....	92
П.В. Соловійов, Л.О. Токар ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМУ АДАПТИВНОЇ БАЗОВОЇ КЛАСТЕРІЗАЦІЇ У МЕРЕЖІ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ VANET.....	94
О. Sokolov INTELLIGENT ROUTING IN AD HOC NETWORKS USING NEURAL NETWORKS.....	97
Л.І. Леві, М.О. Шеремет ЗАСТОСУВАННЯ ЧАСТОТНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ПРИВОДОМ КОМПРЕСОРІВ.....	100
С.Г. Кислиця, А.О. Ткаченко РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ СКРУЧУВАННЯ.....	102
О.В. Шефер, О.С. Ястреба, О.С. Педченко АНАЛІЗ ЧИННИКІВ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ЗОВНІШНІХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ У ВНУТРІШНЬОМУ ПРОСТОРИ БПЛА.....	104

УДК 621.391

С.В.Волоський, магістрант,

М.А.Штомпель, д.т.н., професор

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ ПАСИВНИХ ОПТИЧНИХ МЕРЕЖ В УМОВАХ ТРИВАЛИХ ВІДКЛЮЧЕНЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Постійні відключення електроенергії, спричинені пошкодженням енергооб'єктів через масовані ракетно-дронові атаки, становлять серйозну загрозу для функціонування телекомунікаційних систем. Критично важливі об'єкти, такі як медичні заклади, фінансові установи, військові структури, потребують стабільного доступу до мережі незалежно від умов.

Україна зіткнулася з безпрецедентними викликами в енергетичній сфері, які безпосередньо впливають на інфокомунікаційні системи. PON має низьке енергоспоживання, оскільки у своїй архітектурі використовує пасивні компоненти (сплітери) і завдяки своїй енергоефективності є перспективним рішенням для подолання цих викликів [1]. Однак стабільна робота мережі в умовах тривалих відключень вимагає адаптації. Забезпечення надійної роботи таких систем є важливим для підтримки безперервної передачі даних як у критичних галузях так і для пересічних громадян.

Для забезпечення стабільної роботи мережі в умовах тривалих відключень електроенергії важливо оцінити споживання енергії кінцевими пристроями, що знаходяться на стороні споживача. Основними компонентами є **ONT (оптичний термінал мережі)** та **роутер** [2]. Розглянемо їх енергоспоживання детальніше.

ONT є основним компонентом пасивної оптичної мережі на стороні споживача, що забезпечує перетворення оптичного сигналу в електричний.

При повному навантаженні (передача даних на високій швидкості) ONT споживає до 10 Вт. В **режимі очікування** споживання знижується до 3-5 Вт завдяки зменшенню активності компонентів, таких як Wi-Fi або Ethernet. **Середнє споживання** становить 5-10 Вт.

Роутер забезпечує локальну мережу Wi-Fi для споживача. Залежно від моделі, роутери мають різне енергоспоживання. Моделі з підтримкою Wi-Fi 6 або багатоантенними системами мають підвищене споживання (до 20 Вт). У режимі зменшеної активності (з обмеженням потужності сигналу Wi-Fi) споживання можна знизити до 5-7 Вт. **Середнє споживання** – 6-15 Вт.

Відключення зайвих частотних діапазонів (наприклад, 5 ГГц) дозволяє заощадити до 30% енергії.

Таблиця 1. Енергоспоживання пристроїв

Компонент	Середнє споживання (Вт)	Мінімальне споживання (Вт)	Максимальне споживання (Вт)
ONT	5-10	3	10
Роутер	6-15	5	20

Сумарне споживання в стандартних умовах роботи (активний режим всіх компонентів) складає **11-25 Вт**. У разі активації енергозберігаючих режимів споживання можна знизити до **8-12 Вт**.

Для забезпечення роботи ONT та роутера під час відключень електроенергії можна використовувати UPS або акумуляторні системи.

Розрахуємо необхідну ємність акумулятора для забезпечення роботи абонентського терміналу BDCOM ONU P1501DS та роутера Netis N3.

Сумарне електроспоживання складає:

6 Вт (ONU) + 12 Вт (роутер) = 18 Вт.

Тобто, для забезпечення 1 години автономної роботи, мінімальна ємність акумуляторної батареї має становити: $18 \text{ Вт} / 12 \text{ В} = 1,5 \text{ А}\cdot\text{год}$.

Для перетворення постійного струму 12 В на змінний 220 В знадобиться інвертор чи джерело безперебійного струму (UPS). Тому, з урахуванням втрат при перетворенні напруги, ефективна ємність акумуляторної батареї має становити 2 А·год.[3]

Таблиця 2. Розрахунок ємності для забезпечення автономної роботи **BDCOM ONU P1501DS** та **Netis N3** на різний час:

Час роботи (години)	Сумарне споживання (Вт)	Необхідна енергія (Вт·год)	Необхідна ємність акумулятора (А·год)
2	18	36	4
4	18	72	8
8	18	144	16
12	18	216	24
24	18	432	48

ЛІТЕРАТУРА

1. C. DeSanti, L. Du, J. Guarin, J. Bone and C. F. Lam, Super-PON: an evolution for access networks [Invited], *Journal of Optical Communications and Networking*. 2020. Vol. 12, no. 10. pp. 66-77. DOI: 10.1364/JOCN.391846.

2. Практика впровадження пасивних оптичних мереж (PON) [Електронний ресурс] – 2022. – Режим доступу до ресурсу: <https://deps.ua/ua/knowegable-base/articles/praktika-vn-passivnyh-op-mer-pon.html>.

3. Розрахунок ємності акумуляторної батареї для джерела безперебійного живлення [Електронний ресурс] – 2024. – Режим доступу до ресурсу: <https://logicpower.ua/ua/calculator?srsltid=AfmBOopM08mTSfozYHtyyZqpdwpGtwrPpM62iNGouiSluseKu81gAW-V>.

ANALYSIS OF THE APPLICATION OF PASSIVE OPTICAL NETWORKS IN CONDITIONS OF LONG-TERM POWER OUTAGES

S. Voloskyi, Master's student,

M. Shtompel, Doctor of Technical Sciences, Professor

National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»

Додаток В

Міністерство освіти та науки України
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

Модернізація інфокомунікаційної системи підприємства на основі технології PON

Кваліфікаційна робота магістра

Виконав:

Студент 601ТТ групи

Волоський С.В.

Керівник:

д.т.н., професор

Штомпель М.А.

Актуальність теми полягає в необхідності підвищення конкурентоспроможності підприємств шляхом впровадження інноваційних рішень у сфері інформаційно-комунікаційних технологій

Метою роботи є аналіз існуючої інфокомунікаційної системи підприємства та розробка ефективного проєкту її модернізації на основі технологій GPON та XG-PON.

Для виконання поставленої мети в роботі необхідно виконати наступні **завдання**:

- вивчення поточного стану мережевої інфраструктури,
- виявлення її недоліків і обмежень, оцінку технічних і економічних переваг впровадження нових технологій,
- а також розробку рекомендацій для оптимального використання ресурсів і забезпечення відповідності сучасним та перспективним потребам підприємства.

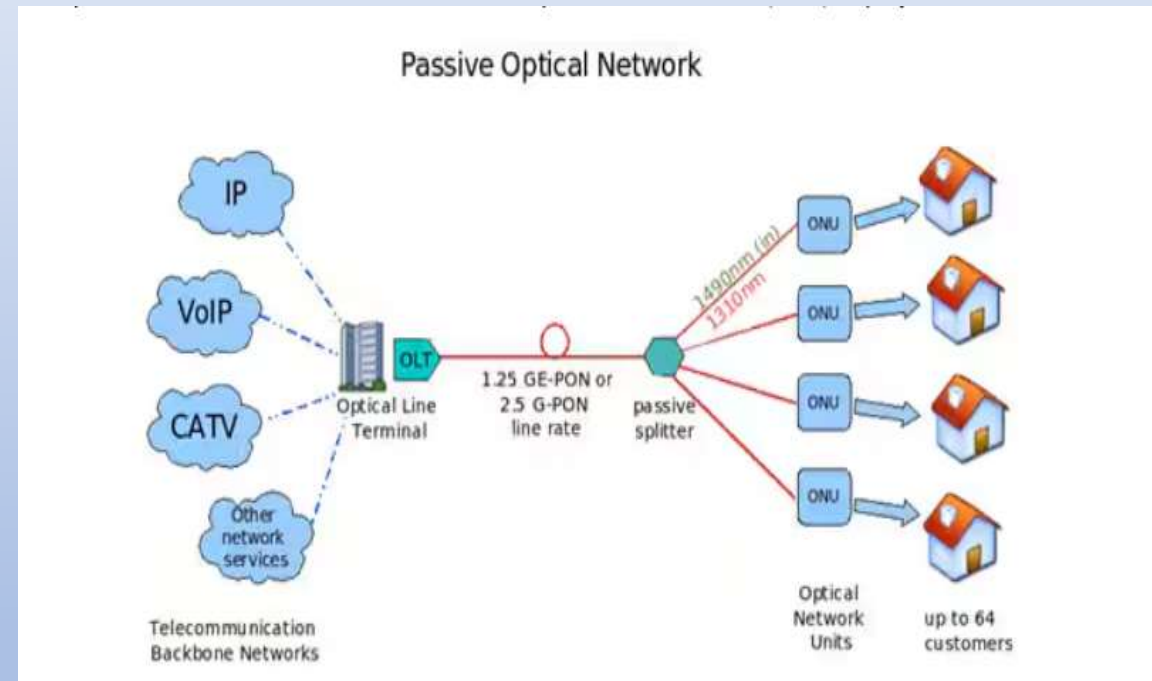
Основна увага приділяється підвищенню продуктивності, надійності, масштабованості та безпеки мережі, що є критично важливим для ефективної роботи компанії в умовах цифровізації

Об'єкт дослідження – інфокомунікаційна система підприємства, яка забезпечує внутрішню та зовнішню комунікацію компанії, передачу даних, а також підтримку роботи мережевої інфраструктури

Предмет дослідження – технології пасивних оптичних мереж GPON та XG-PON, їхнє впровадження в інфокомунікаційну систему підприємства з метою підвищення її продуктивності, масштабованості, надійності та відповідності сучасним і перспективним вимогам

Загальні принципи технології PON

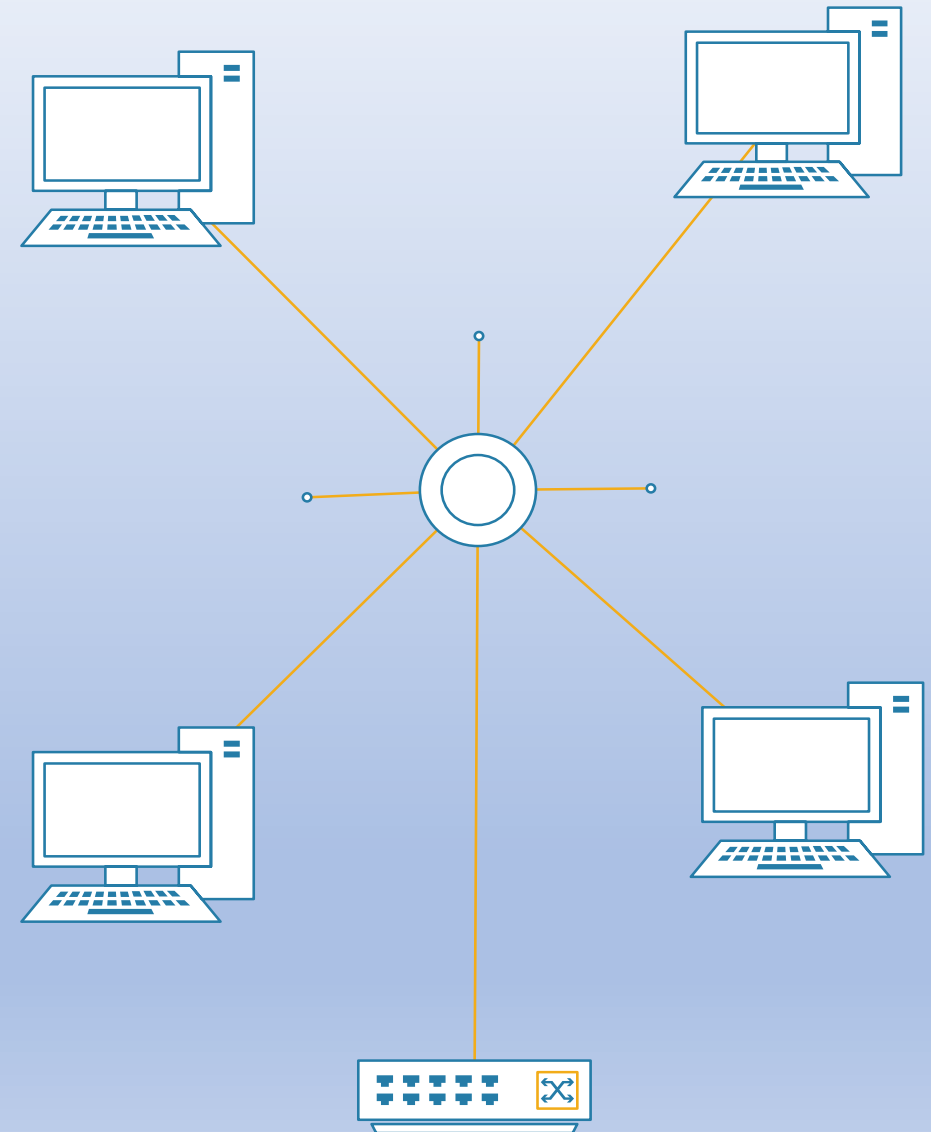
Пасивна оптична мережа базується на **трьох** ключових компонентах: оптичному лінійному терміналі (**OLT**), розташованому у центральному офісі провайдера, пасивних оптичних розгалужувачах (**Splitters**) і оптичних мережевих терміналах (**ONT/ONU**), які встановлюються на стороні абонента. OLT виконує функцію управління мережею, формує сигнали для абонентів та обробляє вхідні дані. Оптичні розгалужувачі забезпечують поділ сигналу, що надходить від OLT, між кількома абонентами. Відсутність активного обладнання на проміжних ділянках забезпечує високу надійність мережі, оскільки немає потреби у зовнішньому живленні.



Топологія мережі

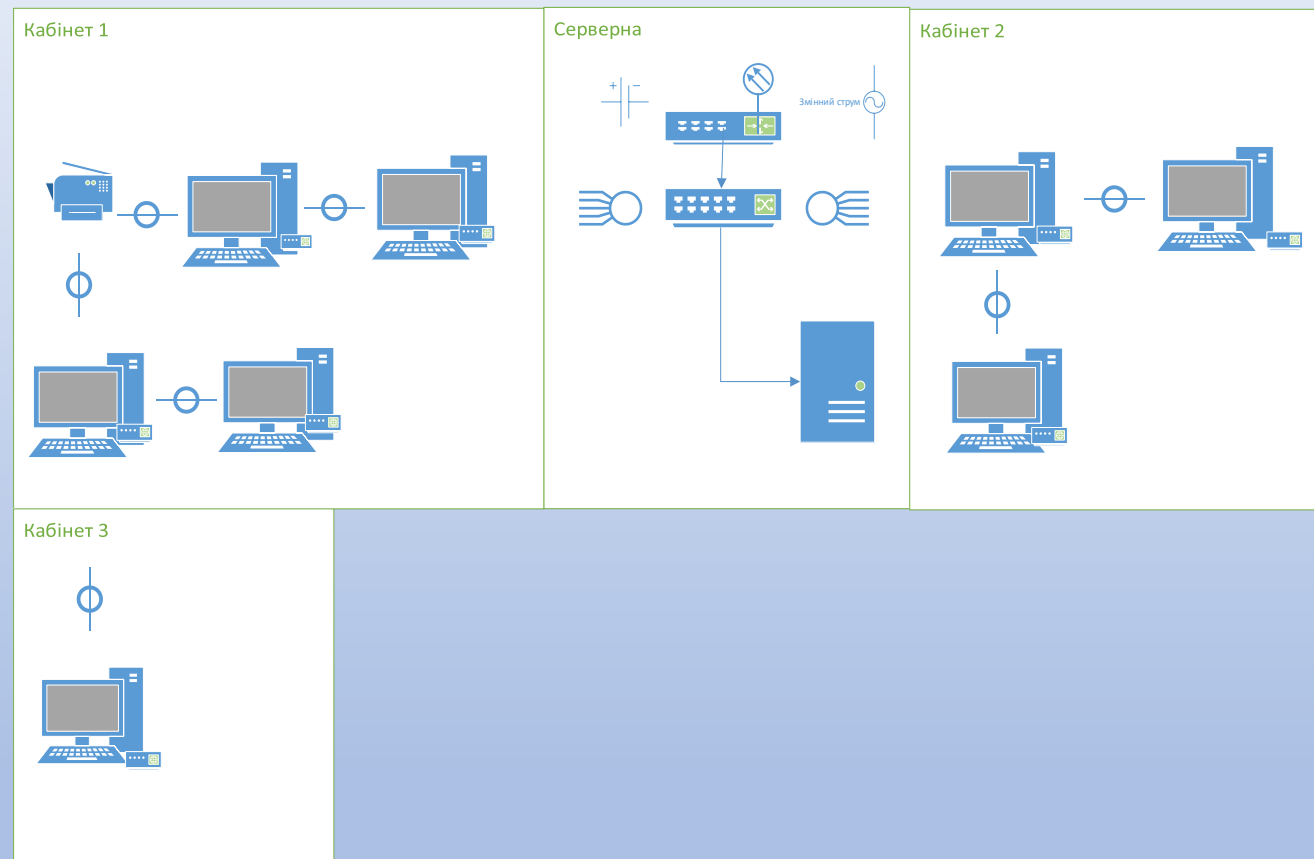
У даному офісі доцільно використовувати зіркоподібну топологію:

- при виході з ладу одного з кабелів, з'єднання обірветься тільки одному користувачеві;
- простий пошук несправностей і обривів в мережі;
- простота перепідключення комп'ютерів і підключення нових користувачів;



Архітектура GPON на підприємстві

Архітектура GPON-мережі для офісного приміщення з 10 робочими місцями, розподіленими у трьох кабінетах, та серверною кімнатою є ефективним рішенням для побудови сучасної телекомунікаційної інфраструктури. Вона базується на використанні волоконно-оптичних ліній для передачі даних і включає три основні компоненти: оптичний лінійний термінал (OLT), оптичні розгалужувачі (Splitters) та оптичні мережеві термінали (ONT).



OLT GCOM GL5610-16P



Модель OLT GL5610-16P від компанії GCOM розроблена для універсального використання, включаючи міські та сільські мережі, багатоквартирні будинки та приватні резиденції. Її компактна конструкція забезпечує зручну установку в телекомунікаційних шафах або обмежених просторах.

BDCOM GP1702-1G

Абонентські термінали (ONU) є невід'ємним компонентом будь-якої PON-мережі. Для даного проєкту обрано модель абонентського терміналу BDCOM GP1702-1G, яка відзначається високою надійністю та функціональністю.



Тестування системи

Одним із ключових методів є тестування пропускної здатності мережі. Цей метод дозволяє визначити максимальну швидкість передачі даних у напрямку до користувача (downstream) та у зворотному напрямку (upstream):

- середня швидкість завантаження та вивантаження відповідають високоякісному рівню з'єднання, забезпечуючи стабільну роботу для будь-яких мережевих завдань;
- затримка (Ping) має значення 1 мс, що є винятково низьким і вказує на ідеальні умови з'єднання.
- рівень з'єднання характерний для гігабітних з'єднань.



Тестування системи

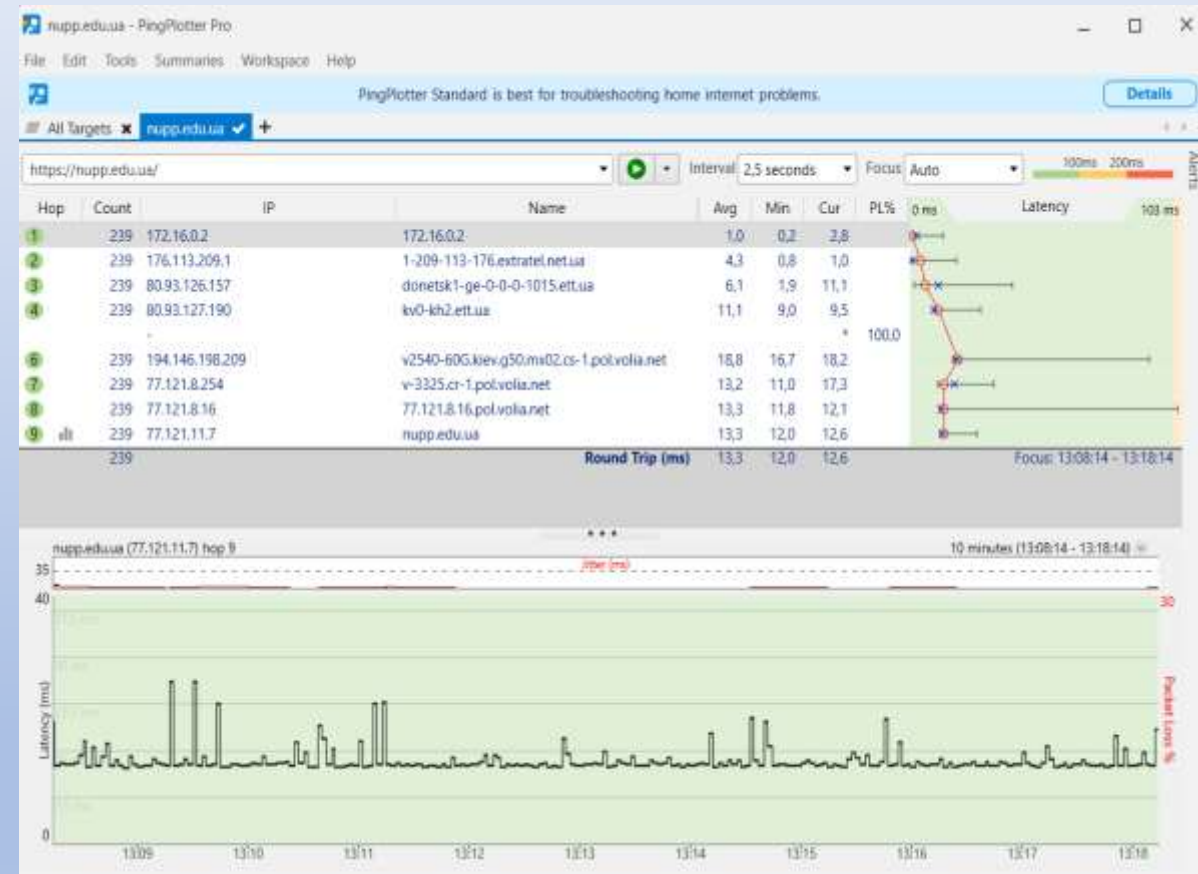
Проведено тестування до вузла nupr.edu.ua (IP: 77.121.11.7)

та отримано наступні результати, які відображено на рисунку 4.2:

- Кількість стрибків (Hop): 9;
- Інтервал запитів: 2,5 секунди;
- Тривалість тесту: 10 хвилин (з 13:08:14 до 13:18:14);
- Загальна затримка: 12,6 мс (середній Round Trip Time на кінцевому вузлі);

Загальна втрата пакетів:

- Втрати пакетів на кінцевому вузлі (nupr.edu.ua, Hop 9): 12,6%.
- Це вказує на помірну нестабільність у мережі, ймовірно, викликану проміжними вузлами.
- На графіку помітний джитер (коливання затримки), який досягає 30 мс у певні моменти. Це може вплинути на якість голосового та відео-зв'язку.



GPON vs LAN

Порівняння оновленої інфокомунікаційної системи на основі GPON та попередньої на технології LAN по 5-и бальній системі за критеріями: дальність передачі, масштабованість, пропускна здатність, витрати на обслуговування, енергоефективність, надійність, дальність передачі.

