


Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії
Кафедра обчислювальної техніки

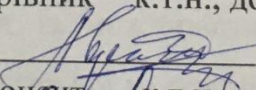
МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему «**КОМП'ЮТЕРНА МЕРЕЖА ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ОПТИЧНОЇ
ЛІНІЇ ЗВ'ЯЗКУ ІЗ АВТОНОМНИМ ЖИВЛЕННЯМ**»

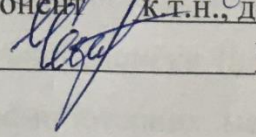
Виконав: студент 2 курсу, групи 1КІ-22м
спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія

 Ситников В. Д.

Керівник к.т.н., доц., доц. каф. ОТ

 Черняк О.І.

Опонию к.т.н., доц., зав.каф. ПЗ

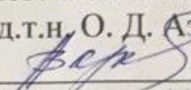
 Черноволик Г. О.

Допущено до захисту
Завідувач кафедри ОТ
д.т.н., проф. Азаров О.Д.

«11» 12 2023 р.

Вінниця 2023

Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії
Кафедра обчислювальної техніки
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
обчислювальної техніки
проф., д.т.н. О. Д. Азаров

« 26 » вересня 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Ситникову Владиславу Дмитровичу

1 Тема роботи «Комп'ютерна мережа із застосуванням оптичної лінії зв'язку із автономним живленням», керівник роботи Черняк Олександр Іванович, к.т.н., доцент, затверджена наказом вищого навчального закладу від 18.09.2023 року № 247.

2 Строк подання студентом роботи 09.12.2023 р.

3 Вихідні дані до роботи: використання PON для побудови мережі, використання автономного живлення із можливістю застосування сонячної енергетики, пропускна здатність абонентської мережі не менше 1 Gbps.

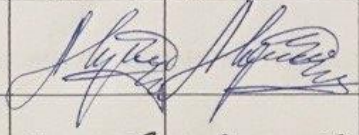
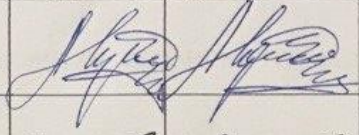
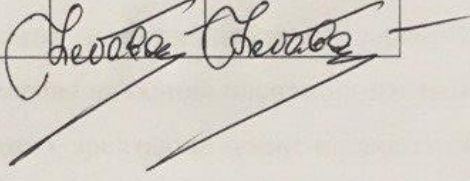
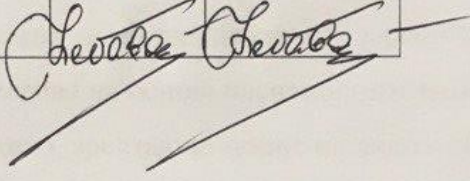
4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): вступ, огляд та аналіз комп'ютерних мереж з оптичними лініями зв'язку побудова структури комп'ютерної системи із застосування пасивної оптичної мережі, розробку комп'ютерних моделей функціонування оптичної комп'ютерної мережі, тестування моделі та налаштування засобів оптичних комп'ютерних мереж висновки.

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): графічне представлення архітектури системи, стек протоколів PON, схема архітектури мережі на базі технології, блок-схема алгоритму роботи

енергозберігаючої системи, налаштування станційного та абонентського обладнання, результати моделювання.

6 Консультанти розділів роботи представлено в табл. 1.

Таблиця 1 — Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1, 2, 3,4	Черняк О.І., к.т.н., доц. каф. ОТ		
5	Небава М.І., к.е.н., проф. каф. ЕПВМ		

7 Дата видачі завдання 19.09.2023р.

8 Календарний план наведено в табл. 2.

Таблиця 2 — Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Прим.
1	Постановка мети та задач роботи	21.10.23	<i>вс</i>
2	Основні функціональні аспекти комп'ютерного мереж із ОЛЗ	25.10-30.10.23	<i>вс</i>
3	Проектування апаратного забезпечення системи	31.10-08.11.23	<i>вс</i>
4	Складання структурної схеми системи, що розробляється	09.11-15.11.23	<i>вс</i>
5	Підбір на налаштування технічних засобів	16.11-20.11.23	<i>вс</i>
6	Використання інструментів розробки	21.11-25.11.23	<i>вс</i>
7	Комп'ютерне моделювання енергетичних складових мережі	26.11-31.11.23	<i>вс</i>
8	Перевірка запропонованих рішень	01.12-04.12.23	<i>вс</i>
9	Розрахунок економічної частини роботи	01.12-04.12.23	<i>вс</i>
10	Оформлення пояснювальної записки та ілюстративного матеріалу	05.12.23	<i>вс</i>
11	Аналіз виконання роботи, висновки, додатки		<i>!</i>
12	Перевірка якості виконання магістерської роботи та усунення недоліків		

Студент  Ситников В. Д.

Керівник роботи  Черняк О.І.

АНОТАЦІЯ

УДК 004.9

Ситников В. Д.

Комп'ютерна мережа із застосуванням оптичної лінії зв'язку із автономним живленням. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 123 — комп'ютерна інженерія, освітня програма — комп'ютерна інженерія. Вінниця: ВНТУ, 2023, 118 с.

На укр.мові. бібліогр.: 36 назв, рис. 34, табл. 6.

Дана магістерська кваліфікаційна робота присвячена створенню системи комп'ютерної мережі із застосуванням оптичної лінії зв'язку із автономним живленням.

Одним із найбільш актуальних напрямів розвитку штучного інтелекту в останні роки став комп'ютерний зір.

В роботі обґрунтовано використання альтернативних джерел енергопостачання для живлення комп'ютерної мережі на основі пасивної оптичної мережі (PON). Енергоефективність стає актуальною, зростаючи попит на якість та швидкість в ІТ-мережах. Розглянуто аспекти оптоволоконних технологій, зокрема PON і EPON.

В роботі показано варіанти застосування оптичних комп'ютерних мереж є масштабне їх використання в області передачі інтернет-послуг, які надаються великій кількості абонентів, PON використовується для оптимізації передачі великої кількості даних.

Ключові слова: комп'ютерна мережа, пасивні оптичні мережі, пропускна здатність, розподілення послуг, енергоефективність, передачі даних.

ANNOTATION

Sytnykov V. D.

Computer network with optical communication line with autonomous power supply. Master's qualification work in specialty 123 - computer engineering, educational program - computer engineering. Vinnytsia: VNTU, 2023, 118 p.

In Ukrainian. References.: 36 titles, Fig. 34, Tab. 6.

This master's qualification work is devoted to the creation of a computer network system using an optical communication line with autonomous power supply.

Computer vision has become one of the most relevant areas of artificial intelligence development in recent years.

The paper substantiates the use of alternative energy sources to power a computer network based on a passive optical network (PON). Energy efficiency is becoming relevant as the demand for quality and speed in IT networks grows. The paper considers aspects of fiber optic technologies, in particular PON and EPON.

The paper shows the options for the application of optical computer networks, such as their large-scale use in the field of transmission of Internet services provided to a large number of subscribers, PON is used to optimize the transmission of large amounts of data.

Keywords: computer network, passive optical networks, bandwidth, service distribution, energy efficiency, data transmission.

.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ З ОПТИЧНИМИ ЛІНІЯМИ ЗВ'ЯЗКУ	11
1.1 Обґрунтування необхідності використання ширококутового зв'язку в комп'ютерних системах та забезпечення їх енергоефективності	11
1.2 Методи зниження енергоспоживання в комп'ютерних мережах ширококутового доступу	13
1.3 Аналіз побудови комп'ютерних систем на основі технології пасивної оптичної мережі (PON).....	16
1.4 Аналіз побудови архітектури комп'ютерних оптичних мереж.....	20
2 ПОБУДОВА СТРУКТУРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯ ПАСИВНОЇ ОПТИЧНОЇ МЕРЕЖІ	34
2.1 Аналіз можливостей використання комп'ютерних систем на основі пасивних оптичних мереж	34
2.2 Архітектура мережі.....	35
2.3 Застосування PON для комп'ютерних мереж.....	38
2.4 Енергетичні аспекти в комп'ютерних оптичних мережах	39
2.5 Визначення параметрів обладнання для послуг потрійного доступу в оптичних комп'ютерних мережах.....	43
2.6 Уніфіковане управління елементами системи	50
3 РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРНИХ МОДЕЛЕЙ ФУНКЦІОНУВАННЯ ОПТИЧНОЇ КОМП'ЮТЕНОЇ МЕРЕЖІ	52
3.1 Загальний сценарій роботи мережі	52
3.2 Моделювання роботи мережі з однаковим переповненням трафіку	52
3.3 Моделювання споживання енергії в мережі WDM-PON	54
3.4 Метод енергозбереження ONU при переході з активного режиму в сплячий.....	63
3.5 Розрахунок параметрів PON мережі та сумарного загасання лінії.....	67
3.6 Зниження енергоспоживання мережі.....	69

				08-54.МКР.015.00.000 ПЗ			
	№ документа	Підпис					
Розробив	Савицький В. Д.	<i>[Signature]</i>	11.11.15	Комп'ютерна мережа із застосуванням оптичної лінії зв'язку із автономним живленням	Тим.	Арх.	Архівовано
Ухвалено	Черняк О. І.	<i>[Signature]</i>	11/12/15			6	
Одоговано	Черновиків Г. О.	<i>[Signature]</i>	11/12/15				
Н. Контроль	Шенд С. І.	<i>[Signature]</i>	11.12.15				
Ізмієно/закрито	Аваров О. Д.	<i>[Signature]</i>	11.12.15				
				Пояснювальна записка			
				ВНТУ, впр. 1КІ-22м			

3.7	Методи зниження енергоспоживання в PON	69
3.8	Технологія сонячної енергетики для оптичних вузлів комп'ютерних мереж	71
4	ТЕСТУВАННЯ МОДЕЛІ ТА НАЛАШТУВАННЯ ЗАСОБІВ ОПТИЧНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ	75
4.1	Інструменти моделювання комп'ютерних мереж з оптичними елементами	75
4.2	Налаштування мережевого обладнання.....	79
4.3	Тестування живлення мережі від сонячної енергостанції	83
5.1	Комерційний та технологічний аудит науково-технічної розробки.....	87
5.2	Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної (дослідно-конструкторської) роботи.....	90
5.3	Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки за її можливої комерціалізації потенційним інвестором	96
5.4	Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності	98
	ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	104
	ДОДАТОК А. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ.....	108
	ДОДАТОК Б. ЛОГІЧНА МОДЕЛЬ ДОСТУПУ ДО ПОСЛУГ КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ ЗАСОБАМИ ПАСИВНИХ ОПТИЧНИХ МЕРЕЖ ..	112
	ДОДАТОК В. МІЖМЕРЕЖНА ВЗАЄМОДІЯ ІНТЕРНЕТУ ТА КІНЦЕВИХ СПОЖИВАЧІВ КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ.....	113
	ДОДАТОК Г. СТРУКТУРНА СХЕМА ПІДКЛЮЧЕННЯ АБОНЕНТІВ МЕРЕЖІ ДО PON ТОЧКИ	114
	ДОДАТОК Д. НАЛАШТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ PON КОМПОНЕНТА КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ.....	115
	ДОДАТОК Е. СХЕМА ОРГАНІЗАЦІЮ ПІДКЛЮЧЕННЯ ОПТИЧНОЇ ЛІНІЇ ..	116
	ДОДАТОК Ж. НОРМАЛЬНИЙ ТА АВАРІЙНИЙ РЕЖИМИ ЖИВЛЕННЯ ОПТИЧНОЇ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ.....	117
	ДОДАТОК Ж. ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ	118

									08-54.МКР.015.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

ВСТУП

Актуальність роботи. В магістерській кваліфікаційній роботі представлено обґрунтування використання сонячної енергії як відновлюваної енергії для живлення комп'ютерної мережі з використанням пасивної оптичної мережі (PON). Основна увага приділяється вимогам та джерелам живлення для активних компонентів оптичних мереж доступу. Щоб забезпечити постійний доступ до мережі Інтернет під час повномасштабних бойових дій, коли доступ до електричних мереж може бути пошкоджений пропонується перехід до суто пасивних оптичних мереж та підкреслюється необхідність використання альтернативних, відновлюваних і, крім того, екологічно чистих джерел для забезпечення необхідної потужності. Сонячна енергія буде використовуватися як основне джерело живлення, в той час як електромережа може бути представлена як резервне або резервне джерело.

Інформаційні та телекомунікаційні технології (ІКТ) наступного покоління використовують перехід від мідноцентричної до оптоволоконної мережевої інфраструктури та включення режимів з низьким енергоспоживанням, що дозволяє досягти значного покращення енергоефективності за рахунок зменшення потужності, необхідної для передачі, зменшення кількості комутаційних вузлів, полегшення умов охолодження тощо [2].

Зростаючий попит на якість, кількість і швидкість в комп'ютерних мережах є ключовим фактором, що стимулює постійні дослідження, інновації та конкуренцію серед постачальників послуг. Зараз вважається, що Інтернет, від якого залежить багато послуг, готовий стати справді повсюдним, надаючи послуги будь-де і будь-коли, забезпечуючи зв'язок між людьми, об'єктами і речами [1]. Крім того, розглянуто аспекти оптоволоконних технологій доступу, таких як PON і GPON. Серед багатьох оптичних технологій, які використовуються для роботи комп'ютерних мереж, PON є однією з найбільш перспективних технологій оптичних мереж доступу з високою пропускнуою здатністю і низькою вартістю. Очікується, що з появою додатків, які потребують великої пропускну

здатності, і збільшенням кількості абонентів Інтернету, попит на доступ до комп'ютерних мереж через PON буде швидко зростати.

Враховуючи сучасні тенденції розвитку мережевих технологій, енергоспоживання комп'ютерної інфраструктури стає актуальним питанням. Енергоспоживання в мережах - це загальна потужність, яку споживає або потребує мережа для виконання своїх функцій (переважно при передачі даних). Щоб отримати реальну картину, його можна розбити на потужність, необхідну або витрачену на біт переданих даних. В умовах зростання цін на енергоносії та проблем, пов'язаних з бойовими діями, енергозбереження починає відігравати центральну роль у проектуванні та експлуатації інформаційно-телекомунікаційного обладнання в Україні.

Основна увага приділяється вимогам та джерелам живлення активних компонентів PON комп'ютерних мереж. Сонячна енергія використовується як основне джерело живлення, в той час як електромережа буде використовуватися як резервне або резервне джерело.

Швидкість передачі даних є гігабітною на відстані в кілька десятків кілометрів; раніше ці характеристики були зарезервовані для високошвидкісних і магістральних мереж на великі відстані. PON також можуть підтримувати новий клас додатків, таких як точна передача часу або розподілене волоконне зондування, і слідувати новим тенденціям у відкритих мережах. Наведено огляд минулих і поточних стандартів і стандартів, які були запропоновані для останнього покоління гігабітних пасивних оптичних мереж.

Метою дослідження є розширення функціональних можливостей системи за рахунок покращення автономності та підвищення надійності функціонування комп'ютерних мереж із застосуванням оптичних ліній зв'язку із застосуванням альтернативних джерел живлення.

Задачі дослідження:

— провести аналіз сучасних комп'ютерних мереж із застосуванням оптичних ліній зв'язку системи та методи їх роботи;

- провести аналіз методів та засобів, можливостей застосування оптичних ліній зв'язку та виконати порівнянні з аналогами;
- розробити структурну модель системи комп'ютерної мережі із застосуванням оптичної системи зв'язку з автономним живленням, схеми основних функціональних вузлів;
- провести комп'ютерне моделювання характеристик запропонованої системи;
- дослідити аспекти практичної реалізації такої із автономним живленням на сучасній елементній базі..

Наукова новизна отриманих результатів магістерської роботи: дістала подальшого розвитку методика компенсації живлення комп'ютерних мереж, яка відрізняється від відомих застосуванням комплексного механізму адаптації живлення оптичних каналів зв'язку до зміни умов в електричних мережах, що дозволили підвищити надійність та автономність функціонування комп'ютерних мереж.

Об'єкт дослідження — процеси застосування оптичних ліній зв'язку для функціонування комп'ютерних мереж.

Предмет дослідження — методи та засоби структурної організації комп'ютерних мереж з використанням оптичних ліній зв'язку.

Апробацію результатів наукової роботи було проведено на науковій конференції:

«Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН–2024)», доповідь на тему “Комп'ютерна мережа із застосуванням оптичної лінії зв'язку із автономним живленням”

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ З ОПТИЧНИМИ ЛІНІЯМИ ЗВ'ЯЗКУ

1.1 Обґрунтування необхідності використання ширококутового зв'язку в комп'ютерних системах та забезпечення їх енергоефективності

Зі зростанням попиту на швидкість і пропускну здатність зростають і вимоги до мережевих елементів. Разом з цим зростанням і попитом зростають вимоги до підтримки та обслуговування роботи мереж доступу. Дуже важливо враховувати потужність, необхідну для роботи та задоволення зростаючих потреб інфраструктури.

Вирішення проблем енергоспоживання в мережах стосується кожної одиниці обладнання, що використовується в мережі. Слід зазначити, що значних зусиль було докладено для реалізації цього, починаючи з кінцевих елементів мережі, таких як заміна 150-ватних настільних комп'ютерів на 25-ватні ноутбуки та багато інших [3].

Глобальне зростання попиту на Інтернет, ширококутовий доступ та пов'язані з ним послуги продовжує зростати в геометричній прогресії. За оцінками, кількість нових користувачів Інтернету сягає 60 мільйонів на рік [4]. Відповідно, очікується, що потужність, яка споживається мережею доступу, також зростатиме в геометричній прогресії.

Інтернет - це звичайна річ у житті мільярдів людей, і електронна пошта, обмін файлами, повідомленнями, хмарні сервіси, відеодзвінки, онлайн-ігри та онлайн-трансляції фільмів сприймаються як щось само собою зрозуміле. У деяких місцях люди не мають доступу до питної води, але мають доступ до Інтернету. Цей доступ стає можливим завдяки величезній пропускній здатності, яка доступна в магістральних волоконно-оптичних мережах з використанням когерентного оптичного обладнання, що забезпечує швидкість передачі даних у сотні гігабіт на секунду (400 Гбіт/с у 2022 році); за допомогою мультиплексування довжин хвиль загальна пропускна здатність може досягати десятків терабіт на секунду. Максимальна пропускна здатність основних оптоволоконних мереж Інтернету - це

лише частина справи, ще важливіше, щоб кінцеві користувачі мали доступ до цього величезного обсягу даних [1]. Бездротові мережі з мобільними телефонами, планшетами та іншими бездротовими пристроями відповідальні за колосальне зростання інтернет-трафіку, але оптичне волокно все ще залишається найбільш перспективним кандидатом для задоволення будь-якого передбачуваного трафіку даних [2-4].

З моменту створення Інтернету і Всесвітньої павутини (WWW) споживання пропускної здатності серед звичайних користувачів постійно зростало. Відеододатки вимагають найбільшого споживання, оскільки телебачення високої чіткості (HDTV) майже застаріло, і сучасні користувачі шукають супер HDTV, яке також називають 4k, в той час як на ринку доступні телевізори з ще кращою роздільною здатністю, наприклад, 8k [5,6]. Однак 8k не настільки поширене через брак реального контенту (тобто фільмів, доступних у цій роздільній здатності). Потoki HDTV можуть споживати мегабіти на секунду, тоді як 8k може споживати максимум сто мегабіт на секунду. Тому інтернет-сервіси повинні мати можливість запропонувати додаткову пропускну здатність, особливо з огляду на попит на пропускну здатність з боку кінцевих користувачів, який постійно зростає як у мережах доступу, так і в магістральних мережах [7].

Відомий і авторитетний візуальний мережевий індекс (VNI) від Cisco доступний в Інтернеті [7] і підтверджує значне зростання даних: глобальний трафік Інтернет-протоколу (IP) збільшиться майже втричі протягом наступних 5 років, а з 2005 по 2023 рік - у 127 разів. Середньорічний темп приросту IP-трафіку з 2018 по 2023 рік становитиме 24%, а середньорічний темп приросту (CAGR) - 24%. Щорічний глобальний IP-трафік досягне 4,3 ЗБ (зеттабайт - це 1000 ексабайт) до 2023 року. У 2016 році світовий IP-трафік становив 1,2 ЗБ на рік або 96 ЕБ на місяць. До 2023 року світовий IP-трафік досягнув 3,3 ЗБ на рік, або 278 ЕБ на місяць. Хоча ці дані є прогнозами, IP-трафік значно зростає з кожним роком. Зауважимо, що деякі частини Африки з дуже молодим населенням не мають доступу до Інтернету, що свідчить про те, що стагнації зростання не очікується.

Хоча ціна оптоволоконна є низькою, підземна прокладка є найдорожчою частиною і зазвичай пов'язана з юридичними питаннями. Таким чином, коли волокно прокладається/закопується в землю, одне волокно повинно використовуватися багато разів без встановлення будь-яких активних пристроїв на цьому шляху. Пасивні оптичні мережі можуть вирішити цю проблему.

1.2 Методи зниження енергоспоживання в комп'ютерних мережах широкопasmового доступу

Існує низка методів, запропонованих для зменшення енергоспоживання в мережах доступу. Особливо для мобільних пристроїв дуже низьке споживання має велике значення, оскільки батареї мають обмежену ємність, розмір і вагу. Крім того, оскільки бездротові технології використовують спільне середовище передачі, на приймачах виникають сильні завади, які необхідно зменшити шляхом використання вдосконалених форматів модуляції та схем кодування, а також інтелектуального управління потужністю передавача шляхом поєднання ефективних алгоритмів вибору каналів з енергоефективними протоколами передачі та маршрутизації [5,6]. Незважаючи на значний прогрес у створенні енергоефективних мобільних пристроїв та базових станцій [7,8,9], все ще існує певний простір для подальшого вдосконалення; особливо якщо розглядати базові радіостанції, то тут можливе значне скорочення втрат енергії - приблизно на 75% [7]. Вимоги до низького енергоспоживання в дротових мережах доступу не такі високі, як у бездротових мережах. Тут мережеві термінали зазвичай живляться від електромережі, а ємність, розмір і вага акумуляторів не відіграють суттєвої ролі. Найпоширенішими варіантами дротового доступу є різні версії систем цифрової абонентської лінії (xDSL), гібридна оптоволоконна/коаксіальна мережа (HFC) або рішення на основі оптичного волокна (FTTx). Хоча рішення для радіо- та бездротового доступу досягли значного прогресу в напрямку енергоефективності, і існує багато нових високоефективних компонентів і систем для електроживлення та передачі даних в технологіях на основі міді, таких як xDSL, найбільш перспективною технологією з точки зору високої продуктивності та низького

енергоспоживання для зони доступу видається рішення на основі оптичних волокон [10,11]. Оскільки внесок мереж доступу в загальне енергоспоживання глобальних мереж є великим, розгортання енергоефективних компонентів і систем для зони доступу матиме великий вплив на загальне енергоспоживання. Тому слід зосередитися на методах підвищення енергоефективності компонентів і систем в межах зони доступу.

Оптичні технології передачі та обробки даних, як правило, здатні забезпечити як низьке енергоспоживання, так і високу швидкість передачі даних. Для великої кількості користувачів, високих швидкостей доступу і надання послуг мовлення, таких як телебачення стандартної і високої чіткості (SD), що є реальною ситуацією в зоні доступу сьогодні і в найближчому майбутньому, пасивні оптичні мережі є одним з найефективніших рішень. Дійсно, дуже велика кількість абонентів у міських і приміських районах може бути підключена до єдиного центрального офісу провайдера при використанні PON з розширеною зоною досяжності. На додаток до дуже великої кількості користувачів, підключених до одного порту OLT (> 1000) і великої дальності дії (~ 100 км), PON з розширеною зоною досяжності також забезпечують найвищу енергоефективність [12]. Для подальшого підвищення і без того високої енергоефективності можна використовувати різні методи, такі як дистанційне посилення і дистанційне живлення подовжувача [13]. Протоколи для мереж доступу можуть бути адаптовані таким чином, щоб забезпечити динамічний розподіл ресурсів і зробити можливим пристосування продуктивності та енергоспоживання до реальних потреб, враховуючи фактичне використання мережі. Економія енергії може бути досягнута або за рахунок використання режимів з низьким енергоспоживанням, або за рахунок вимкнення неактивних пристроїв. Нещодавно було показано [14], що якщо 60% кінцевих користувачів не активні, то до 27% (або до 58%) енергії можна заощадити, коли неактивне обладнання працює в режимі низького енергоспоживання (або SRE вимкнено).

Розглядаючи питання зниження енергоспоживання, необхідно підкреслити, що пасивна оптична мережа - це гарне місце для початку через пасивну природу

мережі, яка залишає тільки OLT і ONU в якості активного обладнання в мережі. PON - гігабітні пасивні оптичні мережі (GPON) і гігабітні пасивні оптичні мережі наступного покоління (NGPON).

Як зазначалося раніше, зусилля, спрямовані на зменшення енергоспоживання в мережах доступу, розглядалися в різних аспектах. Серед цих методів зниження енергоспоживання можна виділити наступні:

— використання енергоефективного обладнання (елементі мережі), таких як комутатори та маршрутизатори, у сегменті мережі, що знаходиться під контролем постачальника послуг, оскільки може бути недоцільним та неможливим контролювати те, що використовується у приміщеннях споживачів [15];

— використання енергоефективних рішень, таких як побудова екологічно стійких мереж на всіх рівнях (від дротового та бездротового доступу до транспорту до ядра) з рамками, що охоплюють апаратне, програмне забезпечення, мережеві інновації на локальному та підрівневому рівнях [15].

— увімкнення комунікаційних додатків і послуг, які збагачують життя людей у сталий спосіб (наприклад, розумні лічильники, розумні будівлі) [15].

— спільне використання каналів та мікротраншей для зовнішнього обладнання, так як, згідно з аналізом життєвого циклу FTTH, проведеним Європейською радою FTTH, близько 83% викидів CO₂, пов'язаних з мережею, є результатом розгортання пасивного волокна, варто зазначити, що копання траншей і прокладання волокон є руйнівними, дорогими, вуглецево- та енергоємними процесами;

— впровадження сплячого режиму для ONU, що значно зменшить енергоспоживання [16], а у випадку PON це, в першу чергу, пов'язано з енергоспоживанням оптичних мережевих блоків (ONU) [11].

1.3 Аналіз побудови комп'ютерних систем на основі технології пасивної оптичної мережі (PON)

Нещодавній розвиток телекомунікацій призвів до збільшення пропускної здатності магістральних мереж. У той час як пропускна здатність магістральних мереж йде в ногу з величезним зростанням інтернет-трафіку, в мережі доступу спостерігається незначний прогрес, де виникає вузьке місце між магістральною мережею і локальними мережами високої пропускної здатності [1]. Єдиним ефективним рішенням для цього вузького місця є універсальна оптоволоконна інфраструктура, доступна як для бізнесу, так і для населення.

Пасивна оптична мережа (PON) - це мережа оптичного доступу типу "точка-багатоточка" безактивних елементів на шляху проходження сигналу від джерела до місця призначення. Тут всі передачі здійснюються між оптичним лінійним терміналом (OLT) і оптичними мережевими пристроями (ONU), в основному через оптичний розгалужувач / комбайнер. OLT знаходиться в центральному офісі (CO) і з'єднує оптичну мережу доступу з міською мережею (MAN) або глобальною мережею (WAN). З іншого боку, кожен ONU зазвичай знаходиться або у кінцевого користувача (FTTB), або в будинку (FTTH) і надає абонентам широкопasmові послуги передачі голосу, даних і відео. Таким чином, PON економить витрати, енергопостачання, розподіл обладнання та більш оптимально і ефективно використовує волоконно-оптичну інфраструктуру. На рис. 1.1 представлена типова топологія PON з мережею різних елементів.

Пасивні оптичні мережі (PON) привертають увагу як перспективна технологія доступу вже більше 20 років, оскільки перша Рекомендація Міжнародного союзу електрозв'язку (МСЕ) G.983.1, яка була опублікована в 1998 році [10], містила популярну на той час технологію асинхронного режиму передачі (ATM) і пов'язані з нею PON на основі ATM.

Перша згадка про використання оптичних волокон у пасивних мережах доступу була опублікована в 1987 році Стерном та його колегами [11]. Зміна середовища передачі з мідного на кремнієве волокно вимагала підключення

активних пристроїв для забезпечення перетворення оптичних сигналів в електричні, що не використовується в сучасних PON.

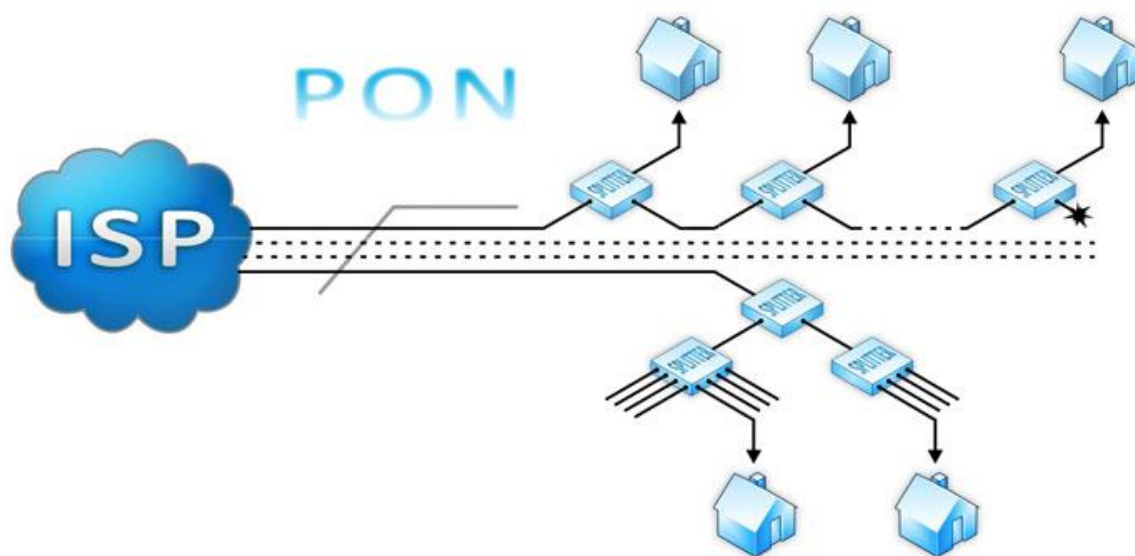


Рисунок 1.1 — Пасивна оптична мережа (деревоподібна топологія)

Ця концепція отримала назву оптичної розподільчої мережі (ODN). Концепція ODN, розроблена в 1987 році, зберігається з деякими змінами. PON збираються з пасивних пристроїв, таких як оптичні волокна, роз'єми і розгалужувачі живлення, з активними елементами, такими як пристрої закінчення оптичних ліній (OLT) і оптичні мережеві блоки (ONU). Технології та принципи PON активно досліджувалися і розроблялися протягом останніх трьох десятиліть і залишаються в центрі уваги дослідників. Як результат, доступні різні PON, які охоплюють не тільки доступ, але й міські відстані та мультигігабітні швидкості передачі даних.

PON схожі на іншу технологію: оптоволокно до дому (FTTH). Рада FTTH була створена в 2001 році для просування концепції FTTH в Північній Америці, особливо в США і Канаді. Хоча Європа в цілому не була настільки активною в цій сфері (деякі країни були), важливість PON і FTTH була визнана Європейським Союзом (ЄС). ЄС прагне фінансово підтримати введення в експлуатацію швидкісних оптичних мереж, щонайменше 30 Мбіт/с для кожного клієнта і 100 Мбіт/с для нових з'єднань до 2025 року. ЄС приділяє більше уваги мережам

оптичного доступу наступного покоління (NG) [12]. Незважаючи на величезну популярність бездротових технологій, оптоволокну визнається важливою частиною багатьох ширококутових ініціатив, наприклад, у великих міжнародних корпораціях, таких як Google [13] або AT&T [14].

Багато сучасних рішень визначають, як закінчувати оптичне волокно у кінцевого користувача, і FTTH не вважається єдиним рішенням. Загалом, FTTx - це назва конвенції, де буква "x" позначає технологію. FTTH - це лише частина узагальненого терміну FTTx, і ці технології дуже популярні і часто розгортаються; провайдери інтернет-послуг (ISP) повинні знайти компроміс між ціною і проникненням [15]. Наприклад, для оптоволокну до будівлі (FTTB) оптичне волокно встановлюється в оптичних з'єднувальних коробках у будівлях, а потім різні середовища передачі (наприклад, мідний дріт) використовуються для передачі сигналу до квартир абонентів. В інших рішеннях використовуються потужні, невеликі за розміром і з низьким енергоспоживанням периферійні пристрої (наприклад, комутатори або маршрутизатори) в будівлі. Ці коробки забезпечують оптичні інтерфейси з оптичними кабелями, які досягають окремих квартир, оснащених обладнанням, що має оптичні приймачі і зазвичай використовує Ethernet для таких послуг, як телебачення на основі інтернет-протоколу (IPTV).

Мережа PON зазвичай створюється за допомогою інфраструктури "точка-багатоточка" (P2MP), як показано на рисунку 1, де частина "а" представляє базову топологію з розгалужувачем, представленим певним стандартом, а частина "b" - найпопулярніше рішення з каскадним розташуванням розгалужувачів. Склад може відрізнятись в залежності від провайдера. Перший розгалужувач використовується після активного порту OLT, щоб забезпечити ефективну кількість ONU, підключених до порту OLT. Єдиний порт ONU має обмеження часових інтервалів, а отже, повна пропускна здатність ONU є недосяжною. Інший тип мережі - точка-точка (P2P), який є більш складним і вимагає наявності оптоволокну для кожного комутатора агрегації. Різниця між ними показана на рисунку 2.

Гігабітний PON (GPON) добре підготовлений, і ціна на пристрої GPON знизилася. Однак новіші стандарти, такі як XG-PON або новітній PON наступного покоління, етап 2 (NG-PON2), а також PON на основі Ethernet - Ethernet PON (EPON) і 10G-EPON - вводять новий термін, схожий на FTTH. Різниця між мережами GPON і EPON важлива, оскільки обидві мережі походять з різних джерел. GPON був запропонований МСЕ і використовує технологію мультиплексування з часовим поділом каналів (TDM), таку як синхронна цифрова ієрархія (SDH) або американська еквівалентна синхронна оптична мережа (SONET). Варіант TDM, який називається форматом множинного доступу з часовим поділом каналів (TDMA), використовується для виділення часових інтервалів кожному користувачеві для забезпечення пропускної здатності в низхідному потоці. Технології TDM, такі як SDH і SONET (а також ATM, орієнтовані на з'єднання), все менше використовуються в мережах через їхню складність і високу ціну. Однак оптичні транспортні мережі (OTN) використовуються в магістральних мережах і піддаються репресіям з боку програмно-конфігурованих мереж (SDN), оскільки OTN є технологією МСЕ. EPON базуються на найпоширенішій мережевій технології - Ethernet. EPON сумісні з іншими пристроями Ethernet, такими як комутатори або концентратори, а розгортання та усунення несправностей EPON є простим, оскільки Ethernet є повсюдним і добре відомим багатьом мережевим інженерам. Ethernet - це технологія передачі даних (L2), і кадри Ethernet передають IP-пакети, такі як ті, що використовуються для всього Інтернету, скрізь.

Іншим важливим (можливо, найважливішим) аспектом EPON є ціна - завдяки масовому виробництву мікросхем Ethernet, 1 гігабітний Ethernet (GE) і навіть 10 GE є доступними за ціною. Деякі джерела вказують на те, що GPON в 2 рази дорожчі за EPON. Існують й інші порівняння цін, але вони можуть дещо вводити в оману, оскільки постачальники схильні просувати певні технології, і ціновий коефіцієнт GPON/EPON у 10, швидше за все, перебільшений. Вартість новітніх технологій не дозволяє їх широкого розгортання, і застарілі пристрої замінюються новим обладнанням. Ця стратегія "один за одним" завжди

включається в нові стандарти для PON. Для провайдера-початківця сценарій "з нуля" є кращим, оскільки він має лише волоконну інфраструктуру і не має розгорнутих активних і пасивних елементів PON (PON є пасивним за визначенням, але активні пристрої є важливими і розміщуються лише на кінцях волокон).. Під час процесу заміни OLT не можна відключити всіх клієнтів від порту OLT, оскільки поточні ONU не зможуть працювати за новим стандартом; кожен стандарт має схожі операції, але з додатковим компонентом рівня конвергенції передачі.

В даний час існує дві гілки стандартизації PON відповідно до технології рівня 2, яка буде використовуватися: ITU-T та IEEE. Перший стандарт включає в APON і BPON (G.983.x), а також засновані на загальному протоколі фреймінгу (GFP), відомому як GPON (G.984.x). Однак саме стандарт IEEE 802.3ah є найбільш перспективним кандидатом для мереж широкосмугового доступу наступного покоління.

PON може бути представлена у вигляді дерева (як показано на рис. 1.1) або зірки, але вона також може підтримувати такі топології, як шина, кільце і конфігурації з резервуванням. Ключовим елементом для пасивних оптичних мереж є розгалужувач, який в одному напрямку може розділити промінь світла на кілька пучків (розподілити по декількох оптичних волокнах), а в іншому напрямку об'єднати світлові сигнали з різних оптичних волокон в один вихідний оптичне волокно.

Ще однією перевагою мереж PON є можливість забезпечити високу пропускну здатність (порядка 1 Гбіт/с) завдяки використанню оптоволоконна, що працює на максимальній відстані 20-25 км. Завдяки багатоточковій структурі можна пропонувати послугу трансляції в напрямку завантаження, в той час як в напрямку вивантаження кінцевим користувачам необхідно спільно використовувати канал.

1.4 Аналіз побудови архітектури комп'ютерних оптичних мереж

У вихідному напрямку (від OLT до ONU) PON - це мережа типу "точка-багатоточка", в якій вся смуга пропускання доступна для постійного використання. У висхідному напрямку PON - це мережа "багатоточка- точка", в якій кілька ONU повинні передавати всі дані до одного OLT.

Якщо різні потоки даних передаються одночасно від декількох ONU, може виникнути колізія даних.

Таким чином, у висхідному напрямку (від ONU до OLT) PON повинна використовувати певний механізм контролю доступу до середовища, щоб уникнути колізій даних і справедливо розподілити пропускну здатність і ресурси магістрального оптоволоконного каналу.

Існує кілька загальних методів передачі даних декільком абонентам, що використовують одну архітектуру PON, таких як мультиплексування з часовим поділом каналів (TDM), мультиплексування з поділом по довжині хвилі (WDM), мультиплексування з піднесучими (SCM) і мультиплексування з кодовим поділом каналів (CDM). З усіх цих технологій TDM і WDM є найбільш перспективними кандидатами для практичних систем. Хоча TDM здається задовільним рішенням для поточного попиту на пропускну здатність, поєднання майбутніх прогнозів швидкості передачі даних в поєднанні з останніми досягненнями в технології WDM може призвести до того, що WDM стане кращим рішенням для майбутньої PON.

Мультиплексована з часовим поділом пасивна оптична мережа (TDM-PON). Мультиплексована пасивна оптична мережа з часовим поділом (TDM- PON), показана на рис. 1.2, є найбільш поширеною комерційною архітектурою PON. У низхідному напрямку OLT транслює трафік через оптичний пасивний розгалужувач на всі ONU в мережі доступу і, відповідно, вся транслювана інформація приймається на кожному ONU. Потоки даних для різних ONU можуть бути практично диференційовані за допомогою адресних міток ONU, які вбудовуються в передачу.

На ONU обробляються тільки відповідні дані з правильними адресними мітками, а всі інші дані відкидаються.

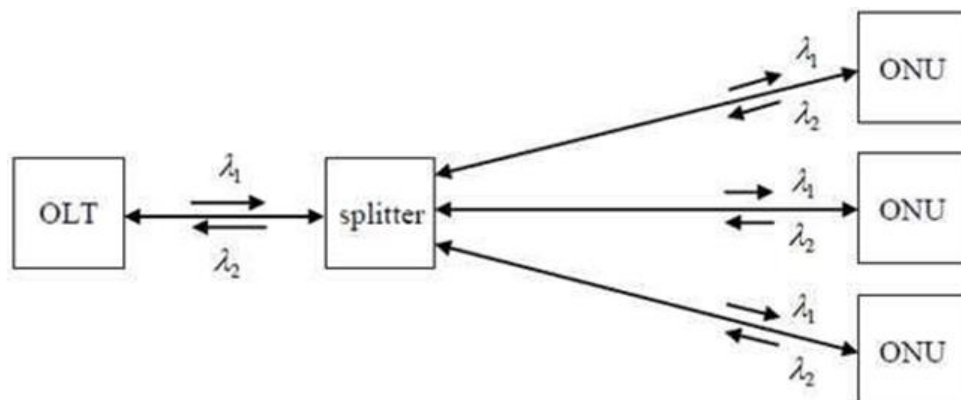


Рисунок 1.2 — Приклад одноступеневого розділення архітектури TDM- PON

Передачі вищих ONU об'єднуються через один оптичний пасивний розгалужувач. Мультиплексування з часовим розділенням (TDM) використовується для того, щоб уникнути колізій між передачами різних ONU в мережі. Метод доступу до середовища передачі, заснований на TDM, називається множинним доступом з часовим поділом каналів (TDMA), де для підтримки TDMA необхідний протокол MAC. Для кожного ONU можуть бути призначені часові інтервали передачі змінної довжини в залежності від необхідної якості обслуговування (QoS), де цей механізм широко відомий як динамічний розподіл смуги пропускання (DBA).

Порівняно зрілі недорогі оптичні передавачі та приймачі можуть успішно використовуватися як в OLT, так і в ONU. Електроніка ONU повинна працювати із загальною швидкістю передачі даних системи, що підвищує складність і вартість ONU. Завдяки архітектурі P2MP вартість TDM-PON OLT може бути розподілена між абонентами.

Існує дві основні альтернативи організації з'єднання P2MP за допомогою розгалужувачів. Першою альтернативою є одноступенева архітектура розділення, показана на рис. 1.2. Друга можливість - це використання каскадних розгалужувачів в польових умовах, як показано на рис.1.3. Архітектура розгалуження, що використовується на практиці, сильно залежить від

розташування абонентів. В одноступеневій архітектурі розгалужувач може бути розміщений в місці розташування OLT. Це спрощує обслуговування мережі і мінімізує втрати при зрощуванні і роз'ємах, але, з іншого боку, збільшує використання оптоволокна.

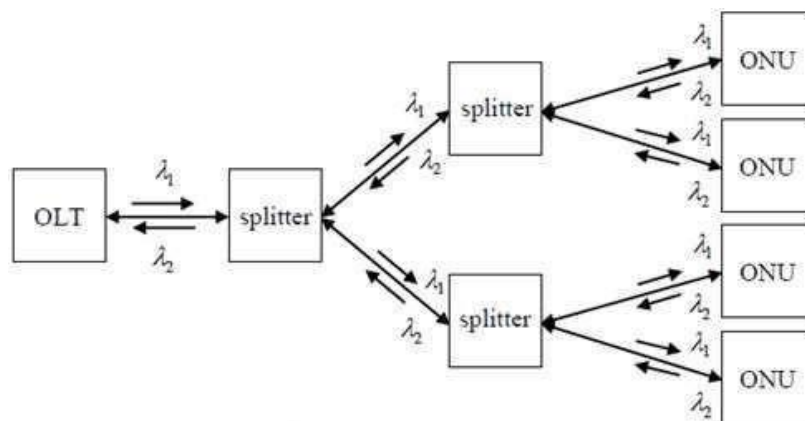


Рисунок 1.3 — Приклад багаступеневого розділення архітектури TDM-PON

Високий коефіцієнт розгалуження дозволяє скоротити використання оптоволокна в польових умовах і розділити вартість OLT між ONU, але, з іншого боку, він має безпосередній вплив на втрати при передачі. Тому для системи з високим коефіцієнтом розділення життєво важливо мати оптичні компоненти з низькими втратами, щоб впоратися з втратами. Крім того, високий коефіцієнт розділення зменшує кількість доступної смуги пропускання на абонента, оскільки всі ONU спільно використовують канал, і це обмежує максимальну кількість абонентів в PON.

Мультиплексована пасивна оптична мережа з поділом по довжині хвилі (WDM-PON). WDM-PON використовується для опису PON, який використовує мультиплексування з поділом по довжині хвилі (WDM). Загальною особливістю WDM-PON (див. рис. 1.4) є те, що для кожного ONU в напрямку низхідного потоку використовуються окремі довжини хвиль (WDM-PON призначає довжину хвилі для кожного абонента, тоді як TDM-PON призначає часовий інтервал). Таким чином, WDM-PON можна розглядати як сукупність з'єднань точка-точка

між кожним абонентом і центральним офісом. У висхідному потоці мультиплексування трафіку може бути досягнуто або за допомогою WDD, або за допомогою дуплексу з часовим розділенням каналів (TDD). Таким чином, можливі різні архітектури WDM- PON.

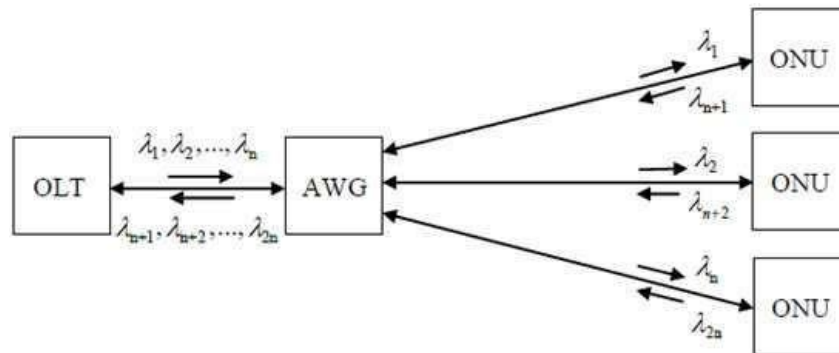


Рисунок 1.4 — Приклад архітектури WDM-PON

Використання окремої довжини хвилі в низхідному потоці забезпечує інформаційну безпеку, оскільки кожен ONU отримує тільки ту інформацію, яка йому призначена. Різним довжинам хвиль можна призначити різні швидкості передачі даних відповідно до необхідного QoS, а електроніка ONU може працювати зі швидкістю прийому даних. WDM-PON OLT є досить дорогим, оскільки для роботи на різних довжинах хвиль йому потрібен масив прийомопередавачів. Вартість WDM-PON OLT можна розділити між абонентами так само, як і у випадку з TDM-PON. WDM-PON ONU також повинен підтримувати роботу на різних довжинах хвиль і, отже, вимагає настроюваного трансивера, який є відносно дорогим компонентом.

Маршрутизатор з антенними хвилеводами (Arrayed Wave Guide, AWG), який є пасивним оптичним пристроєм, що маршрутизує довжину хвилі, зазвичай використовується як RN (віддалений вузол) (див. рис. 1.4). Цей маршрутизатор розділяє різні довжини хвиль для різних ONU в низхідному потоці і усуває проблему втрат при розщепленні, яка могла б виникнути, якби замість нього використовувався базовий оптичний розгалужувач. У висхідному напрямку AWG-

маршрутизатор просто пропускає всі довжини хвиль, що передаються в межах смуги пропускання.

Існує кілька стандартизованих систем волоконно-оптичного доступу TDM-PON для FTTx, але досі не існує стандартів на основі WDM-PON. Успіх TDM-PON у стандартизації пояснюється тим, що WDM-PON просто дорожчі порівняно з TDM-PON.

Гігабітна пасивна оптична мережа (GPON). У порівнянні з APON і BPON, GPON вважається більш досконалим і має зворотну сумісність. За допомогою методу інкапсуляції GPON можна передавати трафік ATM, TDM і навіть Ethernet.

GPON може підтримувати кілька лінійних швидкостей, включаючи напрямки висхідного та низхідного потоку. GEM також може підтримувати транспорт на основі пакетів і застарілі ATM. Планується, що метод інкапсуляції GEM буде ефективно підтримувати застарілі технології і може бути вдосконалений для підтримки майбутніх технологій.

Архітектура мереж GPON. Рекомендація ITU-T G.984.1 [2] описує гнучку оптоволоконну мережу доступу, здатну підтримувати вимоги до пропускну здатності для бізнес- послуг і послуг для населення, і охоплює системи з номінальною швидкістю лінії 1,2 Гбіт/с у висхідному напрямку і 1,2 Гбіт/с і 2,4 Гбіт/с у низхідному напрямку. Описані як симетричні, так і асиметричні (висхідний/низхідний) гігабітні пасивні оптичні мережі (GPON), в яких запропоновані загальні характеристики для GPON на основі вимог операторів до послуг.

В основному, GPON націлений на швидкість передачі, що перевищує або дорівнює 1,2 Гбіт/с. Найважливіша швидкість передачі даних - 1,2 Гбіт/с у висхідному потоці, 2,4 Гбіт/с у низхідному потоці, що становить майже всі розгорнуті та заплановані до розгортання системи GPON, але цільова стандартизована система матиме номінальну лінійну швидкість (у низхідному/висхідному потоці) на рівні: 1244,16 Мбіт/с / 155,52 Мбіт/с. -2488,32 Мбіт/с / 2488,32 Мбіт/с

GPON підтримує до 60 км, включаючи 20 км диференціального охоплення між ONU. Коефіцієнт розділення, що підтримується стандартом, становить 64, але з огляду на подальший розвиток оптичних модулів, слід розглядати коефіцієнт розділення до 1:128. Беручи до уваги коефіцієнт розділення, чим більший коефіцієнт розділення для GPON, тим привабливішим він є для операторів. Однак, як уже згадувалося раніше, більший коефіцієнт розділення означає більше оптичне розділення, що створює необхідність у збільшенні бюджету на електроенергію для підтримки фізичного охоплення.

На рисунку 1.5 узагальнено основні аспекти системи доступу GPON

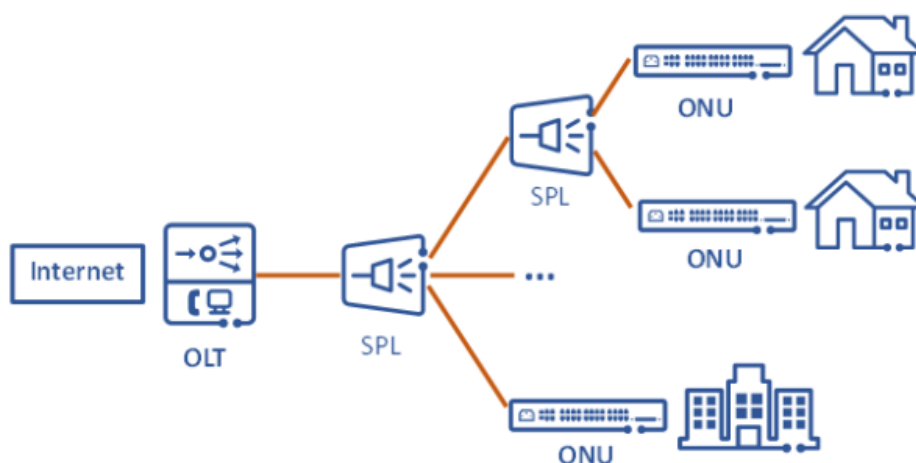


Рисунок 1.5— Архітектура фізичної мережі та мережі доступу GPON

Підсумовуючи, GPON підтримує ATM, фрагментацію на основі пакетів і має можливість передавати кадри Ethernet. Оскільки GPON має можливість фрагментації пакетів, вона ефективно використовує транспортне середовище, забезпечуючи достатню пропускну здатність (і якість обслуговування) для населення і бізнесу, а також кілька лінійних швидкостей для висхідного і низхідного напрямків.

Пасивна оптична мережа Ethernet (EPON). Ethernet PON (EPON) - це мережа на основі PON, яка передає трафік даних, інкапсульований у кадри Ethernet, визначені стандартом IEEE 802.3 [3]. Процес стандартизації розпочався, коли в листопаді 2000 року була створена нова дослідницька група під назвою "Ethernet

на першій милі" (Ethernet in the First Mile, EFM), основними завданнями якої було вивчення Ethernet по оптоволокну "точка-багатоточка", а також Ethernet по міді та Ethernet по оптоволокну "точка-багатоточка". Стандарт IEEE 802.3ah був вперше стандартизований в 2004 році робочою групою EFM.

Метою стандарту IEEE 802.3ah було розширення застосування Ethernet для мереж абонентського доступу, щоб забезпечити значне підвищення продуктивності при мінімізації витрат на обладнання, експлуатацію та обслуговування. Будь-яка мережева топологія, визначена стандартом IEEE 802.3, може бути використана в приміщенні абонента, а потім підключена до мережі абонентського доступу Ethernet, де технології EFM дозволяють використовувати різні типи топологій для отримання максимальної гнучкості.

Стандарт IEEE 802.3ah включає специфікації, пов'язані з Ethernet для мереж абонентського доступу, які також називають EFM, що поєднує мінімальний набір розширень підрівнів IEEE 802.3 Media Access Control (MAC) і MAC Control з сімейством фізичних рівнів. EFM також вводить концепцію пасивних оптичних мереж Ethernet (EPON), в яких мережева топологія "точка-многоточка" реалізується за допомогою пасивних оптичних розгалужувачів для підтримки цієї топології. Крім того, включено механізм експлуатації, адміністрування та обслуговування мережі (OAM) для полегшення роботи мережі та усунення несправностей.

Взаємозв'язок між цими елементами EFM та еталонною моделлю взаємодії відкритих систем ISO/IEC (OSI) показано на рис. 1.6.

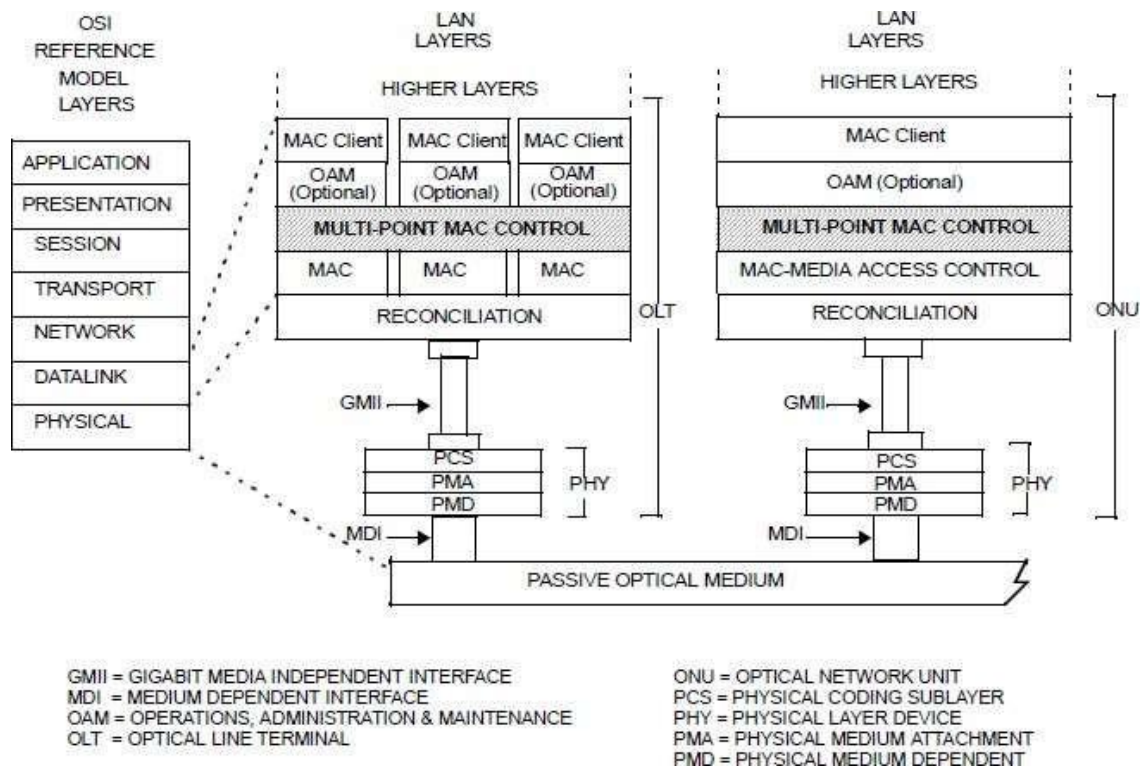


Рисунок 1.6 — Взаємозв'язок між IEEE 802.3ah та стеком протоколів OSI

Важливою характеристикою EFM є те, що підтримуються лише повнодуплексні з'єднання, тому було визначено спрощений повнодуплексний MAC. Для оптоволоконних топологій P2MP EFM підтримує номінальну швидкість передачі даних 1000 Мбіт/с, яка розподіляється між сукупністю ONU, підключених до топології P2MP. EPON має підключення до середовища мовлення в напрямку низхідного потоку, а в напрямку висхідного потоку працює як середовище "точка-точка". Оскільки висхідний потік поділяється між користувачами, він вимагає контролю доступу до медіа (MAC), щоб уникнути зіткнень між ними.

Пакети Ethernet передаються OLT і проходять через $1 \times N$ пасивних розгалужувачів або каскад розгалужувачів, щоб досягти кожного ONU в напрямку вниз за течією. Поведінку EPON можна вважати схожою на мережу із загальним середовищем передачі даних. Ethernet за своєю природою є широкомовною мережею, і в низхідному напрямку (від мережі до користувача) вона є ефективним

стандартом з архітектурою Ethernet PON: пакети транслюються OLT і вибірково витягуються до місця призначення ONU.

Пакети даних від одного ONU досягають тільки OLT, але не решти ONU завдяки оптичному комбінатору, якщо розглядати висхідний напрямок (від ONU до OLT). Поведінку EPON можна вважати подібною до архітектури "точка-точка". Однак, на відміну від справжньої мережі "точка-точка", в EPON всі ONU належать до одного домену колізій, і тому пакети даних від різних ONU, що передаються одночасно, все одно можуть зіткнутися. Беручи до уваги цю інформацію, у висхідному напрямку EPON повинен використовувати певний арбітражний механізм, щоб уникнути колізій даних і справедливо розподілити пропускну здатність каналу між ONU.

Для цього EPON використовує схему TDMA, де ONU призначається ексклюзивний доступ до носія на обмежені проміжки часу, зазвичай відомі як вікно передачі або таймслот.

Продуктивність EPON залежить від конкретної схеми розподілу пропускну здатності. Можливі схеми розподілу тайм-слотів варіюються від статичного розподілу (фіксований TDMA) до динамічного регулювання розміру слота на основі миттєвого навантаження в черзі в кожному ONU (схема статистичного мультиплексування). Вибір найкращої схеми розподілу, однак, не повинен бути тривіальним завданням.

XG-PON. PON наступного покоління (XG-PON) - це наступна категорія стандартів, визначених МСЕ в Рекомендації G.987. G.987.1 [49]; перша рекомендація в цьому наборі стандартів описує основні характеристики мережі XG-PON і була затверджена в 2010 році (перша версія). Стандарт іноді називають 10G-PON, де X - це римська цифра, яка вказує на швидкість передачі 10 Гбіт/с.

Як тільки стандарт GPON був розширений, FSAN логічно звернула свою увагу на наступника успішного стандарту GPON. З 2007 року ведеться підготовка до розробки нового покоління пасивних оптичних мереж під керівництвом FSAN спільно з ITU. Їх першочерговим завданням було визначення вимог до PON наступного покоління, яке було завершено протягом 2009 року [36].

У випадку NG-PON1 гарантується підтримка співіснування зі стандартом GPON в межах однієї ODN. Перевага такого співіснування полягає в тому, що перехід на новий стандарт може бути легко здійснений без необхідності серйозних втручань в існуючу мережеву інфраструктуру і без порушення функціональності існуючих послуг для кінцевих користувачів. При виборі відповідного методу для забезпечення співіснування розглядалося використання TDM або WDM. WDM було обрано як для низхідної, так і для висхідної лінії зв'язку [35].

Вимоги до NG-PON1 нового покоління були зосереджені на підключенні більшої кількості користувачів, кращому QoS та безпеці [35]. Для NG-PON1 було розглянуто кілька можливих варіантів: TDM-PON, WDM-PON, PON з кодовим поділом каналів (CDMA-PON) і комбінація цих технологій. Однак проблема полягала у різниці між різними рішеннями в їх архітектурі та профілі послуг [56]. Завдяки своїй простоті та можливості майбутнього економічно ефективного розгортання було обрано варіант гігабітного PON на основі методу доступу TDM [34].

На відміну від раніше згаданих фактів, друге покоління пасивних оптичних мереж нового покоління NG-PON stage 2 (NG-PON2) містило системи, які не були сумісні зі старими стандартами. Цей факт пояснювався необхідністю побудови нової розподільчої частини ODN або потребою в нових технологіях, однак вони не були доступні в короткостроковій перспективі [36].

Під час розробки стандарту XG-PON було розглянуто кілька можливих варіантів розподілу довжин хвиль, щоб забезпечити раніше згадане співіснування стандартів. Вибір відповідної довжини хвилі для низхідного напрямку був відносно легким. Була розглянута смуга приблизно 1578 нм. Цей крок відповідав вибору довжини хвилі при розробці 10-гігабітного EPON (10GEPON), який був створений під егідою IEEE. З іншого боку, вибір відповідного діапазону довжин хвиль для висхідного напрямку був непростим завданням. Було розглянуто чотири варіанти [36]:

— 1595-1615 нм: цей діапазон було відхилено, причиною цього стало занепокоєння відсутністю специфікацій оптичних волокон і компонентів PON для відповідних довжин хвиль;

— 1540-1560 нм: цей діапазон також був відкинтий, причиною цього стала несумісність з накладеним відеосигналом, тим більше, що саме цей діапазон використовується в більшості реалізованих PON по всьому світу;

— 1530-1540 нм: причиною відмови від цього діапазону стала вартість придбання блоків ONU саме для цього діапазону довжин хвиль, а також той факт, що існуючі ONU на базі технологій GPON не здатні перекрити цей діапазон;

— 1340-1360 нм: якщо обрано цей діапазон, буде потрібен фільтр "співіснування", проте, такий фільтр значно збільшив би загасання всього PON. З цієї причини цей діапазон також був відкинтий.

Інноваційні функції XG-PON включають заходи з енергозбереження. У разі виходу з ладу основного джерела живлення, і якщо OLT живиться від резервного джерела живлення (як правило, від акумулятора), метою є зменшення навантаження на пристрій, щоб дозволити акумулятору жити пристрій протягом більш тривалого періоду часу. При живленні від основного джерела намагаються зменшити енергоспоживання до мінімально можливого значення. Один з варіантів - вимкнути користувацький мережевий інтерфейс, який активно не використовується. Інший варіант - деактивувати передавач, якщо користувач не має жодних даних для надсилання.

Якщо користувач неактивний, ONU деактивує свій передавач і приймач (переходить у сплячий режим); останнє рішення демонструє найбільшу економію енергії [36].

Одне з перших випробувань XG-PON було проведено у 2009 році компанією Verizon у місті Тонтон. Verizon розгортає пасивні оптичні мережі з 2004 року, коли були розгорнуті мережі на базі BPON.

Метою тесту була перевірка здатності XG-PON і GPON одночасно працювати в загальній мережевій інфраструктурі, а також здатність технології XG-PON досягти максимального чотириразового збільшення пропускної

здатності в напрямку низхідного потоку. Під час тестування оптичний сигнал XG-PON був накладений на існуючу мережу GPON.

З боку постачальника послуг під час тестування було встановлено технологічний блок OLT XG-PON. Цей пристрій був прототипом XG-PON1, який був виготовлений компанією Huawei до затвердження стандарту. Таким чином, підтримувалася швидкість передачі даних 10 Гбіт/с у низхідному напрямку і 2,5 Гбіт/с у висхідному. За допомогою WDM оптичний сигнал технологій XG-PON і GPON був об'єднаний з оптичним сигналом, який забезпечував передачу відеопослуг. Відеопослуги розподілялися як на блоці XG-PON ONT, так і на блоці GPON ONT. Існуючий пристрій GPON OLT з новим встановленим пристроєм XG-PON OLT був підключений до прикордонних маршрутизаторів через інтернет-маршрутизатори.

Існуючі пристрої GPON ONT були оснащені фільтрами, що блокують довжину хвилі, які використовуються в технології XG-PON; зокрема, діапазон від 1575 до 1625 нм був зарезервованій для низхідного напрямку. Для висхідного напрямку технології XG-PON використовувався діапазон довжин хвиль від 1260 до 1280 нм. З цієї причини початковий діапазон GPON для висхідного напрямку був обмежений 1290-1330 нм. Також була потрібна спеціальна частина WDM1r, яка забезпечувала об'єднання довжин хвиль XG-PON і GPON і їх подальшу передачу по загальному волокну. Подібна частина була використана Verizon для співіснування VPON і GPON [34].

На стороні кінцевого користувача, який брав участь у тестуванні, був встановлений пасивний оптичний концентратор з коефіцієнтом розділення 1:2 для розділення оптичного сигналу між пристроєм XG-PON і пристроєм GPON ONT. Такий розподіл дозволив відстежувати можливі наслідки співіснування цих двох технологій. Стало можливим окреме спостереження за поведінкою кожної з технологій.

Система XG-PON змогла забезпечити швидкість передачі 9,868 Гбіт/с у низхідному напрямку і 2,398 Гбіт/с у висхідному напрямку, незважаючи на наявність сигналу GPON [54].

Перед початком польових випробувань прототип системи XG-PON був протестований в лабораторіях Verizon. Це тестування в першу чергу було зосереджено на фізичному рівні. Прототип успішно пройшов випробування. Цей прототип також забезпечив бездоганну передачу даних на максимальну відстань 60 км.

Тестування технології XG-PON було успішним, і не було виявлено жодного впливу на співіснування технологій XG-PON і GPON на загальній інфраструктурі. Цей висновок дозволив постачальникам послуг плавно перейти від технології GPON до технології XG-PON без значного впливу на існуючих кінцевих користувачів [34].

2 ПОБУДОВА СТРУКТУРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯ ПАСИВНОЇ ОПТИЧНОЇ МЕРЕЖІ

2.1 Аналіз можливостей використання комп'ютерних систем на основі пасивних оптичних мереж

Оптичний мережі є високої місткості телекомунікації мережі на основі на оптичний технології і компоненти які забезпечують маршрутизацію, догляд та відновлення на рівні довжини хвилі, а також послуги на основі довжини хвилі. як мережі стикаються зі зростаючим попитом на пропускну здатність і зменшенням доступності оптоволокна, мережеві провайдери переходять до вирішальної віхи в еволюції мережі: оптичної мережі. Оптичні мережі, засновані на появі оптичний рівень у транспортних мережах, забезпечує більшу пропускну здатність і знижує витрати для нових програм, таких як Інтернет, відео і мультимедійна взаємодія, і розширений цифрові послуги.

Пасивна оптична мережа (PON) складається з кінцевої оптичної лінії (OLT) у центральній частині постачальника послуг офіс і кілька оптичних мережевих блоків (ONU) поблизу кінцевих користувачів. Конфігурація PON зменшує кількість потрібне оптоволокно та центральне офісне обладнання порівняно з архітектурами «точка-точка». Низхідні сигнали є транслювати в кожне приміщення, що використовує волокно. Для запобігання прослуховування використовується шифрування. Вихідні сигнали є комбіновані за допомогою протоколу множинного доступу, незмінно множинного доступу з тимчасовим поділом (TDMA). ОЛТ "діапазон" ONU в порядок до забезпечити час слот завдання для вище за течією спілкування. А PON приймає перевага з мультиплексування за довжиною хвилі (WDM), використовуючи одну довжину хвилі для низхідного трафіку, а іншу – для висхідного трафік по одному волокну зі зсувом ненульової дисперсії. Специфікація передбачає передачу низхідного трафіку на довжині хвилі 1490 нанометрів (нм), а вихідний трафік має передаватись на 1310 нм. Діапазон 1550 нм становить виділені для необов'язковий накладання послуги, як правило ВЧ (аналоговий) відео.

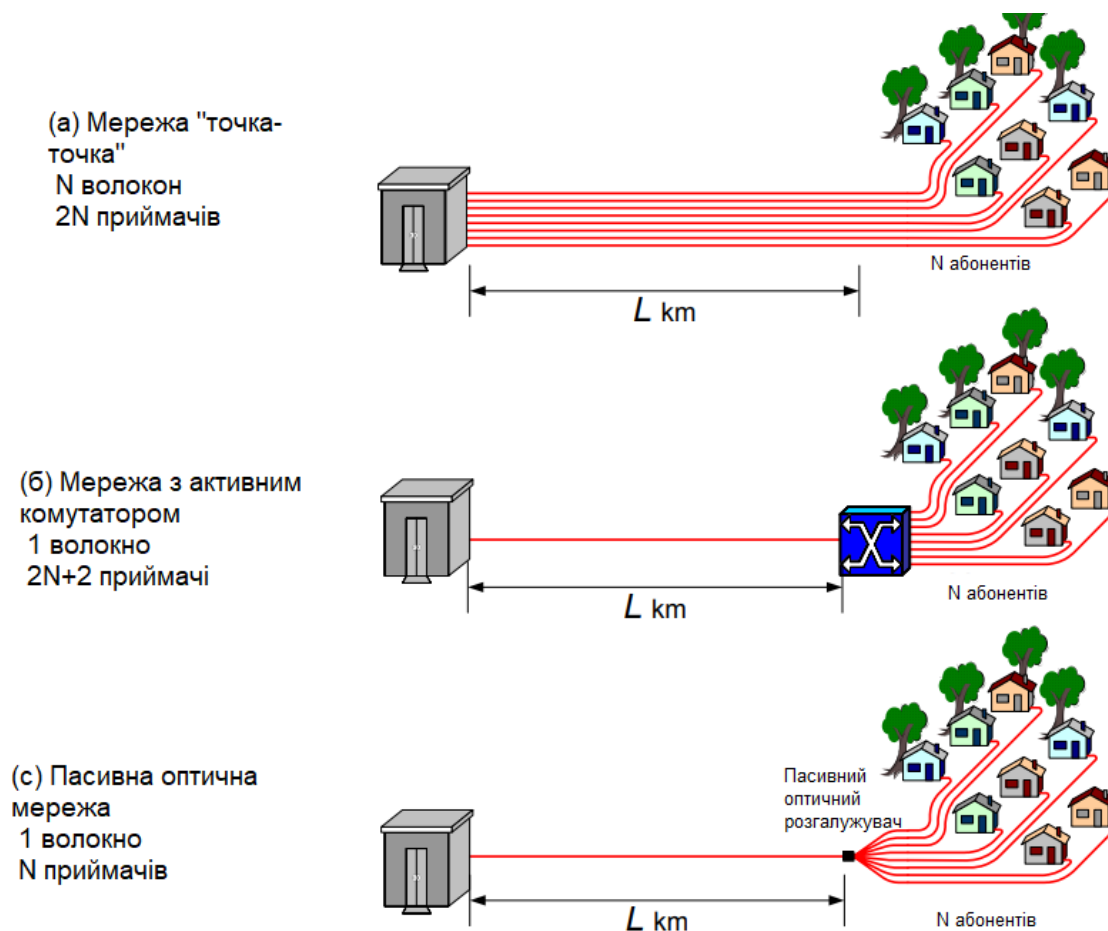


Рисунок 2.1 — Варіанти побудови архітектури мережі

2.2 Архітектура мережі

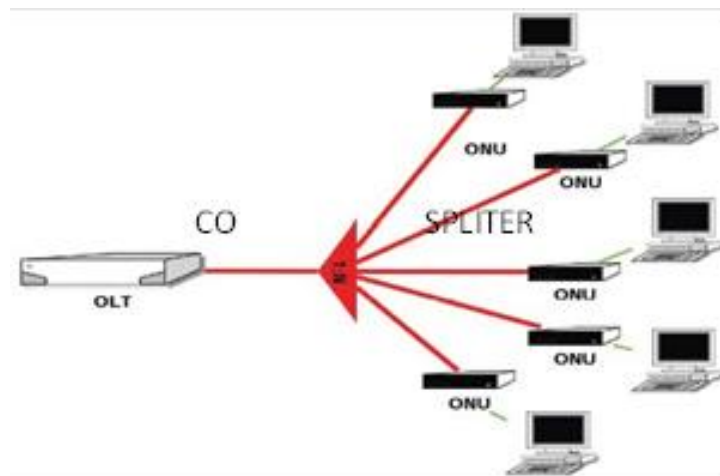
Необхідно визначити основні елементи розробляємої структури. На рис. 2.1. представлено такої архітектури, де позначено OLT – термінал оптичної лінії, пасивний оптичний спліттер, блоки оптичної мережі (ONU).

Термінал оптичної лінії (OLT) є основним елементом мережі і зазвичай розміщується в локальній АТС. Це елемент мережі з лінійною карткою PON, в основному комутатор агрегації. Він працює як інтерфейс між базовою мережею і PON мережі. Оптичний спліттер є пасивний пристрій, оптична потужність якого при введенні рівномірно розподіляється між виходами. Сигнал не тільки поширюється від входу до виходу, сигнал також може поширюватися від виходу до в входу. Розгалужувачі може бути розміщені де завгодно в між СО і абонентом.

Це є використовується щоб підключити оптичний порт OLT з кількома абонентами. Блоки оптичної мережі (ONU) служать інтерфейсом до мережі і розгортаються на території клієнта. Він надає кілька інтерфейсів для доступу до сервісів це з'єднується через OLT оптичний розгалужувач.

OLT відповідає за розподіл пропускної здатності висхідного каналу для ONT. Оскільки оптична розподільна мережа (ODN) є спільним, вихідні передачі ONT можуть конфліктувати, якщо вони передавались у випадковий час.

Деякі служби – наприклад, POTS – вимагають практично постійної смуги пропускання вгору, а OLT може забезпечити фіксовану пропускну здатність виділення до кожного такого обслуговування, що має був забезпечуватися. Але велика частина трафіку даних, наприклад, Інтернет-серфінг – є швидким і дуже мінливим. Завдяки динамічному розподілу пропускної здатності PON може бути перепідключеним на вихідний трафік, відповідно трафік буде в режимі



Риснок 2:1 — Узагальнена архітектура комп'ютерної оптичної мережі

Розгортання PON – або будь-якої принципово нової інфраструктури – було обмежено швидкістю протоколу стандартизація, наявністю обладнання і вартістю,

PON називається пасивним, оскільки в мережі доступу немає жодного активного елемента, крім центрального офісу. PON дозволяє постачальнику послуг надавати справжню пропозицію одночасного доступу до телефонії, відеопотокам та Інтернет-даних, що є важливим компонентом комп'ютерних систем. Порівняння між різними PON показано в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 — Порівняння технологій PON

	TDM-PONs						
	PONs				NEXT Generation PONs		
	A-PON	B-PON	E-PON	G-PON	10 GE-PON	XG-PON1	XG-PON2
Стандарти	ITU-T G.983.1	ITU-T G.983.x	IEEE 802.3ah	ITU-T G.984.x	IEEE 802.3av (draft)	FSAN	FSAN
Кадровання	ATM	ATM	Ethernet	GEM	Ethernet	GEM	GEM
Максимальна пропускна здатність	155 Mb/s (↓↑)	622 Mb/s (↓↑)	1.25 Gb/s (↓↑)	2.5 Gb/s (↓) 1.5 Gb/s (↑)	10 Gb/s (↓↑)	10 Gb/s (↓) 2.5 Gb/s (↑)	10 Gb/s (↓↑)
Користувачів на PON	16-32	16-32	16-32	32-64	64	64	□ 64
Пропускна здатність на одного користувача	10-20 Mb/s	20-40 Mb/s	30-60 Mb/s	40-80 Mb/s	□ 100 Mb/s	□ 100 Mb/s	□ 100 Mb/s
Кодування	Scrambled NRZ	Scrambled NRZ	8b10b	Scrambled NRZ	64b66b	Scrambled NRZ	64b66b
Відео	RF/IP	RF/IP	RF/IP	RF/IP	RF/IP	RF/IP	RF/IP
Вартість	Низька	Низька	Низька	Середня	Висока	Висока	Висока

Основним обмеженням WDM-PON є його більш висока вартість через необхідність використання лазера з певною довжиною хвилі для кожного ONU. Для реалізації економічно ефективних безбарвних ONU в WDM-PON було використано кілька підходів. Найважливіші технології для WDM-PON базуються на інжекційних лазерах Фабрі-Перо (FP) [7], компонентах, що налаштовуються [8], спектральному розщепленні [9] і централізованих джерелах світла (CLS) [10].

2.3 Застосування PON для комп'ютерних мереж

Масштабованість є критичною в комп'ютерних мережах, оскільки зростає число підключених пристроїв та обсяг даних. Традиційні комунікаційні парадигми досягають фізичних обмежень, а енергія стає важливим фактором. Застосування пасивно-оптичних мереж (PON) у комп'ютерних мережах розглядається для вирішення цих проблем.

Оптичні системи наближаються до межі Шеннона, що ставить під сумнів їхню подальшу ефективність. Зростання обсягу даних вимагає стратегій, що ґрунтуються на паралелізмі, замість традиційного збільшення пропускної здатності. Масштабування оптичних мереж вимагає нових підходів, зокрема, застосування PON технологій у комп'ютерних мережах. Оптична комутація в центрах обробки даних, з використанням інтегрованих фотонних пристроїв, розглядається як потенційна модель для масштабованих мереж доступу та агрегації.

Для вирішення викликів енергоефективності важлива роль відводиться міжтехнологічним та міждисциплінарним розробкам. Інтеграція фотоніки та електроніки визначає нові напрямки для оптимізації енергоспоживання в оптичних комп'ютерних системах. Поєднання фотонної та електронної інтеграції є ключовим для ефективних майбутніх комп'ютерних мереж.

Застосування PON технологій, зокрема оптичної комутації в центрах обробки даних, є перспективним напрямком для вирішення викликів масштабування та енергоефективності.

Зміни в трафіку та використанні оптичних систем в мережах також суттєво впливають на масштабування та енергоефективність.

Пропонується архітектуру гібридної WDM/TDM-PON з дуплексною волоконно-оптичною системою на основі підходу OLT і WDM. Запропонована модель зможе забезпечити інтероперабельність між TDM-PON і WDM-PON з вищою доступністю системи, більшою пропускною здатністю і меншою вартістю.

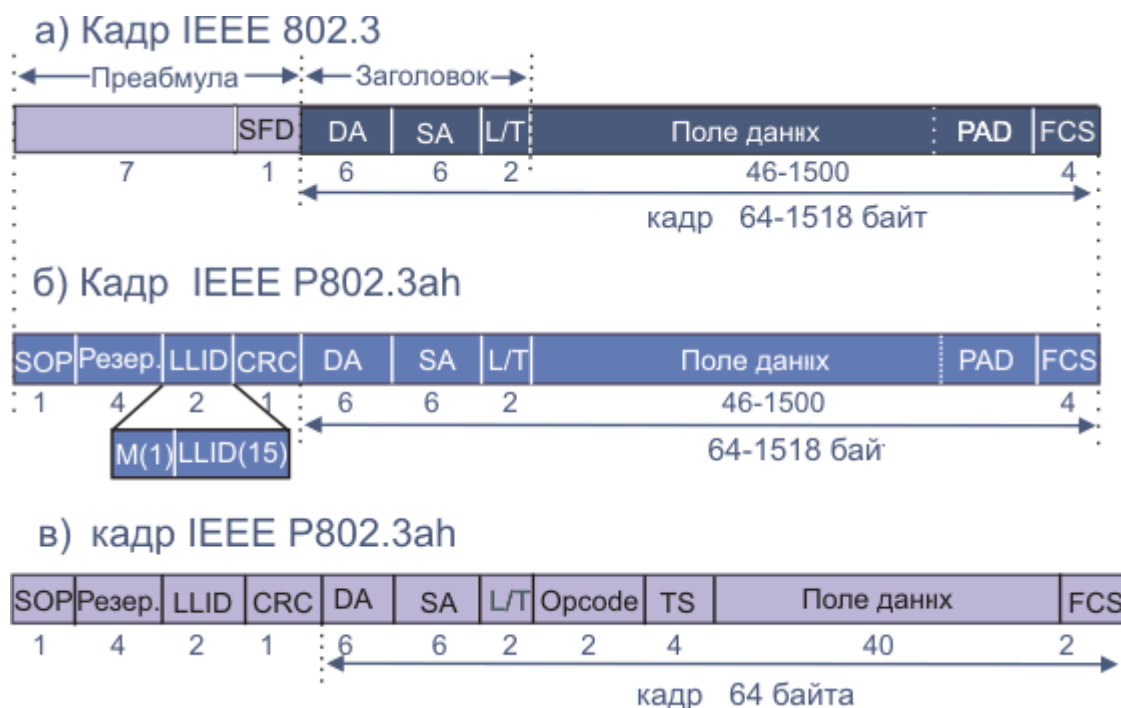


Рисунок 2.2 — Детальний опис полів кадрів

2.4 Енергетичні аспекти в комп'ютерних оптичних мережах

Енергетичні аспекти впливають на оптичні системи в кількох вимірах, і це визначає як експлуатаційні витрати, так і екологічні наслідки, а також збільшення використання енергії призводить до збільшення експлуатаційних витрат. Велика увага приділяється питанням стійкої комунікації, зокрема використанню відновлюваних джерел енергії для живлення мережевого обладнання. З підвищенням швидкостей передачі даних оптичні трансивери потребують значно більше потужності. Еволюція потужності показує, що для високопродуктивного оптичного трансивера потрібно понад 100 Вт, що перевищує бюджет електроенергії периферійних пристроїв.

Загальне використання енергії в інформаційно-комунікаційних технологіях (ІКТ) становить значну частину глобального споживання електроенергії. Ростучий обсяг трафіку мереж також сприяє збільшенню використання енергії.

Енергоефективність важлива для масштабованості комп'ютерних мереж з оптичними системами зв'язку нового покоління. При рості трафіку необхідно

збалансовувати продуктивність та витрати, звертаючи увагу на фотонну інтеграцію та інші методи оптимізації енергоспоживання.

Потужність лінійної карти оптичних трансиверів зростає із збільшенням швидкості передачі даних, що може стати проблемою масштабування при експоненційному зростанні трафіку. Розширене використання оптичних систем вимагає подальшої оптимізації енергетичної ефективності.

На системному рівні історичне масштабування ємності на чотири порядки було досягнуто значною мірою завдяки поєднанню збільшення ємності трансивера та мультиплексування сигналів за довжиною хвилі (WDM). Добуток пропускної здатності систем на відстань постійно зростає. Приймачі проміжної лінії зв'язку (які відповідали за оптичне перетворення з електричного на оптичне для регенерації сигналу) були замінені оптичними підсилювачами зі збільшенням відстані передачі.

Можливо використати метод аналогії, а саме масштабування мікропроцесорів та обмеження пропускної здатності комп'ютерної оптичної мережі. Подібно до ситуації з обмеженням ємності оптоволокна, у сфері мікропроцесорів спостерігається перехід від масштабування на основі тактової частоти до багатоядерного масштабування. Закон Мура викликає необхідність зосередитися на підвищенні енергоефективності, також враховуючи

Зростання розмірів і продуктивності мікропроцесорів стикається з викликами, такими як обмеження потужності до приблизно 100 Вт і ефективність електричних з'єднань. Застосування паралелізму та зменшення напруги є шляхами подолання цих обмежень.

Чіпи вводу-виводу (I/O) також мають обмеження в щільності та швидкості передачі даних. Оцінки показують обмеження в кількості шпильок та обмеження швидкості ліній плати, що наближаються до обмежень.

Масштабування мікропроцесорів відіграє ключову роль у подоланні обмежень ємності оптоволокна, особливо в контексті електроніки цифрової обробки сигналів оптичного приймача. Забезпечення кращого масштабування

оптичних систем вимагає подолання обмежень, з якими стикаються електронні процесори.

Обсяг трафіку або пропускна здатність системи розглядаються як загальний вхідний та вихідний трафік/ємність на відповідній відстані або діаметрі. Внутрішній трафік не враховується у розрахунках. Для кращого представлення береться піковий трафік або максимальна пропускна здатність системи.

Комунікаційні системи знаходяться на етапі переходу, неминучому етапі, спричиненому десятиліттями експоненціального зростання потужності. Енергоефективність є важливою для руху вперед. Кінець історичного масштабування в оптичних системах, обмеження пропускної здатності оптоволокна, призводить до переходу до зростання через паралелізм, який можна підтримувати лише експоненційним підвищенням енергоефективності. Насправді багато Інтернет-технологій, які зазнали аналогічного зростання, стикаються з пов'язаними проблемами масштабування, включаючи електричні з'єднання та мобільні системи. Підвищення енергоефективності оптики може дозволити використовувати оптику в цих енергетично обмежених лініях мережі.

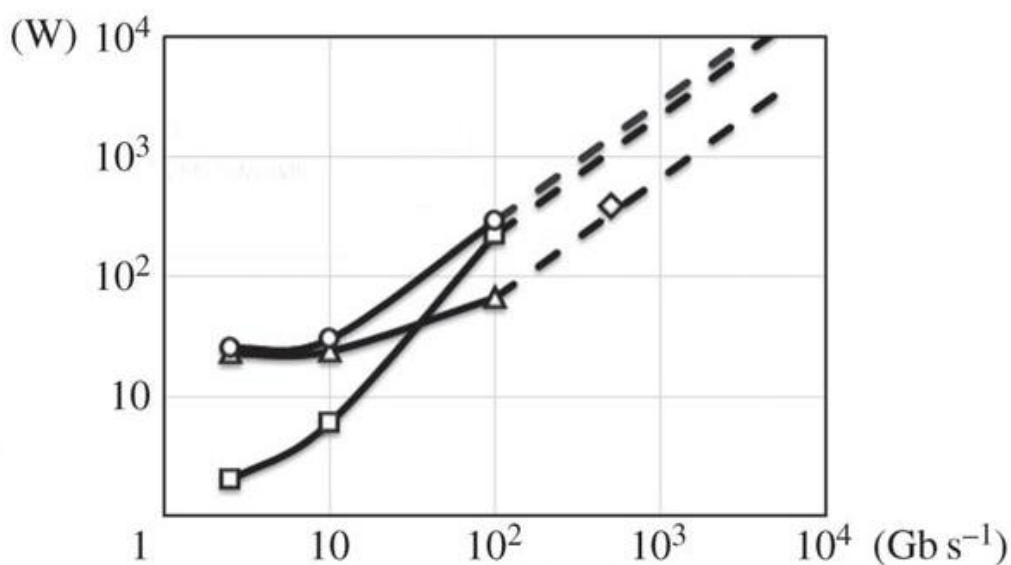


Рисунок 2.2 — Потужність оптичного трансивера як функція швидкості передачі даних

Покращення ефективності апаратного забезпечення разом із гібридними архітектурами керування для забезпечення тісної взаємодії електронних і оптичних систем обіцяють підвищення ефективності, необхідне для постійного масштабування мережі.

Формування інформаційних центрів може відображати місцеві потреби обробки та ефективність, а також витрати, що залежать від відстані. Ці витрати не обов'язково покриваються кінцевими клієнтами, натомість вони можуть вплинути на постачальників послуг і контенту. У міру зростання витрат на підключення до Інтернету з високою пропускнуою спроможністю обмежене підключення до ядра може спонукати постачальників контенту розміщувати більше засобів локально або будувати власну мережеву інфраструктуру

Оскільки високопродуктивні сервери вже можуть за доступною ціною забезпечити на порядок вищу продуктивність за допомогою електричних з'єднань, то потужність споживчих процесорів збільшиться на порядок перед переходом на оптику. Подібним чином, оскільки мережі дальнього зв'язку все ще можуть підтримувати інший порядок величини на основі останніх результатів лабораторних систем [13], існує інший порядок величини зростання пропускнуої

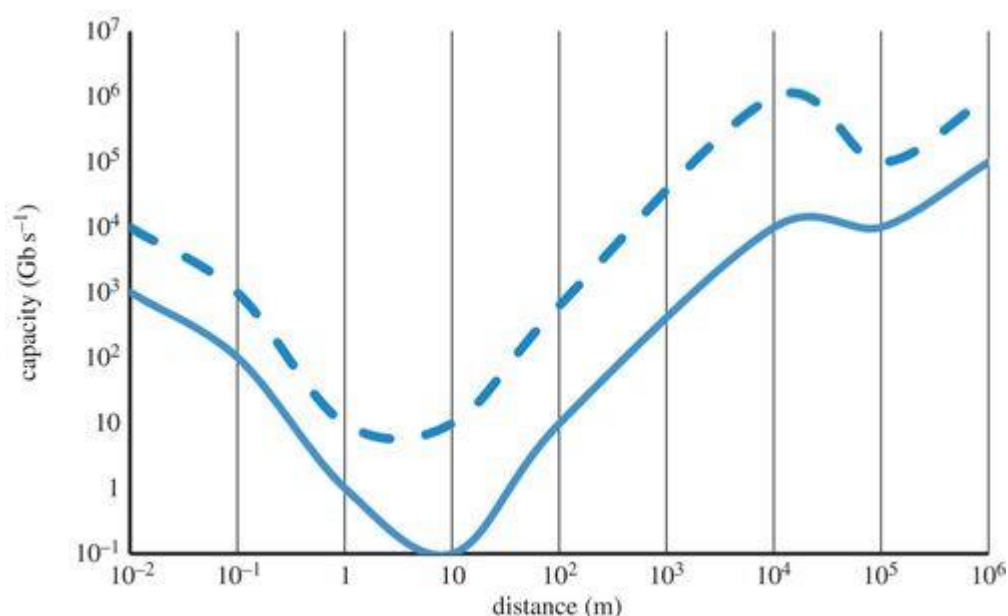


Рисунок 2.3 — Зростання пропускнуої здатності до швидкості оптичного доступу 10 Гбіт/с

Комунікаційні системи знаходяться на етапі переходу, неминучому етапі, спричиненому десятиліттями експоненціального зростання потужності. Енергоефективність є важливою для руху вперед. Кінець історичного масштабування в оптичних системах, обмеження пропускної здатності оптоволокна, призводить до зростання через паралелізм, який можна підтримувати лише експоненційним підвищенням енергоефективності. Насправді багато Інтернет-технологій, які зазнали аналогічного зростання, стикаються з пов'язаними проблемами масштабування, включаючи електричні з'єднання та мобільні системи. Підвищення енергоефективності оптики може дозволити використовувати оптику в цих енергетично обмежених краях мережі. Підвищення ефективності в електроніці в подальшому принесе користь оптичним системам, створюючи синергічні переваги та відкриті додатки, чутливі до енергії та витрат, для оптичних технологій. Висока ємність центрів обробки даних є потенційною моделлю для зростання міських мереж, зменшуючи залежність від зростання потужності базової мережі. Апаратна інтеграція фотоніки необхідна для реалізації великомасштабних недорогих компонентів. Покращення ефективності апаратного забезпечення разом із гібридними архітектурами керування для забезпечення тісної взаємодії електронних і оптичних систем обіцяють підвищення ефективності, необхідне для постійного масштабування мережі.

2.5 Визначення параметрів обладнання для послуг потрійного доступу в оптичних комп'ютерних мережах

Однією з цілей роботи є побудова мережі для IP, VoIP to POTS та IPTV (послуги потрійного доступу). Тому в цьому розділі буде коротко описано, з чого складаються ці послуги, а також різне апаратне і програмне забезпечення, що використовується при проектуванні мережі, для того, щоб оцінити різні параметри технологій EPON і GPON.

Потрійна мережа - це мережа, в якій голос, відео та дані надаються в рамках однієї підписки на доступ, як показано на рисунку 2.4.

Що стосується типів трафіку, то з послугами потрібного використання можуть виникати різні загальні обставини. Можуть створюватися різні типи ізольованого або комбінованого трафіку, а продуктивність може розглядатися з точки зору затримки, втрати даних і пропускної здатності. Для того, щоб забезпечити належну якість обслуговування та реалізацію поліцейських функцій, необхідно виміряти наявність пріоритезації потоків у середовищі потрібної взаємодії. Для кількісної оцінки пропускної здатності та часу відгуку для різних комбінацій трафіку необхідно застосовувати кілька параметрів якості обслуговування. Інтернет-трафіку надається найнижчий пріоритет, оскільки затримки пакетів не мають значного впливу на послуги передачі даних. Відеотрафік має наступний найвищий пріоритет, оскільки мінімальна втрата відеопакетів не впливає негативно на зовнішній вигляд, якщо не порушується потокова звукова доріжка. Нарешті, голосовий трафік через IP матиме найвищий пріоритет, оскільки голосові сервіси дуже чутливі до затримок і втрат пакетів.

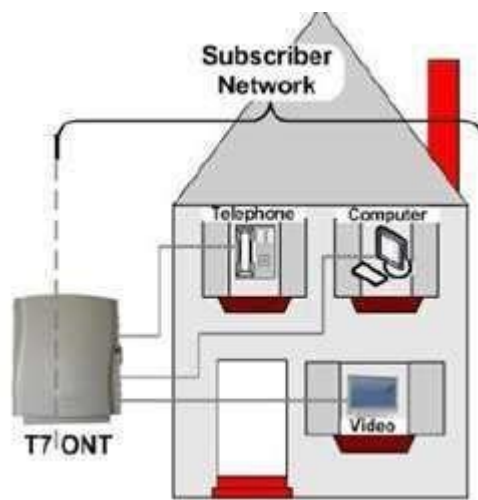


Рисунок 2.4 — Огляд абонентської мережі

Як зазначалося раніше, послуги triple play вимагають технологічно оснащеної мережі, здатної передавати всі три основні комунікаційні потоки (голос, відео і дані). Трафік даних є основним для всіх, оскільки він є найбільш часто використовуваним трафіком для звичайних абонентів.

Для забезпечення та тестування трафіку даних у цьому проекті було використано інструмент Multi-Generator (MGEN), який імітує цей тип трафіку.

MGEN - це програмне забезпечення з відкритим вихідним кодом, яке надає можливість виконувати тести і вимірювання продуктивності IP- мережі, використовуючи IP-трафік UDP і TCP. Інструментарій генерує шаблони трафіку в реальному часі, щоб мережа могла бути завантажена різними способами. Програма MGEN може генерувати, приймати і реєструвати тестовий трафік, а також може використовуватися для обчислення статистики пропускнуої здатності, швидкості втрати пакетів тощо. Файли сценаріїв використовуються для керування згенерованими шаблонами навантаження з плином часу. Ці файли сценаріїв можна використовувати для емуляції моделей трафіку одноадресних і/або багатоадресних UDP і TCP IP-додатків.

Наступний рядок є прикладом одного скрипта, що використовується в роботі.

Наприклад, щоб згенерувати періодичний потік UDP, починаючи з моменту IPTV складається з гнучкого поєднання двох основних елементів, включаючи набір IP-протоколів і цифрове телебачення:

Набір протоколів IP відповідає за пакування телевізійних сигналів, які будуть передаватися від головної станції до абонентського пристрою. Протокол IP також забезпечує інтерактивність між абонентами, мережею, постачальниками послуг і контенту.

Цифрове телебачення відповідає за аудіо, відео, стиснення даних і формати передачі відповідно до стандартів, таких як MPEG, які керують роздільною здатністю зображення і розташуванням програм. Важливо пояснити, що наразі загальнодоступний Інтернет не може підтримувати телевізійні послуги в режимі реального часу з кількох причин. По-перше, Інтернет - це мережа, що працює за принципом "найкращих зусиль", яка не може постійно гарантувати доставку телебачення з належною якістю послуг. По-друге, недостатньо пропускнуої здатності для стандартного телебачення або телебачення високої чіткості. По-третє, існують деякі протоколи та методики багатоадресної розсилки, які не підтримуються.

Базова мережа для розповсюдження IPTV повинна бути конвергентною мережею, орієнтованою на IP, з підтримкою QoS і заснованою на багатоадресному розподілі та доставці телевізійних сигналів. Цю вимогу сьогодні можуть задовольнити лише приватні IP-мережі.

У цьому проекті буде використовуватися лише послуга IPTV для перевірки її вищого пріоритету, ніж трафік даних. Оскільки IPTV має вищий пріоритет, ніж трафік даних, буде корисно протестувати пріоритети черг у різних ONU і перевірити їх доступність і використання.

Буде розглянуто медіаплеєр VLC [4], який використовується для потокового відео. Також буде розглянуто безкоштовний портативний мультимедійний плеєр, кодер і стример, що підтримує багато аудіо- та відеокодеків, які використовують різні протоколи потокового передавання. Ці пристрої здатні передавати потокове відео через мережу, а також перекодувати мультимедійні файли і зберігати їх у різних форматах.

Voice over Internet Protocol - це одна з сімейства інтернет-технологій, комунікаційний протокол і технологія передачі даних для передачі голосового зв'язку і мультимедійних сеансів через IP-мережі.

Інтернет-телефонія - це послуги зв'язку, передача голосу, факсу, SMS та/або голосових повідомлень, які передаються через Інтернет, а не через телефонну мережу загального користування (ТфОП). Етапи, пов'язані з виникненням телефонного дзвінка VoIP, включають налаштування сигналу і медіа-каналу, оцифрування аналогового голосового сигналу, кодування, пакетування і передачу у вигляді IP-пакетів через мережу з комутацією пакетів. На приймальному боці аналогічні кроки (зазвичай у зворотному порядку), такі як прийом IP-пакетів, декодування пакетів і цифро-аналогове перетворення, відтворюють вихідний голосовий потік.

Продукти IP-телефонії для операторів призначені для надання голосових послуг населенню та бізнесу. Існує дві важливі вимоги, яким має відповідати будь-яке рішення для IP-телефонії операторського класу:

Взаємодія: IP-телефонія має власні протоколи сигналізації, засновані на SIP або інших стандартах.

QoS: якість, що надається абонентам, повинна бути принаймні не гіршою, ніж у традиційної телефонії. Це передбачає ретельне планування і визначення розмірів, розгортання механізмів QoS в транспортній мережі або навіть розділення голосової мережі з комутацією пакетів і мережі передачі даних, якщо це необхідно.

Рішенням першого пункту, згаданого вище, в цьому проекті стало налаштування Asterix Open Source [5] в якості сервера для забезпечення протоколу сигналізації на основі SIP і DHCP для всієї мережі. Asterix - це вільне програмне забезпечення, яке перетворює комп'ютер на комунікаційний сервер і дозволяє створювати і розвивати додатки, такі як АТС, VoIP-шлюз, DHCP тощо.

Огляд обладнання, що використовується в роботі. Однією з проблем, з якою стикаються багато операторів при впровадженні повністю оптичної мережі, є вибір технологічного стандарту для надання послуг FTTP: Гігабітна пасивна оптична мережа (GPON), гігабітна пасивна оптична мережа Ethernet (GEPON) або активна оптична мережа Ethernet.

Компактний BDCOM P3600-08-2AC EPON OLT (див. рис. 2.2) надає мережевим операторам більше можливостей, підтримуючи як GE-PON, так і GPON портові інтерфейсні модулі (PIM) з компактної платформи. Він дозволяє надавати послуги до 512 ONU, використовуючи 1 x 64 розбиття, і управляється за допомогою комплексної, простої у використанні системи управління. Його параметри: 4*10GE SFP+ аплінк інтерфейси. Енергоефективне виконання. OLT стандарту IEEE802. Може автоматично працювати з ONU різних виробників. Термінал підтримує 1,25 Гбіт/с PON для висхідної/низхідної лінії зв'язку. А також ефективно використовує полосу пропускання та послуги Ethernet.



Рисунок 2.2 — BDCOM P3600-08-2AC EPON OLT

З іншого боку, і для абонентської мережі, в цьому проекті будуть доступні наступні ONU для технологій EPON і GPON.

ONU 221 (EPON), який включає в себе: 2 порти для передачі даних 2 порти голосового трафіку, 1 порт RFR-Return.



Рисунок 2.3— ONU 221 (EPON)

ONU 1800 (EPON), що включає 9 портів для передачі даних



Рисунок 2.4 — ONU 1800 (EPON)

ONU 1320 (EPON), який включає 4 порти для передачі даних, 2 порти голосового трафіку



Рисунок 2.5 — ONU 1320 (EPON)

ONU 420 (GPON), який включає в себе 4 порти для передачі даних, 2 порти голосового трафіку



Рисунок 2.6 — ONU 420 (GPON)

BDCOM EPON OLT-GSFP-20 трансивер оптичного лінійного термінала. Він забезпечує передачу даних симетрично в дві сторони з швидкістю 1,25 Гбіт/с . Це відбувається по одному оптичному волокну в PON (Сумісність зі стандартом IEEE 802.3ah) на відстань до 20 км. Робоча температура: -15~75°C. Відповідність RoHS-6. Довжини хвиль: на прийом - 1310нм, відповідно передача - 1490нм. Вихідна потужність: до + 9.5 дБм. Чутливість до -32 дБм.



Рисунок 2.7 — Трансивер оптичного лінійного термінала

BDCOM EPON OLT-GSFP-20

РОЕ спліттер FoxGate РОЕ. Використовується для розділення живлення та даних , які отриманні від РоЕ пристрою.



Рисунок 2.8 — РОЕ спліттер FoxGate РОЕ SPL-54-12/1.5-Н

Протокол РОЕ IEEE802.3af,IEEE802.3at. Порт LAN: 10/100M self-adapter RJ45 порт. РоЕ порт— 10/100M self-adapter RJ45.

Вхідна напруга – РоЕ DC44V-57V.

2.6 Уніфіковане управління елементами системи

Компактний оптичний лінійний термінал і всі ONU управляються за допомогою Element Management Suite. T7 EMS - це повнофункціональна платформа управління елементами, включаючи веб-додаток для перегляду налаштувань абонентського обслуговування. T7 EMS підтримує елементи IEEE 802.3 EFM (GE-PON і Point-to-Point) і ITU G.984 GPON.

На додаток до можливостей налаштування за допомогою CLI та SNMP, EMS надає зручний графічний інтерфейс користувача (GUI), що налаштовується індивідуально, для швидкого налаштування голосових, відео та інформаційних послуг в режимі реального часу. EMS дозволяє користувачеві налаштовувати клієнтські подання, а також встановлювати системні налаштування, в тому числі:

Крім того, існують різні ключові характеристики, які можна узагальнити наступним чином: система дозволяє повністю автоматизувати конфігурацію пристроїв і надання послуг. Коли система налаштована на автоматичне надання послуг, пакети послуг надсилаються через інтерфейс до EMS, де пакети транслуються у відповідні VLAN, QoS та налаштування послуг на ONT та OLT.

Комп'ютерна система має розширені функції управління несправностями, включаючи сповіщення про тривоги, перегляд історії подій та звіти, що налаштовуються користувачем. Існують користувацькі дозволи для функцій управління, які можна налаштувати для окремих користувачів і груп користувачів

Піктограми стану пристрою в реальному часі та журнал історії подій чітко показують, коли пристрої або модулі мають пов'язані з ними тривоги. Тривоги підтверджуються та скидаються через панель тривог, а користувач може налаштувати сповіщення для певних умов тривоги.

3 РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕНИХ МОДЕЛЕЙ ФУНКЦІОНУВАННЯ ОПТИЧНОЇ КОМП'ЮТЕНОЇ МЕРЕЖІ

3.1 Загальний сценарій роботи мережі

Основною метою дослідження, представленого в цьому розділі, є порівняння доступності пропускну здатності EPON і GPON та впливу пріоритетної черги на загальну продуктивність мережі. Це дослідження закладає основи для об'єктивного порівняння цих технологій в загальних сценаріях, а також для виведення відповідних метрик для отримання кількісних результатів порівняння продуктивності. Було проведено кілька сценаріїв з різним набором параметрів, щоб охопити багато умов експлуатації. Малюнок

відображає сценарій, використаний для надання пропозицій щодо тестування з використанням пристроїв FTTH.

Сценарій складається з 2 OLT (EPON і GPON), кожен з яких можна віддалено конфігурувати для управління послугами і клієнтами в мережі. Через оптичний пасивний розгалужувач різні ONU з'єднуються і можуть контролюватися, управлятися і змінюватися за бажанням. В EPON було використано три різних ONU: ONU 1800, 221 і 1320, а в GPON у всіх сценаріях використовувався тільки ONU 420. Обидва OLT підключені до одного комутатора (SMC8126L2) для маршрутизації трафіку. Основні характеристики цієї конфігурації наступні: VLAN 2270 забезпечує управління заголовком як для технології EPON, так і для GPON, VLAN 2271 спрямовує трафік на сервер, що забезпечує протоколи SIP і DHCP, VLAN 2273 спрямовує трафік до користувачів.

3.2 Моделювання роботи мережі з однаковим переповненням трафіку

Необхідно протестувати і перевірити поведінку ONU в умовах перевантаження трафіку (2 порти ONU, насичені трафіком даних) з однаковим пріоритетом портів на кожному з них (пріоритет дорівнює 1).

Використане програмне забезпечення: mgen, VLC, Wireshark

Цей сценарій забезпечує з'єднання між ONU 1800 і ONU 221 в рамках EPON, сконфігурованого з VLAN для трафіку даних. Також є підключення VoIP через VLAN, який з'єднує обладнання з сервером Elastix Server. Він забезпечує реєстрацію та послугу VoIP для телефонів.

Під час цього тесту відео буде передаватися з ПК1 на ПК2 і ПК3 одночасно, а також буде введено трафік даних (наданий mgen), щоб переповнити пропускну здатність портів ONU. Крім того, будуть протестовані дзвінки з обох телефонів. Ідея полягає в тому, щоб побачити, що відбувається з усім цим трафіком одночасно. Як видно з конфігурації параметрів, різниця між ПК 2 і 3 полягає у тому, що ПК обмежена 25 Мбіт/с, а ПК 3 - 50 Мбіт/с у напрямку вниз за потоком. У наступній процедурі вказано наступні кроки для цього тесту:

- Відеосервер ПК 1 одночасно передає файл на ПК 2 і 3 (зі швидкістю приблизно 2 Мбіт/с) протягом перших 20 секунд
- ПК 1 надсилає трафік зі швидкістю 40 Мбіт/с на ПК 3 протягом наступних 20 секунд

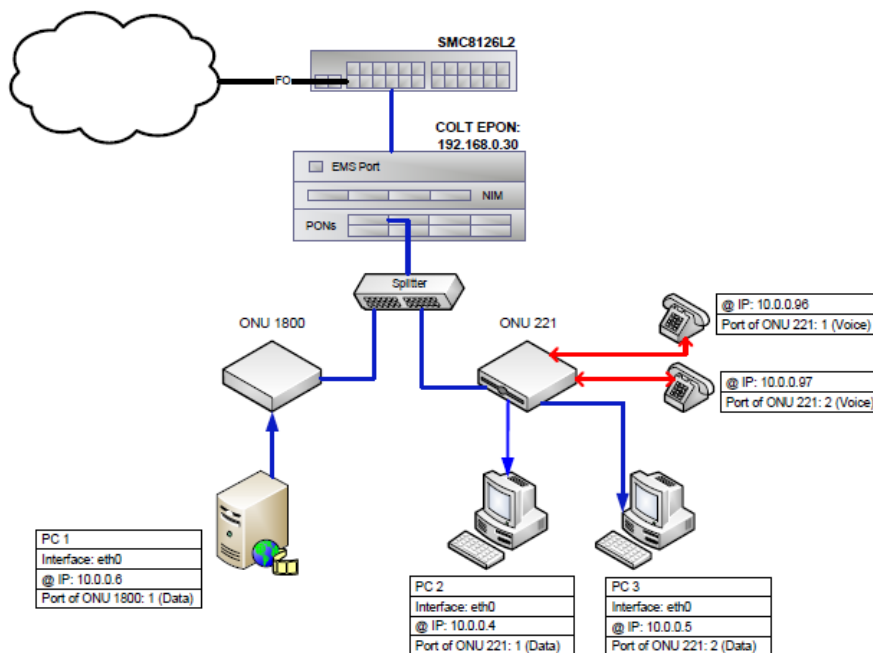


Рисунок 3.1 — Сценарій поведінки системи при переповненні трафіку

Після того, як відео передається без будь-якого іншого трафіку даних, відео можна коректно спостерігати як на ПК 2, так і на ПК 3. На 20-й секунді ПК 3 отримує додаткові 40 Мбіт/с даних від сервера (ПК 1). Оскільки швидкість передачі даних на ПК 3 обмежена 50 Мбіт/с, відео можна переглядати без проблем, оскільки загальний потоковий трафік становить близько 42 Мбіт/с.

На другому ПК 2 40 Мбіт/с на надається з урахуванням того, що повна пропускна здатність обмежена 25 Мбіт/с. Відео на ПК 2 не працює належним чином в цей момент, оскільки пакети, які переповнюють смугу пропускання 25 Мбіт/с, повинні бути відкинуті в ONU. Коли надається 40 Мбіт/с, ONU 221 відкидає пакети, які переповнюють пропускну здатність 37 Мбіт/с замість 25 Мбіт/с (це було неможливо, оскільки пропускна здатність ПК 2 була обмежена 25 Мбіт/с).

Крім того, можна побачити зменшення трафіку на ПК 3 з 42 Мбіт/с до 37-38 Мбіт/с. Якщо додати трафік кожного ONU під час обробки процедури, то загальний трафік, отриманий на обидва порти ONU, становить 75 Мбіт/с, що дорівнює додаванню ліміту пропускної здатності для кожного ONU (50+25). Оскільки обидва порти мають пропускну здатність 37 Мбіт/с, можна зробити висновок, що цей ONU розподіляє всю пропускну здатність між портами за потребою і не враховує обмеження певних портів.

3.3 Моделювання споживання енергії в мережі WDM-PON

Вибухове зростання кількості веб-сервісів в Інтернеті призводить до колосального зростання попиту на пропускну здатність магістральних мереж і мереж доступу. Волоконно-оптичне середовище - єдине, що здатне економічно ефективно надавати послуги з високою пропускною здатністю, а також є менш чутливим до електромагнітних перешкод. Оптоволоконно широко використовується в магістральних мережах, міських мережах та мережах доступу.

Мультиплексування з розділенням по довжині хвилі (WDM) - це технологія, яка мультиплексує декілька оптичних несучих сигналів в одному оптичному волокні, використовуючи різні довжини хвиль (кольори) лазерного

випромінювання для передачі різних сигналів. Оптичні мережі WDM широко розгортаються для задоволення постійно зростаючих потреб користувачів мережі та додатків у пропускній здатності. Оптичне мультиплексування з поділом по довжині хвилі (WDM) - це перспективна технологія, що дозволяє впоратися зі стрімким зростанням інтернет- і телекомунікаційного трафіку в глобальних, міських і локальних мережах. Потенційна пропускна здатність однієї нитки оптичного волокна становить 50 ТГц. Використовуючи WDM, ця смуга пропускання може бути розділена на декілька частотних або хвильових каналів, що не перекриваються. Кожен WDM канал може працювати на будь-якій швидкості, наприклад, пікова електронна швидкість може становити кілька гігабіт на секунду (Гбіт/с) [21].

Мережі доступу зазнають значних труднощів через постійно зростаючі потреби в пропускній здатності, асиметричну пропускну здатність магістралі та попит на доступ до Інтернету "будь-де і будь-коли". Крім того, нові додатки, такі як мультимедійні конференції, багатокористувацькі онлайн-ігри, генерація онлайн-контенту та орієнтовані на споживача хмарні обчислення, є ще більш вимогливими до пропускну здатності [22]. Мережі можуть бути у вигляді мобільних або фіксованих мереж, дротових або бездротових мереж доступу. З цієї причини мережеві оператори та користувачі змістили акцент у бік екологічно чистих технологій. Як наслідок, органи стандартизації та виробники обладнання запустили різні проекти, спрямовані на забезпечення ресурсоефективних рішень у найближчому майбутньому.

Пропускна здатність лінії зв'язку в сучасних оптичних мережах значно зросла завдяки технології мультиплексування з поділом по довжині хвилі (WDM). Продуктивність мережі тепер в основному обмежується обчислювальними можливостями елементів мережі, які в основному є електронними [4].

Необхідно розглянути підходи до енергозбереження на мережевому рівні. Як правило, телекомунікаційну мережу можна розділити на три області: ядро, міська мережа і мережа доступу. Оптичні технології відіграють важливу роль у

кожній з цих сфер, і ми розглянемо дослідження, спрямовані на підвищення енергоефективності оптичних мережевих рішень у всіх трьох сферах.

Як показано на рис. 3.2, опорна мережа є центральною частиною телекомунікаційної ієрархії і забезпечує загальнонаціональне або глобальне покриття. З'єднання в опорній мережі охоплюють великі відстані - лінія зв'язку (з використанням оптичних волокон) може мати довжину від кількох сотень до кількох тисяч кілометрів.

Як правило, опорні мережі покладаються на комірчасті топології, які забезпечують підвищену гнучкість захисту та ефективне використання мережевих ресурсів. Міська мережа зазвичай охоплює столичний регіон, покриваючи відстані від кількох десятків до кількох сотень кілометрів, і переважно базується на глибоко вкоріненій спадщині оптичних кільцевих мереж SDH. Мережа доступу з'єднує кінцевих користувачів з їхнім безпосереднім постачальником послуг. Мережа доступу дозволяє кінцевим користувачам (підприємствам і приватним особам) підключатися до решти мережевої інфраструктури на відстані в кілька кілометрів. Оптичні мережі доступу зазвичай базуються на деревоподібній топології.

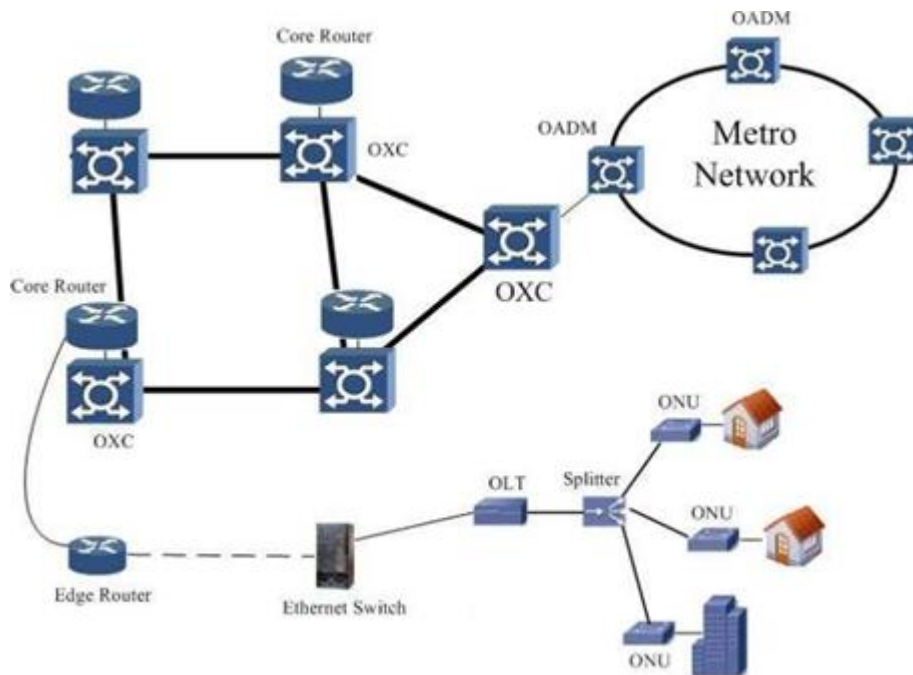


Рисунок 3.2 — Ієрархія телекомунікаційної мережі

У роботі розглядаються дані про енергоспоживання та підходи до енергозбереження у всіх трьох мережевих доменах, таких як магістральна мережа, базова мережа та мережа доступу.

В опорній мережі широко використовуються оптичні технології для підтримки базової фізичної інфраструктури та досягнення високої швидкості, великої пропускної здатності, масштабованості тощо. Базова мережа - це частина телекомунікаційної мережі. Вона з'єднує обладнання для агрегації трафіку домашніх абонентів (наприклад, надає інтерфейси до мережі розосередженого доступу, таких як різні різновиди цифрової абонентської лінії (xDSL) та оптоволокно до будинку або оптоволокно до інтернету (FTTx)), а також забезпечує пряме з'єднання з опорною мережею для підключення до Інтернету. Мережа доступу - це "остання миля" телекомунікаційної мережі, що з'єднує телекомунікаційний центр (ЦО) з кінцевими користувачами. Мережа доступу включає в себе більшу частину телекомунікаційної мережі.

Нещодавня оцінка [7] показує, що мережі доступу споживають близько 70% загального енергоспоживання Інтернету. Отже, зменшення споживання енергії в мережах доступу призведе до значного скорочення споживання енергії в Інтернеті. Для цього заголовку збільшується масштабування до екологізації оптичної мережі доступу між користувачами OLT та ONU. Мережа доступу складає більшу частину телекомунікаційної мережі. Вона також є основним споживачем енергії через наявність величезної кількості активних елементів [7].

Вже запропоновано та впроваджено декілька технологій доступу, таких як xDSL (цифрова абонентська лінія), CM (кабельний модем), бездротові та стільникові мережі, FTTx, WOBAN (бездротова оптична мережа широкопasmового доступу) тощо. Ці технології можна умовно поділити на дві категорії - дротові (такі як xDSL, CM, FTTx тощо) та бездротові. Розширені мідні або xDSL системи охоплюють різні технології, такі як ADSL (асиметрична DSL), VDSL (надшвидкісна DSL) і HDSL (високошвидкісна DSL). xDSL технології використовують існуючу інфраструктуру (телефонна мережа загального користування) для надання послуг Інтернету. Технологія кабельного модему

використовує коаксіальний кабель для надання послуг Інтернету разом з цифровим телебаченням. FTTx має різні базові технології, такі як пряме оптоволокно, спільне оптоволокно і найбільш домінуюча - PON (пасивна оптична мережа).

У табл. 3.1 наведено дані про споживання енергії для двох основних елементів мережі в архітектурі PON: OLT (оптичного лінійного терміналу), розташованого в ЦО, і ONU (оптичного мережевого блоку), розташованого у кінцевого споживача (або поруч з ним).

Таблиця 3.1 — Типові значення потужності різних компонентів

Мережевий рівень	Обладнання	Пропускна здатність	Споживана потужність
Магістральна мережа	Core Router (Cisco CRS-1 Multi shelf System)	92 Tbps	1020 кВт
	Optoelectronic Switch (Alcatel Network scent 1675 Service Switch)	1.2 Tbps	2.5 кВт
	Optical Cross Connect (MRV Optical Cross-Connect)	0.2 Tbps	228 Вт
	WDM Transport System (Ciena CoreStream Agility Optical Transport System)	3.2 Tbps	10.5 кВт
	WDM transponder Alcatel-Lucent WaveStar OLS WDM Transponder)	40 Gbps	73 Вт
	EDFA (Cisco ONS 15501)	50 Gbps	73 Вт
Базова мережа	EDFA Edge Router (Cisco 12816 Edge Router)	160 Gbps	4.3 кВт
	Metro SONETADM (Ciena GN 3600 Intel Network Optical Multiservice Switch)	95 Gbps	12 кВт
	OADM (Ciena Select OADM)	18 Gbps	450Вт
	Network Gateway (Cisco 10008 outer)	8 Gbps	1.1 кВт
	Ethernet Switch (Cisco Catalyst 6519 Switch)	720 Gbps	3.21 кВт
Абонентська мережа	OLT (NEC CM7700S OLT)	1 Gbps	100 Вт
	ONU Wave7 ONT1000 ONU	1 Gbps	5 Вт

PON є найкращим вибором для розгортання волоконно-оптичної мережі доступу, оскільки вона має лише пасивні елементи.

3.4 Визначення енергоефективної організації мережі доступу

Існує два популярних варіанти PON - EPON (Ethernet PON), який використовує Ethernet як основний транспортний механізм, і GPON (Gigabit PON), який є розвитком стандарту широкосмугового PON (BPON). На системному рівні технології PON вдосконалюються для підвищення енергоефективності за рахунок покращення технологій ІС (інтегральних схем), таких як менший розмір кремнію, кращих пристроїв, таких як драйвери лазерів з імпульсним режимом, енергоефективних мікросхем, які вимикають неактивні функції на льоту, наприклад, інтелектуальні вбудовані процесори тощо [8].

Основною метою є зменшення енергоспоживання оптичної DWDM-мережі PON, що є важливою науково-дослідницькою проблемою, яка стосується архітектури оптичної мережі.

Комп'ютерна мережа з оптичним доступом та з резервним живленням сонячною енергією вигідна для навколишнього середовища, системи і технології та в умовах війни. Оскільки Інтернет споживає велику (і зростаючу) кількість енергії, такі стратегії бажані для того, щоб допомогти таким провайдерам, експлуатувати свої мережі і надавати послуги більш енергоефективно. Необхідно зосередитись на таких стратегіях надання послуг для мереж оптичного мультиплексування з поділом по довжині хвилі.

Використання енергії також зростає зі збільшенням швидкості передачі та пропускної здатності, і цей зростаючий апетит до енергії може перешкоджати розширенню майбутнього Інтернету. За оцінками [9], Інтернет споживає 4% електроенергії в країнах з широкосмуговим зв'язком. [10] повідомляють, що мережеве обладнання (наприклад, комутатори та роутери) становить приблизно 14,88% від загального енергоспоживання інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ), і, за оцінками, ця частка зростає до 25,8% до 2030 року. У більш широкому розумінні, енергоспоживання Інтернету в кінцевому підсумку

спричинить низку проблем як екологічного, так і соціального характеру. За оцінками мережевої дослідницької та консалтингової компанії [11], на виробництво ІКТ-обладнання, його використання та утилізацію припадає 2% світових викидів CO₂, що є безпосередньою причиною парникового ефекту. Тому екологічно чисті ІКТ є бажаними, і їх слід враховувати при проектуванні та експлуатації майбутнього Інтернету.

Він також може бути узагальнений таким чином, щоб застосовуватися до інших мереж доступу, таких як варіанти PON. Тому його доцільно впроваджувати в систему і виводити країну на крок вперед, оскільки він може внести багато переваг в науку і техніку, покращуючи телекомунікаційну систему і мережу.

Щоб наблизити високу пропускну здатність оптичного волокна до кінцевих користувачів за доступною ціною, пасивна оптична мережа (PON) [18] була впроваджена і розвивалася як перспективна мережева технологія доступу протягом останнього десятиліття. PON споживає значно менше енергії, ніж її аналоги на основі мідних, бездротових або активних оптичних технологій [19]. Будь-яке підвищення його енергоефективності може заощадити Землі багато вуглеводневого палива і зменшити велику кількість парникових газів, які вони виділяють. Зменшення енергоспоживання PON набирає обертів як важлива проблема досліджень і розробок.

У відповідь на майбутній попит на пропускну здатність різні види технологій PON з'явилися як потенційні кандидати для мереж оптичного доступу наступного покоління (NG-OAN). Таким чином, можна зробити висновок, що NG-OAN на основі WDM-PON є найбільш підходящим кандидатом для енергоефективного розгортання OAN завдяки високій інтеграції електронних і фотонних компонентів, що призводить до зниження енергоспоживання.

Запропоновані на сьогоднішній день методи включають кращу конструкцію інтегральної схеми (IC), зменшення потужності несуттєвих частин, уповільнення швидкості з'єднання і переведення елементів мережі в сплячий режим. Перші два методи не вплинуть на якість обслуговування, але вимагають певних фундаментальних змін у поточному дизайні PON і виходять за рамки цієї статті.

Перехід на нижчу швидкість, як правило, неможливий для оптичних компонентів, а впровадження додаткових низькошвидкісних трансиверів зазвичай не вважається ефективною практикою з міркувань вартості та складності.

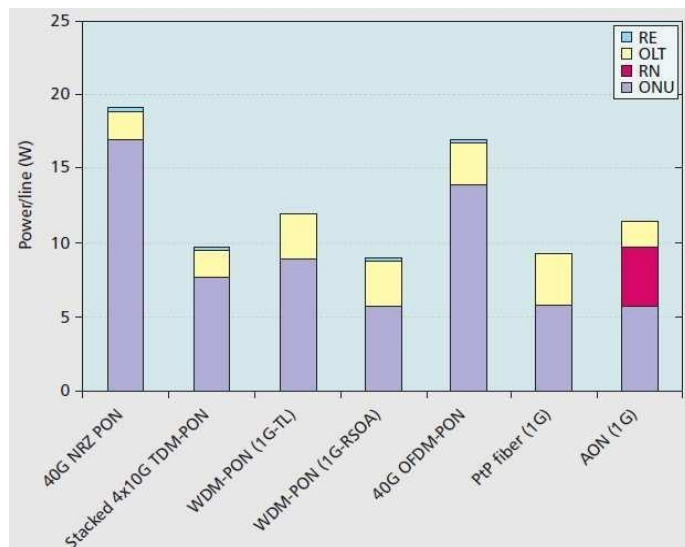


Рисунок 3.3 — Розсіювана потужність на лінію (Вт) для різних рішень

Таким чином, більшість досліджень зосереджені на переведенні елементів мережі в сплячий режим. Як центральний вузол PON, оптичний лінійний термінал (OLT) відповідає за підключення локальної мережі до решти Інтернету. Він транслює низхідні дані на свої оптичні мережеві пристрої (ONU) і приймає від них висхідні дані, як показано на рисунку 4а. Очевидно, що топологія точка-багатоточка PON не дозволяє OLT переходити в сплячий режим до тих пір, поки в мережі відбувається передача даних.

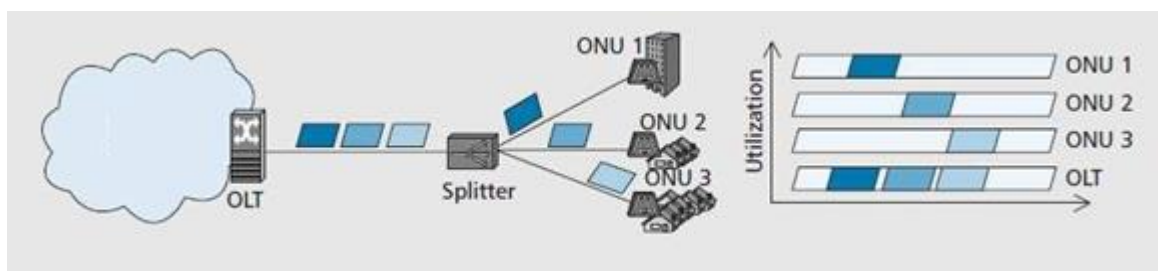


Рисунок 3.4 — Пристрої ONU може переходити в сплячий режим з метою енергозбереження, коли він не приймає і не передає дані

З іншого боку, включення ONU в сплячий режим для економії енергії [22] можливий, оскільки навіть при високому навантаженні мережі, завдяки ширококомовній природі PON, а також тому факту, що поведінка користувачів відповідає принципу Парето, коли 80 відсотків трафіку генерується 20 відсотками інтенсивних користувачів [23], є ще багато часу для переходу мало використовуваного ONU в сплячий режим, як показано на рис. 3.5. Беручи до уваги низький середній рівень використання каналу доступу (деякі дослідження стверджують, що він становить лише близько 15 відсотків) і характеристики сплеску інтернет-трафіку, переведення ONU в сплячий режим є перспективним методом економії енергії в PON.

EPON стає перспективною технологією в мережі широкосмугового доступу, оскільки вона може забезпечити високу економічну ефективність і вищу швидкість передачі даних для користувачів. Питання енергоефективності вивчалися як в EPON, так і в інших оптичних мережах доступу. У цьому розділі ми представляємо пов'язані з цим роботи і порівнюємо їх моделі з нашою. Пропонується протокол управління для ONU для запиту входу в сплячий режим. OLT резервує мінімальну пропускну здатність для ONU в сплячому режимі. Під час сплячого режиму з'єднання не встановлюється і трафік не передається. Сплячий режим може бути завершений або OLT, або ONU за допомогою адміністративного повідомлення. Цей протокол усуває традиційні вимоги до повної процедури активації в ONU. Автори розглядають вплив протоколу сплячого режиму на процес повторної активації в GPON.

Багато алгоритмів було розроблено та вивчено з літературних джерел. Як спосіб мінімізації часу переходу в інший стан, в [32] запропонували фізичну архітектуру ONU з використанням FCDR і запропонували JT-SC для використання переваг цієї архітектури. EPON складається з одного OLT, який знаходиться в центральному офісі і з'єднує декілька ONU через одне волокно, яке складається з двох довжин хвиль. Одна довжина хвилі використовується для висхідного трафіку, інша - для низхідного. А потім трафік передається випадковим чином, коли трафік надходить. Однак в EPON зі сплячим режимом передача висхідного і

низхідного трафіку в EPON зі сплячим режимом повинна розглядатися як така, що відбувається одночасно для максимізації циклічного періоду сну.

Традиційні алгоритми динамічного розподілу смуги пропускання (DBA) використовуються для покращення використання каналу [33-38]. Крім того, в EPON зі сплячим режимом алгоритм DBA використовується не тільки для покращення використання каналу, але й з урахуванням енергозбереження.

Дослідження ефективності використання ресурсів, таких як енергія, вартість тощо, в оптичних мережах доступу проводиться інтенсивно. Оскільки технологія фізичного рівня швидко прогресує, модифікації в бік "енергоефективного" використовуються для верхнього рівня, що забезпечує краще управління ресурсами і послугами по всій мережі за рахунок впровадження енергозберігаючих елементів "зелених" маршрутів з низьким енергоспоживанням. Потреба в такій маршрутизації визначається мережевою інженерією та властивостями фізичного рівня. Поряд з маршрутизацією, застосування такого поширення пакетів даних при першому отриманні до їх сусідів є одним з найважливіших завдань зв'язку в мережах доступу, оскільки воно використовується для багатьох цілей (наприклад, виявлення маршруту, синхронізація).

3.4 Метод енергозбереження ONU при переході з активного режиму в сплячий

Пропонується механізм енергозбереження, що мінімізує енергоспоживання, перемикаючи ONU з активного режиму в сплячий або режим очікування. Рішення про переходи приймає OLT, який зберігає інформацію про запит на пропускну здатність і виділений час передачі і розраховує розмір вікна передачі для кожного ONU. Крім того, кожен ONU розраховує власний запит на пропускну здатність, відстежуючи розмір своєї черги і обсяг трафіку, отриманого від кінцевого користувача. Цей процес завершується обміном керуючими кадрами (повідомленнями REPORT і GATE) між OLT і ONU. На основі інформації, переданої в керуючих кадрах, і розміру

черг, OLT може вирішити, чи залишати ONU в активному режимі, чи перевести його в сплячий режим або режим очікування. Приклад роботи ONU в сплячому режимі показаний на рисунку 2, де ONU1 і ONU2 переведені в сплячий режим і режим очікування на час, визначений OLT, відповідно (див. розділ 3.2 для більш детальної інформації).

На кроці А на рисунку 2 ONU1 починає передавати дані користувача і повідомлення REPORT у запланований час передачі, а потім, на кроці В, ONU1 переходить у сплячий режим на час, визначений OLT, оскільки немає даних, які можна було б передати раніше. У наступному циклі, на кроці С, ONU1 прокидається і передає дані користувача і повідомлення REPORT. На кроці D ONU2 переходить у сплячий режим, коли немає висхідних і низхідних передач. На кроці E ONU2 спить протягом тривалості, визначеної OLT, протягом n циклів (цикли сну залежать від максимального циклу сну ONU та обсягу трафіку в обох напрямках). На етапі F, після закінчення циклу сну, ONU2 прокидається в кінці циклу сну, щоб приймати і передавати дані користувача, а також повідомлення GATE і REPORT.

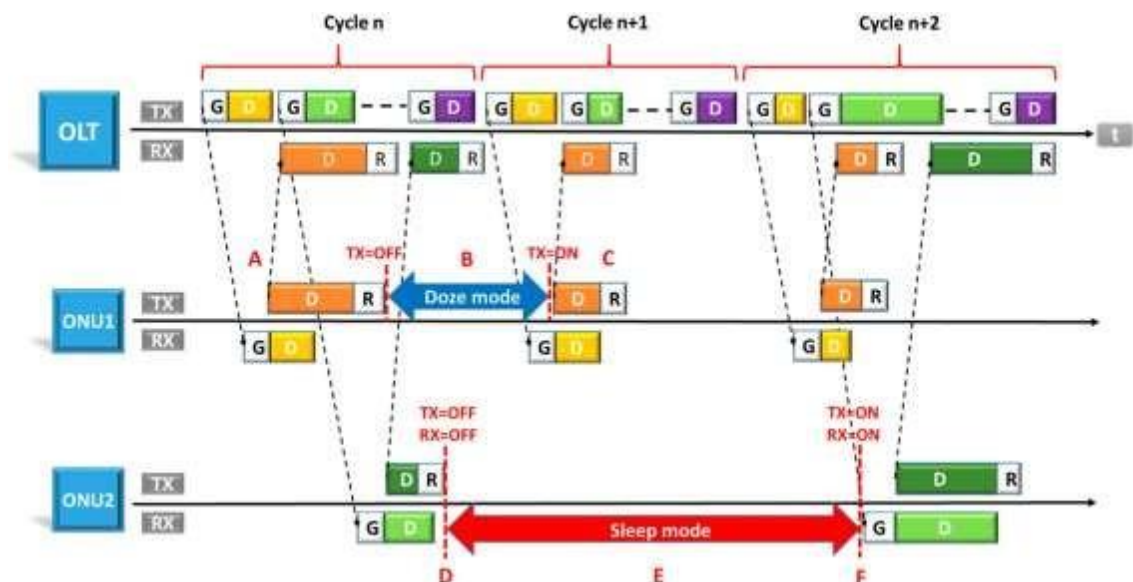


Рисунок 3.5 — Стан сну ONU, де G позначає GATE, R - REPORT і D - data

Як зазначалося раніше, алгоритм енергозбереження відстежує висхідну

чергу ONU і наступну чергу OLT для того ж ONU. Розміри черг ONU передаються OLT для того, щоб розрахувати цикл сну за допомогою прогнозованого значення черг, отриманого за допомогою методу ковзного середнього. На рисунку 3.6 показано висхідні та низхідні черги ONU та OLT. Цикли дримоти і сну будуть змінюватися в залежності від розмірів черг на ONU і OLT.

Режим очікування: якщо розмір висхідної черги в ONU менший за запитувану довжину висхідної передачі, черга спорожніє і, таким чином, ONU перейде в режим енергозбереження після передачі даних і повідомлення REPORT. Передавач ONU вимикається на час, визначений OLT, а приймач залишається увімкненим.

Сплячий режим: якщо розмір черги в ONU і OLT менший за запитувану висхідну і низхідну довжину передачі відповідно, то обидві черги будуть і ONU переходить у сплячий режим (режим енергозбереження). Приймач і передавач ONU вимикаються на час, визначений OLT.

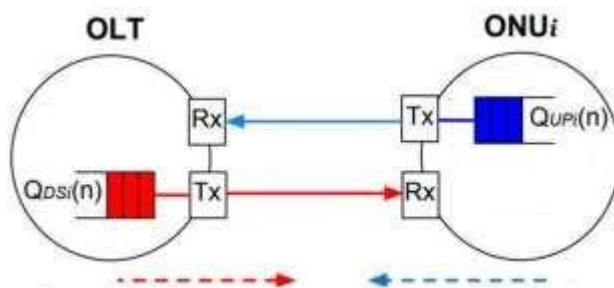


Рисунок 3.6 — Висхідна та низхідна черги на ONU та терміналі оптичної лінії (OLT)

Якщо висхідна і низхідна черги перевищують запитувану довжину передачі на ONU і OLT відповідно, ONU буде змушений залишатися повністю активним і не зможе перейти в режим енергозбереження.

У випадку енергозбереження, порівнюючи черги ONU і OLT, OLT повинен вибрати мінімальне значення $T_{\text{low-power}}_{UP/DS}$ і призначити мінімальний час сну, щоб перевести ONU в дримотний або сплячий режим.

$$T\text{-sleep} = \min (T\text{-low - power}_{UP}, T\text{-low - power})_{DS} \quad (3.1)$$

Алгоритм призначений для вибору мінімального значення обох циклів для конкретного ONU. Хоча це може призвести до втрати енергії, яку потенційно можна було б заощадити, це також мінімізує вплив на затримку в мережі. Тому вибирається мінімальне значення, щоб забезпечити хороший компроміс між енергоспоживанням і затримкою, навіть якщо цикл сну в сплячому режимі довший, ніж у режимі очікування.

На завершальному етапі першої фази, після того, як розрахована потужність T-low для висхідного і низхідного потоків, OLT створює повідомлення GATE з необхідною інформацією і надсилає його до ONU. Друга фаза алгоритму пов'язана з діями, які повинні бути виконані в ONU.

В додатку В показано блок-схему алгоритму DBA, що виконується на ONU. У кожному циклі ONU витягує інформацію з полів повідомлення GATE і відстежує накопичений трафік у черзі. Інформація GATE включає час початку передачі, наданий період передачі, ваговий вектор, час початку сплячого режиму, а також тривалість сплячого режиму.

Вага обчислюється з вектора (Φ^{\rightarrow}), який передається повідомленнями GATE (тобто, $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3 \dots \Phi_N$, де N - кількість ONU) [3]. Маючи вектор ваги, кожна ONU знає поточний стан розподілу пропускної здатності і, таким чином, кожна ONU може розрахувати свій власний необхідний розмір вікна передачі для наступного циклу передачі. Таким параметром є пропорційна вага, встановлена відповідно до гарантованої пропускної здатності для кожного ONU. Максимальний розмір вікна передачі для наступного циклу розраховується наступним чином:

На наступному кроці ONU_i обчислює наступний запитуваний розмір передачі $R_i(n+1)$, порівнюючи розмір наступного вікна передачі з поточним розміром черги ONU_i і вибираючи мінімальне значення між обома значеннями. Перевага такого підходу полягає в тому, що ONU може виділити правильний розмір часового інтервалу і уникнути надмірного виділення.

$$R_i(n+1) = \min(W_i(n+1), QUP_i(n+1)) \quad (3.2)$$

Нова вага $\Phi_i(n+1)$ ONU_i для оновлення вектора ваг для наступного циклу обчислюється наступним чином.

Нарешті, ONU аналізує час початку сплячого режиму і час початку дрімотного режиму повідомлення GATE, щоб перевірити, чи є в цих полях ненульові значення. Якщо в будь-якому з полів знайдено ненульове значення, ONU переходить у режим сну або дрімоти на час, вказаний у полях тривалості сну або тривалості дрімоти, і прокидається в кінці цього періоду.

Повідомлення REPORT, що генерується ONU_i , містить 1) наступний запитуваний розмір передачі $R_i(n+1)$; 2) нову вагу для наступного циклу $\Phi_i(n+1)$; і 3) миттєвий розмір черги (поточний стан черги) $Q_i(n)$.

Процес планування виконувався без необхідності чекати, поки всі звіти надійдуть від ONU до OLT, як у випадку з онлайнними DBA. Крім того, збираючи вектор ваги, кожен ONU може отримати глобальне уявлення про стан навантаження інших ONU.

3.5 Розрахунок параметрів PON мережі та сумарного загасання лінії

Сумарного загасання лінії визначає параметри, які впливають на втрати сигналу. Так це залежить типу волокна якості та його довжини. Кожен з оптичних кабелів (одномодові або багатомодові) має свої характеристики про втрати оптичного сигналу. Також необхідно враховувати, які відбуваються втрати на оптичних розгалужувачах. Крім того, до одного оптичного волокна можливо підключення багатьох абонентів, і це визиває також втрати.

Сумарне загасання оптичної лінії є важливим фактором, який визначає якість передачі сигналу в пасивній оптичній мережі PON. Визначення всіх втрат сигналу від оптичного терміналу OLT до абонента (ONU) визначається за формулою

$$A_{\Sigma} = L * L_3 + A_v * N_v + A_g * N_g + A_h + R,$$

В формулі використовуються позначення L_3 – сумарна довжина волокна. R — експлуатаційний запас. A_v — втрати на зварному з'єднанні. N_v — кількість зварних з'єднань. A_g –втрати сигналу на роз'ємних з'єднаннях. N_g — кількість цих з'єд — ань. A_h — сумарне згасання на розгалужувачах.

Для розрахунку будемо використовувати такі параметри, які визначають втрати в лінії передачі. Коефіцієнт загасання волокна для довжині хвилі 1310 нм PON мережі 0,32 дБ/км. Втрати на нероз'ємні зварних з'єднаннях — 0,11 дБ. Втрати на конекторах — 0,55 дБ. Експлуатаційна маржа запасу — 5 дБ. Відповідно

$$A_{\Sigma} = 0.32 \cdot 0.55 + 0.11 \cdot 6 + 0.55 \cdot 6 + 5 + 10 = 19.1 \text{ (дБ)}$$

Найгірші втрати на лінії не перевищують бюджету втрат (18.8 дБ < 35 дБ), тому ця умова буде використовуватися також до інших ділянок, де втрати сигналу є меншими.

Розрахунок пропускної спроможності. Розрахунок пропускної спроможності PON мережі для передачі даних залежить від таких параметрів, як швидкість передачі даних, пропускна здатність компонентів мережі, протоколи, та ін.

Мережа, складається з двох комутаторів (Switch A і Switch B).

Швидкістю передачі даних складає - 1 Gbps. Протокол: Ethernet. Пропускна здатність мережі з комутатора Switch A в якому 10 портів, де кожний володіє пропускною здатністю 1 Gbps. Switch B має 8 порти, вони володіють також пропускну здатністю 1 Gbps. Потіки даних – передається 1 потік даних.

Розрахунок пропускної спроможності виконується таким чином:

Пропускна здатність компонента Switch A:

$$10 \text{ портів} * 1 \text{ Gbps} = 10 \text{ Gbps.}$$

Пропускна здатність компонента Switch B:

$$8 \text{ портів} * 1 \text{ Gbps} = 8 \text{ Gbps.}$$

Оскільки пропускна здатність має найменше значення для такої мережі складає 8 Gbps. А саме для Switch B, тобто це є основним обмеженням для визначення пропускної спроможності оптичної комп'ютерної мережі.

Таким чином, пропускна спроможність цієї мережі з використанням даних параметрів становить 8 Gbps.

3.6 Зниження енергоспоживання мережі

Поточна специфікація GPON OMCI G.984.4 містить режим відключення живлення. Цей режим пропонує можливість вимкнення непотрібних сервісів у разі збою живлення, щоб зберегти певну кількість годин (наприклад, 8) заряду акумулятора для визначеного мінімуму сервісів (рятувальної лінії). У поточній специфікації ця функція моделюється мережевими інтерфейсами користувача (UNI) і може бути розширена для включення основних функцій ONT/ONU, щоб досягти значного енергозбереження навіть при живленні від мережі змінного струму. Можливий режим енергозбереження, заснований на скиданні потужності, може включати наступні функції.

ONU контролює стан UNI на основі надійних показників, таких як фізична активність каналу (наприклад, втрата сигналу, втрата несучої), незалежно від рівня обслуговування. Основні функції, пов'язані з UNI, можна вимкнути, якщо UNI вимкнено. Порти GEM (за винятком порту OMCI), що відносяться до вимкнених UNI, можуть бути відключені, зупиняючи потік до функцій ядра ONT і скорочуючи цикли обробки трафіку. Відключені порти залишаються доступними і можуть бути підключені за запитом UNI [2].

3.7 Методи зниження енергоспоживання в PON

Йдеться про екологічну ефективність мереж в цілому та зменшення внеску ІКТ-індустрії в глобальне потепління. У засобах масової інформації помилково стверджується, що вуглецевий слід ІКТ еквівалентний сліду авіакомпаній, що вперше прозвучало на симпозіумі Gartner/ITxpo у 2007 році. Порівняння наскрізного впливу ІКТ (згідно з аналізом життєвого циклу) з прямими викидами

від авіаційних двигунів вводить в оману і значно перебільшує вплив ІКТ на навколишнє середовище. Правдива цифра полягає в тому, що у 2007 році на ІКТ припадало близько двох відсотків усіх викидів парникових газів у світі. До 2020 року викиди парникових газів у цьому секторі можуть зрости до 1,4 ГтCO₂e (мільярда тонн еквіваленту вуглекислого газу).

Потенціал ІКТ для скорочення викидів поширюється на кілька секторів. "Екологічні послуги", такі як дистанційна робота, телемедицина, допомога на дому для людей з особливими потребами та сприяння створенню "розумних", підключених до мережі будинків (в яких опалення, побутова техніка, модеми, приставки тощо завжди доступні, а не завжди увімкнені) надають добре задокументовані можливості зменшити споживання невідновлюваної енергії та інших ресурсів. Ці послуги пом'якшують екологічні наслідки, такі як парниковий ефект та підкислення повітря. За умови використання цих послуг до 2030 року можна було б досягти скорочення загальних викидів на 15% (7,8 Гт CO₂) [15]. Більшість екопослуг залежать від ширококутового зв'язку, як правило, через волоконно-оптичні мережі доступу, такі як "волокно до вузла" (FTTN), "волокно до будівлі" (FTTB) і "волокно до будинку" (FTTH). Як буде пояснено пізніше, це створює певні труднощі. Потім ми перейдемо до критичного аналізу кожного елемента мережі, його конкретної потужності і вимог, що в сукупності приведе нас до логічних висновків і рекомендацій для досягнення нашої мети.

Органи стандартизації та постачальники обладнання почали ставити на порядок денний обговорення режимів низького енергоспоживання, щоб у найближчому майбутньому забезпечити мережеві рішення, які відповідатимуть європейському кодексу поведінки щодо енергоспоживання ширококутового обладнання [17].

Згідно з нещодавнім дослідженням, понад 50 відсотків підприємств враховують "екологічність" при виборі постачальника. Третина підприємств вже вважають важливим або дуже важливим, щоб їхні ІТ-постачальники мали так звані "зелені" пропозиції, а майже 80 відсотків керівників стверджують, що "зелені" ІТ стають все більш важливими для їхніх організацій.

Загалом, оптичні технології передачі та обробки даних забезпечують дуже високу швидкість, великі відстані передачі та споживають менше енергії, ніж електронні. Таким чином, енергоефективні архітектури можуть бути визначені з урахуванням використання оптичних технологій для зменшення загального енергоспоживання системи, і, в той же час, для збільшення швидкості доступу. Однак, комутація пакетів безпосередньо в оптичній області вимагає розгортання швидких оптичних комутаторів, перетворювачів довжини хвилі та оптичних буферів. Оскільки оптична пам'ять з довільним доступом поки що неможлива, оптична буферизація здебільшого реалізується за допомогою волоконно-оптичних ліній затримки (FDL). Дуже великі буфери, які зазвичай потрібні у високопродуктивних інтернет-маршрутизаторах з пакетною комутацією, непрактичні при використанні FDL через їх великий фізичний розмір. Високе загасання довгих волокон у ВОЛЗ необхідно компенсувати оптичними підсилювачами, що, в свою чергу, призводить до збільшення загального енергоспоживання [18].

3.8 Технологія сонячної енергетики для оптичних вузлів комп'ютерних мереж

Доцільним рішенням проблеми електропостачання є живлення оптичних вузлів від сонячної енергії. Це вимагатиме встановлення оптичних вузлів над землею, щоб можна було встановити сонячні панелі і підключити їх безпосередньо до вузлів. Використання сонячної енергії не спричиняє жодних викидів в атмосферу, а отже, зменшує кількість парникових газів, що виділяються телекомунікаційним сектором.

Сонячна енергія вже використовувалася в поєднанні з інтернет-мережами, але тільки в країнах, що розвиваються, або в сільській місцевості, куди звичайна широкопasmова мережа не може дістатися. Сонячна енергія використовувалася для супутникового широкопasmового зв'язку, який не забезпечує достатньо високих швидкостей і пропускної здатності для повсякденного використання, тому основна увага буде зосереджена на PON.

Існують різні типи виробництва сонячної енергії. Найбільш доцільним для цього аналізу є використання фотоелектричного процесу, який перетворює сонячну енергію на вироблену електроенергію. Основними перевагами фотоелектричних систем є можливість використання як автономного пристрою, так і підключення до національної електромережі або систем зберігання енергії, таких як акумулятори. Фотоелектричні системи прості у використанні, не створюють шумового забруднення, надійні і мають низький рівень викидів, що виникають лише при виробництві, монтажі та обслуговуванні. Крім того, собівартість одиниці виробленої енергії значно нижча, ніж вартість енергії, виробленої традиційними методами та іншими відновлюваними джерелами енергії [19].

Фотоелектрична сонячна електростанція складається з п'яти основних компонентів. Це сонячні панелі, регулятор, навантаження, інвертор та акумулятори. Сонячні панелі генерують електроенергію з сонячної енергії. Сонячна панель складається з масиву сонячних елементів, які розподілені всередині модуля. На сонячні панелі зазвичай надається двадцятип'ятирічна гарантія від виробника. Навантаження - це пристрій, підключений до сонячної панелі, який потребує електроенергії. Навантаженням може бути будь-що - від вуличного ліхтаря до комп'ютера або навіть автомобіля. Регулятор стежить за тим, щоб акумулятори не перезаряджалися і не розряджалися від сонячних панелей. Інвертор контролює напругу між батареями та навантаженням. Батареї зберігають зібрану з сонячної енергії електроенергію, щоб її можна було використовувати в міру необхідності. Батареї, що використовуються, як правило, не потребують обслуговування, свинцево-кислотні. Їх середній термін служби становить вісім років, але вони можуть прослужити до двадцяти років, якщо їх регулярно не перезаряджати і не розряджати [20].

Обладнання в абонентських приміщеннях становить невелику величину енергоспоживання в загальному внутрішньому енергоспоживанні. Тому дослідження зосереджується на постачанні відновлюваної сонячної енергії для оптичних лінійних терміналів (OLT), які належать операторам. OLT зазвичай

розміщуються в мегаполісах і підключаються до основної мережі за допомогою точки присутності (POP). Це обладнання належить оператору, і якщо підсумувати енергоспоживання OLT і всієї мережі, то загальна сума буде значно більшою.

Для живлення 200-ватного OLT для забезпечення 256 абонентів широкопasmовим зв'язком знадобиться щонайменше 200-ватний сонячний модуль/панель. Можливим модулем для використання є модуль, що постачається компанією Sanyo, який видає 215 Вт при напрузі 42 В. Цей модуль важить приблизно 16,1 кг і має розміри 1580 мм заввишки, 798 мм завширшки і 46 мм завглибшки [21]. Вартість цього модуля становить 900 доларів. Для цього модуля потрібен регулятор, здатний контролювати напругу до 48 В. Батареї, необхідні для цього завдання, повинні мати струм щонайменше 4,93 А. Батарея Surrlette має ємність 100 годин при струмі 5,32 А (ампер) і загальну ємність 532 Аг (ампер-годин). Це означає, що батарея здатна жити систему протягом 100 годин при повному заряді [22]. Вартість цієї батареї становить 343 долари США, вона має вагу 58 кг і очікуваний термін служби десять років.

Беручи до уваги зниження енергоспоживання, ми можемо розглянути мережу доступу PON, що забезпечує симетричне з'єднання зі швидкістю 1 Гбіт/с від кожного ONU до OLT, яке поділяється між 32 користувачами. Конкретне обладнання, що використовується в нашій моделі, - це ONU Wave7 ONT-E1000i та OLT NEC CM7700S. Цей OLT здатний контролювати до 8 систем PON (256 користувачів) і має висхідний канал зв'язку 4 Гбіт/с до межі мережі. Кожен ONU споживає приблизно 5 Вт. Віддалений вузол не споживає ніякої енергії, оскільки мережа доступу спроектована таким чином, щоб бути пасивною між ONU і OLT. OLT NEC CM7700S споживає 100 Вт [11]. Це фактично вдвічі зменшує вимоги до розміру сонячної батареї, наведені вище.

Сонячні панелі призначені для встановлення на відкритому повітрі та мають стійкі до погодних умов накриття, які допомагають зберегти їх надійність. Іншим важливим питанням є максимізація ефективності системи. Існує багато способів, однак найкращий - це перевірити вартість кВт/год. Для підвищення ефективності

всієї системи модулі повинні бути закриті від OLT, щоб уникнути втрат енергії під час руху.

Вандалізм завжди викликає занепокоєння при встановленні будь-чого в мегаполісах з високою щільністю населення. Можливим рішенням є встановлення спеціально розроблених модулів з ударостійкого акрилу. Рекомендується підключити OLT до фотоелектричної системи та національної електромережі. Це дозволить системі продовжувати працювати навіть тоді, коли сонячна система зупиняється або в електромережі виникають збої.

4 ТЕСТУВАННЯ МОДЕЛІ ТА НАЛАШТУВАННЯ ЗАСОБІВ ОПТИЧНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ

4.1 Інструменти моделювання комп'ютерних мереж з оптичними елементами

NS-2 є широко використовуваним і легкодоступним інструментом мережевого моделювання, який зазвичай використовується для вивчення PON (рис. 4.1) [28]. Багато дослідників використовують NS-2 для моделювання та імітації мереж WDM [35, 31]. Розширення NS-2, а саме, оптичний симулятор мережі WDM (OWns), є інструментом моделювання, який використовується для вивчення різних характеристик мереж WDM [50]. Інструмент моделювання OBS на основі NS2 (nOBS) також представлений в [14] для дослідження оптичних мереж з пакетною комутацією, оскільки NS-2 не в змозі підтримувати всі компоненти мережі OBS. Розробка та підтримка Ns-2 більше не доступні.

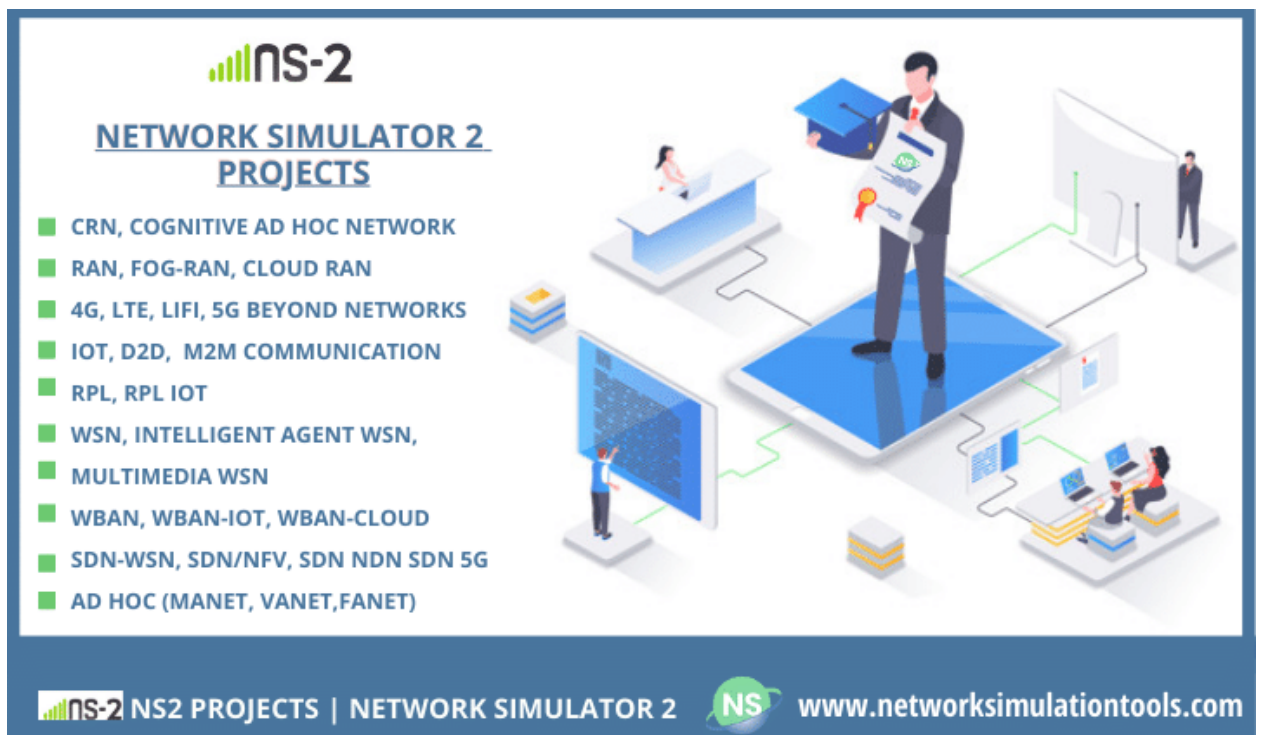


Рисунок 4.1 — NS-2 мережевих симулятор з відкритим вихідним кодом

Перевага: NS-2 є симулятором мережі з відкритим вихідним кодом.

Обмеження: Вища абстракція на мережевому рівні та нижчих рівнях призводить до розриву між реальним світом та симуляцією. Недостатня кількість інструментів моделювання. Недостатня валідація моделі та документація.

NS-3 - це остання версія мережевих симуляторів, яка була вперше випущена у 2008 році рис. 4.2. Нещодавно, у січні 2021 року, вийшла версія NS-3.33 [29]. C++ та Python використовуються для побудови NS-3. Photonic WDM Network Simulator (PWNS) базується на NS-3 і широко використовується для моделювання магістральних мереж [24]. NS-3 також використовується для моделювання PON наступного покоління (XG-PON). Модуль XG-PON NS-3 був розроблений для аналізу коректної поведінки мережі, наскільки це можливо [16]. Модуль XG-PON розширено для дослідження TWDM-PON [27].



Рисунок 4.2 — NS-3 остання версія мережевих симуляторів

Переваги: має відкритий вихідний код. Надає рішення за допомогою моделювання, яке стосується реалізації мережі в реальному часі. Ефективний для моделювання у великих мережах.

Обмеження: Хоча реалістичність в NS-3 підвищена в порівнянні з NS-2, результати моделювання не завжди відповідають дійсності на 100%. Вся функціональність моделі не може бути коректно перевірена за допомогою симуляції. Обмеження масштабованості, тобто час симуляції та необхідний обсяг пам'яті обмежені. Симуляція не може тривати нескінченно довго, а також нескінченний обсяг пам'яті практично неможливо досягти.

Objective Modular Network Testbed in C++ (OMNeT++) - це мережевий симулятор, реалізований на мові C++. Він був розроблений у 1992 році в Будапештському технічному університеті Андрашем Варгою [4]. Спочатку OMNeT++ був розроблений для оцінки продуктивності комп'ютерних мереж. Він сумісний з операційними системами Windows, Linux та Mac. OMNeT++ версії 4.0/4.1. Була використана для реалізації пасивної оптичної мережі Ethernet (EPON) [30].

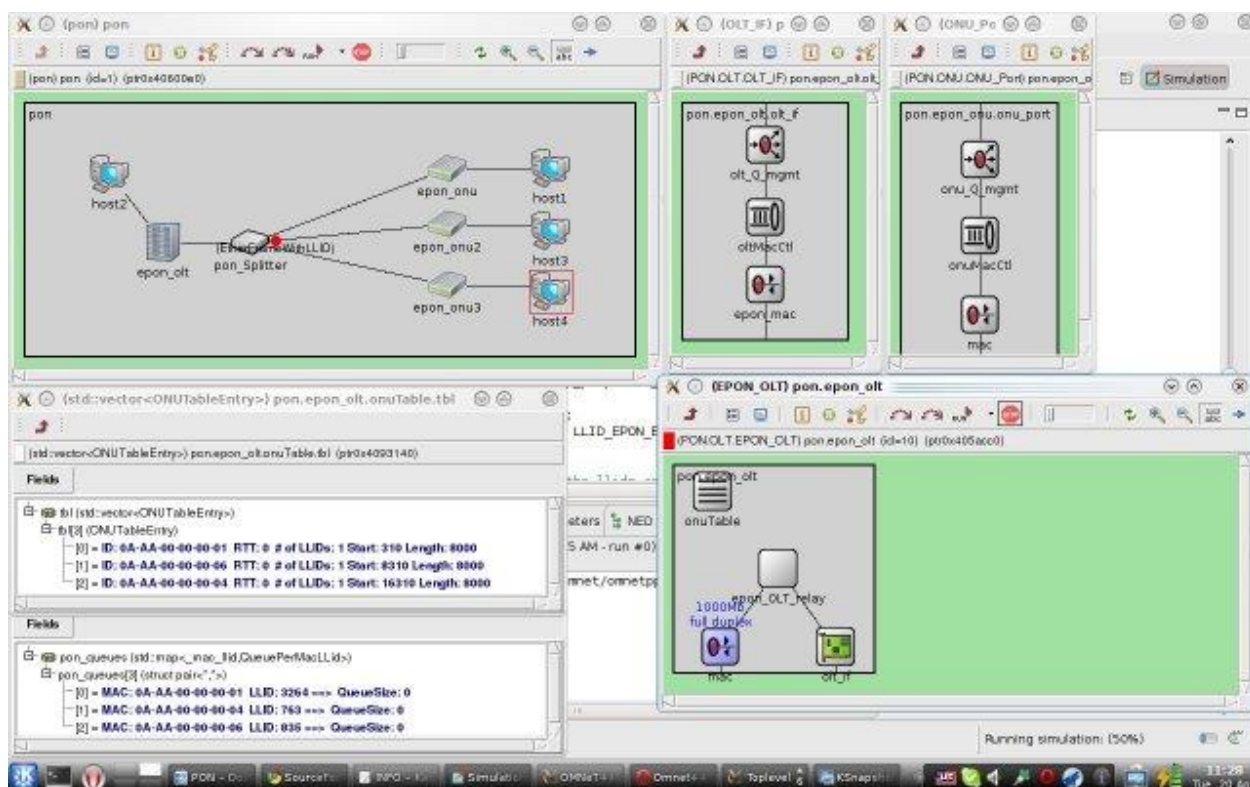


Рисунок 4.3 — OMNeT - це мережевий симулятор, реалізований на мові C++

У Стенфордському університеті за допомогою OMNeT++ версії 3.0 було побудовано структуру Hybrid Optoelectronic Ring NETwork (HORNET) [51].

Також було розроблено інструмент моделювання, а саме Elastic Optical Network Simulation Framework for OMNeT++ (ElasticO++), для тестування алгоритмів розподілу ресурсів на ЕОН з урахуванням різних параметрів і топологій [32]. Нещодавно було розроблено симулятор на основі Omnet++ для моделювання оптичних завад в оптичних мультиплексованих мережах з щільним розділенням по довжині хвилі з комутацією пакетів [30].

Перевага: вільно доступний для некомерційного використання, наприклад, академічними установами.

Обмеження: Неєфективний для моделювання великих мереж.

OPNET (Optimized Network Engineering Tools) - це універсальний мережевий симулятор [41]. Різні мережеві топології можуть бути створені і змодельовані за допомогою вбудованих пристроїв і протоколів, наданих IT Guru. OPNET Modeler може моделювати та імітувати пасивні оптичні мережі [32, 15]. OPNET також використовується для аналізу продуктивності оптичних мереж на кристалі (ONoC) [58, 6, 62]. Перевага: OPNET моделювальник може бути використаний для отримання загального уявлення про систему з багатьма прикладами моделювання.

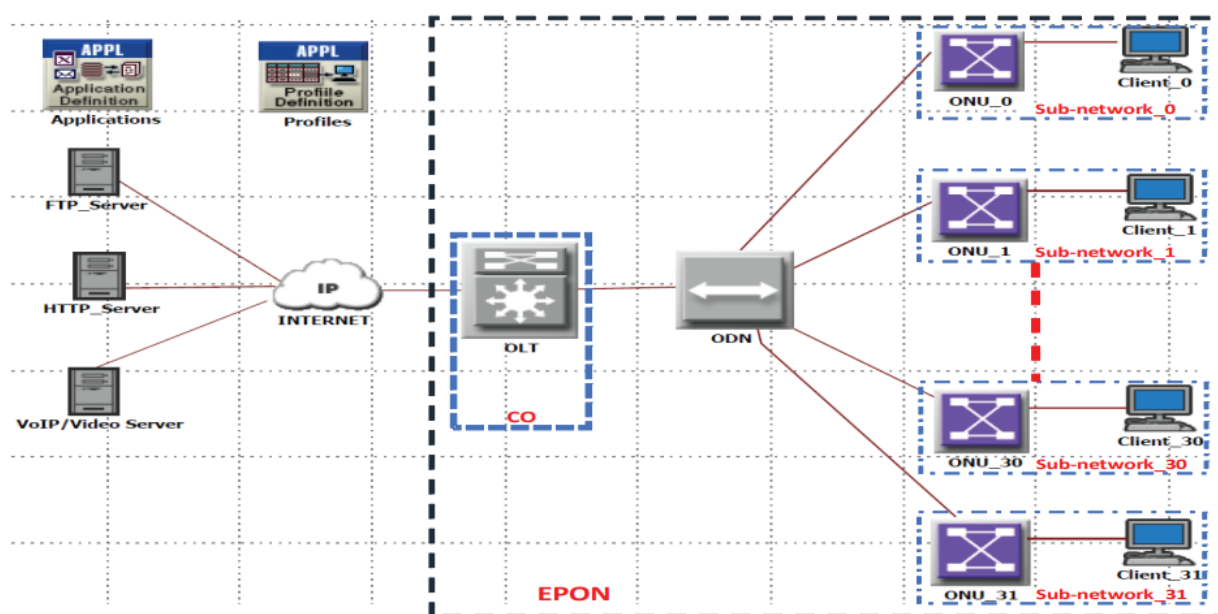


Рисунок 4.4 — Optimized Network Engineering Tools, універсальний мережевий симулятор

Обмеження: Попередньо побудовані моделі OPNET-моделювальника не можуть бути кумульовані. Для моделювання транспортного рівня доступні інші мережеві симулятори, такі як Scalable Simulation Framework Network (SSFNet), J-Sim, QualNet, Mat- PlanWDM [48].

4.2 Налаштування мережевого обладнання

Доступ через порт Gigabit Ethernet

Для того, щоб отримати доступ до OLT пристрою через порт GE, потрібно підключити кабель Ethernet до комп'ютера до будь-якого порту Gigabit Ethernet.

Крок 1. BDCOM EPON OLT мають фіксовану статичну IP-адресу в VLAN за замовчуванням. Можливо отримати цю IP-адресу через будь-який гігабітний порт. За замовчуванням IP-адреса BDCOM EPON OLT 172.16.0.1.

Для доступу до цієї IP-адреси потрібно змінити IP-адресу локальної мережі вашого ПК, використовуючи ту ж саму підмережу. Змінюємо IP-адресу ПК на 172.16.0.2 і маску підмережі 255.255.255.0.

Тепер можна отримати доступ до OLT через Telnet (172.16.0.1) або веб-управління <http://172.16.0.1>.

Доступ до консолі

Підключіть ваш ПК до консольного порту OLT за допомогою консольного кабелю. Консольний кабель доступний у OLT Packet. Для підключення потрібен перетворювач USB в послідовний порт.

Для отримання інтерфейсу CLI OLT потрібно використовувати спеціалізоване програмне забезпечення. І переконайтеся, ви вибрана швидкість 9600

BDCOM OLT IP за замовчуванням

IP=172.16.0.1.

Username – admin.

Password- admin.

Крок 2. Команди конфігурації BDCOM Epon OLT на стороні висхідної лінії зв'язку. BDCOM OLT має 4 порти і потрібно налаштувати різні VLAN для кожного порту epon, 4 порти epon з 4 різними VLAN.

Створюється VLAN 100 - 104 і налаштуємо висхідний порт GE1 як магістральний порт.

```

Username-admin
Password-admin
Switch>ena
Switch#config
Switch_config#vlan 100-104
Switch_config#show vlan

```

```

Switch>
Switch>
Switch>
Switch>enable
Switch#Jan 1 02:34:07 User admin enter privilege mode from console 0, level = 15

Switch#config
Switch_config#vlan 100-104
Creating VLAN(s),please wait...
OK!
Switch_config#Jan 1 02:34:23 %LINE-5-UPDOWN: Line on Interface VLAN100, changed state to
up

Switch_config#interface gigaEthernet 0/1
Switch_config_g0/1#no shutdown
Switch_config_g0/1#switchport mode trunk
Switch_config_g0/1#switchport trunk vlan-allowed all
Switch_config_g0/1#exit
Switch_config#sho
short-ifdescr show
Switch_config#show vlan
VLAN Status Name Ports
-----
1 Static Default g0/5, g0/6, g0/4, g0/3, g0/1
g0/2, epon0/1, epon0/2, epon0/3
epon0/4
100 Static VLAN0100 g0/1
101 Static VLAN0101 g0/1
102 Static VLAN0102 g0/1
103 Static VLAN0103 g0/1
104 Static VLAN0104 g0/1
Switch_config#
Switch_config#
Switch_config#

```

Рисунок 4.5 — Команди конфігурації BDCOM Epon OLT

Призначення IP-адреси для VLAN 100

```

Switch>ena
Ezoic
Switch#config

```

```
Switch_config#interface vLAN 100
Switch_config_v100#ip адреса 192.168.3.100 255.255.255.0
Switch_config#ip default-gateway 192.168.3.1
Switch_config#ip route 0.0.0.0 0.0.0.0 192.168.3.1
```

Ця команда для 8 і 16 port OLT.

Тут IP-адреса маршрутизатора 192.168.3.1, а IP-адреса OLT 192.168.1.200. Це приватна IP-адреса, тому можна легко отримати доступ до OLT, використовуючи цю IP-адресу з нашої локальної мережі.

Це все, що вже налаштовано для конфігурацій висхідного каналу OLT. Тепер необхідно налаштувати PON (пасивну оптичну мережу).

Крок 3: Команди конфігурації BDCOM Epon OLT для PON

На цьому кроці ми налаштуємо порт PON (пасивна оптична мережа) з VLAN. Кожен порт pon буде працювати як приватна VLAN. Наведемо статистику

Команди конфігурації BDCOM Epon OLT PON

1. PON PORT 1. Тепер налаштовується порт PON 1. Для цього потрібно спочатку отримати доступ до інтерфейсу pon, потім зробити порт pon активним за допомогою команди no shutdown, потім оголосити PON PORT 1 портом доступу, та призначити VLAN 101.

```
Switch_config#interface epon 0/1
Switch_config_epon0/1#no shutdown
Switch_config_epon0/1#switchport mode access
Switch_config_epon0/1#switchport pvid 101
Switch_config_epon0/1#exit
```

Успішно додали VLAN 101 до PON порту 1 . Запускаємо PON порт 2

2. PON PORT 2. Тепер необхідно налаштувати PON порт 2. Для цього потрібно спочатку отримати доступ до інтерфейсу pon, потім зробити порт pon активним за допомогою команди no shutdown, потім оголосити PON PORT 2 портом доступу, потім призначити VLAN 102.

```
Switch_config#interface epon 0/2
Switch_config_epon0/2#no shutdown
Switch_config_epon0/2#switchport mode access
```



```
Switch_config_epon0/2#switchport pvid 102
```

```
Switch_config_epon0/2#exit
```

3. PON PORT 3. Тепер ми налаштуємо PON порт 3. Для цього нам потрібно спочатку отримати доступ до інтерфейсу pon, потім зробити порт pon активним за допомогою команди no shutdown, потім оголосити PON PORT 3 портом доступу, потім призначити VLAN 103

```
Switch_config#interface epon 0/3
```

```
Switch_config_epon0/3#no shutdown
```

Налаштування повноцінної мережі за допомогою OPNsens. Створення повноцінної мережі за допомогою OPNsense (комутатор).

```
Switch_config_epon0/2#switchport
```

```
Switch_config_epon0/2#switchport pvid 103
```

```
Switch_config_epon0/2#exit
```

```
Switch_config#
Switch_config#
Switch_config#interface epon 0/1
Switch_config_epon0/1#no shutdown
Switch_config_epon0/1#switchport mode access
Switch_config_epon0/1#switchport pvid 101
Switch_config_epon0/1#exit
Switch_config#interface epon 0/2
Switch_config_epon0/2#no shutdown
Switch_config_epon0/2#switchport mode access
Switch_config_epon0/2#switchport pvid 102
Switch_config_epon0/2#exit
Switch_config#interface epon 0/3
Switch_config_epon0/3#no shutdown
Switch_config_epon0/3#switchport mode access
Switch_config_epon0/3#switchport pvid 103
Switch_config_epon0/3#exit
Switch_config#interface epon 0/4
Switch_config_epon0/4#no shutdown
Switch_config_epon0/4#switchport mode access
Switch_config_epon0/4#switchport pvid 104
Switch_config_epon0/4#exit
Switch_config#write all
Saving current configuration...
OK!
Now saving current ifindex to flash memory...
OK!
Switch_config#Jan 1 02:39:56 /startup-config is wrote, TID:82ec49b0
Jan 1 02:39:59 config.db is wrote, TID:82ec49b0
Jan 1 02:40:05 /ifindex-config is wrote, TID:82ec49b0
Switch_config#
```

Рисунок 4.5 — Успішна конфігурація BDCOM Epon OLT

4. PON PORT 4. Налаштування PON порту 4. Для цього потрібно спочатку отримати доступ до інтерфейсу pon, потім зробити порт pon активним за допомогою команди no shutdown, потім оголосити PON PORT 4 портом доступу, потім призначити VLAN 104

```
Switch_config#interface epon 0/4
Switch_config_epon0/4#no shutdown
Switch_config_epon0/4#switchport mode access
Switch_config_epon0/4#switchport pvid 104
Switch_config_epon0/2#exit
Switch_config#write all
```

Таким чином, було успішно налаштовано BDCOM EPON OLT. Було виконано і застосовано команди конфігурації BDCOM Epon OLT.

4.3 Тестування живлення мережі від сонячної енергостанції

Для того, щоб розробити модель сонячного живлення будемо використовувати PVsyst - це комплексне програмне забезпечення для проектування сонячних електростанцій, призначене для індустрії сонячної енергетики. Відомий своєю точністю та гнучкістю, PVsyst дозволяє користувачам вводити конкретні дані про свої сонячні системи та моделювати продуктивність за різних умов. Серед особливостей програми - моделювання різних технологій панелей, врахування затінення і специфічних факторів, а також оптимізація продуктивності системи на основі таких критеріїв, як виробництво енергії, вартість або викиди CO₂.

Переваги PVsyst. Точність. Використовує передові алгоритми і бази даних для точного моделювання, що дозволяє користувачам проектувати оптимізовані системи, пристосовані до їх місцезнаходження, метеорологічних даних і електричного навантаження.

Гнучкість. Дозволяє користувачам вводити широкий спектр даних і налаштовувати моделювання, оптимізуючи продуктивність системи за різних обставин і потенційно заощаджуючи витрати.

Простота використання. Спрощує введення даних, запуск моделювання та аналіз результатів для фахівців з сонячної енергетики. Вичерпна документація та ресурси підтримки доступні для покращення роботи користувачів.

Робочий процес складається з трьох основних етапів:

Введення даних. Користувачі вводять конкретні дані, такі як погодні дані, тип панелі, розмір системи та специфікації обладнання. PVsyst запускає моделювання на основі погодинних, щоденних або щомісячних даних, враховуючи такі фактори, як сонячне випромінювання, температура та затінення.

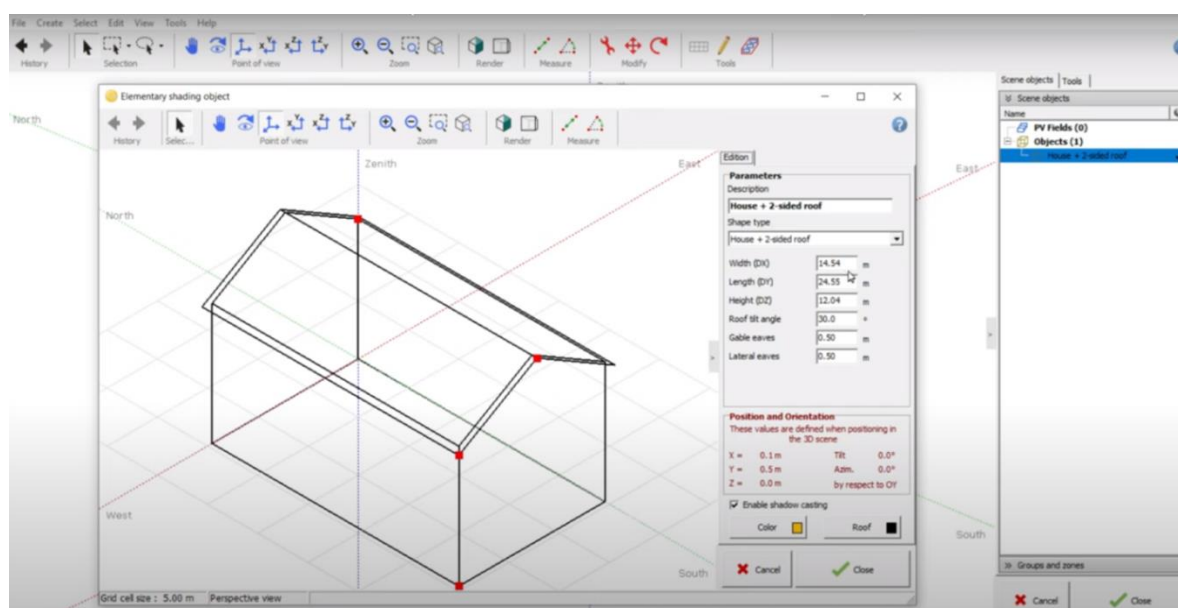


Рисунок 4.6 — PVsyst Введення даних

Аналіз: PVsyst пропонує інструменти аналізу, включаючи графіки і таблиці, що відображають ключові показники, такі як виробництво енергії, ефективність і вартість. Він підтримує чотири центральні системи проектування: Автономну, підключену до мережі, гібридну та сонячну теплову.

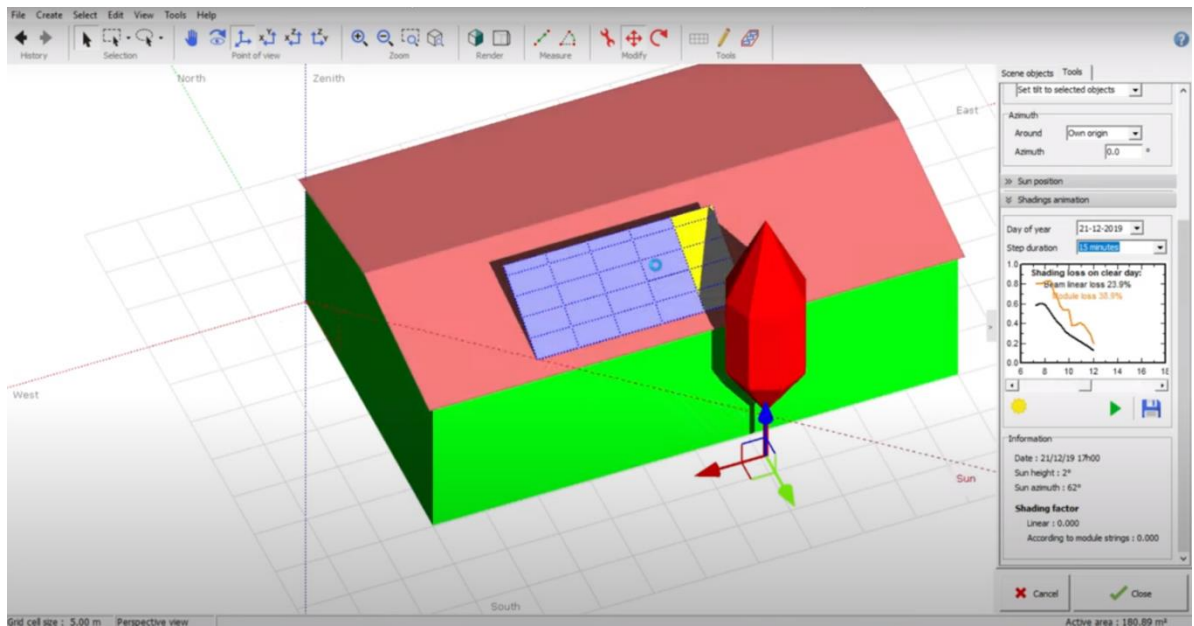


Рисунок 4.7 — Модель системи PVsyst

Автономна система: Під*ходить для невеликих, автономних сонячних систем (наприклад, віддалених кабін) для максимізації виробництва енергії та самозабезпечення.

Підключена до мережі система: Оптимізована для підключення до електромережі, вигідна для таких об'єктів, як житлові або комерційні будівлі, з акцентом на виробництво енергії та економію коштів.

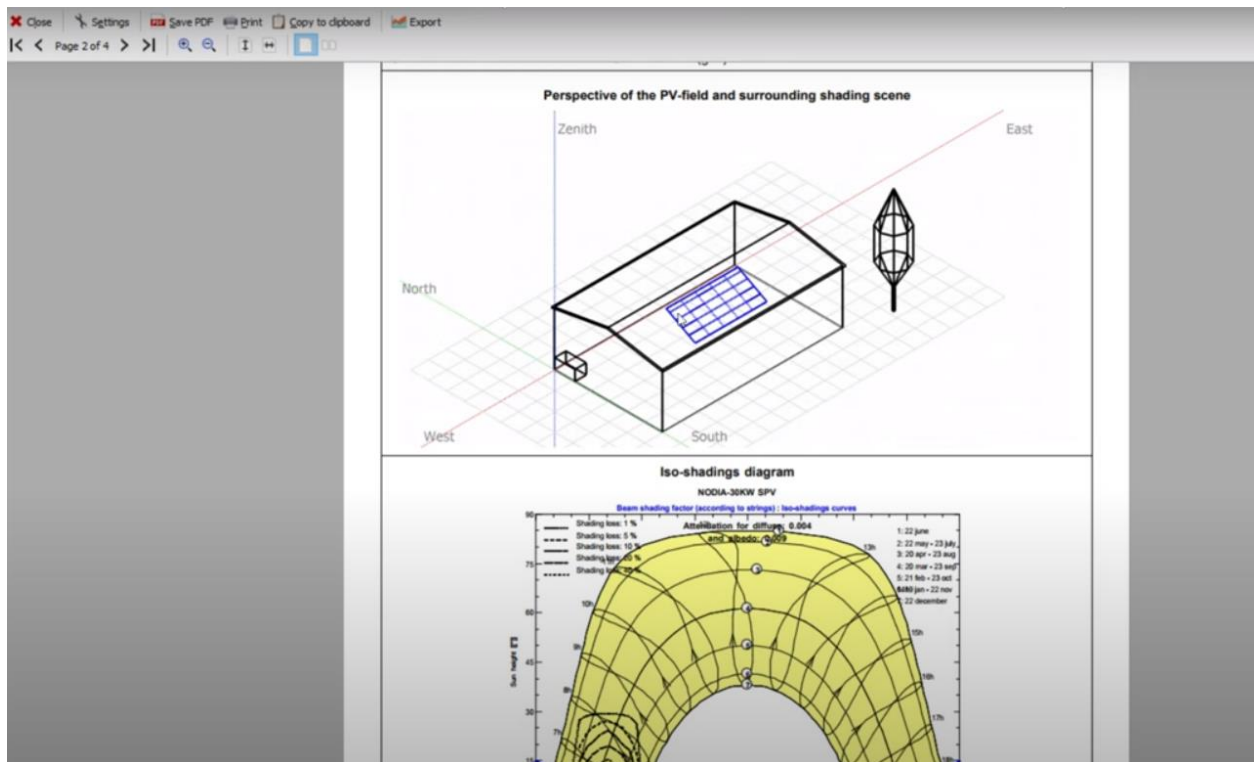


Рисунок 4.7 — Результат моделювання в системі PVsyst

Гібридна система: Призначена для систем, що поєднують різні технології (наприклад, фотоелектричні панелі, сонячні водонагрівачі), ідеально підходить для енергоефективних будинків або підприємств, які прагнуть скоротити викиди вуглецю.

Сонячна тепла система: Призначена для систем, що використовують сонячну енергію для виробництва тепла (наприклад, сонячні водонагрівачі або теплові електростанції), з застосуванням у промислових системах гарячого водопостачання або великомасштабного виробництва електроенергії. Стратегія вдосконалюється з урахуванням таких факторів, як температура, швидкість потоку та ефективність.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Комерційний та технологічний аудит науково-технічної розробки

Метою даного розділу є проведення технологічного аудиту, в даному випадку комп'ютерна мережа із застосуванням оптичної лінії зв'язку із автономним живленням.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є покращення автономності, підвищення надійності та розширення функціональних можливостей комп'ютерних мережа із застосуванням оптичних ліній зв'язку на основі запропонованих технічних рішень.

Особливістю програмної частини розробки є використання методики компенсації живлення комп'ютерних мереж, яка відрізняється від відомих застосуванням комплексного механізму адаптації живлення оптичних каналів зв'язку до зміни умов в електричних мережах, що дозволили підвищити надійність та автономність функціонування комп'ютерних мереж.

Аналогом може гігабітна локальна мережа PON 400 - 204500 грн.

Для проведення комерційного та технологічного аудиту залучають не менше 3-х незалежних експертів.

Оцінювання науково-технічного рівня розробки та її комерційного потенціалу рекомендується здійснювати із застосуванням п'ятибальної системи оцінювання за 12-ма критеріями, у відповідності із табл. 5.1.

Усі дані по кожному параметру занесено в таблиці 5.2

За даними таблиці 5.2 можна зробити висновок щодо рівня комерційного потенціалу даної розробки. Для цього доцільно скористатись рекомендаціями, наведеними в таблиці 5.3.

Особливістю програмної частини розробки є використання методики компенсації живлення комп'ютерних мереж, яка відрізняється від відомих застосуванням комплексного механізму адаптації живлення оптичних каналів зв'язку до зміни умов в електричних мережах, що дозволили підвищити надійність та автономність функціонування комп'ютерних мереж.

Таблиця 5.1 — Рекомендовані критерії оцінювання комерційного потенціалу розробки та їх можлива бальна оцінка

Бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Критерій	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено роботоздатність продукту в реальних умовах
	Багато аналогів на малому ринку	Риноків п Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
Ринкові переваги					
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкуренція немає

Практик на здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні дешеві та досяжні матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Як видно з таблиці, рівень комерційного потенціалу розроблюваного нового програмного продукту є високим, що досягається за рахунок застосування оптичної лінії зв'язку із автономним живленням.

Таблиця 5.2 — Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії оцінювання	ПІБ експертів		
	Експерт 1	Експерт 2	Експерт 3
	Бали		
Технічна здійсненність концепції	4	4	4
Наявність аналогів на ринку	4	4	4
Цінова політика	4	4	4
Технічні та споживчі властивості виробу	4	3	4
Експлуатаційні витрати	3	4	4
Ринок збуту	4	3	4
Конкурентоспроможність	3	4	4
Фахівці з технічної і комерційної реалізації	4	3	4
Фінансування	4	4	3
Матеріально-технічна база	4	4	3
Термін реалізації ідеї	4	4	4
Супровідна документація	4	3	3
Сума	46	44	45
Середньоарифметична сума балів	$(46+44+45) / 3 = 45$		

Таблиця 5.3 — Рівні комерційного потенціалу розробки

Середньоарифметична сума балів СБ, розрахована на основі висновків експертів	Рівень комерційного потенціалу розробки
0 - 10	Низький
11 - 20	Нижче середнього
21 - 30	Середній
31 - 40	Вище середнього
41 - 48	Високий

5.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної (дослідно-конструкторської) роботи

Основна заробітна плата розробників, яка розраховується за формулою:

$$Z_o = \frac{M}{T_p} \cdot t, \quad (5.1)$$

де M — місячний посадовий оклад конкретного розробника (дослідника), грн.;

T_p — число робочих днів за місяць, 20 днів;

t — число днів роботи розробника (дослідника).

Результати розрахунків зведемо до таблиці 5.4.

Таблиця 5.1 — Основна заробітна плата розробників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн.
Керівник проекту	35000	1750,00	40	70000,000
Інженер	30000	1500,00	40	60000,000
Всього				130000,00

Так як в даному випадку розробляється програмний продукт, то розробник виступає одночасно і основним робітником, і тестувальником розроблюваного програмного продукту.

Додаткова заробітна плата розробників, які приймали участь в розробці обладнання.

Додаткова заробітна плата прийнято розраховувати як 10 % від основної заробітної плати розробників та робітників:

$$Z_d = Z_o \cdot 10 \% / 100 \% \quad (5.2)$$

$$Z_d = (130000,00 \cdot 10 \% / 100 \%) = 13000,00 \text{ (грн.)}$$

Нарахування на заробітну плату розробників.

Згідно діючого законодавства нарахування на заробітну плату складають 22 % від суми основної та додаткової заробітної плати.

$$H_3 = (Z_o + Z_d) \cdot 22 \% / 100\% \quad (5.3)$$

$$H_3 = (130000,00 + 13000,00) \cdot 22 \% / 100 \% = 31460,00 \text{ (грн.)}$$

Оскільки для апаратної частини розроблювального пристрою було потрібно комплектуючі:

1. Розподільний оптичний бокс Crosver FOB-03-12(2 шт) – 53 785,00 грн
2. Оптичний бокс CROSVR FOB-19/3-016/16-5-72 (33 шт) – 1400 грн
3. Шафа настінна Mersan MC6U6045GS-GR (1 шт) – 1900,00 грн
4. Кабель оптичний FinMark UT002-SM-18 (м) - 6,29 грн
5. EPON концентратор BDCOM P3310 (1 шт) – 17,020 грн

то витрати на них занесемо в повному обсязі в вартість розробки:

$$B = 53785 + 1400 + 1900 + 6,29 + 17,02 = 57108,31 \text{ грн.}$$

Амортизація обладнання, яке використовувалось для проведення розробки.

Амортизація обладнання, що використовувалось для розробки в спрощеному вигляді амортизація обладнання, що використовувалась для розробки розраховується за формулою:

$$A = \frac{Ц}{T_{в}} \cdot \frac{t_{вик}}{12} \text{ [Грн.]}. \quad (5.4)$$

де Ц — балансова вартість обладнання, грн.;

T — термін корисного використання обладнання згідно податкового законодавства, років;

$t_{вик}$ — термін використання під час розробки, місяців.

Розрахуємо, для прикладу, амортизаційні витрати на комп'ютер балансова вартість якого становить 33000 грн., термін його корисного використання згідно податкового законодавства – 2 роки, а термін його фактичного використання – 2,00 міс.

$$A_{обл} = \frac{33000}{2} \times \frac{2}{12} = 2750 \text{ грн.}$$

Аналогічно визначаємо амортизаційні витрати на інше обладнання та приміщення. Розрахунки заносимо до таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 — Амортизаційні відрахування матеріальних і нематеріальних ресурсів для розробників

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн.	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн.
Комп'ютер та комп'ютерна периферія	33000	2	2,00	2750,000
Офісне обладнання	25000	4	2,00	1041,667
Приміщення	800000	20	2,00	6666,667
Ліцензійна ОС, та спеціалізовані ліцензійні нематеріальні ресурси (вартість менше 20000 грн - сума включається повністю))	1100	-	-	1100,000
Всього				11558,33

Тарифи на електроенергію для непобутових споживачів (промислових підприємств) відрізняються від тарифів на електроенергію для населення. При цьому тарифи на розподіл електроенергії у різних постачальників (енергорозподільних компаній), будуть різними. Крім того, розмір тарифу залежить від класу напруги (1-й або 2-й клас). Тарифи на розподіл електроенергії для всіх енергорозподільних компаній встановлює Національна комісія з регулювання енергетики і комунальних послуг (НКРЕКП). Витрати на силову електроенергію розраховуються за формулою:

$$V_e = V \cdot P \cdot \Phi \cdot K_{\Pi}, \quad (5.6)$$

де V — вартість 1 кВт-години електроенергії для 1 класу підприємства, $V = 6,2$ грн./кВт;

P — встановлена потужність обладнання, кВт. $P = 0,4$ кВт;

Φ — фактична кількість годин роботи обладнання, годин.

K_{Π} — коефіцієнт використання потужності, $K_{\Pi} = 0,9$.

$$B_e = 0,9 \cdot 0,4 \cdot 8 \cdot 40 \cdot 2,01 = 231,552 \text{ (грн.)}$$

Інші витрати та загальновиробничі витрати.

До статті «Інші витрати» належать витрати, які не знайшли відображення у зазначених статтях витрат і можуть бути віднесені безпосередньо на собівартість досліджень за прямими ознаками. Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуються як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників:

$$I_e = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{ib}}{100\%}, \quad (5.7)$$

де H_{ib} – норма нарахування за статтею «Інші витрати».

$$I_e = 130000,00 \cdot 55\% / 100\% = 71500 \text{ (грн.)}$$

До статті «Накладні (загальновиробничі) витрати» належать: витрати, пов'язані з управлінням організацією; витрати на винахідництво та раціоналізацію; витрати на підготовку (перепідготовку) та навчання кадрів; витрати, пов'язані з набором робочої сили; витрати на оплату послуг банків; витрати, пов'язані з освоєнням виробництва продукції; витрати на науково-технічну інформацію та рекламу та ін. Витрати за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати» розраховуються як 100...150% від суми основної заробітної плати дослідників:

$$H_{нзв} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{нзв}}{100\%}, \quad (5.8)$$

де $H_{нзв}$ — норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати».

$$H_{нзв} = 130000,00 \cdot 135\% / 100\% = 175500 \text{ (грн.)}$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи.

Сума всіх попередніх статей витрат дає загальні витрати на проведення науково-дослідної роботи:

$$B_{\text{заг}} = 130000,00 + 13000,00 + 31460,00 + 57108,31 + 11558,33 + 231,55 + 71500 + 175500 = 490358,20 \text{ грн.}$$

Розрахунок загальних витрат на науково-дослідну (науково-технічну) роботу та оформлення її результатів.

Загальні витрати на завершення науково-дослідної (науково-технічної) роботи та оформлення її результатів розраховуються ZB , визначається за формулою:

$$ZB = \frac{B_{\text{заг}}}{\eta} \text{ (грн)}, \quad (5.9)$$

де η — коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково-дослідної роботи.

Так, якщо науково-технічна розробка знаходиться на стадії: науково-дослідних робіт, то $\eta=0,1$; технічного проектування, то $\eta=0,2$; розробки конструкторської документації, то $\eta=0,3$; розробки технологій, то $\eta=0,4$; розробки дослідного зразка, то $\eta=0,5$; розробки промислового зразка, то $\eta=0,7$; впровадження, то $\eta=0,9$. Оберемо $\eta = 0,5$, так як розробка, на даний момент, знаходиться на стадії дослідного зразка:

$$ZB = 490358,20 / 0,5 = 700512 \text{ грн.}$$

5.3 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки за її можливої комерціалізації потенційним інвестором

В ринкових умовах узагальнювальним позитивним результатом, що його може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження результатів цієї чи іншої науково-технічної розробки, є збільшення у потенційного інвестора величини чистого прибутку. Саме зростання чистого прибутку забезпечить потенційному інвестору надходження додаткових коштів, дозволить покращити фінансові результати його діяльності, підвищить конкурентоспроможність та може позитивно вплинути на ухвалення рішення щодо комерціалізації цієї розробки.

Для того, щоб розрахувати можливе зростання чистого прибутку у потенційного інвестора від можливого впровадження науково-технічної розробки необхідно:

- вказати, з якого часу можуть бути впроваджені результати науково-технічної розробки;
- зазначити, протягом скількох років після впровадження цієї науково-технічної розробки очікуються основні позитивні результати для потенційного інвестора (наприклад, протягом 3-х років після її впровадження);
- кількісно оцінити величину існуючого та майбутнього попиту на цю або аналогічні чи подібні науково-технічні розробки та назвати основних суб'єктів (зацікавлених осіб) цього попиту;
- визначити ціну реалізації на ринку науково-технічних розробок з аналогічними чи подібними функціями.

При розрахунку економічної ефективності потрібно обов'язково враховувати зміну вартості грошей у часі, оскільки від вкладення інвестицій до отримання прибутку минає чимало часу. При оцінюванні ефективності інноваційних проектів передбачається розрахунок таких важливих показників:

- абсолютного економічного ефекту (чистого дисконтованого доходу);
- внутрішньої економічної дохідності (внутрішньої норми дохідності);

— терміну окупності (дисконтованого терміну окупності).

Аналізуючи напрямки проведення науково-технічних розробок, розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки за її можливої комерціалізації потенційним інвестором можна об'єднати, враховуючи визначені ситуації з відповідними умовами.

Розробка чи суттєве вдосконалення програмного засобу (програмного забезпечення, програмного продукту) для використання масовим споживачем.

В цьому випадку майбутній економічний ефект буде формуватися на основі таких даних:

$$\Delta\Pi_i = (\pm\Delta\Pi_0 \cdot N + \Pi_0 \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\vartheta}{100}\right), \quad (5.10)$$

де $\pm\Delta\Pi_0$ — зміна вартості програмного продукту (зростання чи зниження) від впровадження результатів науково-технічної розробки в аналізовані періоди часу;

N — кількість споживачів які використовували аналогічний продукт у році до впровадження результатів нової науково-технічної розробки;

Π_0 — основний оціночний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році після впровадження результатів наукової розробки, $\Pi_0 = \Pi_б \pm \Delta\Pi_0$;

$\Pi_б$ — вартість програмного продукту у році до впровадження результатів розробки;

ΔN — збільшення кількості споживачів продукту, в аналізовані періоди часу, від покращення його певних характеристик;

λ — коефіцієнт, який враховує сплату податку на додану вартість. Ставка податку на додану вартість дорівнює 20%, а коефіцієнт $\lambda = 0,8333$.

ρ — коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту;

ϑ — ставка податку на прибуток, у 2023 році $\vartheta = 18\%$.

Припустимо, що при прогнозованій ціні 85000 грн. за одиницю виробу, термін збільшення прибутку складе 3 роки. Після завершення розробки і її

вдосконалення, можна буде підняти її ціну на 1500 грн. Кількість одиниць реалізованої продукції також збільшиться: протягом першого року – на 500 шт., протягом другого року – на 800 шт., протягом третього року на 1000 шт. До моменту впровадження результатів наукової розробки реалізації продукту не було:

$$\Delta\Pi_1 = (0 \cdot 1500 + (85000 + 1500) \cdot 500) \cdot 0,8333 \cdot 0,15 \cdot (1 - 0,18) = 4356249,826 \text{ грн.}$$

$$\Delta\Pi_2 = (0 \cdot 1500 + (85000 + 1500) \cdot (500 + 800)) \cdot 0,8333 \cdot 0,15 \cdot (1 - 0,18) = 11526124,539 \text{ грн.}$$

$$\Delta\Pi_3 = (0 \cdot 1500 + (85000 + 1500) \cdot (500 + 800 + 1000)) \cdot 0,8333 \cdot 0,15 \cdot (1 - 0,18) = 20392374,184 \text{ грн.}$$

Отже, комерційний ефект від реалізації результатів розробки за три роки складе 36274748,55 грн.

5.4 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності

Розраховуємо приведену вартість збільшення всіх чистих прибутків $ПП$, що їх може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки:

$$ПП = \sum_1^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1 + \tau)^t}, \quad (5.11)$$

де $\Delta\Pi_i$ — збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої науково-дослідної (науково-технічної) роботи, грн;

T — період часу, протягом якого виявляються результати впровадженої науково-дослідної (науково-технічної) роботи, роки;

τ — ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні, $\tau = 0,05 \dots 0,15$;

t — період часу (в роках).

Збільшення прибутку ми отримаємо починаючи з першого року:

$$\text{ПП} = (4356249,826/(1+0,1)^1) + (11526124,539/(1+0,1)^2) + (20392374,184/(1+0,1)^3) = 3960227,11 + 9525722,76 + 15321092,6 = 28807042,42 \text{ грн.}$$

Далі розраховують величину початкових інвестицій PV , які потенційний інвестор має вкласти для впровадження і комерціалізації науково-технічної розробки. Для цього можна використати формулу:

$$PV = k_{инв} * ZB, \quad (5.12)$$

де $k_{инв}$ — коефіцієнт, що враховує витрати інвестора на впровадження науково-технічної розробки та її комерціалізацію. Це можуть бути витрати на підготовку приміщень, розробку технологій, навчання персоналу, маркетингові заходи тощо; зазвичай $k_{инв} = 2...5$, але може бути і більшим;

ZB — загальні витрати на проведення науково-технічної розробки та оформлення її результатів, грн.

$$PV = 2 * 700512 = 1401023,42 \text{ грн.}$$

Тоді абсолютний економічний ефект $E_{абс}$ або чистий приведений дохід (NPV, Net Present Value) для потенційного інвестора від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки становитиме:

$$E_{абс} = \text{ПП} - PV, \quad (5.13)$$

$$E_{абс} = 28807042,42 - 1401023,42 = 27406019,01 \text{ грн.}$$

Оскільки $E_{abc} > 0$ то вкладання коштів на виконання та впровадження результатів даної науково-дослідної (науково-технічної) роботи може бути доцільним.

Для остаточного прийняття рішення з цього питання необхідно розрахувати внутрішню економічну дохідність або показник внутрішньої норми дохідності (IRR, Internal Rate of Return) вкладених інвестицій та порівняти її з так званою бар'єрною ставкою дисконтування, яка визначає ту мінімальну внутрішню економічну дохідність, нижче якої інвестиції в будь-яку науково-технічну розробку вкладати буде економічно недоцільно.

Розрахуємо відносну (щорічну) ефективність вкладених в наукову розробку інвестицій E_g . Для цього використаємо формулу:

$$E_g = \sqrt[T_{жс}]{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1, \quad (5.14)$$

$T_{жс}$ — життєвий цикл наукової розробки, роки.

$$E_g = \sqrt[3]{(1 + 27406019,01/1401023,42) - 1} = 1,740$$

Визначимо мінімальну ставку дисконтування, яка у загальному вигляді визначається за формулою:

$$\tau = d + f, \quad (5.15)$$

де d — середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2023 році в Україні $d = (0,09...0,14)$;

f — показник, що характеризує ризикованість вкладень; зазвичай, величина $f = (0,05...0,5)$.

$$\tau_{\min} = 0,14 + 0,05 = 0,19.$$

Так як $E_B > \tau_{\min}$, то інвестор може бути зацікавлений у фінансуванні даної наукової розробки.

Розрахуємо термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій за формулою:

$$T_{ок} = \frac{1}{E_e}, \quad (5.16)$$

$$T_{ок} = 1 / 1,740 = 0,57 \text{ р.}$$

Оскільки $T_{ок} < 3$ -х років, а саме термін окупності рівний 0,57 роки, то фінансування даної наукової розробки є доцільним.

Економічна частина роботи містить розрахунок витрат на розробку нового програмного продукту, сума яких складає 700512 гривень. Було спрогнозовано орієнтовану величину витрат по кожній з статей витрат. Також розраховано чистий прибуток, який може отримати виробник від реалізації нового технічного рішення, розраховано період окупності витрат для інвестора та економічний ефект при використанні даної розробки. В результаті аналізу розрахунків можна зробити висновок, що розроблений програмний продукт за ціною дешевший за аналог і є висококонкурентоспроможним. Період окупності складе близько 0,57 роки.

ВИСНОВКИ

Через постійний попит на більшу пропускну здатність комп'ютерних мереж, оптичні транспортні технології поступово стає загальноприйнятими в мережах доступу, де оптоволоконні технології можуть забезпечити ефективні рішення для поточних і майбутніх вимог. Традиційні транспортні рішення "точка-точка" є дорогими у використанні для доступу до житла і бізнесу, і тому в даний час розробляються більш економічні рішення. Для вирішення цієї проблеми альтернативою мережам доступу є пасивна оптична мережа.

Проведено аналіз сучасних методів і засобів передачі інформації у оптичних системах зв'язку, визначено особливості їх функціонування та шляхи збільшення пропускну спроможності, дальності та надійності зв'язку, зокрема досліджено перспективи використання адаптивних оптичних каналів зв'язку та систем із автономним живленням.

В ході роботи були розглянуті технології оптичних мереж, які мають вищу пропускну здатність, меншу вартість обслуговування і більший термін служби, конфігурація сценарію для технології PON та їх оцінка, головним чином, з точки зору їх пропускну здатності і пріоритетів портів абонентів з метою перевірки роботи цих мереж.

Енергоефективність в комп'ютерних мережах є важливою темою досліджень, що викликане постійним зростанням енергоспоживання інформаційних комп'ютерних мереж. Було розглянуто протоколи енергозбереження та енергоефективні архітектури для різних доменів телекомунікаційних мереж, а саме: магістральних, міських та мереж доступу, з особливим акцентом на мережі, що використовують оптичні технології. Також були розглянуті важливі додатки, що моделюють оптичні мережі даних.

У цілому, розробка мережі доступу PON є складною та багатокритеріальною задачею, яка вимагає знань технологій, правил проектування комп'ютерних мереж, технічного розрахунку параметрів та вибору типів обладнання.

Проектування таких видів мереж забезпечує якісне та стабільне інтернет-з'єднання для великої кількості абонентів. При правильний підбір параметрів мережі, оптимізація ресурсів та розрахунок навантаження дозволяють досягти максимальної пропускної спроможності та надійності мережі.

Висновки до економічної частини роботи містить розрахунок витрат на розробку нового програмного продукту, сума яких складає 700512 гривень. Було спрогнозовано орієнтовану величину витрат по кожній з статей витрат. Також розраховано чистий прибуток, який може отримати виробник від реалізації нового технічного рішення, розраховано період окупності витрат для інвестора та економічний ефект при використанні даної розробки. В результаті аналізу розрахунків можна зробити висновок, що розроблений програмний продукт за ціною дешевший за аналог і є висококонкурентоспроможним. Період окупності складе близько 0,57 роки.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Азаров О. Д. Комп'ютерні мережі : підручник / Азаров О. Д., Захарченко С. М., Кадук О. В. та ін. Вінниця : ВНТУ, 2020. – 378 с. ISBN 978-966-641-808-4.
2. Нікітюк Л.А. Архітектура інформаційних мереж: Навч. Посібник/ За ред. М.В. Захарченка – Одеса: УДАЗ ім. О.С.Попова, 2000. – 60 стор.
3. Микитишин А.Г., Митник М.М., Стухляк П.Д., Пасічник В.В. Комп'ютерні мережі. Книга 1. Львів, «Магнолія 2006». 2013. 256 с. 27. Микитишин А.Г., Митник М.М., Стухляк П.Д., Пасічник В.В. Комп'ютерні мережі. Книга 2. Львів, «Магнолія 2006». 2013. 328 с.
4. Бірюков М.Л., Стеклов В.К., Костік Б.Я. Транспортні мережі телекомунікацій: Системи мультиплексування: Підручник для студентів вищ. техн. закладів; За ред. В.К. Стеклова. – К.: Техніка, 2005. – 312 с.
5. Валецька Т. М. Комп'ютерні мережі. Апаратні засоби. Навчальний посібник. - К.: Центр навчальної літератури, 2002. -208с.
Зайченко Ю. П. Основи проектування інтелектуальних систем: навчальний посібник / Ю. П. Зайченко. – К. :106 Видавничий Дім «Слово», 2004. – 352 с.
6. Harry G. Perros. Connection-Oriented Networks: SONET/SDH, ATM, MPLS and Optical Networks. - John Wiley & Sons, 2005. – 356 с.
7. Mehmet Toy. Cable Networks, Services, and Management. - John Wiley & Sons, 2015. – 376 с.
8. Specifications Library [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://www.cablelabs.com/specs>
9. Технологія оптичної мережі PON [стаття Deps.ua]. – 2013. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://deps.ua/ua/knowegable-base/reference-information/item/66122.html>
10. Закон України «Про телекомунікації» // Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2004, № 12, ст.155.

11. The Zettabyte Era: Trends and Analysis / [Electronic resource] / Cisco Inc. – June 7, 2017. – Режим доступу: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/vni-hyperconnectivity-wp.html> – Заголовок з екрану. – Дата доступу: 15.03.2018.
12. Перспективні телекомунікаційні технології мереж широкосмугового доступу: монографія / [В.О. Балашов, А.Г. Лашко, Л.М. Ляховецький, В.І. Орешков, В.В. Педяш, О.С. Решетнікова, А.В. Солдаткіна]. – Одеса: КУПРІЄНКО СВ, 2016. – 200 с.: 118 рис., 35 табл. ISBN 978-966-2769-98-2.
13. ITU-T. Recommendation G.983.1: Broadband optical access systems based on Passive Optical Networks (PON). [Text]. – Appr. 2005, January. – Geneva, 2005. – 124 p.
14. ITU-T. Recommendation G.984.2: Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): Physical Media Dependent (PMD) layer specification. [Text]. – Appr. 2003, March. – Geneva, 2003. – 38 p.
15. ITU-T. Recommendation G.987.2: 10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): Physical media dependent (PMD) layer specification. [Text]. – Appr. 2010, October. – Geneva, 2010. – 38 p.
16. ITU-T. Recommendation G.989.2: 40-Gigabit-capable passive optical networks 2 (NG PON2): Physical media dependent (PMD) layer specification. [Text]. – Appr. 2014, December. – Geneva, 2014. – 110 p.
17. ITU-T. Recommendation G.982: Optical access networks to support services up to the ISDN primary rate or equivalent bit rates. [Text]. – Appr. 1996, November. – Geneva, 1996. – 29 p.
18. ITU-T. Recommendation G.652: Characteristics of a single-mode optical fibre and cable. [Text]. – Appr. 2009, November. – Geneva, 2009. – 22 p.
19. Global broadband subscriber numbers – Q1 2014. 690.1m subscribers worldwide at the end of Q1 2014 [Электронный ресурс] / Point Topic Ltd. – Режим доступу: <http://point-topic.com/free-analysis/global-broadband-subscriber-numbers-q1-2014/>. – Дата доступу: 02.09.2015.

20. World Fixed Broadband Statistics – Q4 2018 [Електронний ресурс] / Point Topic Ltd. – Режим доступу: <http://point-topic.com/free-analysis/world-fixed-broadband-statistics-q4-2018/>. – Дата доступу: 25.03.2019.

21. ГБН В.2.2-34620942-002:2015 Лінійно-кабельні споруди телекомунікацій. Проектування.

22. Управлінський облік операційної діяльності підприємств оптової торгівлі: монографія / П. О. Куцик, В. І. Бачинський, О. А. Полянська; ред.: П. О. Куцик; Львів. комерц. акад. — Львів: Растр-7, 2015. — 311 с. — Бібліогр.: с. 292—311.

23. Телекомунікаційні та інформаційні мережі: Підручник (для вищих навчальних закладів) / П.П. Воробієнко, Л.А. Нікітюк, П.І. Резніченко. – К.: САММІТ-Книга, 2010. – 708 с.: іл. (Електронний ресурс) / Спосіб доступу: URL: <http://ktpu.kpi.ua/wp-content/uploads/2014/02/Vorobiyenko-P.P.-Telekomunikatsijni-ta-informatsijni-merezhi.pdf>.

24. DESIGN OF PASSIVE OPTICAL NETWORK, Juan Salvador Asensi Pla, BRNO, 2011, page 42.

25. Проектування та експлуатація сучасних мереж широкосмугового доступу: навч. посіб. для дипломного проектування та магістерських робіт / [В.О. Балашов, А.Г. Лашко, Л.М. Ляховецький, В.І. Орешков]. – Одеса: РВЦ ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2019. – 267 с.

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

27. Wavelength-division-multiplexed passive optical network (WDM-PON) technologies for broadband access // ResearchGate URL: <https://www.researchgate.net/publication/228633882>

28. J. George Designing passive optical networks for cost effective triple play support. Флорида: 2004.

29. C. Brackett Dense wavelength division multiplexing networks: principles and applications. 1990.

30. Архітектура і технологія побудови мережі доступу. Моделі й архітектура мережі доступу. [Електрон. Ресурс]: Спосіб доступу: URL: <http://www.znanius.com>

31. Гаскевич Е., Петренко І., Убайдуллаєв Р. Волоконно-оптичні мережі доступу для районів малоповерхової забудови. - Вісник зв'язку, 2011, №4. [Електрон ресурс].— Режим доступу: <https://www.fiber-optical-networking.com/tag/wdm-pon>

32. 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.

33. Overview of GPON Technology, 2016 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://community.fs.com/blog/overview-of-gpon-technology.html>

34. The Fundamentals of Passive Optical Networking (PON), 2023 [Електронний ресурс].—Режим доступу: <https://www.prooptix.com/news/passive-optical-networking/>

35. Маркетинг: Підручник / В. Руделіус, О. М. Азарян, Н. О. Бабенко та ін: Ред.-упоряд. О. І. Сидоренко, Л. С. Макарова. 2-е вид. — К.: Навчально-видавничий центр «Консорціум із удосконалення менеджмент-освіти в Україні», 2008. — 648 с.

36. Маркетинг: підруч. для студ. вищ. навч. закл. / Л. А. Мороз, Н. І. Чухрай ; за ред. Л. А. Мороз ; М-во освіти і науки України. — 4-те вид., без змін. — Л. : Інтеллект-Захід, 2009. — 244 с. : іл. — Бібліогр.: с. 239—240 (30 назв). — ISBN 978-966-7597-74-0

ДОДАТОК А**Технічне завдання**

Міністерство освіти та науки України

Вінницький національний технічний університет

Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії

Кафедра обчислювальної техніки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ОТ

_____ проф., д.т.н. О. Д. Азаров

«___» _____ 20__ р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи

«Комп'ютерна мережа із застосуванням оптичної лінії зв'язку із автономним
живленням»

08-54.МКР.018.00.000 ПЗ

Науковий керівник

к.т.н., доц. каф. ОТ

_____ Черняк О.І.

виконав:

магістрант 2 курсу,

_____ Ситников В. Д.

Вінниця 2023

1. Підстава виконання магістерської кваліфікаційної роботи

1.1 Одним із найбільш актуальних напрямів розвитку комп'ютерних мереж є їх підключення до всесвітньої мережі Інтернет. Зростаючий попит на якість, кількість і швидкість в комп'ютерних мережах є ключовим фактором, що стимулює постійні дослідження, інновації та конкуренцію серед постачальників послуг. Зараз вважається, що Інтернет, від якого залежить багато послуг, готовий стати справді повсюдним, надаючи послуги будь-де і будь-коли, забезпечуючи зв'язок між людьми, об'єктами і речами

1.2 Наказ про затвердження теми МКР

2 Мета і призначенням МКР

2.1 Метою роботи є вдосконалення енергоефективності і пропускну здатності комп'ютерних мереж із застосуванням оптичних ліній зв'язку.

2.2 Призначення розробки — виконання магістерської кваліфікаційної роботи.

3 Вихідні дані для виконання МКР

Вихідні дані для виконання МКР: методи засновані на класичних алгоритмах проектування комп'ютерних мереж, пасивна оптична мережа засоби налаштування оптичних комутаторів та абонентських пристроїв.

4 Вимоги до виконання МКР

МКР повинна задовольняти такі вимоги:

- забезпечити функціонування комп'ютерної мережі в умовах відсутності централізованого електропостачання;
- провести моделювання та тестування системи;

5 Етапи МКР та очікувані результати

Етапи роботи та очікувані результати приведено в табл. А.1.

6 Матеріали, що подаються до захисту МКР

До захисту МКР подаються: пояснювальна записка МКР, ілюстративні та графічні матеріали, протокол попереднього захисту МКР на кафедрі, відзив наукового керівника, відзив опонента, протоколи складання державних екзаменів, анотації до МКР українською та іноземною мовами, довідка про відповідність оформлення МКР діючим вимогам.

Таблиця А.1 — Етапи МКР

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Прим.
1	Постановка мети та задач роботи	21.10.23	
2	Основні функціональні аспекти комп'ютерного мереж із ОЛЗ	25.10-30.10.23	
3	Проектування апаратного забезпечення системи	31.10-08.11.23	
4	Складання структурної схеми системи, що розробляється	09.11-15.11.23	
5	Підбір на налаштування технічних засобів	16.11-.20.11.23	
6	Використання інструментів розробки	21.11-25.11.23	
7	Комп'ютерне моделювання енергетичних складових мережі	26.11-31.11.23	
8	Перевірка запропонованих рішень	01.12-04.12.23	
9	Розрахунок економічної частини роботи	01.12-04.12.23	
10	Оформлення пояснювальної записки та ілюстративного матеріалу	05.12.23	
11	Аналіз виконання роботи, висновки, додатки		
12	Перевірка якості виконання магістерської роботи та усунення недоліків		

7 Порядок контролю виконання та захисту МКР

Виконання етапів розрахункової та графічної документації МКР контролюється науковим керівником згідно зі встановленими термінами. Захист МКР відбувається на засіданні Державної екзаменаційної комісії, затвердженою наказом ректора.

8 Вимоги до оформлення МКР

8.1 При оформлюванні МКР використовуються:

— ДСТУ 3008: 2015 «Звіти в сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання»;

— ДСТУ 8302: 2015 «Бібліографічні посилання. Загальні положення та правила складання»;

— Методичні вказівки до виконання магістерських кваліфікаційних робіт зі спеціальності 123 — «Комп'ютерна інженерія». Кафедра обчислювальної техніки ВНТУ 2022.

8.2 Порядок виконання МКР викладено в «Положення про кваліфікаційні роботи на другому (магістерському) рівні вищої освіти СУЯ ВНТУ–03.02.02 П.001.01:21.

ДОДАТОК Б

Логічна модель доступу до послуг комп'ютерної мережі засобами пасивних оптичних мереж

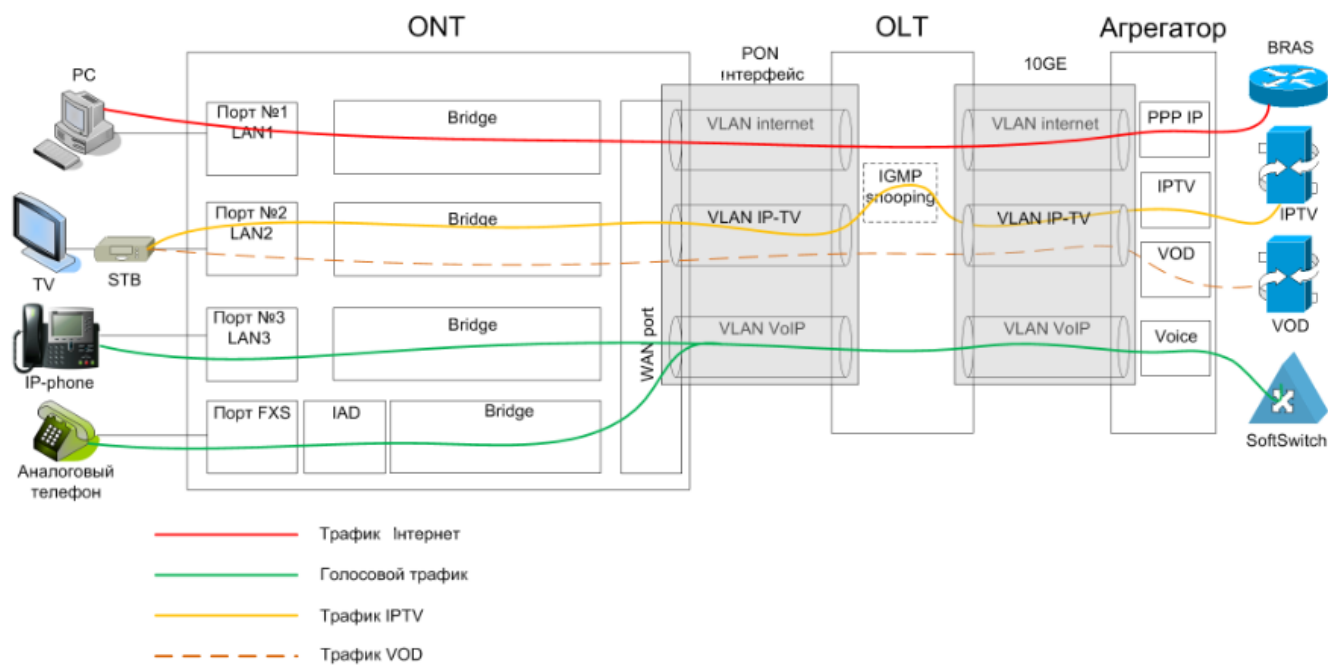


Рисунок Б1 — Логічна модель доступу до послуг комп'ютерної мережі засобами пасивних оптичних мереж

ДОДАТОК В

Міжмережна взаємодія Інтернету та кінцевих споживачів комп'ютерної мережі

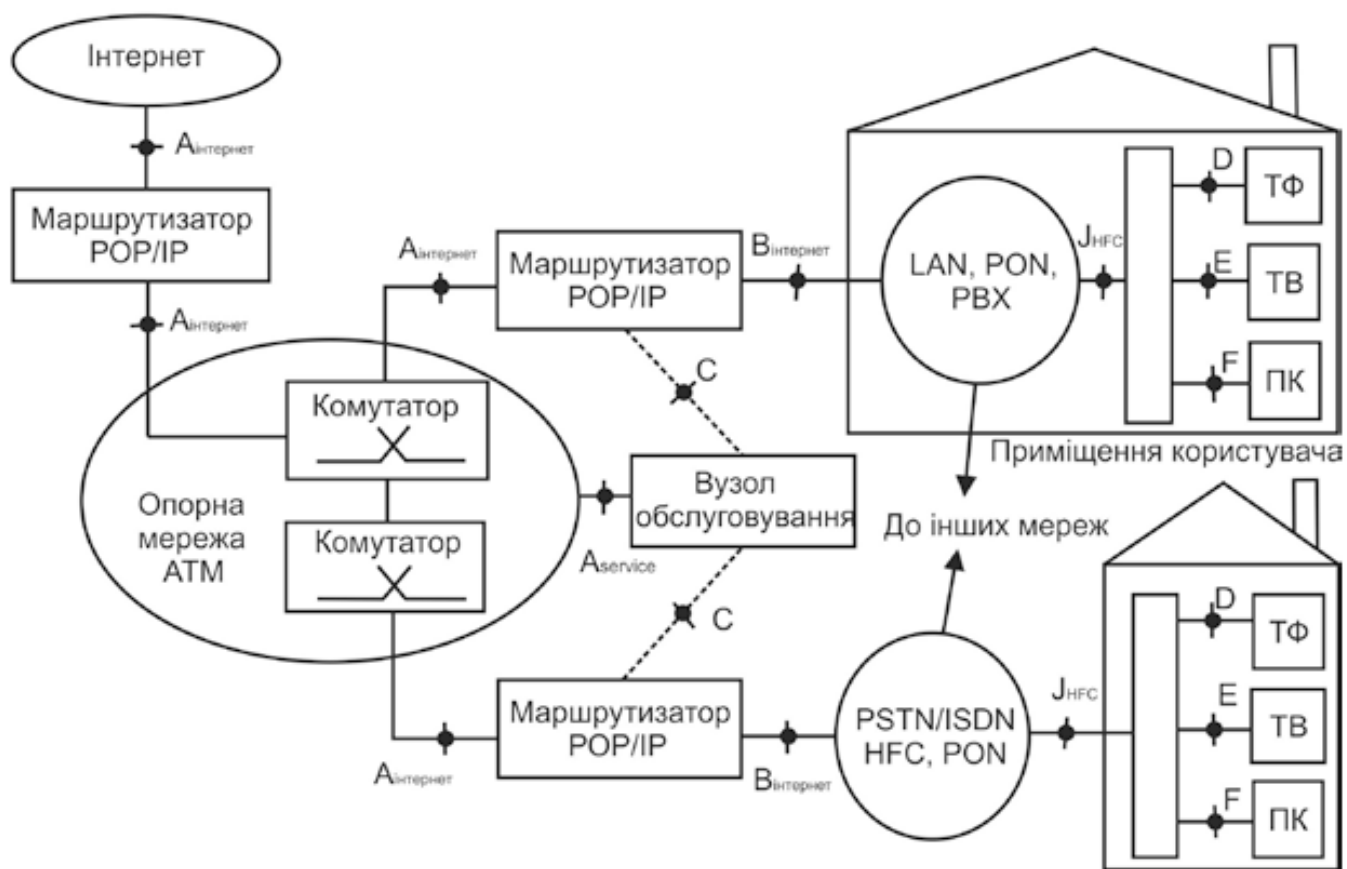


Рисунок В1 — Міжмережна взаємодія Інтернету та кінцевих споживачів комп'ютерної мережі

ДОДАТОК Г

Структурна схема підключення абонентів мережі до PON точки

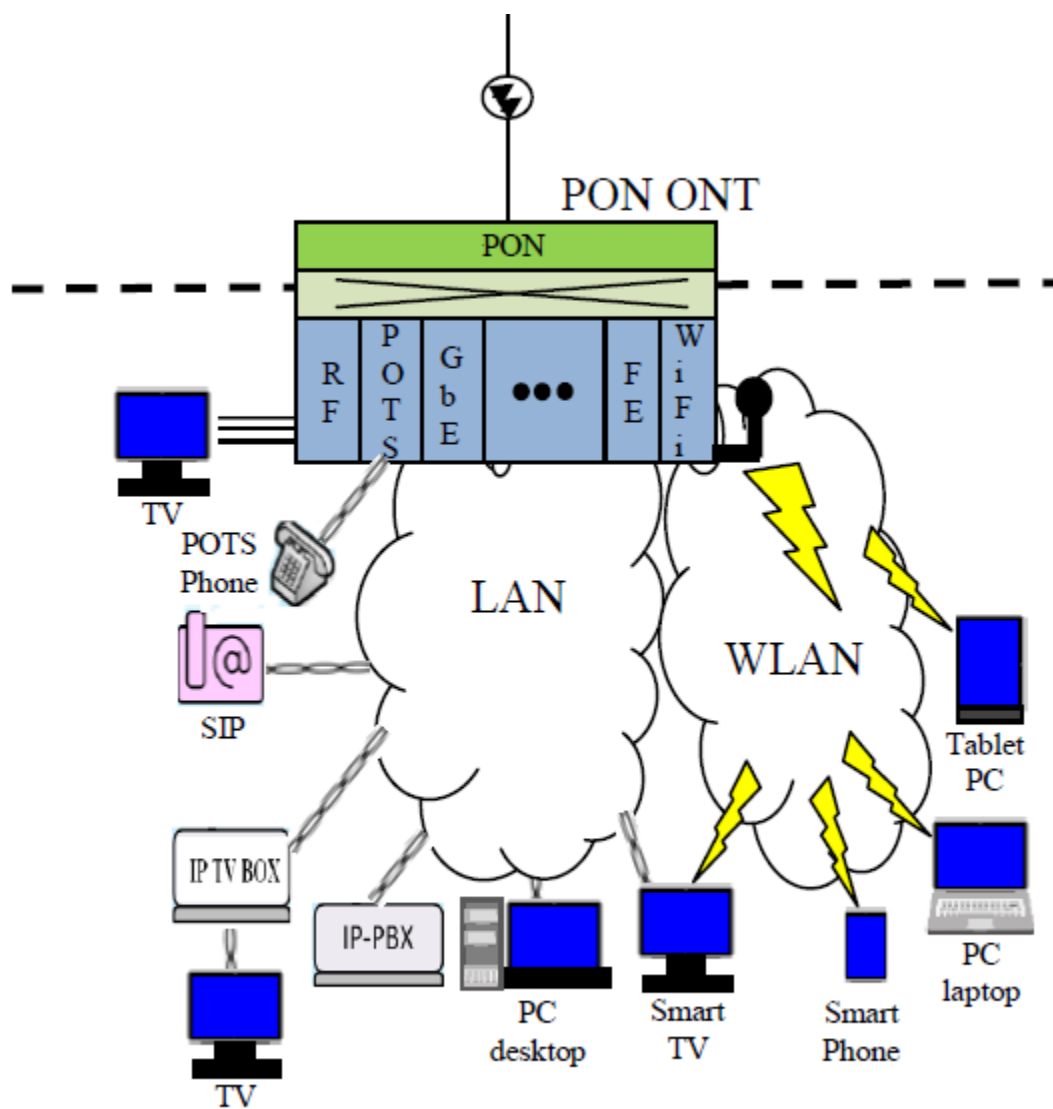


Рисунок Г1 — Структурна схема підключення абонентів мережі до PON точки

ДОДАТОК Д

Налаштування параметрів PON компонента комп'ютерної мережі

Код налаштування

```

interface gpon-onu_1/9/1:1
sn-bind enable sn
tcont 1 name T-INET profile UP-1GB

gempport 1 name G-INET tcont 1
gempport 1 traffic-limit downstream DOWN-1GB
switchport mode trunk vport 1
exit

pon-onu-mng gpon-onu_1/9/1:1
gempport 1 flow 1
vlan port eth_0/1 mode tag vlan 2200
exit

interface gpon-onu_1/9/1:1
service-port 1 user-vlan 2200 vlan 2200
exit

pon-onu-mng gpon-onu_1/9/1:1
vlan port eth_0/1 mode tag vlan 2200
exit

```

Результат виконання

```

ZXAN(config)#interface gpon-onu_1/9/1:1
ZXAN(config-if)#sn-bind enable sn
ZXAN(config-if)#tcont 1 name T-INET profile UP-1GB
ZXAN(config-if)#
ZXAN(config-if)#gempport 1 name G-INET tcont 1
ZXAN(config-if)#gempport 1 traffic-limit downstream DOWN-1GB
ZXAN(config-if)#switchport mode trunk vport 1
ZXAN(config-if)#exit
ZXAN(config)#
ZXAN(config)#pon-onu-mng gpon-onu_1/9/1:1
ZXAN(gpon-onu-mng 1/9/1:1)#gempport 1 flow 1
ZXAN(gpon-onu-mng 1/9/1:1)#vlan port eth_0/1 mode tag vlan 2200
ZXAN(gpon-onu-mng 1/9/1:1)#exit
ZXAN(config)#
ZXAN(config)#interface gpon-onu_1/9/1:1
ZXAN(config-if)#service-port 1 user-vlan 2200 vlan 2200
ZXAN(config-if)#exit
ZXAN(config)#
ZXAN(config)#pon-onu-mng gpon-onu_1/9/1:1
ZXAN(gpon-onu-mng 1/9/1:1)#vlan port eth_0/1 mode tag vlan 2200
ZXAN(gpon-onu-mng 1/9/1:1)#exit
ZXAN(config)#

```


ДОДАТОК Е

Схема організації підключення оптичної лінії

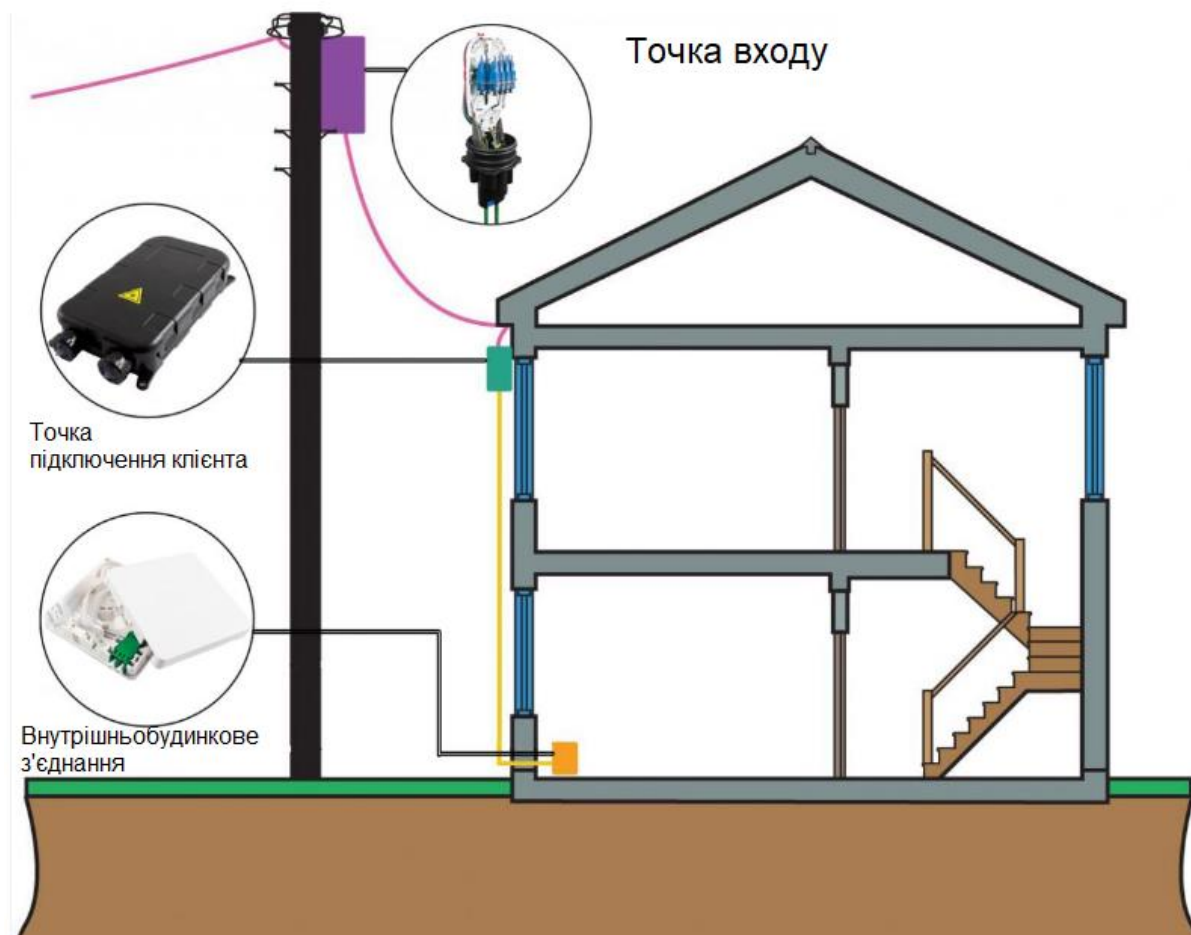


Рисунок Е1 — Схема організації підключення оптичної лінії

ДОДАТОК Ж

Нормальний та аварійний режими живлення оптичної комп'ютерної системи

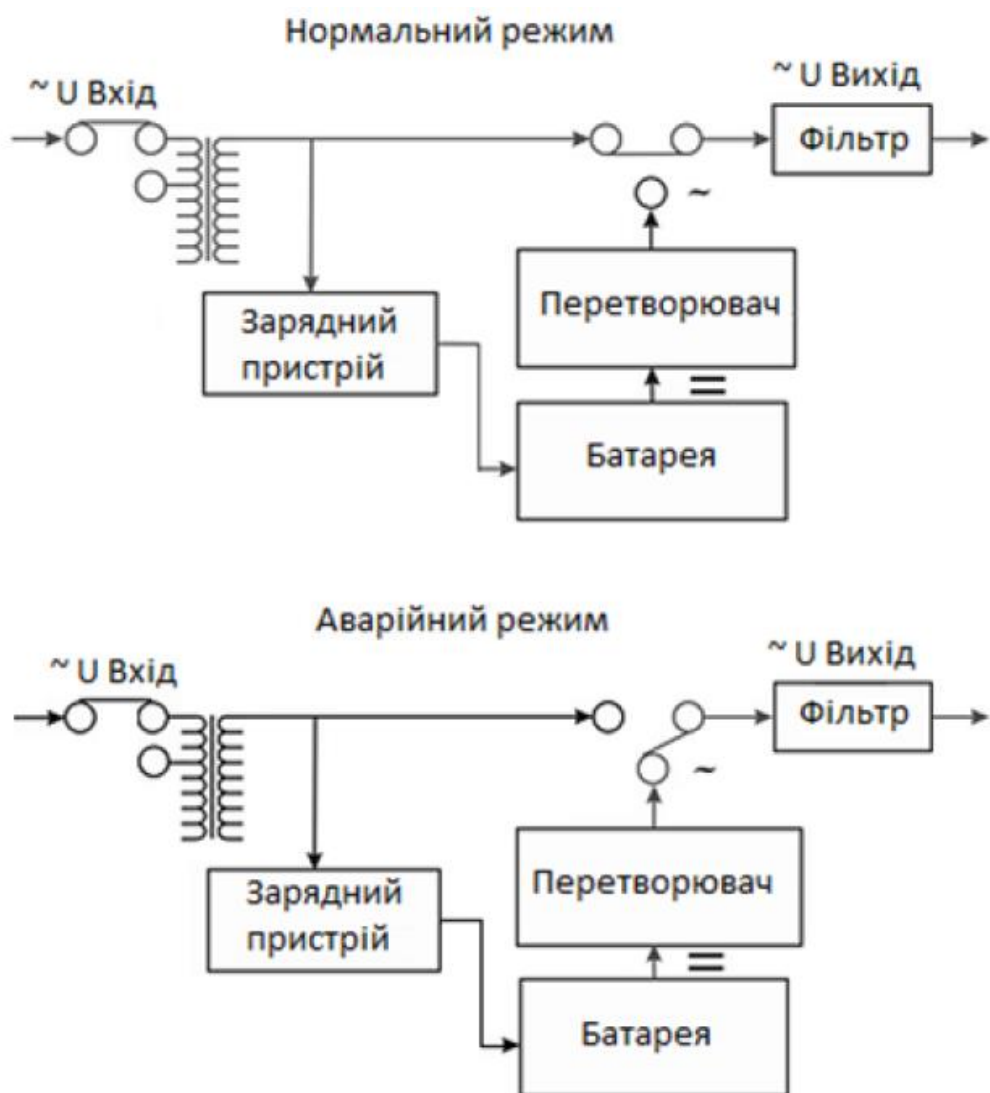


Рисунок Ж1 — Нормальний та аварійний режими живлення оптичної комп'ютерної системи

ДОДАТОК Ж
ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Комп'ютерна мережа із застосуванням оптичної лінії зв'язку із автономним живленням

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота
(БДР, МКР)

Підрозділ кафедра обчислювальної техніки
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unicheck

Оригінальність _____ Схожість _____

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
- Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку _____ Захарченко С.М.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи _____ Ситников В. Д.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи _____ Черняк О.І.
(підпис) (прізвище, ініціали)