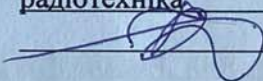


Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра інфокомунікаційних систем і технологій

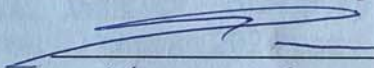
Бакалаврська дипломна робота на тему:

**АДАПТАЦІЯ АЛГОРИТМІВ ТЕХНОЛОГІЇ PON ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ
ШИРОКОСМУГОВОГО ДОСТУПУ**

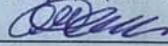
Виконав: студент 2-го курсу, групи ПЗТ-22мс
спеціальності 172 – Телекомунікації та
радіотехніка

 Матвійв Б.І.

Керівник: к.т.н., доц., професор каф. ІКСТ

 Барась С. Т.
« 11 » 06 2024 р.

Рецензент: к.т.н., доцент каф. ІРТС

 Осадчук Я. О.
« 11 » 06 2024 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ІКСТ

 д.т.н., проф. Кичак В.М.

« 11 » 06 2024 р.

Вінниця ВНТУ - 2024 рік

Вінницький національний технічний університет
 Факультет інформаційних електронних систем
 Кафедра інфокомунікаційних систем та технологій
 Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
 Галузь знань 17 – Електроніка та телекомунікації
 (шифр і назва)
 Спеціальність 172 – Телекомунікації та радіотехніка
 (шифр і назва)
 Освітня програма – Програмне забезпечення телекомунікаційних систем

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІКСТ

д.т.н., професор В.М. Кичак

«15» березня 2024 року

З А В Д А Н Н Я

НА БАКАЛАВРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Матвіїв Богдану Ігоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Адаптація алгоритмів технології PON для підвищення якості ширококутного доступу

керівник роботи Барась Святослав Тадіонович, кан. техн. наук, професор,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ВНТУ від «11» березня 2024 року № 80

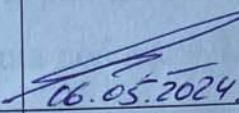
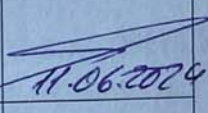
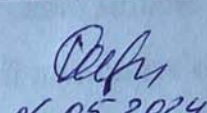
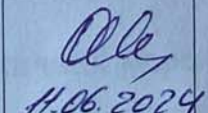
2. Строк подання студентом роботи: 07 червня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи: тип вхідних сигналів – цифрові оптичні; режим зв'язку – дуплексний; довжина хвилі – 1577 нм (download), 1270 (upload); тип модуляції – PON.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки роботи (перелік питань, які потрібно розробити): вступ, дослідження технологій побудови пасивних оптичних мереж PON, алгоритми проектування мереж доступу на основі технології PON, розрахунок та комп'ютерне моделювання параметрів оптичної мережі.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): алгоритм побудови збалансованої інформаційної мережі PON; профіль трафіку одного абонента протягом однієї хвилини; графік густоти розподілу для трафіку, що генерується одним користувачем; модель процесу агрегації ресурсних блоків, спрямована на збільшення пікової пропускної здатності у конвергентних оптичних мережах доступу; порівняльні графіки пропускної здатності запропонованої оптичної мережі з існуючими мережами 10 GEPON для висхідного каналу та низхідного каналу.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Барась. С.Т., кан. техн. наук, професор кафедри ІКСТ	 06.05.2024	 11.06.2024
Охорона праці	Дембичук С.В. проф. каф. БЖДПБ	 06.05.2024	 11.06.2024

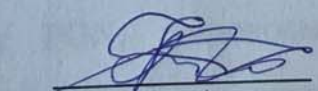
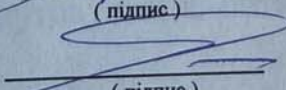
7. Дата видачі завдання «06» травня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Формування та затвердження теми та індивідуального завдання бакалаврської дипломної роботи (БДР)	06.05.2024р.	
2	Виконання спеціальної частини БДР. Перший рубіжний контроль виконання БДР	20.05.2024р.	
3	Виконання спеціальної частини БДР. Другий рубіжний контроль виконання БДР	31.05.2024р.	
4	Виконання розділу «Охорона праці»	04.06.2024р.	
5	Нормоконтроль БДР	05.06.2024р.	
6	Попередній захист БДР	06.06.2024р.	
7	Рецензування БДР	07.06.2024р.	
8	Захист БДР	12.06.2024р.	

Студент

Керівник роботи


(підпис)

(підпис)

Матвіїв Б.І.

Барась С. Т.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.396

Матвійів Б.І. Адаптація алгоритмів технології pon для підвищення якості широкосмугового доступу – бакалаврська дипломна робота. – Вінниця: ВНТУ 2024 р. - 93 стор., 28 рис., 15 табл., 29 бібл. – українською мовою.

Метою роботи є адаптація алгоритмів технології пасивних оптичних мереж (PON) для підвищення якості широкосмугового доступу. Для цього проведені дослідження та розробка методів та алгоритмів, спрямованих на оптимізацію технології PON з метою забезпечення покращеної якості обслуговування для кінцевих користувачів.

У роботі проаналізовано сучасний стан технології PON, ідентифікуються основні проблеми та обмеження. На основі цього аналізу запропоновані нові алгоритми та методи, спрямовані на підвищення ефективності та швидкодії використання мережі PON, що відображається на покращенні якості обслуговування для кінцевих користувачів.

Результати досліджень та розробок представляють собою важливий внесок у розвиток технологій широкосмугового доступу і можуть бути застосовані в реальних мережних середовищах для підвищення ефективності та якості обслуговування.

Виконано розділ з охорони праці та безпеки життєдіяльності.

Ключові слова: PON, широкосмуговий доступ, алгоритми доступу, покращення якості обслуговування, оптимізація мережі, ефективність передачі даних.

ANNOTATION

Matviev B.I. Adaptation of pon technology algorithms to improve the quality of broadband access - bachelor thesis. – Vinnytsia: VNTU 2024 - 93 pages, 28 figures, 15 tables, 29 bibl. - In ukrainian.

The purpose of the work is to adapt passive optical network (PON) technology algorithms to improve the quality of broadband access. For this, research and development of methods and algorithms aimed at optimizing PON technology in order to provide improved quality of service for end users was carried out.

The paper analyzes the current state of PON technology, identifies the main problems and limitations. Based on this analysis, new algorithms and methods are proposed, aimed at increasing the efficiency and speed of using the PON network, which is reflected in the improvement of the quality of service for end users.

The results of research and development represent an important contribution to the development of broadband access technologies and can be applied in real network environments to improve efficiency and quality of service.

The section on labor protection and life safety has been completed.

Keywords: PON, broadband access, access algorithms, service quality improvement, network optimization, data transmission efficiency.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП	8
1 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ПОБУДОВИ ПАСИВНИХ ОПТИЧНИХ МЕРЕЖ PON.....	11
1.1 Виникнення технології PON	13
1.2 Аналіз особливостей функціонування пасивних оптичних мереж.....	13
1.3 Дослідження архітектури PON мереж	18
1.4 Аналіз особливостей пасивних оптичних мереж TDMPON та WDM-PON .	26
1.5 Висновки до розділу	30
2 АЛГОРИТМИ ПРОЕКТУВАННЯ МЕРЕЖ ДОСТУПУ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ PON.....	31
2.1 Обґрунтування параметрів оптичної частини мережі.....	31
2.2 Розробка алгоритму розрахунку параметрів оптичної частини мережі.....	35
2.3 Розробка та оптимізація оптичної мережі за технологією GPON.....	42
2.4 Висновки до розділу	49
3 РОЗРАХУНОК ТА КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ОПТИЧНОЇ МЕРЕЖІ	50
3.1 Розрахунок параметрів оптичної мережі.....	50
3.2 Моделювання процесу передавання трафіку в пасивній оптичній мережі доступу для одиничного користувача.....	55
3.3 Моделювання статистичних характеристик агрегованого трафіку в опорній оптичній мережі.....	59
3.4 Моделювання запропонованого методу балансування трафіку між сегментами мережі доступу з урахуванням їх взаємозв'язності.....	64
3.5 Висновки до розділу	66

4 ОХОРОНА ПРАЦІ	68
4.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи.....	68
4.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	71
4.2.1 Мікроклімат	71
4.2.2 Склад повітря робочої зони.....	72
4.2.3 Виробниче освітлення	73
4.2.4 Виробничий шум.....	74
4.2.5 Виробничі випромінювання.....	75
4.3 Пожежна безпека.....	76
4.3.1 Технічні рішення системи запобігання пожежі	77
4.3.2 Технічні рішення системи протипожежного захисту.....	78
4.4 Висновки до розділу	80
ВИСНОВКИ.....	81
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	83
Додаток А (обов'язковий). Ілюстративна частина	87
Додаток Б (обов'язковий). Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень.....	91

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ARP - Протокол Визначення Адрес
BPON - Широкопasmугова Пасивна Оптична Мережа
DBA - Динамічний Розподіл Пропускної Здатності
DHCP - Протокол Динамічної Конфігурації Хостів
EPON - Етернет Пасивна Оптична Мережа
FEC - Прямє Коригування Помилор
FTTB - Оптика до Будівлі
FTTH - Оптика до Дому
GPON - Гігабітна Пасивна Оптична Мережа
IPTV - Інтернет Протокольне Телебачення
MAC - Контроль Доступу до Медіа
OLT - Оптичний Лінійний Терминал
ONU - Оптичний Мережевий Блок
ONU - Оптичний Мережевий Блок
PON - Пасивна Оптична Мережа
QoS - Якість Обслуговування
SLA - Угода про Рівень Обслуговування
TDM - Часовий Розподіл Каналу
VoIP - Голос через Інтернет Протокол
WDM - Розподіл за Довжиною Хвилі

ВСТУП

Актуальність теми. В сучасному цифровому світі, де доступ до високошвидкісного Інтернету стає необхідністю, роль технології PON (Passive Optical Network) у забезпеченні мережевого доступу з великою пропускнуою здатністю важлива. Проте зростаючі вимоги до якості широкосмугового доступу ставлять перед операторами зв'язку завдання постійного вдосконалення та оптимізації цієї технології [1].

Необхідність адаптації алгоритмів технології PON для підвищення якості широкосмугового доступу нагально виникає у зв'язку із збільшенням вимог користувачів та розвитком нових високошвидкісних сервісів, таких як стрімінгове відео, віртуальна реальність та хмарні послуги. Покращення якості широкосмугового доступу має важливе стратегічне значення для розвитку цифрової інфраструктури та підтримки інноваційних рішень у сфері зв'язку [2].

В умовах постійних змін у вимогах користувачів та швидкого розвитку цифрових технологій, дослідження з адаптації алгоритмів технології PON набуває великого значення для забезпечення високошвидкісного та стабільного Інтернет-доступу для всіх користувачів [3].

Отже, проведення досліджень з адаптації технології PON для підвищення якості широкосмугового доступу важливе з декількох причин. Зокрема, це необхідно для задоволення зростаючих вимог користувачів до швидкості та надійності Інтернет-з'єднання, розвитку нових високошвидкісних сервісів, підтримки ефективного функціонування інфраструктури зв'язку та забезпечення конкурентоспроможності операторів зв'язку. Такі дослідження мають стратегічне значення для подальшого розвитку суспільства та економіки [4].

Аналіз останніх досліджень. Останні дослідження [2-4] зосереджені на дослідженні пасивних оптичних мереж PON та їхніх алгоритмів з метою підвищення якості широкосмугового доступу. Дослідники аналізують різні

аспекти технології PON, спрямовані на оптимізацію та покращення ефективності передачі даних. Це включає в себе розробку та вдосконалення алгоритмів маршрутизації та керування трафіком, а також вивчення методів оптимізації розподілу ресурсів. Це може включати в себе оптимізацію протоколів доступу, розробку нових методів керування трафіком та впровадження передових технологій передачі даних [2].

Подальші вдосконалення в області алгоритмів технології PON можуть значно покращити якість послуг та задовольнити ростучі потреби сучасного цифрового суспільства.

Метою даної кваліфікаційної роботи є адаптація алгоритмів технології пасивних оптичних мереж (PON) з метою підвищення якості широкосмугового доступу.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі *задачі*:

- дослідити технології побудови пасивних оптичних мереж PON;
- проаналізувати особливості функціонування та архітектуру пасивних оптичних мереж;
- розробити алгоритми проектування мереж доступу на основі технології PON;
- провести оптимізацію мережі спроектованої на основі запропонованих алгоритмів;
- провести комп'ютерне моделювання основних характеристик запропонованої пасивної оптичної мережі.

Об'єктом дослідження є технологія пасивних оптичних транспортних мереж та особливості її функціонування.

Предметом дослідження є алгоритми підвищення якості широкосмугового доступу у пасивних оптичних мережах.

Методи досліджень використовують: експериментальні вимірювання, моделювання, теоретичні дослідження та аналіз даних з експлуатації мережі.

Експерименти включають фізичне вимірювання параметрів за допомогою спеціальних приладів. Моделювання створює віртуальні моделі мереж для аналізу їхньої роботи в різних умовах. Теоретичні дослідження базуються на математичних моделях та підходах. Дослідження на основі даних з експлуатації аналізують функціонування мережі у реальних умовах для виявлення проблем та вдосконалення обслуговування.

Новизна одержаних результатів полягає в дослідженні, що спрямоване на адаптацію алгоритмів технології PON для підвищення якості широкосмугового доступу. Це може включати в себе розробку нових методів адаптації алгоритмів, виявлення оптимальних параметрів для підвищення ефективності мережі, а також впровадження нових технологічних рішень для покращення швидкості та стабільності доступу до Інтернету через пасивні оптичні мережі.

Практичне значення роботи полягає в покращенні якості та доступності широкосмугового Інтернету через технологію PON. Результати роботи допоможуть операторам зв'язку забезпечити стабільний та швидкий доступ до Інтернету для клієнтів і підвищать конкурентоспроможність компаній у галузі зв'язку. Крім того, це сприятиме розвитку нових інноваційних сервісів та додатків, які потребують великої пропускної здатності мережі.

Апробація результатів роботи. Результати дослідження були представлені в рамках науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету у 2024 році.

Публікації результатів бакалаврської дипломної роботи. Основні результати представленого дослідження були викладені у тезах науково-технічних конференцій.

1 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ПОБУДОВИ ПАСИВНИХ ОПТИЧНИХ МЕРЕЖ PON

1.1 Виникнення технології PON

PON (Passive Optical Network) - це технологія передачі даних у телекомунікаціях, яка використовує оптичні кабелі та розподільні пристрої для забезпечення доступу до Інтернету та інших мережних сервісів. Спочатку цю технологію запропонувала японська компанія NTT (Nippon Telegraph and Telephone Corporation) у 1995 році, і вона отримала назву BPON (Broadband PON) [2].

BPON була першою комерційною версією технології PON, яка мала швидкість передачі даних до 622 Мбіт/с і могла обслуговувати до 32 абонентів на один порт. У 2003 році з'явилася нова версія PON - GPON (Gigabit Ethernet PON), яка забезпечувала швидкість передачі даних до 1 Гбіт/с.

У 2004 році почалася розробка наступної версії PON - GPON (Gigabit-capable PON), яка є найбільш поширеною технологією PON на сьогоднішній день. GPON забезпечує швидкість передачі даних до 2,5 Гбіт/с в напрямку до абонента та до 1,25 Гбіт/с в напрямку від абонента і може обслуговувати до 64 абонентів на один порт [1].

Останнім часом дуже активно розвивається технологія XG-PON (10G PON), яка надає швидкість передачі даних до 10 Гбіт/с в напрямку до абонента та до 2,5 Гбіт/с в напрямку від абонента, що дозволяє використовувати її для послуг зв'язку високої якості, таких як 4K-відео та віртуальна реальність.

Отже, історія розвитку технології PON вже триває довгий час, і вона постійно вдосконалюється, щоб забезпечити доступ до швидкісних інтернет-послуг, телефонії, високоякісного телебачення та інших мультимедійних сервісів. Однією з основних переваг технології PON є відсутність активного

обладнання на шляху передачі сигналу, що сприяє зменшенню витрат на енергоспоживання та підтримку мережі. Крім того, вона забезпечує високу якість передачі даних та масштабованість, що дозволяє надавати послуги зв'язку великій кількості користувачів.

Технологія PON вже широко застосовується у багатьох країнах, таких як Японія, Корея, Китай, Європа та США. Україна також активно впроваджує цю технологію у своїй мережі зв'язку [2]. Нижче наведено перелік переваг та недоліків впровадження технології PON у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Переваги та недоліки впровадження технології PON

	Ethernet	EPON	GPON
<i>Переваги</i>	Швидкість	Висока швидкість	Висока швидкість
	Дешевизна	Надійність	Ефективне використання ресурсів
	Широке поширення	Гнучкість	Висока якість послуг
<i>Недоліки</i>	Обмежені можливості	Підвищені витрати на експлуатацію	Складність установки
	Низька якість послуг	Обмежена дальність передачі сигналу	Високі витрати на обладнання

Ця таблиця може служити корисним допоміжним інструментом при виборі технології для впровадження у мережі передачі даних. Наприклад, якщо пріоритетом є висока якість послуг та швидкість, то найбільш оптимальним вибором буде GPON. У випадку, коли важлива гнучкість та надійність, EPON може бути кращим варіантом. За умови, що вирішальним чинником є вартість, Ethernet може бути більш прийнятним варіантом.

Впровадження технології PON сприятиме підвищенню якості доступу до Інтернету та інших мережних послуг, збільшить конкурентоспроможність

телекомунікаційних компаній та поліпшить якість життя користувачів. Однак, існують питання, пов'язані з витратами на впровадження технології PON, зокрема, з високою вартістю оптичного обладнання та потребою у спеціалізованих кадрах для його обслуговування. Тому важливо провести дослідження ефективності технології PON та порівняти її з іншими технологіями зв'язку, щоб прийняти обґрунтоване рішення стосовно впровадження цієї технології в конкретному випадку.

1.2 Аналіз особливостей функціонування пасивних оптичних мереж

Технологія PON (Passive Optical Network) використовує оптичний кабель для передачі сигналу від центральної станції безпосередньо до кінцевих користувачів. Оптичний кабель розгалужується на кілька підключень, які направляються до окремих будинків або квартир. Завдяки великій швидкості передачі даних та можливості передавати сигнал на значні відстані без втрати сигналу, PON вважається однією з найбільш ефективних технологій для передачі даних [3].

В залежності від конкретної мережі та відповідно потреб користувачів, існують різні топології мережі PON:

1. Топологія зірки (Star PON) – це найбільш поширена топологія, при якій кожен кінцевий користувач має свій власний оптичний кабель, який з'єднаний з центральною станцією.

Це дозволяє керувати кожним з'єднанням окремо і забезпечує більш високу надійність мережі. На рис.1.2. зображена технологія зірки.

2. Топологія дерева (Tree PON) – при такій організації оптичний кабель формує структуру дерева, де один кабель виходить з центральної станції і розгалужується на кілька кабелів на кожному рівні. Це дозволяє підтримувати

більшу кількість користувачів та ефективно використовувати оптичний кабель (див. рис. 1.3).

3. Топологія кільця (Ring PON) – в такій топології оптичний кабель утворює кільцеву структуру, де кінцеві користувачі підключені до кабелю в будь-якому місці кільця. Це забезпечує резервний шлях, що гарантує надійність мережі при випадку перебоїв у певному сегменті кабелю.

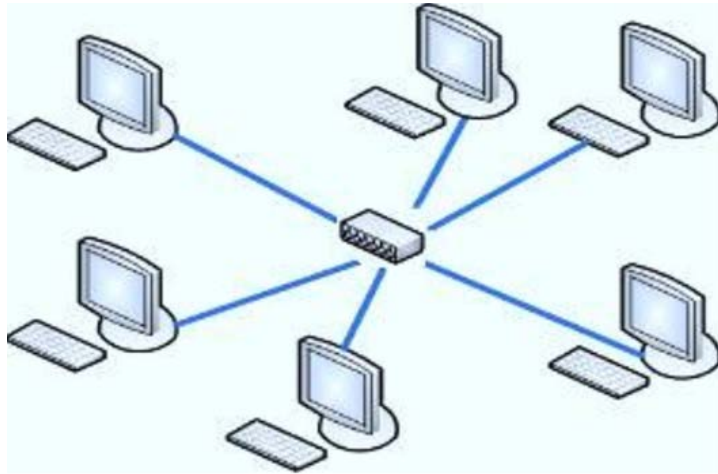


Рисунок 1.2 – Топологія мережі – Зірка

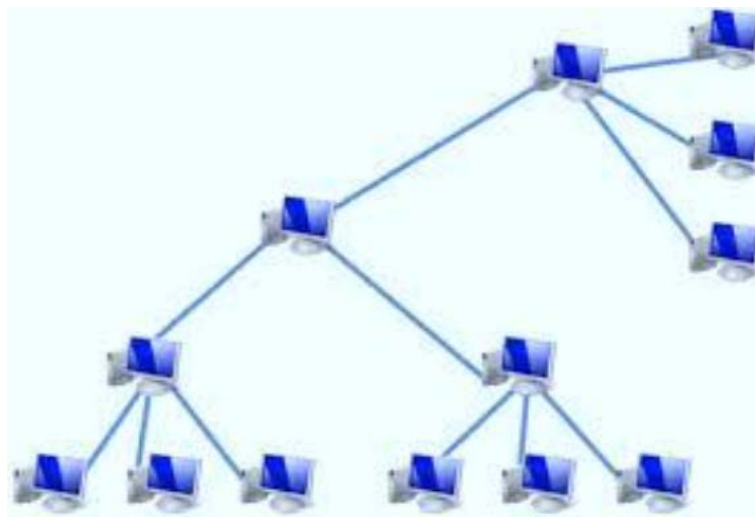


Рисунок 1.3 – Деревоподібна топологія

Однак, для передачі сигналу через кільце потрібні ретранслятори, що може знизити пропускну здатність мережі, оскільки сигнал повинен проходити через кожного користувача [3]. На рис. 1.4 зображена дана технологія.

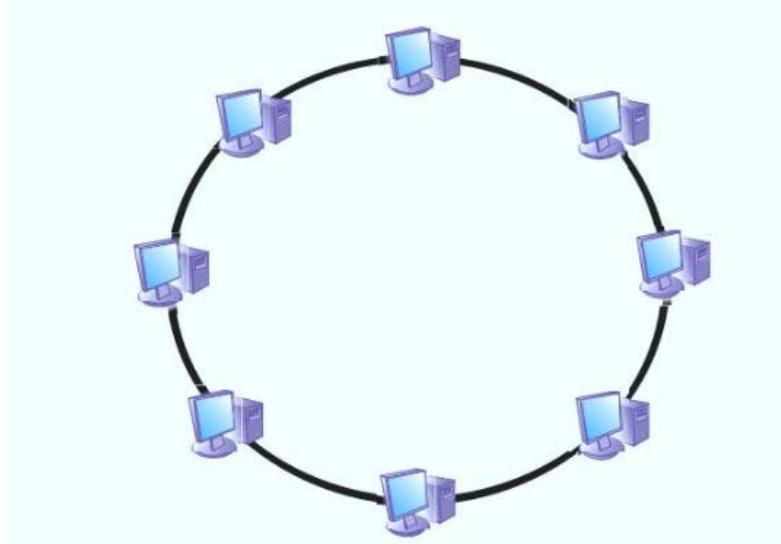


Рисунок 1.4 – Топологія мережі – Кільце

Аналізуючи таблицю, можна зробити висновок, що кожна з топологій мережі PON має свої переваги й недоліки.

Найпоширенішою та найбільш ефективною вважається топологія "зірка", але вона має обмежену кількість користувачів та залежить від центрального вузла.

У таблиці 1.2 розглянемо детально переваги та недоліки кожної із вище наведених топологій мережі.

Топологія "дерево" дозволяє підключити більше користувачів, але також потребує центрального вузла та може мати проблеми з надійністю у разі його відмови.

"Кільце" вважається найбільш стійкою до відмов та забезпечує високу швидкість передачі даних, але може бути менш ефективною при збільшенні

кількості користувачів та має проблеми зі збереженням сигналу на великій відстані.

Таблиця 1.2 – Переваги та недоліки топологій мережі PON

Топологія	Переваги	Недоліки
Зірка	Легка установка, простота у використанні, зниження ризику витоку даних, гнучке керування.	Обмежена можливість розширення, велика вартість проведення кабельних робіт, збільшення затримок у мережі при зростанні числа користувачів.
Дерево	Можливість розширення, оптимальне використання кабельних з'єднань, зниження часу затримки, забезпечення якості обслуговування (QoS)	Необхідне планування приєднання користувачів, складніша установка та підтримка, відсутність резервування у випадку відмови вузла.
Кільце	Можливість розширення, зниження часу затримки, забезпечення якості обслуговування (QoS), відсутність однієї точки відмови.	Обмежені можливості розширення, складність у встановленні та обслуговуванні, необхідність уникнення вузлів з єдиною точкою відмови, можливість проблем з управлінням мережею.

Отже, вибір топології мережі PON залежить від конкретних потреб користувачів та може бути здійснений з урахуванням переваг і недоліків кожної з топологій.

PON (Passive Optical Network) - це технологія передачі даних, що використовує оптичні кабелі для доставки сигналів від головної станції до клієнтів. Особливістю PON є використання пасивної оптичної мережі, тобто відсутність елементів, що споживають енергію, на транспортній ділянці мережі.

Існує кілька стандартів PON, які відрізняються параметрами передачі даних та максимальною дальністю сигналів [3].

— GPON (Gigabit-capable Passive Optical Network) - стандарт, який дозволяє передавати дані зі швидкістю до 2,5 Гбіт/с на відстань до 20 км. GPON використовує довжину хвилі 1490 нм для напрямку вниз і 1310 нм для напрямку вгору.

— EPON (Ethernet PON) - стандарт, який використовує технологію Ethernet для передачі даних. EPON дозволяє передавати дані зі швидкістю до 1 Гбіт/с на відстань до 20 км. EPON використовує довжину хвилі 1490 нм для напрямку вниз і 1310 нм для напрямку вгору.

— XG-PON (10G-capable PON) - стандарт, який дозволяє передавати дані зі швидкістю до 10 Гбіт/с на відстань до 20 км. XG-PON використовує довжину хвилі 1577 нм для напрямку вниз і 1270 нм для напрямку вгору.

— NG-PON2 (Next Generation PON 2) - стандарт, який дозволяє передавати дані зі швидкістю до 40 Гбіт/с на відстань до 40 км. NG-PON2 використовує чотири довжини хвиль: 1575 нм і 1270 нм для напрямку вниз, а також 1590 нм і 1310 нм для напрямку вгору.

Кожен стандарт має свої особливості та обмеження використання. Вибір конкретного стандарту залежить від потреб користувачів та вимог до швидкості передачі даних та дальності передачі сигналів [3].

Завдання розробки сучасних послуг зв'язку з використанням технології PON полягає в створенні концепції та реалізації проекту мережі PON, що забезпечить високу швидкість передачі даних, якість обслуговування та задоволення потреб споживачів у послугах зв'язку.

Основні завдання проектування такої мережі включають:

1. Визначення потреб користувачів у послугах зв'язку та їх вимог до якості обслуговування.

2. Вибір оптимального типу мережі PON для задоволення потреб користувачів.

3. Розробка архітектури мережі та вибір необхідного обладнання для її побудови.

4. Визначення критеріїв якості обслуговування та розробка механізмів контролю та управління мережею для забезпечення цих критеріїв.

5. Розробка бізнес-моделі та розрахунок економічної ефективності проекту.

Після розробки проекту необхідно провести його тестування та впровадження в роботу, щоб оцінити його ефективність та забезпечити задоволення потреб користувачів у послугах зв'язку.

1.3 Дослідження архітектури PON мереж

Основна концепція архітектури PON полягає у використанні єдиного приймально-передавального модуля для передачі та отримання інформації між центральним вузлом оператора та абонентськими пристроями. На рисунку 1.5 представлені основні компоненти архітектури PON.

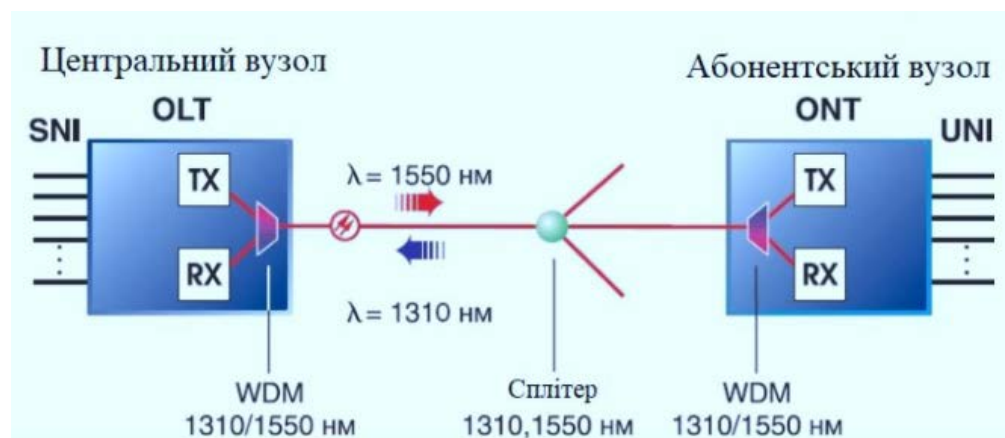


Рисунок 1.5 – Архітектура та основні елементи мережі PON

Центральний вузол, ще відомий як оптичний лінійний термінал (OLT), розташовується у центральному офісі. Цей пристрій отримує дані з магістральних мереж через інтерфейси сервісних вузлів (Service Node Interfaces, SNI) та передає нисхідний потік до абонентських вузлів (прямий потік) за допомогою PON-дерева [4].

Абонентський вузол або оптичний мережний термінал (ONT) має інтерфейси для підключення обладнання абонента та інтерфейс для підключення до дерева PON. Відправка відбувається на довжині хвилі 1310 нм (висхідний потік), а отримання - на довжині хвилі 1550 нм (нисхідний потік). ONT отримує дані від OLT, конвертує їх і передає абонентам через інтерфейси "користувач-мережа" (UNI).

Як відомо, оптичний розгалуджувач є пасивним пристроєм, який розділяє потоки оптичного випромінювання у одному напрямку і тоді об'єднує декілька потоків у зворотному напрямку. Узагальнено, розгалуджувач може мати M вхідних і N вихідних портів (де N - кількість абонентів). У мережах PON найчастіше використовують розгалуджувачі $1 \times$ з одним вхідним портом. Розгалуджувачі $2 \times$ можуть бути використані в системі з резервуванням по волокну [4].

Оптичний лінійний термінал (OLT) та оптичний мережевий термінал (ONT) оснащені вбудованими мультиплексорами WDM, які розділяють висхідні та нисхідні потоки даних. Ці мультиплексори мають низькі втрати та не потребують температурної стабілізації. У рисунку 2.1 зображено основні компоненти архітектури PON. OLT є центральним вузлом, що розташований у центральному офісі. Цей пристрій отримує дані від магістральних мереж через інтерфейси сервісних вузлів (SNI) та формує нисхідний потік до оптичних мережевих терміналів (ONT) по дереву PON. Дерево PON включає в себе оптичне волокно, що починається з центрального вузла та невелику кількість

оптичних розгалужувачів, які розподіляють сигнал між оптичними мережевими терміналами.

Кожен оптичний мережевий термінал (ONT) має інтерфейси для підключення абонентського обладнання та інтерфейс для з'єднання з деревом PON. У напрямку від OLT до ONT використовується довжина хвилі 1310 нм, а в напрямку від ONT до OLT - довжина хвилі 1550 нм. Крім того, в OLT і ONT встановлені мультиплексори WDM, які розділяють висхідні та нисхідні потоки даних, що дозволяє передавати дані в обидва напрямки через одне оптичне волокно без використання додаткових волокон.

Кожен оптичний мережевий термінал ONT отримує широкосмуговий нисхідний потік даних. Кожен ONT вибирає свою частину інформації з загального потоку, спираючись на адресні поля (див. рисунок 1.6).



Рисунок 1.6 – Структура передачі нисхідних та висхідних потоків у PON

У зворотному потоці всі ONT передають дані на одній довжині хвилі, використовуючи TDMA. Щоб уникнути перехресні сигнали від різних ONT, для кожного з них встановлюється індивідуальний графік передачі даних з урахуванням затримки, пов'язаної з відстанню від центрального вузла OLT [4].

Протокол MPCP, розроблений групою IEEE 802.3ah, дозволяє OLT призначати часові домени. Цей протокол використовує два типи Ethernet-

повідомлень: GATE та REPORT. Повідомлення GATE передається від OLT до ONU для призначення часового домена. Повідомлення REPORT використовується ONU для надсилання інформації про свій стан (наприклад, заповнення буфера) до OLT, щоб допомогти йому при прийнятті рішення щодо виділення часового домена. Кадри керування MAC типу 88-08 використовуються як для повідомлень GATE, так і для повідомлень REPORT [5].

Отже, алгоритм роботи мережі PON після налаштування має наступний вигляд:

- ONU «прослуховує лінію»;
- OLT отримує пакет стандарту IEEE 802.3 від глобальної мережі та модифікує його згідно стандарту IEEE P802.3ah;
- OLT згодом відсилає пакет конкретному отримувачу (ONU);
- Всі ONU отримують пакет, але тільки призначений отримувач зберігає його у буфері, інші пакети відкидаються;
- Після чого ONU форматує пакет стандарту IEEE P802.3ah у стандарт IEEE 802.3 і передає його клієнтському ПК;
- Отримані пакети з клієнтського ПК ONU переформатовуються зі стандарту IEEE 802.3 у стандарт IEEE P802.3ah і записуються у буфер;
- Наступним кроком OLT дозволяє передачу даних конкретній ONU;
- ONU передає пакети, що були накопичені протягом певного часу, а потім "замовкає" та знову "прослуховує" лінію;
- OLT отримує від ONU пакет стандарту IEEE P802.3ah, конвертує його у стандарт IEEE 802.3, та надсилає його пристрою вищому по ієрархії у глобальній мережі [5].



Рисунок 1.7 – Процес перетворення пакетів у мережі PON

Під час передачі даних від OLT до ONU, пакети інформації групуються в обсягові блоки та транслюються через оптичний канал до ONU. Під час цього процесу оптичний сигнал подається до роздільника, який приймає та передає пакети до абонентського обладнання.

У зворотньому напрямку, пакети даних від абонентського обладнання проходять через ONU до OLT. Для ефективного управління оптичним каналом PON використовує протоколи TDMA (Time Division Multiple Access), які дозволяють розділити канал на часові слоти. Для здійснення цього управління використовується протокол MPCP (Multi-Point Control Protocol), який дозволяє OLT контролювати доступ ONU до оптичного каналу

Отже, алгоритм функціонування PON полягає у передачі даних від OLT до ONU і навпаки, використовуючи оптичні волоконні лінії та пасивні компоненти, такі як роздільники. Під час передачі даних застосовується протокол TDMA для розділення оптичного каналу на часові інтервали [5].

Організація архітектурного рішення FTTH на базі PON (Passive Optical Network) передбачає використання оптичного волокна для передачі сигналів до кінцевих абонентів. PON є технологією, яка використовує один оптичний кабель для передачі сигналів до численних абонентів.

У системі PON використовуються два пристрої: оптичний лінійний термінал (OLT), який забезпечує зв'язок з магістральною мережею, та оптичний

мережевий термінал (ONT), що встановлюється в будинках або офісах абонентів для підключення до Інтернету.

Мережа FTTH на базі технології PON складається з трьох основних компонентів (див. рисунок 1.8):

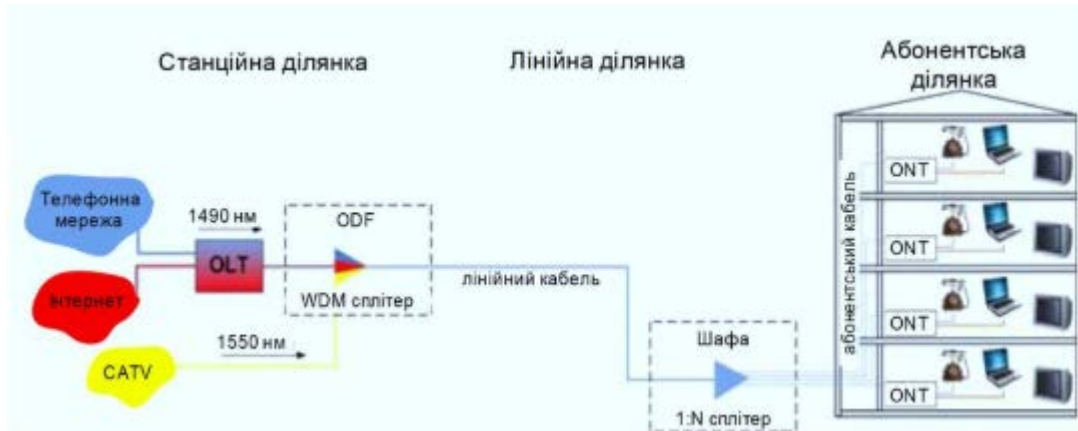


Рисунок 1.8 – Створення оптичної мережі доступу на основі рішення FTTH PON

1) Станційна ділянка складається з активного обладнання OLT (OLT – Optical Line Terminal) та високої щільності оптичного кросу ODF (ODF – Optical Distribution Frame), яке монтується на вузлі зв'язку в приміщенні провайдера.

2) Абонентська ділянка включає персональне абонентське розведення одно- або двоволоконним дроп-кабелем від загальних розподільних пристроїв до оптичної розетки та активного обладнання ONT (ONT – Optical Network Terminal) у приміщенні абонента.

3) Лінійна ділянка представляє собою волоконно-оптичний кабель, шафи, сплітери, конектори та з'єднувачі, які розташовані між станційною та абонентською ділянками.

Будівництво такої лінійної ділянки є найбільш складною частиною при створенні мережі. Вона включає в себе різноманітне пасивне обладнання та потребує значної кількості будівельно-монтажних робіт. Тому дуже важливо використовувати найбільш оптимальні методи побудови [5].

Планування топології пасивної оптичної мережі передбачає включення чергової лінійної ділянки. У розподільчій мережі PON передача даних від оптичних розподільних шаф до кінцевих пристроїв абонентів (ONT) здійснюється за допомогою пасивних оптичних розгалужувачів (сплітерів), які встановлюються в оптичних розподільних коробках, шафах або муфтах (рис.1.9).

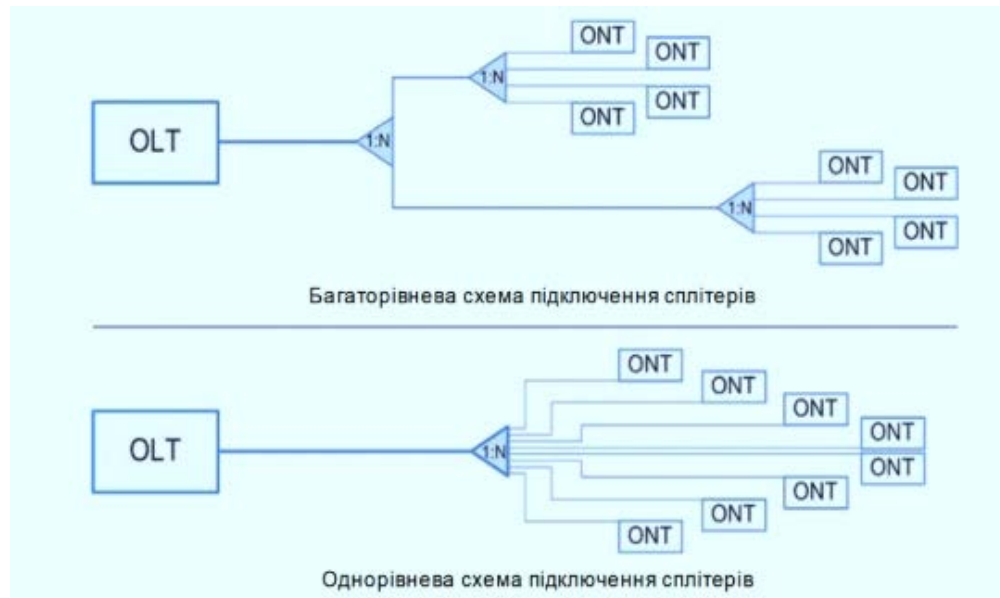


Рисунок 1.9 – Схеми включення сплітерів у мережі PON

Кількість рівнів каскадування може бути двох видів, однорівневою або багаторівневою з послідовним включенням сплітерів один за одним. Кількість рівнів залежить від сумарного згасання від сплітерів, коефіцієнта розгалуження PON і вимоги до пропускної здатності для кожного абонента. Зазвичай використовують каскадні схеми з одним або двома рівнями. Зі збільшенням кількості рівнів збільшується підтримка передачі даних та знижується якість обслуговування абонентів. Зменшення кількості рівнів каскадування нам дозволяє зменшити внесок сплітерів у втраті сигналу та власне збільшити дальність передачі [5].

У таблиці 1.3 наведено проблематику, пов'язану з побудовою мереж FTTH на основі PON технології.

Таблиця 1.3 – Проблеми, пов'язані з впровадженням технології FTTH на основі PON

Проблема	Опис
Вартість	Створення мережі за технологією PON потребує значних витрат на придбання та налаштування обладнання, що може призвести до високих витрат як для провайдера, так і для кінцевого користувача.
Інфраструктура	Створення мережі PON передбачає наявність оптичної інфраструктури, що може виявитися складною або недоступною для впровадження в деяких регіонах.
Проблеми зберігання даних	У мережах PON виникають труднощі збереження даних після того, як користувачі завершують підключення до спільної лінії, що може породити проблеми з конфіденційністю та безпекою даних.
Технічні проблеми	Під час експлуатації мережі PON можуть виникати технічні проблеми, такі як втрата сигналу або перешкоди, які можуть негативно вплинути на якість обслуговування.
Потенційні проблеми зі змінами	Мережі PON можуть виявлятися менш гнучкими та менш пристосованими до змін, таких як зростання обсягу трафіку або зміна технологій передачі даних.
Питома місткість	Можливості мережі PON щодо вмісткості можуть бути обмеженими, особливо у випадку значного попиту на широкомасштабні послуги.

Аналізуючи дані таблиці, можна зробити висновок, що такий підхід має численні переваги, такі як економія кабелю та портів, а також можливість накладення аналогового відеосигналу. Проте, при використанні цієї технології виникають певні технічні та фінансові складнощі, які потрібно враховувати при розгортанні мережі. Наприклад, можуть виникнути проблеми з отриманням

дозволу на проведення робіт, складнощі при визначенні оптимальної топології та забезпеченні стійкості мережі при значних відстанях між абонентами.

Незважаючи на ці виклики, впровадження мереж FTTH на основі PON технології вважається перспективним і ефективним рішенням для створення швидких та надійних мереж доступу.

1.4 Аналіз особливостей пасивних оптичних мереж TDMPON та WDM-PON

Розробник системи WDM-PON повинен приймати рішення щодо відповідних довжин хвиль та їх відстаней, що визначає вибір пристроїв. Існують два основних варіанти довжин хвиль: груба WDM (CWDM) PON і щільна WDM (DWDM) PON. В системі присутні OLT та ONU, обладнані оптичними передавачами, приймачами, мультиплексорами та демультимплексорами.

Головним недоліком CWDM є обмежена кількість каналів, що призводить до нестабільності масштабування CWDM-PON, особливо при використанні стандартного одномодового волокна з піком затухання води. Іншою проблемою є те, що канали з коротшою довжиною хвилі мають більші втрати, обмежуючи відстань передачі або коефіцієнт розщеплення. Прикладом CWDM-PON може бути служба PON «triple-play», де канал 1550 нм використовується для додаткового відео CATV, 1490 нм - для голосового зв'язку, а 1310 нм - для передачі вгору. Розширена програма використовує CWDM-канали 1360–1480 нм для преміальних бізнес-послуг, тоді як звичайні послуги потрійного пакету надаються звичайним абонентам [6].

DWDM (щільний WDM) має інтервал довжин хвиль, який значно менший, ніж у CWDM, зазвичай менше 3,2 нм. Це через те, що DWDM був розроблений для передачі багатьох довжин хвиль в області обмеженого спектра, де можна використовувати ербієвий волоконний підсилювач (EDFA). У DWDM-PON

необхідно ретельно контролювати довжину хвилі кожного оптичного джерела та центральну довжину хвилі фільтра WDM, щоб уникнути перехресних перешкод між сусідніми каналами. Такий підхід робить розгортання DWDM-PON витратнішим порівняно з CWDM-PON на місцях, оскільки вимагається використання пристроїв, налаштованих на певну довжину хвилі, а також систем контролю температури.

Окремі джерела з фіксованою довжиною хвилі не є оптимальним вибором для використання в OLT WDM-PON через потребу у багатьох окремих оптичних джерелах, які встановлюються для генерації відповідних довжин хвиль. У разі, якщо компонент генерує кілька хвиль одночасно, це стає вельми корисним для OLT. Таку можливість надає кілька каналів WDM, які можуть бути інтегровані в компактний пристрій та налаштовані одночасно. Нижче наведено три типи таких численних джерел [6].

Багаточастотний лазер (MFL): цей пристрій поєднує в собі решітки AWG та підсилювачі для вибору та підсилення довжини хвилі відповідно, як зображено на рисунку. Дзеркала на скошених гранях визначають оптичну порожнину лазерних діодних модулів. Якщо AWG налаштований, він може змінювати цільові довжини вихідних хвиль. За допомогою цієї схеми було реалізовано пристрій, який інтегрує 18 каналів WDM. Його також можна використовувати як настроюваний LD, увімкнувши кожен підсилювач. Хоча з цим пристроєм можна проводити пряму модуляцію, існує обмеження частоти модуляції через його довгу оптичну порожнину.

Іншим можливим методом інтеграції кількох джерел довжини хвилі є використання матриць DFB LD, які об'єднують механізм підсилення та можливість налаштування в одному модулі LD. Тонкоплівкові резистори використовуються для налаштування довжини хвилі шляхом контролю температури. Переваги цього підходу полягають у компактних розмірах та швидкісній модуляції. Однак складно точно налаштувати кожен канал на

потрібну довжину хвилі через використання незалежних фільтрів для кожної довжини хвилі генерації. Оскільки всередині мікросхеми використовуються різні типи решіток, ця схема є більш реалістичною для невеликої кількості каналів [7].

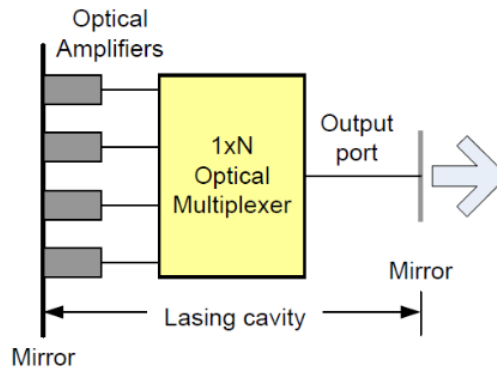


Рисунок 1.10 — Джерело з кількома хвилями [7]

Короткий імпульсний генератор, за яким слідує волокно, може використовуватися як джерело WDM. Наприклад, гаусівський імпульс тривалістю 100 фс від ербієвого волоконного лазера з модульованою заблокованою моделлю може забезпечити спектральну смугу частот 4,4 ТГц, що дозволяє розмістити 44 канали WDM на відстані 100 ГГц. Після цього рулон волокна відповідає за дисперсію, яка розширює імпульс у часі. Якщо цей імпульс модулюється та подається на наступний розгалужувач WDM, різні канали, що несуть власну інформацію, будуть виходити з різних портів. Однак кількість каналів обмежується відношенням частоти модуляції даних до частоти повторень лазера. Тому цей метод найбільше підходить для сценаріїв, де швидкість передачі даних у кожному каналі не дуже велика, але потрібно багато каналів WDM. Проте вирішення проблем, таких як вирівнювання ширини імпульсу, тимчасової ширини та вільного спектрального діапазону WDM (FSR), може стати важливими завданнями, які необхідно вирішити перед впровадженням цього рішення в комерційну експлуатацію [7].

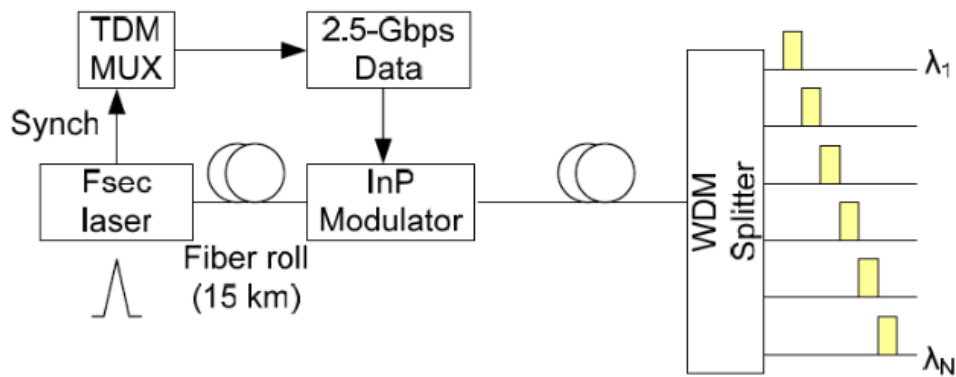


Рисунок 1.11 — Короткоімпульсний генератор [9]

Деякі дослідники спробували уникнути наявності оптичних джерел у ONU, оскільки дозволити кожному ONU керувати довжиною хвилі передачі вважалося ризикованим і дорогим. Якщо одне з оптичних джерел змінює свою довжину хвилі, це може вплинути не лише на сам канал, але й на сусідні. Як рішення, пропонувалося подавати всі оптичні джерела з OLT, а ONU могли просто модулювати ці оптичні джерела, які були немодульованими. Іноді один канал довжини хвилі використовувався в обох напрямках, створюючи так зване рішення із спільним джерелом, де модуляція відбувалася лише в частковій часовій області для нижнього потоку, а залишена область залишалася немодульованою для верхнього потоку. Для цього використовувалися два типи модуляторів: зовнішній модулятор і напівпровідниковий оптичний підсилювач. Коли оптичний сигнал направлявся вниз, частина його подавалася на зовнішній модулятор, дозволяючи його модулювати на високій швидкості для передачі у верхньому потоці. Потрібно враховувати і те, що вартість модулятора в кожному ONU може стати перешкодою для практичного використання. Було запропоновано також використання SOA відбивального типу, який може компенсувати втрати сигналу в обидва напрямки, як спільного джерела. Однак варто зазначити, що вартість SOA залишається проблемою, яку потрібно вирішити до комерціалізації цього рішення [7].

1.5 Висновки до розділу

Технологія PON з'явилася як альтернатива топології «точка-точка» для побудови мережі FTTH, забезпечуючи економію кабелю та портів у точці присутності, а також можливість розміщення аналогового відеосигналу.

Основні елементи PON - оптичний лінійний термінал (OLT), оптичний розгалужувач (ODN) та оптичний модем (ONT) - забезпечують передачу сигналів між провайдером та абонентом за допомогою оптичного волокна.

Дослідження архітектури та принципу дії технології PON дозволило організувати архітектурні рішення для побудови мережі FTTH на базі PON.

Обґрунтування та розрахунок параметрів оптичної частини мережі є важливою складовою побудови мережі FTTH на базі PON, після чого вони виконують якість передачі сигналу та швидкість мережі.

Побудова розподільної мережі GPON та налагодження оптичної мережі за допомогою цієї технології дозволили побудувати мережу FTTH на базі PON та забезпечити якісну передачу сигналу.

Виявлено, що основним недоліком CWDM є обмежена кількість каналів, що обмежує масштабованість CWDM-PON, особливо при використанні звичайного одномодового волокна. Ще однією недоліком є те, що канали з коротшою довжиною хвилі стикаються зі значними втратами, що обмежує відстань передачі або коефіцієнт розщеплення. У DWDM інтервал довжин хвиль значно менший, зазвичай менше 3,2 нм, оскільки він розроблений для передачі багатьох довжин хвиль в області обмеженого спектра, де можна використовувати ербієвий волоконний підсилювач (EDFA). Припускається, що DWDM-PON буде дуже корисним для забезпечення достатньої пропускної спроможності для багатьох абонентів і розглядається як остаточна система PON.

2 АЛГОРИТМИ ПРОЕКТУВАННЯ МЕРЕЖ ДОСТУПУ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ PON

2.1 Обґрунтування параметрів оптичної частини мережі

Після вибору активного обладнання, завдання проектування PON зводиться до наступних операцій у загальному випадку: визначення місць установки ONU, вибір топології мережі, вибір трас проходження кабелю та розташування розгалужувачів, розрахунок бюджету втрат для кожної гілки та визначення оптимальних коефіцієнтів розподілу всіх розгалужувачів. Першим етапом проектування мережі є вибір топології з урахуванням заданої відстані до абонентів та їх кількості. При розробці мережі GPON основна увага має бути приділена деревовидній волоконній кабельній архітектурі з пасивними ОР на вузлах. Ця топологія є найбільш економічною та здатною забезпечити широкосмугову передачу даних різноманітних додатків [8].

Застосування різних коефіцієнтів розподілу вихідних портів дозволяє регулювати оптичний бюджет потужностей у різних гілках мережі. Це має ключове значення для створення так званих "збалансованих мереж", які мають однаковий енергетичний запас і максимальну надійність. Крім того, вибір оптимального методу проектування є важливим для забезпечення працездатності пасивних оптичних мереж. Масштабованість є одним з ключових якісних параметрів такого методу, оскільки вона визначає можливість розширення мережі та додавання нових вузлів з мінімальними змінами до вже наявної структури [8].

Взаємодія між абонентським вузлом і центральним починається з установлення з'єднання, за яким настає передача даних. Процес встановлення з'єднання включає процедуру ранжирування, яка включає синхронізацію,

ранжування за відстанню та за потужністю. Центральний вузол забезпечує функціонування всіх абонентських вузлів.

Синхронізація, або ранжування за фазою є необхідною як для прямого, так і для зворотного потоку. Абонентські вузли ONT синхронізуються на початку ініціалізації та підтримують синхронізацію, підлаштовуючись під безперервний TDM трафік від OLT і здійснюючи синхронний прийом даних. Натомість центральний вузол OLT синхронізується кожен раз при отриманні преамбули пакета ATM. Обчислення тимчасової затримки з боку ONT на етапі ранжирування важливе, оскільки потрібна висока точність. Метод прийому даних із синхронізацією за допомогою преамбули відомий як асинхронний [8].

У мережах FTTH можуть використовуватися різноманітні архітектури, проте серед них пасивна оптична мережа видається найбільш вигідною з економічної точки зору. Незважаючи на її ефективність з погляду вартості, ця технологія має певні технічні обмеження, які потрібно враховувати при розширенні радіусу охоплення та поліпшенні якості послуг зв'язку.

При побудові мереж PON важливо дотримуватися двох основних принципів:

- активні компоненти інформаційної мережі (такі як підсилювачі, оптичні приймачі-передавачі, медіаконвертери тощо) розташовуються лише в кінцевих точках - у головному офісі та на абонентському вузлі.

- її ефективність полягає в розділенні потужності, коли один оптичний сигнал розбивається на кілька частин для надання інформаційних послуг різним абонентам.

З цих двох принципів випливає, що потужність сигналу відіграє ключову роль у забезпеченні працездатності PON. Потужність на виході з центрального вузла повинна бути достатньою, щоб компенсувати всі втрати, що виникають через компоненти інформаційної мережі, конектори, зварні з'єднання та саме волокно. Кожен компонент оптичної лінії має свою власну величину оптичних

втрат. Допустимі втрати оптичного сигналу на всьому шляху від передавача до приймача часто називають оптичним бюджетом. Його розраховують на основі інформації, наданої виробником обладнання. Простіше кажучи, оптичний бюджет можна уявити як співвідношення $P(L)$, яке показано на рис. 2.1.

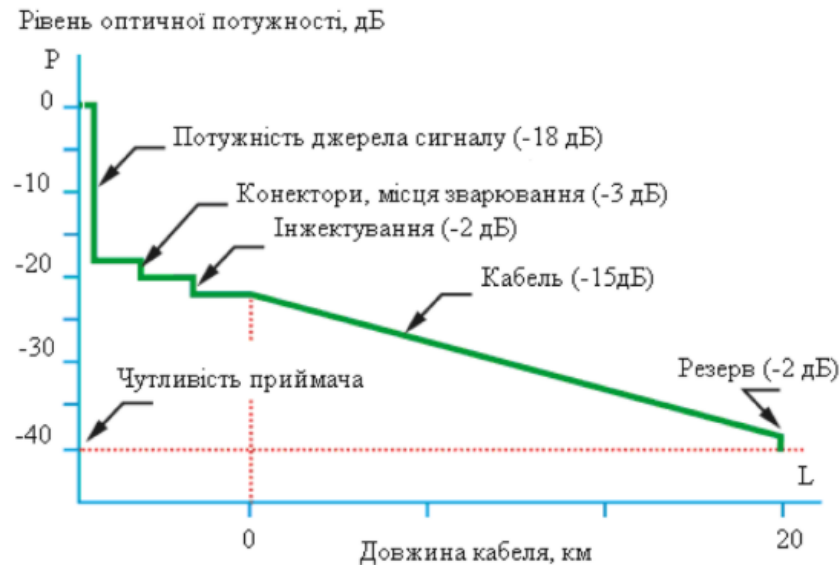


Рисунок 2.1 — Оптичний бюджет, представлений у вигляді відношення $P(L)$

Втрати при введенні випромінювання від джерела в оптичне волокно, відомі як втрати на інжектування, головним чином залежать від діаметру сердечника. Втрати на місцях зварювання, якщо вони присутні у лінії, також мають бути враховані, подібно до втрат на конекторах. Також важливо врахувати, що потужність лазера (або світлодіода) трохи зменшується з часом. Зазвичай на ремонт і старіння емітера відводиться від 3 до 6 дБ. У випадку невеликих мереж може бути потрібне зниження сигналу за допомогою атенюатора. Окрім мінімальної чутливості, у приймального детектора існує також верхня межа робочого режиму $P_{\max} = -11$ дБ, яка відома як поріг перевантаження. При сигналі з більшою потужністю детектор вже не може надійно працювати, і помилковий рівень $BER = 10^{-10}$ стає неприйнятним. Таким

чином, запас потужності вхідного сигналу повинен бути достатнім, щоб забезпечити, що потужність сигналу, яка досягає абонента, буде достатньою для безперервної роботи приймального обладнання. Тому потрібний розрахунок оптичного бюджету інформаційної мережі [9].

Для забезпечення подальшої ефективності PON важливо правильно вибрати оптимальний метод проектування. Завдання проектування полягає в тому, щоб задовольнити як основні, так і додаткові вимоги, які часто мають якісний, а не кількісний характер. Один з найважливіших якісних параметрів це масштабованість, яка передбачає можливість розширення мережі, додавання нових вузлів до вже спроектованої мережі з мінімальними змінами. Основні вимоги при проектуванні PON наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні вимоги під час розробки PON

Характеристики	Специфікація
Межі атенюації сигналу в мережі, дБ	Клас А – 5-20 Клас В – 10-25 Клас С – 15-30
Максимальна відстань по довжині, км	20
Відхилення на оптичних маршрутах, дБ	15
Максимальна кількість абонентських вузлів	64
Максимальні штрафні витрати, дБ	3
Можливість двосторонньої передачі	WDM за допомогою 1 або 2 волокон на довжинах хвиль 1,3 та 1,5 мкм
Швидкість передачі, Мбіт/с	622-2500 у обох напрямках
Тип і параметри волокна	Згідно до рекомендації G.984
Вимоги до оптичних компонентів, таких як розгалужувачі, конвертори, атенюатори та зварні з'єднання.	Згідно до рекомендації G.984

За даними таблиці, максимальна довжина мережі повинна бути 20 км. Діапазон ослаблення сигналу залежить від класу мережі, а максимальні штрафні витрати вимірюються у децибелах. Максимальна кількість абонентських вузлів - 64, а швидкість передачі даних складає 622/2500 Мбіт/с у обох напрямках.

Згідно з рекомендацією ITU-T G.984.2, витрати в оптичному шляху визначаються за певними класами для оптичних систем (див. табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Класи оптичних систем

Клас			Параметр
<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	
20	25	30	Максимальні витрати, дБ
5	10	15	Мінімальні витрати, дБ

2.2 Розробка алгоритму розрахунку параметрів оптичної частини мережі

Розподіл оптичної потужності у мережі PON залежить від параметрів її складових, тому розрахунок оптичного бюджету PON починається з вибору виробника обладнання OLT та пасивних компонентів мережі. Оскільки головними факторами, що впливають на оптичний бюджет, є втрати на розгалужувачах, волокні, з'єднаннях волокон і обладнанні WDM, їх слід враховувати як змінні параметри для розрахунків [9].

Для кожного каналу зв'язку між OLT та ONTi ($i=1...N$, де N – кількість абонентських вузлів) можна сформулювати умови для втрат у прямому (d) і зворотному (u) напрямках, використовуючи формули (2.1) і (2.2).

$$Ob_{d,\min} \leq \alpha_d L_i + Il_i + AL + Cl_i \leq Ob_{d,\max} - Штраф_d - Запас_{d,i}; \quad (2.1)$$

$$Ob_{u,\min} \leq \alpha_u L_i + Il_i + AL + Cl_i \leq Ob_{u,\max} - Штраф_u - Запас_{u,i}; \quad (2.2)$$

де L_i – довжина i -го каналу,

α_d та α_u – згасання на одиницю довжини хвилі в прямому та зворотньому потоках у волокні,

Π_i – загальні втрати, які виникають від усіх розгалужувачів у i -му каналі,

Cl_i – втрати через всі конектори в i -му каналі,

AL – зменшення сигналу через атенюатор,

Ob – оптичний бюджет приймально-передавальної системи,

$Запас$ – резерв потужності для розвитку в i -му каналі,

$Штраф$ – враховує зниження якості прийому сигналу через вплив деградації волокна/компонентів, зовнішніх факторів та спотворення форми сигналу.

Одночасне виконання всіх цих умов для всіх каналів є основною вимогою до ефективності роботи системи в цілому [10]. Щоб максимізувати ефективність системи, необхідно знайти такі коефіцієнти ділення розгалужувачів, які забезпечать максимальний запас. Максимальний запас досягається, коли різниця між найбільшим і найменшим значеннями втрат по оптичних шляхах дорівнює нулю.

Після вибору оптимальної траєкторії оптичних шляхів та системи передачі, важливо зменшити різницю втрат шляхом вибору розгалужувачів з відповідними коефіцієнтами ділення.

Можливість вибору розгалужувачів з необхідними коефіцієнтами ділення дозволяє реалізувати різноманітні топології та вирішувати проблеми розвитку інформаційної мережі, забезпечуючи максимальний запас для майбутнього розвитку.

Існують три основних типи оптичних мереж доступу: збалансована, незбалансована та квазізбалансована.

Якщо різниця у втратах між різними ланцюгами перевищує допустимий рівень, мережу вважають незбалансованою. Цей розкид втрат є прямим наслідком неоднаковості у втратах між оптичними шляхами, наприклад, коли втрати між OLT та ONTi та між OLT та ONTj різняться. Хоча оптичний бюджет системи обмежений, неоптимальне розподілення оптичної потужності призводить до обмеження можливостей масштабування мережі. З цих даних випливає, що незбалансована мережа має декілька недоліків та не підходить для проектування масштабних дата-центрів.

У випадку невеликих мереж можна використовувати симетричні розгалужувачі або наближений розрахунок їх параметрів, хоча це рішення не є оптимальним для великих мереж, оскільки вони вимагають значного запасу потужності. Єдиний спосіб вирівнювання оптичних втрат у встановленій мережі абонентів - це правильний вибір коефіцієнтів ділення розгалужувачів під час проектування збалансованої мережі [9].

Для написання цієї дипломної роботи було створено базову програму для розрахунку оптичного бюджету в середовищі PON. Розглянемо основний принцип її функціонування. Спочатку ми визначимо необхідні розрахункові формули. Сумарна потужність на всіх вихідних портах:

$$P_{out} = P_1 + \dots + P_N. \quad (2.3)$$

Коефіцієнт ділення P_k визначається як відсоткове співвідношення оптичної потужності у вихідному порту до загальної потужності на всіх вихідних портах у формулі 2.4:

$$R_k = \frac{P_k}{P_{out}}. \quad (2.4)$$

Надмірні втрати EL вказують на загальні втрати вхідної потужності під час передачі до всіх вихідних портів.

$$EL = 10 \lg \left(\frac{P_{in}}{P_{out}} \right). \quad (2.5)$$

Потужність на вході розгалужувача визначається за формулою 2.6:

$$P_{in} = P_{out} + EL. \quad (2.6)$$

Потужність на початку оптичної секції визначається за формулою 2.7:

$$P(m-1) = P(m) + \alpha L. \quad (2.7)$$

Оптичний радіус дерева PON можна визначити за формулою 2.8:

$$r_{NET} = P_{OT} - P_{NOT}. \quad (2.8)$$

Розробимо алгоритм розрахунку оптичного бюджету, рис. 2.2.

Збалансована мережа PON - це така мережа, в якій загальні втрати по всіх оптичних шляхах однакові: $FL_i = FL_j$ для всіх абонентських вузлів i, j . Така мережа характеризується трьома важливими властивостями: - різниця втрат по оптичних шляхах є мінімальною і дорівнює:

$$DL = FL_{\max} - FL_{\min} = 0, \quad (3.9)$$

— серед усіх можливих комбінацій коефіцієнтів ділення розгалужувачів оптичний радіус мережі $r_{net} = \max_i(FL_i)$ є мінімальним для досягнення збалансованої мережі;

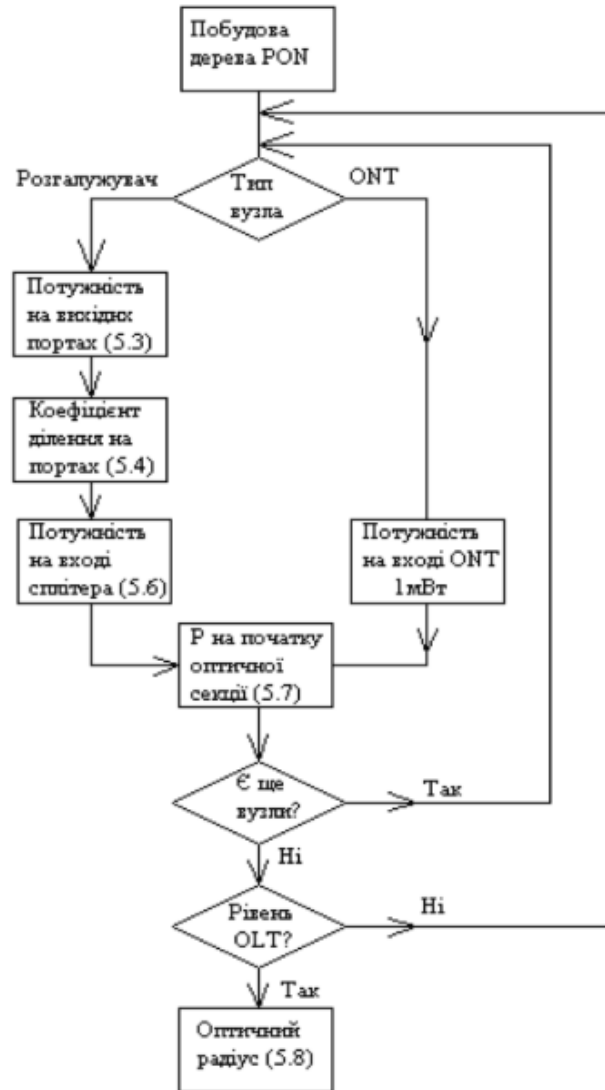


Рисунок 2.2 — Алгоритм побудови збалансованої інформаційної мережі PON

— збалансована мережа володіє найбільшою гнучкістю у розширенні, навіть без точних передбачень і є оптимальною.

Методика розрахунку оптичної збалансованої мережі полягає у наступному: кожному ONT призначається однакова вхідна потужність, а потім мережа проектується з низу вгору, з ONT до OLT крок за кроком, від найвіддаленішого ONT (де відстань вимірюється не довжиною, а кількістю розгалужень на шляху OLT-ONT). На кожній ітерації визначаються значення коефіцієнтів ділення розгалужувачів, які забезпечують однакову потужність на

вхідних портах ONT. Результатом цього алгоритму є коефіцієнти розподілу розгалужувачів, які забезпечують збалансованість мережі, та оптичний радіус мережі [11].

Графічне зображення ідеї збалансованої мережі представлено на рис. 2.3.

На початковому етапі всі компоненти мережі розташовуються на рівнях і задаються довжини оптичних відрізків. Робота алгоритму починається з елементів максимального рівня M (каскаду). Блок-схема алгоритму побудови збалансованої мережі показана на рисунку 2.4.

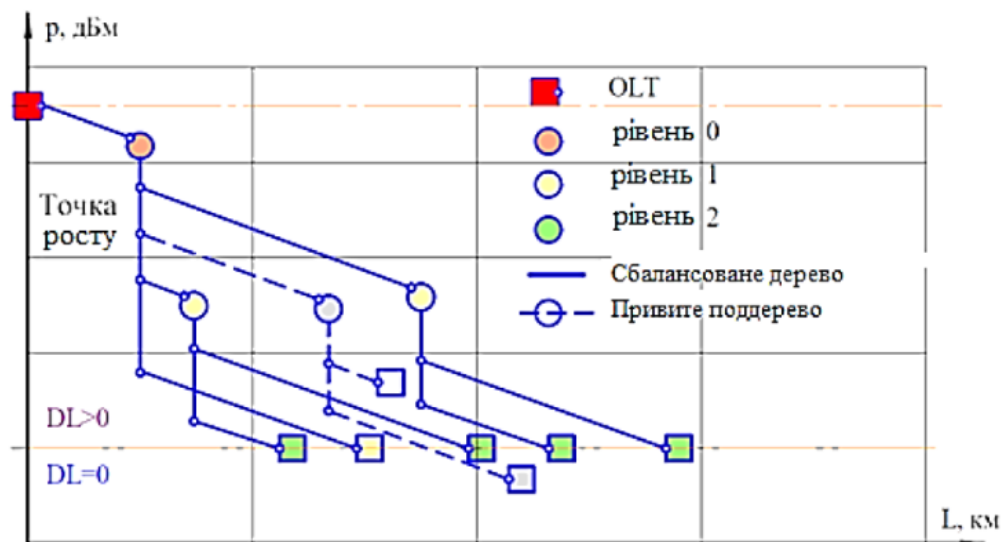


Рисунок 2.3 — Рівні потужності сигналу в каналах збалансованої мережі (представлені суцільними лініями) порівняно з незбалансованим піддеревом (представленим пунктирними лініями)

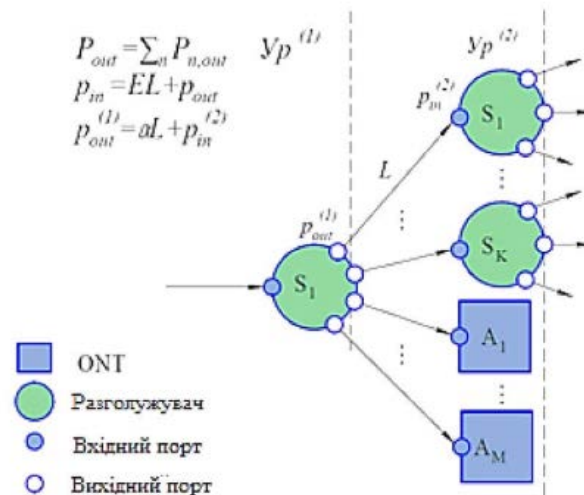


Рисунок 2.4 — Фрагмент «дерева» мережі PON

Проте, незважаючи на його простоту та природність підходу, цей метод має кілька суттєвих недоліків:

- неможливість отримання розгалужувача, що точно відповідає розрахованим параметрам;
- реальні втрати на портах у замовлених розгалужувачах можуть відрізнятися від мінімальних на значну величину нерівномірності;
- висока вартість виготовлення розгалужувачів на замовлення;
- необхідність повторного розрахунку коефіцієнтів розподілу для всіх розгалужувачів при розширенні мережі, що призводить до замовлення нових розгалужувачів, що економічно невигідно;
- алгоритм не враховує можливості планування точок зростання, коли певний запас потужності заздалегідь враховується в точках зростання для підключення нових абонентів.

Отже, більшість недоліків цього методу впливають із його ідеалізованості, тобто з відсутності прив'язки до реального обладнання. Для покращення ефективності алгоритму необхідно пристосувати його до реальних умов.

Оскільки ідеально збалансовану мережу на практиці створити неможливо, доцільно дозволити розкид параметрів і характеристик, на який впливає сам алгоритм розрахунку. Один із недоліків даного методу полягає в потребі підбору дорогих несиметричних розгалужувачів, що може бути економічно не вигідним.

Таким чином, можна досягти приблизної рівності рівнів сигналів на входах ONT та створити збалансовану оптичну мережу. Розгалужувачі вибираються із бази даних серійно виготовлених, що підвищує економічність проектуваної мережі та спрощує заміну розгалужувачів при розширенні мережі. Також рекомендується включити у проектну мережу точки зростання для полегшення подальшого розширення мережі [11].

Методика побудови квазізбалансованої оптичної мережі має кілька переваг порівняно з методом побудови збалансованої мережі. По-перше, цей метод дозволяє враховувати точки зростання під час планування та розрахунку мережі - певну потужність, яка резервується на вихідному порту розгалужувача для подальшого розширення мережі [12].

2.3 Розробка та оптимізація оптичної мережі за технологією GPON

При створенні пасивних оптичних мереж особливо важливою є оптична розгалужувача (ОР). Він надає мережі необхідну гнучкість архітектури, масштабованість, відповідність системним вимогам і економічність. ОР є основним компонентом мережі PON і здійснює просторове розділення оптичного сигналу на кілька каналів або об'єднання сигналів з різних каналів в один [12].

Розгалужувач - це пасивний оптичний багатопортовий пристрій ($n \times m$) з певною кількістю вхідних (n) і вихідних портів (m). Його головною функцією є перерозподіл потужності сигналів між вхідними та вихідними портами. У

мережах PON розгалужувачі можуть бути класифіковані за різними характеристиками, включаючи робочий діапазон пропускання (стандартні одновікові $\lambda_{раб} \pm 10$ нм, широкосмугові одновікові $\lambda_{раб} \pm 40$ нм і двовікові), технологію виготовлення (сплавні і планарні) та кількість вихідних портів і коефіцієнт розподілу потужності [13].

Оскільки мережа PON використовує оптичні кабелі, які прокладаються у різних ділянках (магістральні, розподільні, абонентські) і у різних умовах (в каналізації, на опорах, у будівлях абонентів), конструкції цих кабелів можуть відрізнятися значно. При визначенні конструкції кабелів перш за все враховують умови їх прокладки (у ґрунт, у кабельній каналізації, на опорах, у внутрішніх каналах будівель і т. д.), а також необхідну кількість волокон.

Для забезпечення працездатності мережі вона повинна включати три основні елементи:

- центральний пристрій стаціонарного типу, який агрегує потоки з усіх оптичних мереж і забезпечує зв'язок пасивної мережі з усіма зовнішніми системами;
- розподільчу систему, яка складається з спліттерів, які розгалужують сигнал на окремі гілки, магістрального фідера, який з'єднує вихідну діаграму з входом на антенній решітці, а також основних оптичних волокон для розподілу і абонентських кабелів;
- абонентські пристрої.

Існують два основних типи архітектури зовнішньої мережі: централізована і розподілена з розміщенням спліттерів. Остання схема часто називається каскадною. Головна перевага централізованої архітектури полягає у її високій гнучкості: будь-якого абонента можна підключити до будь-якого виходу будь-якого спліттера через розподільну мережу. Це дозволяє поступово, по мірі зростання числа абонентів, додавати мережні елементи, що в свою чергу дозволяє економити кошти на початковому етапі.

Важливою перевагою централізованої архітектури є також спрощений перехід до майбутніх систем WDM PON, де пропускна здатність мережі буде збільшена за рахунок додавання спектральних каналів [14].

При побудові мережі за каскадною схемою всі спліттери повинні бути встановлені одразу, і обладнання OLT розгорнуте для обслуговування розрахункового числа підключень.

До переваг каскадної схеми зазвичай відносять зменшення кількості волокон у розподільній мережі, що, зокрема, призводить до зниження витрат на зварювання. Однак важливо відзначити, що вартість прокладки оптичного кабелю, яка є значною частиною витрат при будівництві будь-якої інфраструктури, не сильно залежить від кількості волокон у ньому, тому економічні переваги в цьому аспекті можуть бути обмеженими. З іншого боку, розміри блоків, де розміщуються спліттери, можуть бути значно зменшені при каскадній схемі побудови мережі, що розширює можливості при виборі місця їхнього розміщення.

Нагальна потреба у встановленні великих монтажних конструкцій (шаф) у місцях централізованої установки спліттерів у деяких випадках може виявитися серйозним недоліком централізованої архітектури. Наприклад, у деяких проектах, провайдери можуть бути обмежені у встановленні великих вуличних шаф, і у таких випадках може знайтися рішення у встановленні компактних каскадних спліттерів у підземних або повітряних місцях.

На цьому етапі проектування вирішуються такі завдання:

- 1) Обирається, прокладається та захищається розподільний кабель.
- 2) Встановлюються вводи до житлових будинків.
- 3) Розподіляються оптичні розподільні коробки (ОРК) по під'їздам та поверхах.
- 4) Визначається місце та підключаються розгалужувачі.
- 5) Проводиться абонентське підключення.

Під час тестування мережі PON оператора переважно цікавлять два основні аспекти:

1. Реальне приглушення сигналу в оптичній лінії між центральним вузлом та абонентським пристроєм (якщо пристрій вже підключений або готується до підключення).

2. Визначення місця, де виникла проблема, якщо реальне приглушення у лінії перевищує очікуване (вказане в розрахунках або базовому).

Відповісти на перше питання зазвичай досить простих вимірів за допомогою оптичного тестера. Друге питання вимагає використання оптичного рефлектометра (OTDR) і певного рівня досвіду в аналізі рефлектограм.

Зазвичай бажано, щоб усі необхідні вимірювання проводилися на працюючій мережі PON без відключення абонентів (з винятком, можливо, тестового абонента). Таке тестування здійснюється на неактивній довжині хвилі за допомогою додаткових пристроїв (наприклад, хвильових мультиплексорів DWDM та фільтрів), щоб вимірювальна апаратура не заважала роботі корисного сигналу. У мережі PON для прямого каналу (від центру до абонентів) використовують хвилі з довжиною 1490 чи 1550 нм (для відео), а для зворотного каналу - 1310 нм. Зазвичай для тестування мережі PON використовується хвиля з довжиною 1625 нм [14].

Сигнал від вимірювальної апаратури (тестера, рефлектометра) подається в оптичне волокно негайно після OLT, використовуючи хвильовий мультиплексор (DWDM), як показано на рис. 2.5.

Схема підключення хвильового мультиплексора та фільтрів до мережі PON зазвичай виглядає наступним чином: сигнали з оптичного лінійного терміналу (OLT) та вимірювальної апаратури (тестера, рефлектометра) поєднуються з використанням хвильового мультиплексора, який дозволяє комбінувати різні довжини хвиль для передачі по одному оптичному волокну. Фільтри використовуються для вибору конкретних діапазонів хвиль, щоб відфільтрувати

сигнали від вимірювальної апаратури та забезпечити надійність передачі даних у мережі PON.

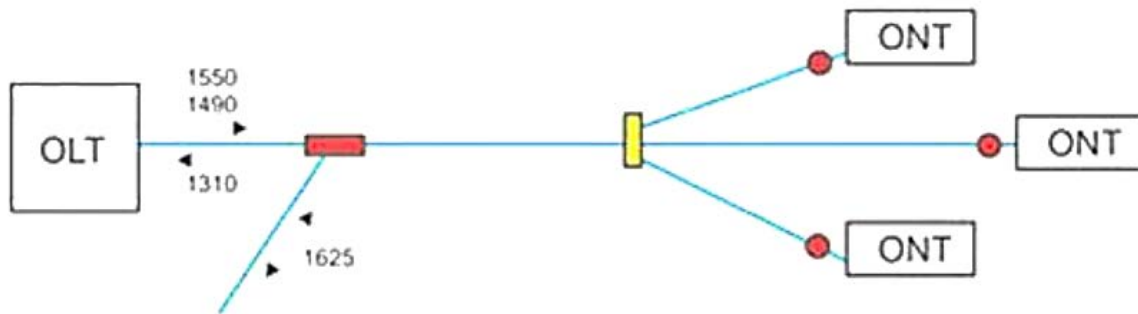


Рисунок 2.5 — Схема з'єднання хвильового мультиплексора та фільтрів з мережею PON

Це випромінювання може викликати перешкоди для оптичного приймача абонентського пристрою, тому перед кожним абонентським пристроєм ONT потрібно встановити фільтр. Щоб тестування мережі можна було проводити без відключення, хвильовий мультиплексор та фільтри повинні бути постійно включені в оптичний тракт. Для вимірювання згасання оптичної лінії між OLT і ONT використовується оптичний тестер на довжині хвилі 1625 нм. Передавач тестера підключається до вільного кінця хвильового мультиплексора OLT. Приймач тестера з'єднується з вільним кінцем волокна перед фільтром (рис. 2.6)

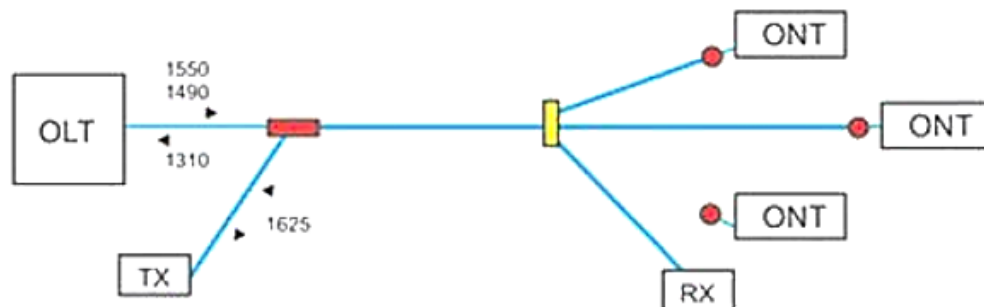


Рисунок 2.6 — Вимірювання згасання проводиться з вимкненим абонентським пристроєм

Необхідно обов'язково провести вимірювання загального згасання у усьому лінійному тракті для всіх гілок пасивної оптичної мережі. У випадку, якщо отримане значення втрат перевищує розрахункове, рекомендується провести вимірювання втрат сигналу в окремих характерних точках мережі (рис.2.7).

Для оцінки загасання оптичної мережі або її певного сегмента зазвичай використовується метод внесених втрат, який відповідає стандарту ІЕС 61280-4-2, Method 1. Цей метод включає в себе використання каліброваного джерела випромінювання та оптичного вимірювача потужності або оптичного тестера, який об'єднує обидва цих пристрої в одному корпусі [14].

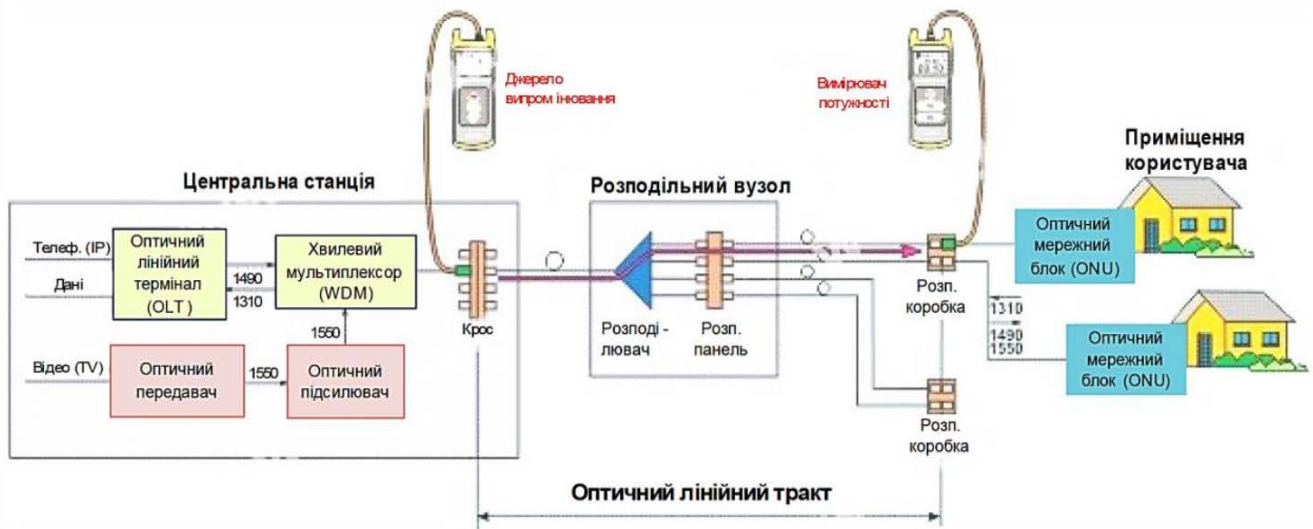


Рисунок 2.7 — Оцінка величини втрат сигналу в окремих ключових точках мережі

Методика тестування мережі PON з використанням рефлектометра полягає в наступному. Після кожної зміни в топології мережі, такої як підключення нового абонента чи заміна спліттера, реєструється опорна (еталонна) рефлектограма, яка відображає нормальний стан мережі. Якщо в мережі виникають проблеми (наприклад, якщо виміряне згасання оптичним тестером перевищує розрахункове значення), тоді реєструється нова рефлектограма, яка

порівнюється з опорною. Нові події на рефлектограмі допомагають визначити місцезнаходження проблемної ділянки (рис. 2.8).

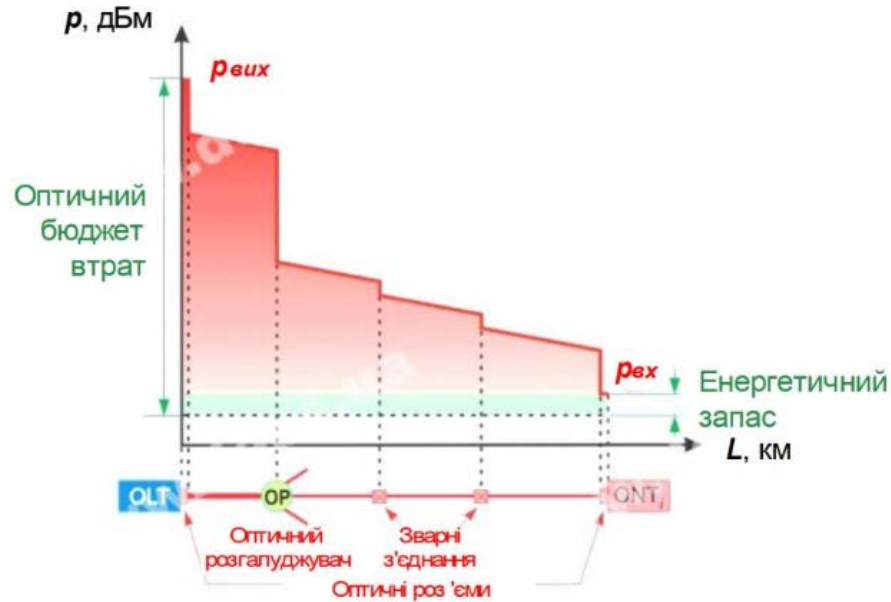


Рисунок 2.8 — Оцінка нових подій на рефлектограмі

За допомогою рефлектометра було виконано моніторинг мережі PON на виявлення проблем. Це включає регулярне (наприклад, щотижневе) отримання рефлектограм мережі та порівняння її з опорною рефлектограмою. Якщо з'являються будь-які відхилення або нові події на рефлектограмі, потрібно проаналізувати їх можливі причини і, за необхідності, вжити відповідних профілактичних заходів.

2.4 Висновки до розділу

Використання технології GPON для побудови розподільної мережі та встановлення оптичної мережі дало можливість забезпечити надійне передавання сигналу.

Були проведені тестування та розрахунки параметрів мережі, що сприяли перевірці правильності її структури та встановленню основних характеристик.

Були обґрунтовані параметри оптичної інфраструктури, розроблено алгоритми їх розрахунку та впроваджено розподільну мережу GPON.

Також було проведено тестування та розрахунок параметрів для оптимального налаштування мережі. Аналіз роботи мережі PON, включаючи методи оцінки її ефективності та оцінку її функціонування, дозволив зробити висновки щодо переваг використання технології PON для створення доступу до мережі.

3 РОЗРАХУНОК ТА КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ОПТИЧНОЇ МЕРЕЖІ

3.1 Розрахунок параметрів оптичної мережі

Щоб ефективно впровадити структуру дерева PON, необхідно у першу чергу ретельно врахувати оптичні втрати, що виникають від пасивного обладнання.

Шляхом аналізу ключових характеристик сучасних дільників потужності і проведення експериментальних досліджень можна отримати формули для розрахунку втрат, які вносять оптичні симетричні і несиметричні дільники потужності з будь-якими коефіцієнтами ділення N в другому вікні прозорості для двох класів точності, а саме класу А ($\Delta\lambda \pm 20$ нм) і класу В ($\Delta\lambda \pm 40$ нм) [15].

Для конкретної мережі, проведемо розрахунки враховуючи збалансованість мережі. Таким чином, емпіричне вираження для симетричного розподільника матиме наступний вигляд:

$$\alpha_{\text{ВНОС}} = 10 \cdot \lg N + \beta \cdot \lg [N(N-1)] \text{ Дб}, \quad (3.1)$$

Залежно від типу розподільника, поправочний коефіцієнт β має числові значення, які встановлені на основі результатів експериментів, аналізу паспортних даних та врахування робіт інших дослідників. Експериментальні дослідження симетричних планарних дільників потужності 1x2, 1x3, 1x16, 1x32 проводилися в другому вікні прозорості [15].

Параметри коефіцієнта β наведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Значення коефіцієнта β

β	Дільник	1x2	1x3	1x4	1x8	1x12	1x16	1x24	1x32	1x64
	Клас В	0,2	0,34	0,4	0,55	0,65	0,7	0,85	0,86	0,8
	Клас А	0,15	0,25	0,25	0,3	0,35	0,35	0,15	0,4	0,4

З інформації у таблиці видно, що чим більш кількісно складний розподільник, тим вище значення поправочного коефіцієнта та втрат, що вносяться через так звану інтерференцію в самій структурі розподільника.

Далі ми оцінимо величину внесених втрат симетричного розподільника в залежності від числа вихідних портів, використовуючи дані з таблиці 3.2. Результати розрахунків наведені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Втрати симетричного розподільника

Число вихідних портів N	Втрати, які виникають для симетричного розподільника, Дб	
	Для класу В	Для класу А
2	3,763	3,486
3	6,087	5,720
4	7,534	6,969
6	9,487	8,920
8	11,115	10,217
16	14,694	13,358
32	18,282	16,657

Різниця між експериментальними та розрахованими значеннями втрат, отриманими за формулою (3.1), становить від 0,05 до 0,2 Дб [15]. Вираз для несиметричного розподільника потужності з числом вихідних портів N виглядає так:

$$\alpha_{\text{ВНОС}} = 10 \cdot \lg \frac{100}{P} + \beta \cdot \lg \left[\frac{100}{P} (N - 1) \right] \text{ Дб}, \quad (3.2)$$

де коефіцієнт β для класу А дорівнює 0,15, а для класу В - 0,25;

Р - це відсоток потужності, виведеної в даний порт у відсотках.

Відповідно до даних у таблиці 3.2, розрахункова різниця між числовими значеннями внесених втрат, які були виміряні експериментально та розраховані, становить від 0,05 до 0,2 дБ, і максимально до 0,3 дБ. За допомогою отриманих виразів можна розрахувати втрати з похибкою, яка не перевищує 5%, як показано в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Втрати, які виникають від несиметричного розподільника потужності

Процент потужності, що виводиться на кожен порт, %	Втрати, що вносяться, Дб			
	Клас В	$\beta = 0,25$	Клас А	$\beta = 0,15$
10/90	10,25	0,470	10,15	0,474
20/80	7,165	0,993	7,096	0,984
30/70	5,36	1,589	7,096	0,985
40/60	4,079	2,275	4,039	2,254

Давайте здійснимо оцінку працездатності мережі PON для конкретного сценарію.

Теоретичний радіус дії мережі PON становить 20 км. Проте практичні аспекти визначаються бюджетом втрат на конкретній гілці дерева.

Для розрахунків використовуються найгірші значення згасання, чутливості та потужності випромінювання передавачів. Зазвичай при таких розрахунках використовуються таблиці згасань для сплітерів, приймаючи наступні значення: 0,05 дБм для згасання на зварюванні; 0,36 дБм/км для згасання у волокні при довжині хвилі 1310 нм (для 1550 нм згасання у волокні становить 0,22 дБм/км); згасання на механічному з'єднанні вважається рівним 0,5 дБм, а згасання при

перегині може коливатися від 0,15 до 7 дБм та більше (це значення визначається за допомогою вимірювальних приладів на місці) [16].

Далі потрібно узяти до уваги та підсумувати всі місця, де існують елементи, які вносять згасання в лінію між головною станцією OLT та абонентським комплектом ONT. До отриманих значень додається згасання у волокні по всій довжині лінії від найвіддаленішого абонента до OLT. Цим чином, ми можемо розрахувати загальний бюджет втрат у PON [16].

Наступним етапом є розрахунок оптичного бюджету потужності, який, як правило, приймають на рівні 30 дБм (це гарантована виробником максимальна величина оптичного бюджету потужності). Будь-яке значення, що перевищує 30 дБм, потребує додаткового тестування.

Ефективна робота мережі забезпечується у випадку, якщо загальний бюджет втрат у мережі не перевищує бюджет потужності.

Окремо, слід враховувати передачу кабельного телебачення (CATV) та роботу зварених розподільників. Для CATV телевізійний сигнал має потужність від 7 дБм (у найгіршому випадку) до 24 дБм (у випадку використання дорогих передавачів або підсилювачів EDFA), при цьому на телевізійний приймач (як окремий пристрій або частина ONU) сигнал повинен надходити з мінімальною потужністю -12 дБм. Отже, використання зварених розподільників вимагає особливої уваги, і перед кожним новим підключенням рекомендується перерахувати мережу PON, щоб переконатися, що сигнал для кожного абонента залишається в межах чутливості телевізійного приймача [16].

Вхідні дані для розрахунку наступні:

Максимальна відстань від OLT до ONT у дереві складає 250 метрів;

Початкова потужність:

Потужність передавача SFP модуля OLT: "SFP TX PWR" = +5 дБ,
потужність передавача SFP модуля ONT: "SFP TX PWR" = +2 дБ;

Чутливість приймача: ONU: "ONU RX SENS" = -28 дБ, SFP модуль OLT: "SFP RX SENS" = -32 дБ;

Отже, оптичний бюджет лінії складе:

$$\text{OLT} \rightarrow \text{ONT}: (P=+5-5-(-28)) = 33 \text{ дБ};$$

$$\text{ONT} \rightarrow \text{OLT}: (P=+2-2-(-32)) = 34 \text{ дБ};$$

Втрати через роз'ємні з'єднання (конектори) дорівнюють 0,15 (0,3) дБ, тоді як втрати через нероз'ємні з'єднання (зварювання) становлять 0,05 (0,15) дБ.

Згасання в стандартному волокні типу G.652.D на кожному кілометрі при довжині хвилі 1310 нм складає 0,36 дБ/км, а при довжині хвилі 1550 нм - 0,22 дБ/км.

Для резервування у роботі в мережі передбачено експлуатаційний запас у 3 дБ.

Наступним етапом аналізу є розрахунок максимально можливих втрат у дереві при використанні спліттерів за такою схемою:

$$\text{OLT} \rightarrow 1 \times 8 \rightarrow 1 \times 8 \rightarrow \text{ONT}.$$

Для оцінки працездатності лінії розраховуємо різницю між загальною потужністю та сумою втрат.

$$33-24,175=8,825 \text{ дБ}.$$

У цьому конкретному випадку, де ми маємо 2 конекторних з'єднання, 4 зварені з'єднання, 2 спліттери 1x8 і лінію довжиною 250 м, максимальні можливі втрати складають: -0,15 (конектор OLT) - 0,05 (зварювання) - 10,3 (загасання спліттера) - 0,05 (зварювання) - 0,05 (зварювання) - 10,3 (загасання

спліттера) - 0,05 (зварювання) - 0,15 (конектор ONT) - 0,075 (втрати в кабелі на 250 м) - 3 (експлуатаційний запас), що дорівнює -24,175 дБ.

При розрахунках проектованої мережі, які виконуватимуться від ONT до OLT, передбачається, що сигнал буде передаватися на довжині хвилі 1310 нм, де коефіцієнт загасання дорівнює 0,35 дБ/км, оскільки це напрямок висхідного потоку.

Для визначення характеристик оптичних розгалужувачів та подальших розрахунків мережі потрібно врахувати втрати, які характерні для цієї мережі. Основними з них є втрати на роз'ємних з'єднаннях, які становлять 0,3 дБ, і втрати на зварних з'єднаннях - 0,05 дБ [18].

Таким чином, всі розрахунки показують, що зазначені параметри відповідають нормам, і мережа PON є працездатною з запасом у 8,825 дБ.

3.2 Моделювання процесу передавання трафіку в пасивній оптичній мережі доступу для одиничного користувача

Для того, щоб визначити вплив типу сервісів у фіксованих та мобільних мережах на характеристики трафіку, потрібно провести дослідження процесу передавання інформаційних потоків з використанням мережних аналізаторів. У цьому дослідженні використовувалися програми CommView та Wireshark, що дозволяють перехоплювати інформаційні потоки, які проходять через мережний інтерфейс. CommView використовувалося для аналізу співвідношення пакетів за їхнім розміром та протоколами на рівнях мережі, транспорту та додаткового рівнів. Wireshark, з свого боку, надає можливість зібрати статистику щодо інтенсивності мережного трафіку та відобразити її у вигляді графічних залежностей.

Для дослідження трафіку IP-телефонії використано Skype. Каталог користувачів розподілений по комп'ютерах у мережі Skype, що дозволяє

масштабувати мережу до великих розмірів (наразі понад 100 мільйонів користувачів, 15-25 мільйонів онлайн) без дорогої централізованої інфраструктури серверів. Єдиним центральним елементом є сервер ідентифікації, де зберігаються облікові записи та резервні копії списків контактів. Центральний сервер потрібний тільки для встановлення зв'язку. Після цього комп'ютери надсилають голосові дані один одному (якщо є прямий зв'язок) або через Skype-посередник (супервузол з зовнішньою IP-адресою та відкритим TCP-портом для Skype). Наприклад, якщо два комп'ютери в одній локальній мережі встановили між собою Skype-з'єднання, то зв'язок з Інтернетом можна відключити, і розмова продовжиться до завершення або збою зв'язку в мережі. Для статистичних досліджень були проведені сеанси чату та голосового дзвінка, по 30 хвилин кожен. Результати аналізу сумарної інтенсивності трафіку під час користування Skype у режимі чату показані на рисунку 3.1.

На графіку 3.1 (а) можна помітити, що пакетний трафік у режимі чату відзначається стабільністю (інтервал А). Проте корисне навантаження періодично зростає з однаковою амплітудою у моменти відправлення повідомлень (інтервал Б). Результати аналізу використання Skype у режимі розмови представлені на графіку 3.1 (б).



Рисунок 3.1 – Обсяг передачі даних через мережний інтерфейс під час використання Skype у чат-режимі – (а), а також у режимі голосового спілкування – (б).

На графіку 3.2 відображено типовий профіль трафіку, створений одним абонентом під час використання послуг локальних мереж протягом однієї хвилини, тоді як на графіку 3.3 показана його ймовірнісна густота розподілу.

З графіка 3.2 можна помітити випадковий характер змін трафіку, що генерується абонентом у мережі.

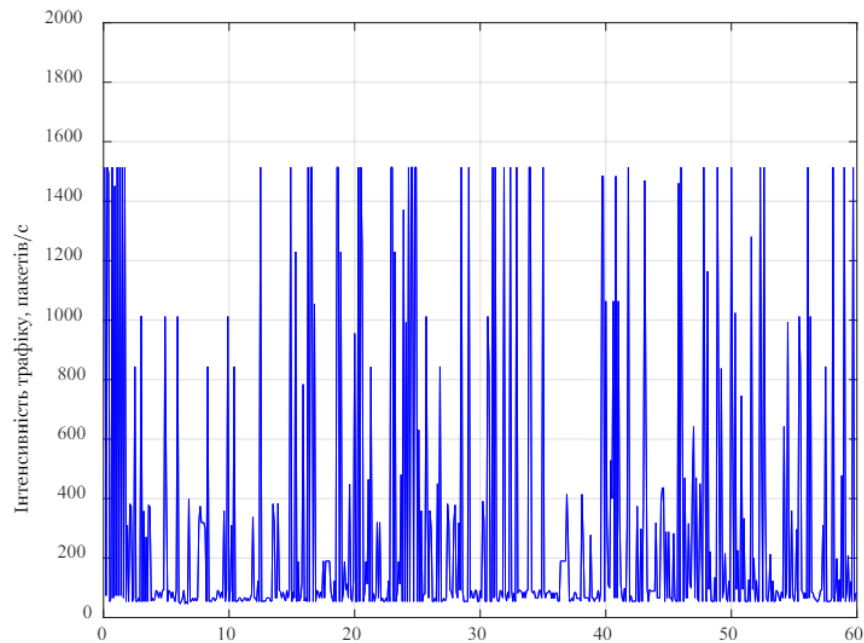


Рисунок 3.2 – Профіль трафіку одного абонента протягом однієї хвилини

Відсутність чіткої закономірності у інтенсивності трафіку відображається на рис. 3.3 через ймовірнісну функцію розподілу. Згідно зі статистикою, трафік переважно складається з пакетів мінімального розміру (64 байти) та максимального розміру (1518 байт).

Отримані результати дозволяють визначити необхідні параметри для базової транспортної мережі доступу. На підставі знайдених статистичних зв'язків проводиться приблизна оцінка співвідношення між потрібною пропускною здатністю конвергентних оптичних мереж доступу у напрямках вниз і вгору передавання даних.

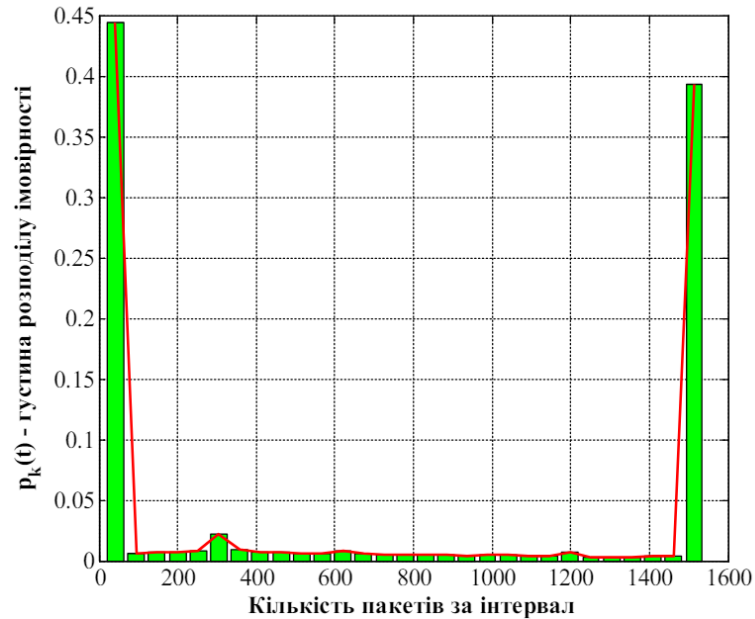


Рисунок 3.3 – Ймовірнісна густина розподілу для трафіку, що генерується одним користувачем

3.3 Моделювання статистичних характеристик агрегованого трафіку в опорній оптичній мережі

Дослідження статистичних характеристик мережного трафіку, яке було проведене в попередньому пункті, обмежене аналізом лише одного мережного вузла. Це обмеження не дозволяє повністю оцінити вплив сервісів у мережі на характеристики мережевого трафіку. Тому необхідно провести аналіз трафіку на виході агрегаційного вузла.

Було проведено моделювання характеристик трафіку для гетерогенної мережі мобільного зв'язку. Бездротовий сегмент включає велику кількість мікрокомірок, розташованих на відстані 50-200 метрів одна від одної, і доповнюється макрорівнем для забезпечення рівномірного покриття території. Макрокомірки розташовані на відстані приблизно 500 метрів одна від одної. На основі цієї моделі процесу агрегації трафіку в мережі мобільного зв'язку

отримано часові характеристики агрегованого трафіку, що генерується абонентами [17]. На рисунку 3.4 представлений профіль агрегованого трафіку, а на рис. 3.5 наведена його ймовірнісна густота розподілу.

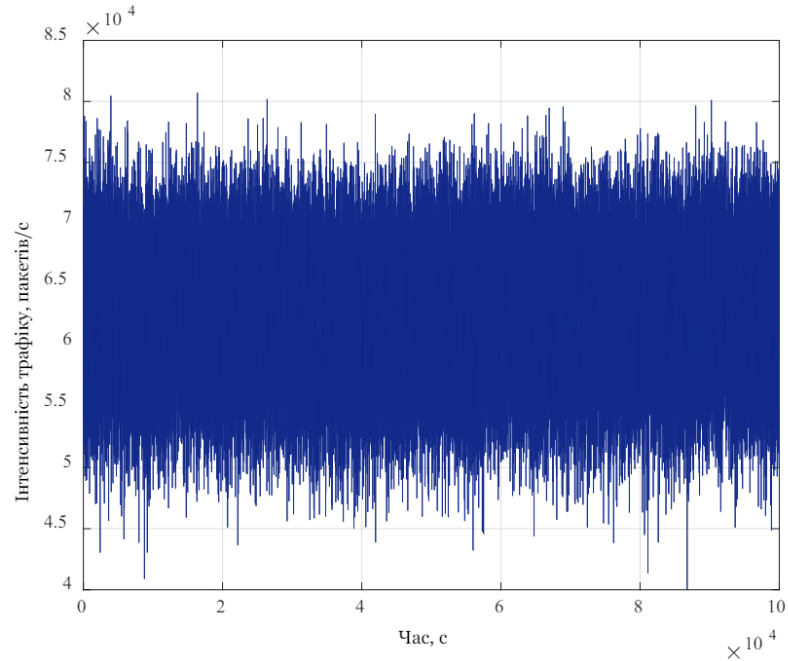


Рисунок 3.4 – Профіль агрегованого трафіку протягом однієї хвилини

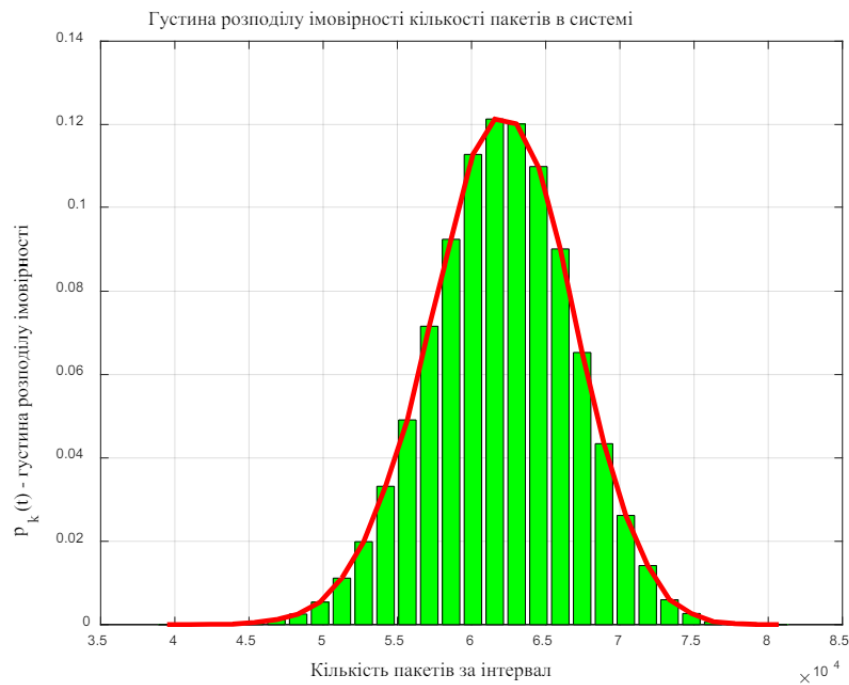


Рисунок 3.5 – Густина розподілу ймовірності для агрегованого трафіку

На графіку 3.4 спостерігається систематична залежність зміни інтенсивності трафіку на рівні агрегації. Самоподібні властивості трафіку підтверджуються значенням параметра Херста $H=0.76$, що свідчить про постійність процесу надходження пакетів до агрегуючого маршрутизатора. На графіку 3.5 демонструється залежність густини розподілу ймовірності для агрегованого трафіку, що вказує на чітке відображення інтенсивності трафіку законом розподілу.

Моделювання проводилось для трьох значень спектральної ефективності радіоканалів: 5, 10 та 20 біт/с/Гц. Для кожного значення визначено залежність пропускної здатності сегменту опорної транспортної мережі від кількості мікрокомірок. Результати показують, що пропускна здатність транспортної мережі зростає зі збільшенням кількості мікрокомірок. Крім того, при фіксованій кількості мікрокомірок пропускна здатність також зростає зі збільшенням середньої спектральної ефективності.

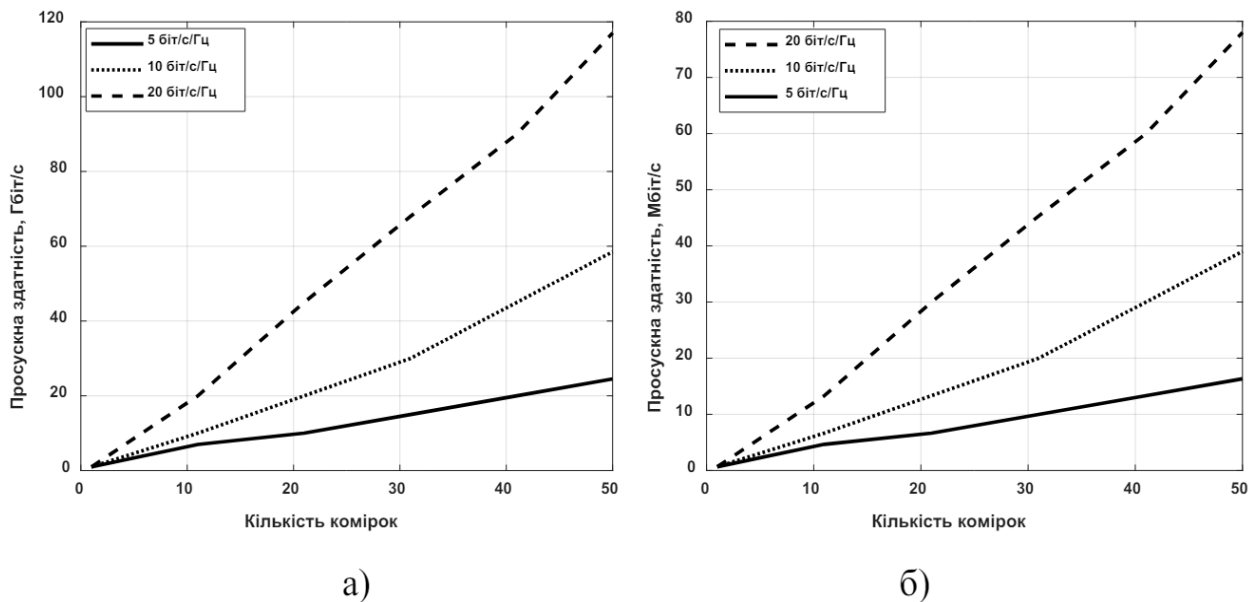


Рисунок 3.6 – Залежність пропускної здатності опорної транспортної мережі від кількості мікрокомірок у низхідному (а) та висхідному напрямках передавання (б)

Відповідно до розрахунків, пропускна спроможність опорної транспортної мережі розподіляється таким чином: 60% для низхідного напрямку передачі та 40% для висхідного напрямку, що значно відрізняється від традиційного співвідношення 80% до 20%, що використовується для розрахунків у існуючих пасивних оптичних мережах фіксованого доступу.

Результати моделювання вказують на те, що при високих значеннях спектральної ефективності радіоканалів у мережах мобільного зв'язку вимоги до пропускної здатності опорної транспортної мережі перевищують максимально можливе значення пропускної здатності одного ресурсного блоку конвергентної оптичної мережі доступу.

Отже, для розширення масштабованості мережі, пропонується використання алгоритму агрегації ресурсних блоків у конвергентній оптичній мережі доступу. Цей алгоритм переналаштовує корисне та службове навантаження ресурсних блоків, щоб створити агреговані ресурсні блоки розмірами 16×8 (WDM 16), 24×8 (WDM 24) та 32×8 (WDM 32) [17]. Це дозволяє збільшити пропускну здатність сегмента або комірки до 160, 240 або 320 Гбіт/с у періоди пікового навантаження за умови агрегації 2, 3 або 4 ресурсних блоків відповідно.

$$C_{RB} = \frac{4 \cdot 19440 \cdot 8 \cdot 8 \cdot 8}{125 \cdot 10^{-6}} = 318.50496 \text{ Гбіт} / \text{с}. \quad (3.3)$$

На рисунку 3.7 зображено функціональну модель методу агрегації ресурсних блоків.

Врахування статистичних даних у запропонованій моделі конвергенції фіксованих оптичних мереж доступу з опорною транспортною інфраструктурою мереж мобільного зв'язку дозволяє підвищити ефективність використання пропускної здатності оптичних каналів зв'язку у транспортних мережах [17].

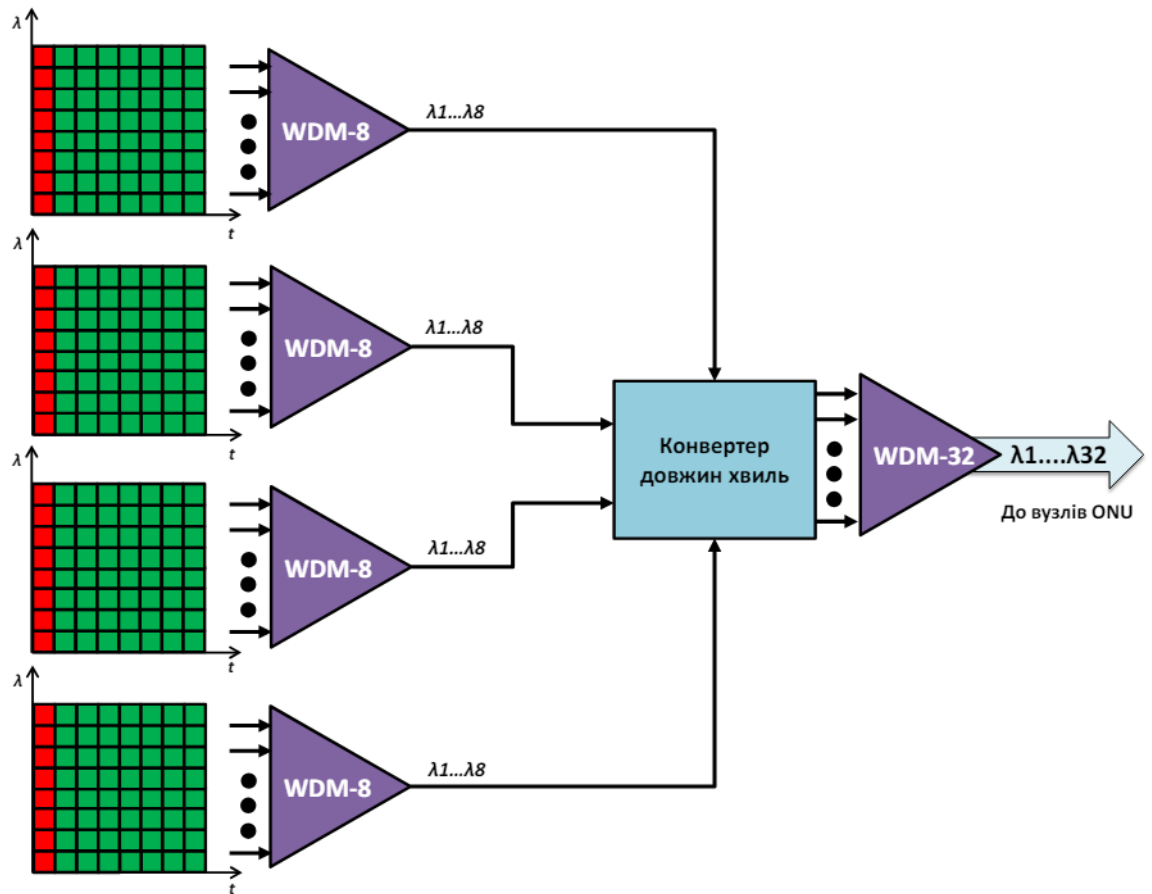


Рисунок 3.7 – Модель процесу агрегації ресурсних блоків, спрямована на збільшення пікової пропускної здатності у конвергентних оптичних мережах доступу

Для оцінки ефективності нової моделі розподілу каналних ресурсів порівняно з існуючими в мережах 10 GEAPON (10 Gigabit Ethernet PON), ми провели моделювання за такими вихідними умовами: середній розмір пакету - 1 кБ, кількість вхідних потоків - 24, інтенсивність вхідних потоків - 10 Гбіт/с, тривалість моделювання - 50 годин. Результати моделювання для обох напрямків передавання можна побачити на рисунку 3.8.

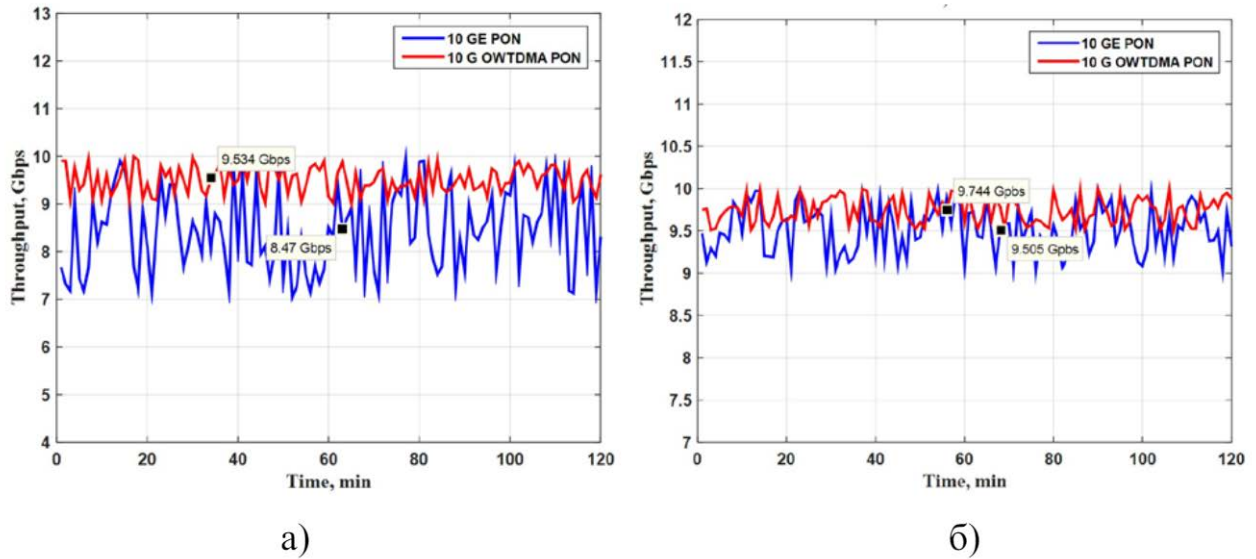


Рисунок 3.8 – Порівняння пропускної здатності запропонованої оптичної мережі з існуючими мережами 10 GEPON для висхідного каналу (а) та низхідного каналу (б)

З результатів на рисунку 3.8 видно, що розроблений алгоритм мультиплексування корисного та службового трафіку у спектрально-часові ресурсні блоки дозволяє підвищити коефіцієнт використання пропускної здатності пасивної оптичної мережі до 5% у низхідному каналі та до 15% у висхідному каналі, залежно від поточної інтенсивності трафіку.

3.4 Моделювання запропонованого методу балансування трафіку між сегментами мережі доступу з урахуванням їх взаємозв'язності

Для порівняння ефективності запропонованого методу з існуючими було проведено аналіз коефіцієнту використання каналів при зміні інтенсивності навантаження за таких вихідних умов:

- середній розмір пакету: 1 кБ;
- кількість вхідних потоків: 24;

- інтенсивність вхідних потоків: 10 Гбіт/с;
- тривалість моделювання: 50 годин.

На рисунку 3.8 наведено профіль та густину розподілу ймовірності змодельованого вхідного трафіку.

Параметр Херста для трафіку, що був змодельований, складає $H=0.92$. Інтенсивність надходження викликів розподілена відповідно до нормального закону. На рисунку 3.9 показано порівняльну залежність коефіцієнта використання пропускної здатності оптичних ліній зв'язку.

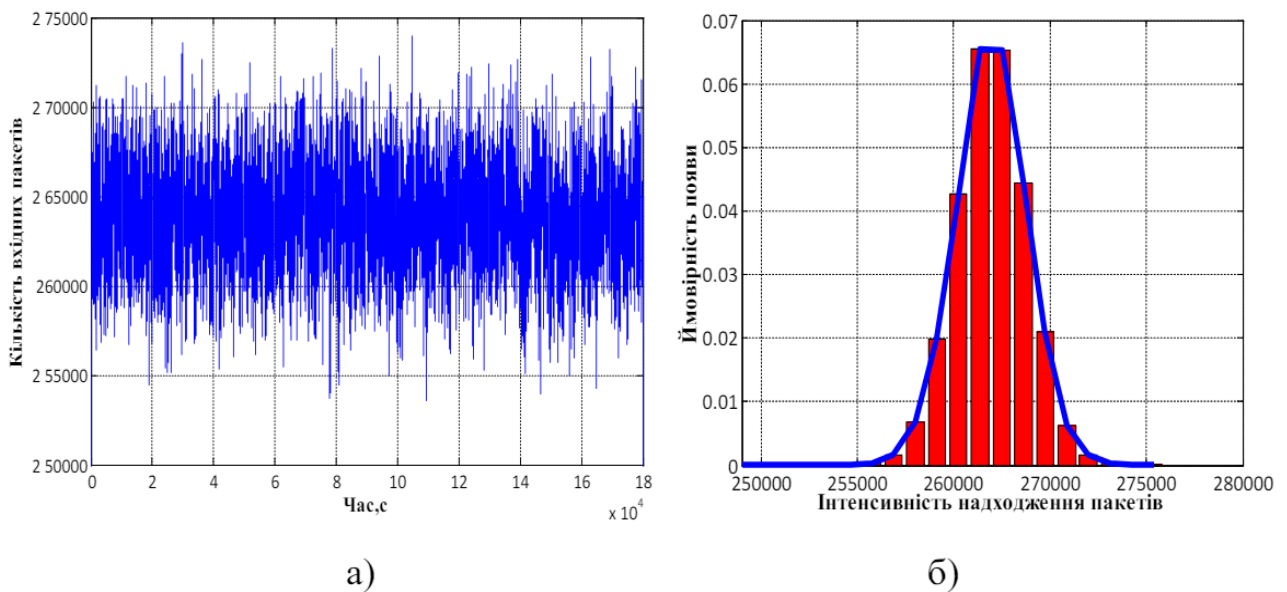


Рисунок 3.8 – Профіль (а) та густина розподілу ймовірності (б) для дослідженого трафіку

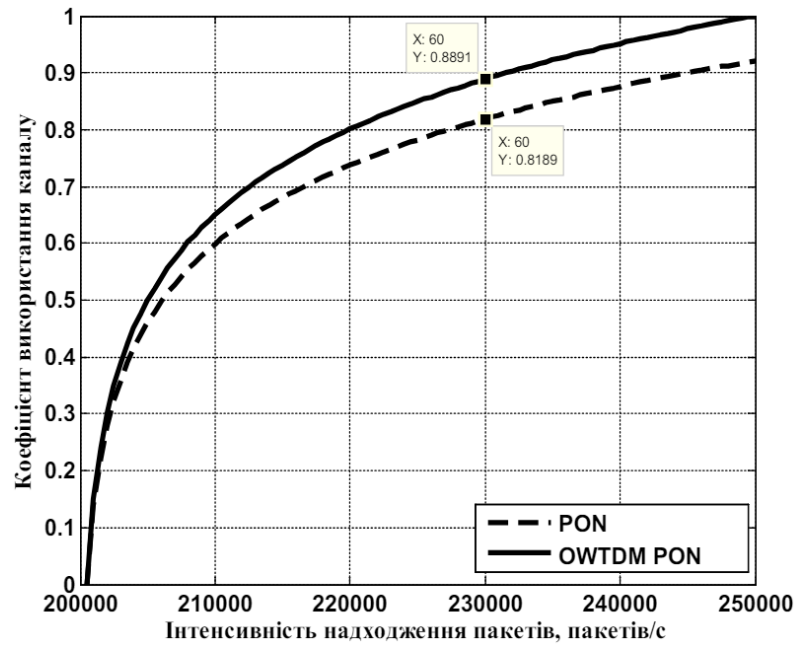


Рисунок 3.9 – Порівняльні залежності ефективності використання ресурсів від інтенсивності трафіку

Моделювання підтверджує, що метод балансування трафіку, який враховує зв'язок між окремими сегментами мереж доступу, ефективніше використовує наявну пропускну здатність. Завдяки спектрально-часовому мультиплексуванню покращується гнучкість використання ресурсів та усувається явище недовантаження каналу. Результати моделювання свідчать, що перевага запропонованого методу становить приблизно 7% з точки зору коефіцієнта використання каналу.

3.5 Висновки до розділу

Згідно з проведеними дослідженнями, розподіл пропускнуєї спроможності опорної транспортної мережі складає 60% на низхідний напрямок передавання і 40% на висхідний, що значно відрізняється від традиційного співвідношення

80% на 20%, яке зазвичай використовується для існуючих пасивних оптичних мереж.

Було проведено моделювання характеристик трафіку в гетерогенних мережах мобільного зв'язку, щоб визначити вимоги до пропускної здатності опорної мережі. Результати моделювання показують, що при високих значеннях спектральної ефективності радіоканалів мережі мобільного зв'язку, вимоги до пропускної здатності опорної транспортної мережі перевищують максимально можливе значення пропускної здатності одного ресурсного блоку конвергентної оптичної мережі доступу, яке становить 79,62624 Гбіт/с. Тому, для підвищення масштабованості мережі, було запропоновано алгоритм агрегації ресурсних блоків, який дає можливість у періоди пікового навантаження підвищувати пропускну здатність для сегменту або комірки до 320 Гбіт/с.

Результати моделювання свідчать, що запропонований алгоритм балансування трафіку з урахуванням зв'язності окремих сегментів дозволяє підвищувати точність розподілу каналних ресурсів у конвергентних мережах доступу на 7%.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Під час дослідження адаптації алгоритмів технології PON для підвищення якості широкосмугового доступу на працівника, впливають такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори [18]: підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони; підвищена та понижена температура повітря робочої зони; підвищений рівень шуму; підвищений рівень статичної електрики; підвищена напруженість електричного поля; недостатня освітленість повітря робочої зони; фізичні перевантаження (статичні); нервово - психічні перевантаження (перенапруга аналізаторів).

Відповідно до визначених факторів формуємо рекомендації щодо покращення умов праці на робочому місці.

4.1. Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

На робочому місці дослідника адаптації алгоритмів технології PON для підвищення якості широкосмугового доступу виникають небезпечні та шкідливі фактори: підвищений рівень шуму, несприятливі мікрокліматичні умови, недостатній рівень освітленості, шкідливі речовини, підвищений рівень електромагнітних випромінювань радіочастот, висока напруга електричної мережі, статична електрика та інші. Робота з ПК супроводжується також підвищеним ступенем напруженості трудового процесу. При систематичному впливі виробничих факторів, які не відповідають нормативним показникам, зростає рівень професійно зумовленої захворюваності працюючих та можуть виникнути професійні захворювання органів зору, руху, нервової системи.

Проектування робочих місць, забезпечених ПК, відноситься до числа важливих проблем ергономічного проектування в області обчислювальної техніки.

Робоче місце і взаємне розташування всіх його елементів повинне відповідати антропометричним, фізичним і психологічним вимогам. Велике значення має також характер роботи. Зокрема, при організації робочого місця проектувальника повинні бути дотримані наступні основні умови: оптимальне розміщення устаткування, що входить до складу робочого місця і достатній робочий простір, що дозволяє здійснювати всі необхідні рухи і переміщення [19].

Головними елементами робочого місця проектувальника є стіл і крісло. Основним робочим положенням є положення сидячи. Робоча поза сидячи викликає мінімальне стомлення працівника. Раціональне планування робочого місця передбачає чіткий порядок і постійність розміщення предметів, засобів праці і документації. Те, що потрібне для виконання робіт частіше, розташоване в зоні легкої досяжності робочого простору.

Висота робочої поверхні столу для користувачів повинна регулюватися в межах 680-800 мм, при відсутності такої можливості висота робочої поверхні столу повинна бути 725 мм. Модульними розмірами робочої поверхні столу для ПК, на підставі яких повинні розраховуватися конструктивні розміри, слід вважати: ширину 800, 1200, 1400 мм, глибину 800 і 1000 мм при нерегульованій висоті, що дорівнює 725 мм. Робочий стіл повинен мати простір для ніг висотою не менше 600 мм, шириною – не менше 500 мм, глибиною на рівні колін - не менше 450 мм і на рівні простягнутої ноги – не менше 650 мм.

Робочий стілець (крісло) повинен бути підйомно-поворотним і регульованим по висоті і кутам нахилу сидіння і спинки, а також - відстані спинки до переднього краю сидіння. Робоче місце необхідно обладнати підставкою для ніг, має ширину не менше 300 мм, глибину не менше 400 мм,

регулювання по висоті в межах до 150 мм і по куту нахилу опорної поверхні підставки до 20 градусів. Підставка повинна мати рифлену поверхню і бортик по передньому краю заввишки 10 мм. Клавіатуру слід розташовувати на поверхні столу на відстані 100-300 мм від краю, зверненого до користувача, або на спеціальній регульованій по висоті робочій поверхні, відокремленої від основної стільниці.

Електричний струм – являє собою прихований тип небезпеки, бо його важко визначити в токо- та неструмоведучих частинах устаткування, які є хорошими провідниками електрики. Смертельно небезпечним для життя людини вважають струм, величина якого перевищує 0,05 А, струм менше 0,05 А - безпечний (до 1000 В). З метою попередження уражень електричним струмом до роботи повинні допускатися тільки особи, що добре вивчили основні правила з безпеки виконання роботи.

Приміщення, де експлуатуються ПК, належать до приміщень без підвищеної небезпеки ураження людини електричним струмом. Вимоги електробезпеки і пожежної безпеки у приміщеннях, де встановлені ПК і все устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження роботи їх, електропроводи і кабелі мають відповідати електробезпеці зони та мати апаратуру захисту від струму короткого замикання.

Лінії електромережі ПК, у приміщенні виконана як окрема групова трипровідна мережа шляхом прокладання фазового, нульового робочого та нульового захисного провідників (заземлення або занулення), причому площі перерізу нульового робочого і нульового захисного провідника повинні бути не менші за площу перерізу фазового провідника.

Відповідно до правил електробезпеки в службовому приміщенні повинен здійснюватись постійний контроль стану електропроводки, запобіжних щитів, шнурів, за допомогою яких включаються в електромережу комп'ютери, освітлювальні прилади, інші електроприлади. Електричні установки, до яких

відноситься практично все обладнання ПК, представляють для людини велику потенційну небезпеку, тому що в процесі експлуатації або проведенні профілактичних робіт людина може торкнутися частин, що знаходяться під напругою. Специфічна небезпека електроустановок - струмоведучі провідники, корпуси стійок ПК і іншого устаткування, яка під напругою в результаті пошкодження (пробою) ізоляції, не подають будь-яких сигналів, які попереджають людину про небезпеку. Реакція людини на електричний струм виникає лише при протіканні останнього через тіло людини. Виключно важливе значення для запобігання електротравматизму має правильна організація обслуговування діючих електроустановок ВЦ, проведення ремонтних, монтажних і профілактичних робіт.

Оскільки в приміщенні використовується понад п'ять ПК, тому на помітному місці встановлено аварійний резервний вимикач, який в разі небезпеки повністю знеструмлює електричну мережу (крім освітлення). В такому випадку при використанні трипровідникового захищеного проводу або кабелю в оболонці з негорючого або важкогорючого матеріалу дозволено прокладати їх без металевих труб та гнучких металевих рукавів, що ми і спостерігаємо у приміщенні.

4.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

4.2.1 Мікроклімат

Мікроклімат виробничих приміщень нормується в залежності від теплових характеристик виробничого приміщення, категорії робіт по важкості і періоду року. Категорія виконуваних робіт під час дослідження адаптації алгоритмів технології PON для підвищення якості широкосмугового доступу - 1а [22] (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Параметр мікроклімату	Величина
Холодний	Температура повітря в приміщенні	21 ... 25 ° C
	Відносна вологість	40 ... 60%
	Швидкість руху повітря	до 0,1 м / с
Теплий	Температура повітря в приміщенні	22 ... 28 ° C
	Відносна вологість	40 ... 60%
	Швидкість руху повітря	0,1 ... 0,2 м / с

Для підтримання у виробничих приміщеннях метеорологічних умов, які задовольняють нормативні вимоги використовують систему вентиляції. Приміщення обладнано системою загально обмінної припливно-витяжної вентиляції. На кожен вентиляційну установку складений паспорт з технічною характеристикою та схемою установки. Крім того, для підтримання температури в холодний період року використовують загальну систему опалення.

4.2.2. Склад повітря робочої зони

ГДК шкідливих речовин, які знаходяться в досліджуваному приміщенні, наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	

Оксид азоту	0,085	0,085	2
Вуглекислий газ	3	1	4
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4
Озон	0,16	0,03	1

Під час роботи на ПК важливо, щоб повітря мало певний іонний склад. Рівні позитивних і негативних іонів у повітрі приміщень з ПК мають відповідати санітарно-гігієнічним нормам (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 – Рівні іонізації повітря приміщень при роботі на ПК

Рівні	Кількість іонів в 1 см ³	
	n+	n-
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально необхідні	50000	50000

Забезпечення складу повітря робочої зони здійснюється за допомогою системи кондиціонування, регулярного провітрювання, та вологого прибирання.

4.2.3 Виробниче освітлення

Природне освітлення на робочому місці проектувальника є бічне одностороннє.

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО (для III пояса світлового клімату) при природному та сумісному освітленні (характеристика зорової роботи – дуже високої точності) зазначені у таблиці 4.4:

Таблиця 4.4 - Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, лк		КПО, e_n , %			
						Штучне освітлення		Природне освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове
Дуже високої точності	Від 0,15 до 0,3	II	г	великий	світлий	1000	300	7	2,5	4,2	1,5

Для максимального використання природного освітлення в приміщенні слід систематично очищувати вікна від пилу та встановити жалюзі. Віконні прорізи не затемнюються іншими будівлями.

Як джерела світла для штучного освітлення в приміщенні застосовуються люмінесцентні лампи типу ЛБ. Допускається застосування ламп розжарювання у світильниках місцевого освітлення

4.2.4 Виробничий шум

Рівні шуму на робочих місцях визначаються за ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» [23] (табл.4.2.5).

Таблиця 4.5 - Допустимі рівні звуку, еквівалентні рівні звуку і рівні звукового тиску в октавних смугах частот

Вид трудової діяльності, робочі місця	Рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах із середньгеометричними частотами, Гц									Рівні звуку, еквівалентні рівні звуку, дБА/дБАекв
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Творча діяльність, обробка даних,	86	71	61	54	49	45	42	40	38	60

Рівень шуму на робочих місцях не має перевищувати 60 дБА, що досягається застосуванням мал шумного обладнання, використанням спеціальних матеріалів для обшивки приміщень, а також різноманітними звукопоглинальними пристроями (перегородки, кожухи, прокладки тощо).

4.2.5. Виробничі випромінювання

Значення напруженості електростатичного поля на робочих місцях із ПК (як у зоні екрана дисплея, так і на поверхнях обладнання, клавіатури, друкувального пристрою) мають не перевищувати гранично допустимих [24] (табл. 4.6).

Інтенсивність потоків інфрачервоного випромінювання має не перевищувати допустимих значень [21].

Потужність експозиційної дози рентгенівського випромінювання на відстані 0,05 м від екрана та корпусу відео термінала при будь-яких положеннях регулювальних пристроїв не повинна перевищувати ОД бер/год (100 мкР/год).

Таблиця 4.6 – Допустимі параметри електромагнітних випромінювань

Найменування параметра	Допустимі значення
Напруженість електричної складової електромагнітного поля на відстані 50 см від поверхні відеомонітору	10 В/м
Напруженість магнітної складової електромагнітного поля на відстані 50 см від поверхні відеомонітору	0,3 А/м
Напруженість електростатичного поля не повинна перевищувати:	для дорослих користувачів 20кВ/м для дітей 15кВ/м

Для забезпечення захисту і досягнення нормованих рівнів комп'ютерних випромінювань необхідно застосовувати при екранні фільтри, локальні світлофільтри (засоби індивідуального захисту очей) та інші засоби захисту, що пройшли випробування в акредитованих лабораторіях і мають щорічний гігієнічний сертифікат (згідно Директиви № 90/270/ЕЄС [25]).

4.3 Пожежна безпека

Пожежна безпека – стан об'єкта, при якому виключається можливість пожежі, а в разі його виникнення запобігається вплив на людей небезпечних факторів пожежі і забезпечується захист матеріальних цінностей. Пожежна

безпека забезпечується системою запобігання пожежі і системою пожежного захисту.

Пожежна безпека приміщення повинна відповідати вимогам Кодексу цивільного захисту України [26] та «Правила пожежної безпеки в Україні» [27].

За вибуховою і пожежною небезпекою приміщення належить до категорії Д, згідно з нормами технологічного проектування «Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» [28]. У приміщенні знаходяться ПК та інша оргтехніка, що можуть спричинити пожежу.

Згідно даних наведених у таблиці 3.1 будівля, в якій знаходиться приміщення, має II ступінь вогнестійкості [29] приміщення можна віднести до категорії вибухопожежонебезпеки В (табл. 4.7).

Таблиця 4.7 – Визначення ступеня вогнестійкості будівельних конструкцій

Ступінь вогнестійкості будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) та максимальні межі поширення вогню по них (см)							
	стіни				колонни	сходові площадки, косоури, сходи, балки, марші сходових кліток	перекриття міжповерхові (у т. ч. горищні та над підвалами)	елементи суміщених покриттів
	несучі та сходових кліток	самонесучі	зовнішні ненесучі	внутрішні ненесучі (перегородки)				плити, настили, прогони балки, ферми, арки, рами
III	REI 120 M0	REI 60 M0	E15, M0 E30, M1	EI 15 M1	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M1	Не нормуються

Клас приміщення і зон з вибухо- і пожежонебезпеки П-Па (приміщення, у якому знаходяться тверді горючі речовини та матеріали.)

4.3.1. Технічні рішення системи запобігання пожежі

Для запобігання виникнення пожежі в приміщенні застосовують такі заходи:

- щорічне проведення повторних протипожежних інструктажів та занять за програмою пожежно-технічного мінімуму з особами, що відповідальні за пожежну безпеку;
- утримання в справному стані засобів протипожежного захисту;
- своєчасне інформування про несправність пожежної техніки, систем протипожежного захисту, водопостачання тощо.

Електромережі, електроприлади і апаратура експлуатується тільки у справному стані з урахуванням вказівок та рекомендацій підприємств-виготовлювачів. У разі виявлення пошкоджень електромереж, вимикачів, розеток та інших електровиробів слід негайно вимкнути їх та вжити необхідних заходів щодо приведення в пожежобезпечний стан.

4.3.2. Технічні рішення системи протипожежного захисту

Протипожежний захист – це комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на забезпечення безпеки людей, запобігання пожежі, обмеження її розповсюдження, а також на створення умов для успішного гасіння пожежі.

У всіх службових приміщеннях обов'язково повинен бути «План евакуації людей при пожежі», що регламентує дії персоналу у разі виникнення вогнища загоряння і в якому зазначено місця розташування пожежної техніки. Як відомо пожежа може виникнути при взаємодії горючих речовин, окислення і джерел

запалювання. У робочому приміщенні присутні всі три основні чинники, необхідні для виникнення пожежі. Горючими компонентами є: будівельні матеріали для акустичної і естетичної обробки приміщень, перегородки, двері, підлоги, ізоляція кабелів і ін

Джерелами запалювання у ВЦ можуть бути електронні схеми від ПК, прилади, застосовувані для технічного обслуговування, пристрої електроживлення, кондиціонування повітря, де внаслідок різних порушень утворюються перегріті елементи, електричні іскри та дуги, здатні викликати загоряння горючих матеріалів. У сучасних ПК дуже висока щільність розміщення елементів електронних схем. У безпосередній близькості один від одного розташовуються сполучні дроти, кабелі. При протіканні по них електричного струму виділяється значна кількість теплоти. При цьому можливо оплавлення ізоляції. Для відведення надлишкової теплоти від ЕОМ служать системи вентиляції та кондиціонування повітря. При постійному дії ці системи представляють собою додаткову пожежну небезпеку.

При проведенні обслуговуючих, ремонтних і профілактичних робіт використовуються різні мастильні речовини, легкозаймисті рідини, прокладаються тимчасові електропровідниками, ведуть пайку та чистку окремих вузлів. Виникає додаткова пожежна небезпека, яка потребує додаткових заходів пожежного захисту. Зокрема, при роботі з паяльником слід використовувати неспалену підставку з нескладними пристроями для зменшення споживаної потужності в неробочому стані.

Однією з найбільш важливих завдань пожежної захисту є захист будівельних приміщень від руйнувань та забезпечення їх достатньої міцності в умовах впливу високих температур при пожежі. З огляду на високу вартість електронного устаткування приміщення, а також категорію його пожежної небезпеки, будинки для ВЦ і частини будинку іншого призначення, в яких передбачено розміщення ПК повинні бути 1 і 2 ступеня вогнестійкості.

Для виготовлення будівельних конструкцій використовуються, як правило, цегла, залізобетон, скло, метал та інші негорючі матеріали. Застосування дерева повинна бути обмежено, а в разі використання необхідно просочувати його вогнезахисними складами.

До засобів гасіння пожежі, призначених для локалізації невеликих загорянь, відносяться внутрішні пожежні водопроводи, вогнегасники, сухий пісок, азбестові ковдри і т. д. Застосування води в машинних залах ПК, сховищах носіїв інформації, приміщеннях контрольно-вимірювальних приладів, зважаючи на небезпеку пошкодження або повного виходу з ладу дорогого устаткування можливо у виняткових випадках, коли пожежа приймає загрозливо великі розміри. При цьому кількість води повинна бути мінімальною, а пристрої ПК необхідно захистити від попадання води, накриваючи їх брезентом або полотном.

Для гасіння пожеж на початкових стадіях широко застосовуються вогнегасники. У приміщенні застосовуються головним чином вуглекислотні вогнегасники, перевагами якого є висока ефективність гасіння пожежі, схоронність електронного устаткування, діелектричні властивості вуглекислого газу, що дозволяє використовувати ці вогнегасники навіть у тому випадку, коли не вдається знеструмити електроустановку відразу.

4.4 Висновки до розділу

В результаті виконання цього розділу було опрацьовано такі питання охорони праці, як технічні рішення стосовно: гігієни праці та виробничої санітарії, мікроклімат приміщень, виробниче освітлення, виробничий шум та випромінювання. Також розглянуто пожежна безпека у виробничих приміщеннях та технічні рішення системи запобігання пожежі та систем протипожежного захисту.

ВИСНОВКИ

Проведено дослідження архітектури та принципу дії технології PON, яке дозволило описати архітектурні рішення для побудови сучасних оптичних транспортних мереж на основі технології PON.

Було описано методику розрахунку параметрів оптичної мережі є важливою складовою побудови мережі FTTH на базі PON. Побудова розподільної мережі GPON та налагодження оптичної мережі за допомогою цієї технології дозволили побудувати мережу FTTH на базі PON та забезпечити якісну передачу сигналу.

Виявлено, що основним недоліком CWDM-PON є обмежена кількість каналів, що обмежує масштабованість, особливо при використанні звичайного одномодового волокна. Ще одним недоліком є те, що канали з коротшою довжиною хвилі стикаються зі значними втратами, що обмежує відстань передачі або коефіцієнт розщеплення.

Використання технології GPON для побудови розподільної мережі та встановлення оптичної мережі дало можливість забезпечити надійне передавання сигналу.

Були проведені тестування та розрахунки параметрів мережі, що сприяли перевірці правильності її структури та встановленню основних характеристик.

Були обґрунтовані параметри оптичної інфраструктури, розроблено алгоритми їх розрахунку та впроваджено розподільну мережу GPON.

Також було проведено тестування та розрахунок параметрів для оптимального налаштування мережі. Аналіз роботи мережі PON, включаючи методи оцінки її ефективності та оцінку її функціонування, дозволив зробити висновки щодо переваг використання технології PON для створення доступу до мережі.

Згідно з проведеними дослідженнями, розподіл пропускної спроможності опорної транспортної мережі складає 60% на низхідний напрямок передавання і 40% на висхідний, що значно відрізняється від традиційного співвідношення 80% на 20%, яке зазвичай використовується для існуючих пасивних оптичних мереж.

Було проведено моделювання характеристик трафіку в гетерогенних мережах мобільного зв'язку, щоб визначити вимоги до пропускної здатності опорної мережі. Результати моделювання показують, що при високих значеннях спектральної ефективності радіоканалів мережі мобільного зв'язку, вимоги до пропускної здатності опорної транспортної мережі перевищують максимально можливе значення пропускної здатності одного ресурсного блоку конвергентної оптичної мережі доступу, яке становить 79,62624 Гбіт/с. Тому, для підвищення масштабованості мережі, було запропоновано алгоритм агрегації ресурсних блоків, який дає можливість у періоди пікового навантаження підвищувати пропускну здатність для сегменту або комірки до 320 Гбіт/с.

Результати моделювання свідчать, що запропонований алгоритм балансування трафіку з урахуванням зв'язності окремих сегментів дозволяє

підвищувати точність розподілу каналних ресурсів у конвергентних мережах доступу на 7%.

У роботі також наведено було опрацьовано такі питання охорони праці, як технічні рішення стосовно: гігієни праці та виробничої санітарії, мікроклімат приміщень, виробниче освітлення, виробничий шум та випромінювання. Також розглянуто пожежна безпека у виробничих приміщеннях та технічні рішення системи запобігання пожежі та систем протипожежного захисту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. В. М. Бондаренко та О. П. Мельник, "Дослідження алгоритмів динамічного розподілу смуги пропускання в мережах EPON," Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Серія: Радіoeлектроніка та телекомунікації, т. 4, вип. 892, с. 45-51, 2019.
2. І. В. Кравчук та В. В. Литвин, "Моделювання та аналіз продуктивності технологій GPON та EPON в умовах реальних мереж," Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Інформаційні технології, т. 3, вип. 22, с. 65-72, 2018.
3. І. М. Михайлов та П. І. Ковальчук, "Методи підвищення ефективності широкосмугового доступу на основі технологій PON," Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія: Фізико-математичні науки, т. 1, вип. 49, с. 102-109, 2020.
4. О. О. Пономаренко та Д. В. Савчук, "Аналіз алгоритмів керування трафіком у пасивних оптичних мережах," Вісник Одеської національної академії зв'язку імені О.С. Попова, т. 2, вип. 18, с. 75-81, 2017.

5. В. А. Романенко та В. І. Чернявський, "Порівняльний аналіз технологій GPON та XG-PON для міських телекомунікаційних мереж," Сучасні інформаційні технології та системи, т. 3, вип. 35, с. 59-66, 2018.
6. Бортник Г. Г. Методи та засоби первинного цифрового оброблення радіосигналів [Текст] : монографія / Г. Г. Бортник, М. В. Васильківський, В. М. Кичак. - Вінниця : ВНТУ, 2016. – 168 с. - ISBN 978-966-641-678-3.
7. Вістунов, В. Д., & Гаттуров, В. К. . (2021). АНАЛІЗ ПОБУДОВИ МЕРЕЖ ДОСТУПУ НА ОСНОВІ СУЧАСНИХ ШИРОКОСМУГОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ. Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції «ПЕРСПЕКТИВИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ», 38–40. вилучено із <http://conferenc.its.kpi.ua/proc/article/view/229245>.
8. 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.
9. Zhang, X., Xu, Z., Xu, Y., & Liu, Y. Огляд WDM-PON для волоконнооптичної мережі доступу. Журнал світлохвильової технології, 2014. № 32(4), С. 694-703.
10. Вістунов, В. Д., & Гаттуров, В. К. . (2021). АНАЛІЗ ПОБУДОВИ МЕРЕЖ ДОСТУПУ НА ОСНОВІ СУЧАСНИХ ШИРОКОСМУГОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ. Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції «ПЕРСПЕКТИВИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ», 38–40. вилучено із <http://conferenc.its.kpi.ua/proc/article/view/229245>.
11. G. Maier, A. Feldmann, V. Paxson, M. Allman On dominant characteristics of residential broadband internet traffic // 9th ACM SIGCOMM Conference on Internet Measurement (IMC '09). Чикаго, Іллінойс, США: 2009 р.
12. Dumych S. Study on traffic aggregation algorithms for edge nodes of optical burst switching network //S. Dumych / Proceedings of the IEEE International

conference on “Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science” TCSET’2016 (Lviv, Feb. 22- 26, 2016) – pp. 947-949.

13. 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>.

14. 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.

15. A. Engelen and N. Weling, "PLC-xDSL Dynamic Interference Mitigation," 2021 IEEE International Symposium on Power Line Communications and its Applications (ISPLC), Aachen, Germany, 2021, pp. 25-30.

16. 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. (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: [75 http://ktpu.kpi.ua/wp-content/uploads/2014/02/Vorobiyenko-P.P.-Telekomunikatsijni-ta-informatsijni-merezhi.pdf](http://ktpu.kpi.ua/wp-content/uploads/2014/02/Vorobiyenko-P.P.-Telekomunikatsijni-ta-informatsijni-merezhi.pdf).

17. Пасивні оптичні мережі доступу (xPON): Навч. посібн., видання перше/Однорог П. М. Михайленко Є. В. Котенко М. О. Омецінська О. Б. під редакцією Катка В. Б. – К. 2006.

18. ДСТУ ОHSAS 18002:2015. Системи управління гігієною та безпекою праці. Основні принципи виконання вимог ОHSAS 18001:2007 (ОHSAS 18002:2008, IDT). К. : ГП «УкрНИУЦ», 2016. 21 с.

19. НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. URL: http://sop.zp.ua/norm_праор_0_00-7_15-18_01_ua.php.

20. ДБНВ.2.5-27-2006. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд. К. : Мінбуд України, 2006. 154 с.
21. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.
22. Гігієнічна класифікація праці (за показниками шкідливості і небезпеки факторів виробничого середовища від 12.08.1986 № 4137-86.- [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/v4137400-86>.
23. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-or4878.html>.
24. ДСНіПЗ.3.6.096-2002. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0203-03>.
25. Директива № 90/270/ЄС «Про мінімум вимог безпеки і гігієни праці при роботі з екранними пристроями - [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://osha.europa.eu/en/legislation/directives/provisions-on-workload-ergonomical-and-psychosocial-risks/osh-directives/5>.
26. Кодекс цивільного захисту України від 02.10.2012 № 5403-VI.
27. НАПБА.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. К. : МВС України, 2014. 47 с.
28. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухо-пожежною та пожежною небезпек. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759.

29. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. URL: http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-200.

Додаток А
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА
АДАПТАЦІЯ АЛГОРИТМІВ ТЕХНОЛОГІЇ РОН ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ
ЯКОСТІ ШИРОКОСМУГОВОГО ДОСТУПУ

(назва бакалаврської дипломної роботи)

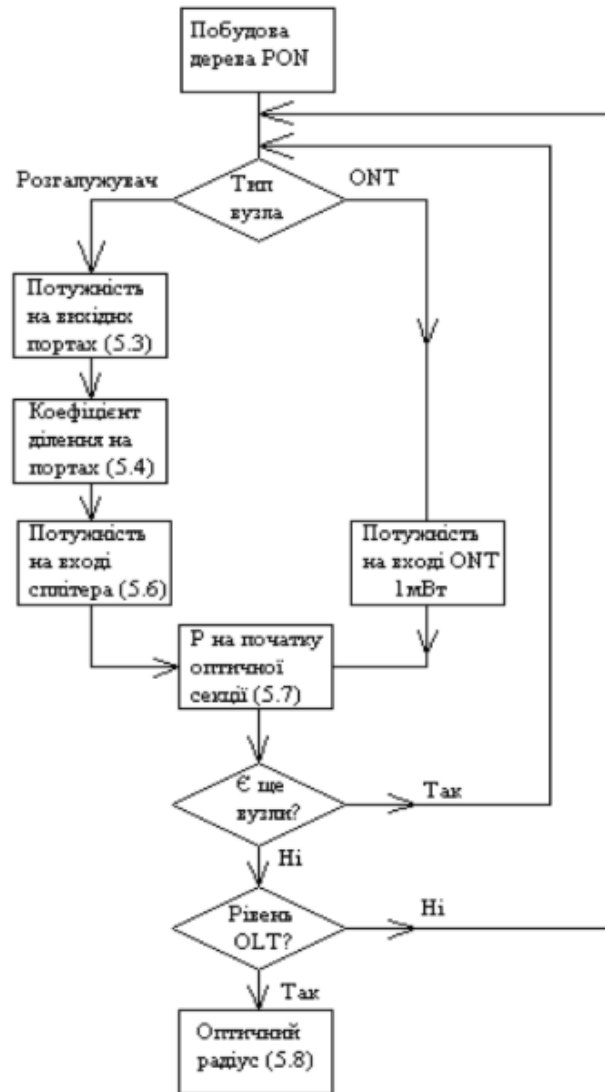


Рисунок А.1 — Алгоритм побудови збалансованої інформаційної мережі PON

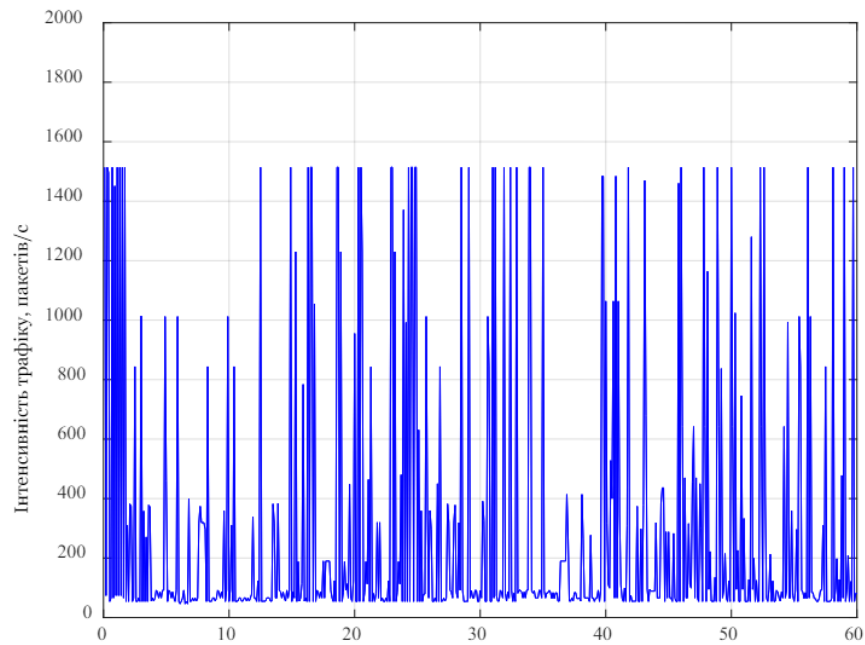


Рисунок А.2 – Профіль трафіку одного абонента протягом однієї хвилини

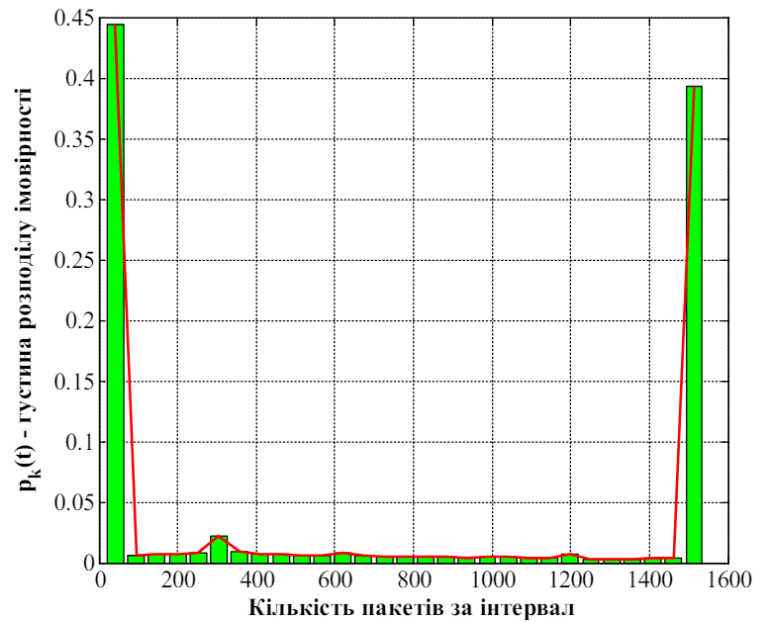


Рисунок А.3 – Ймовірнісна густина розподілу для трафіку, що генерується одним користувачем

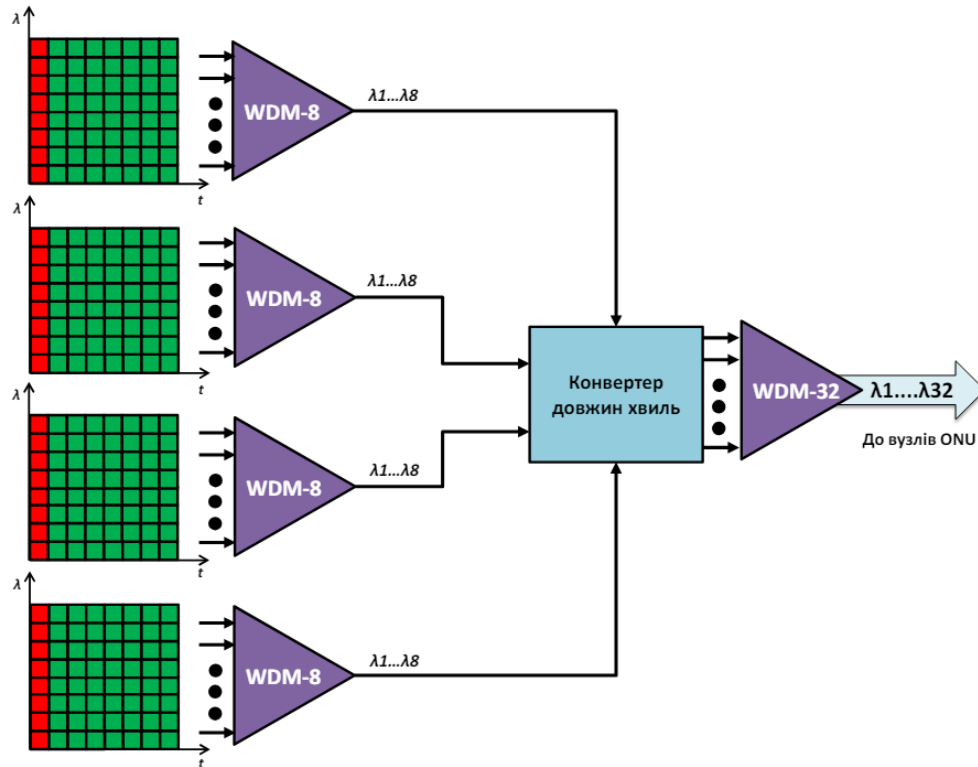
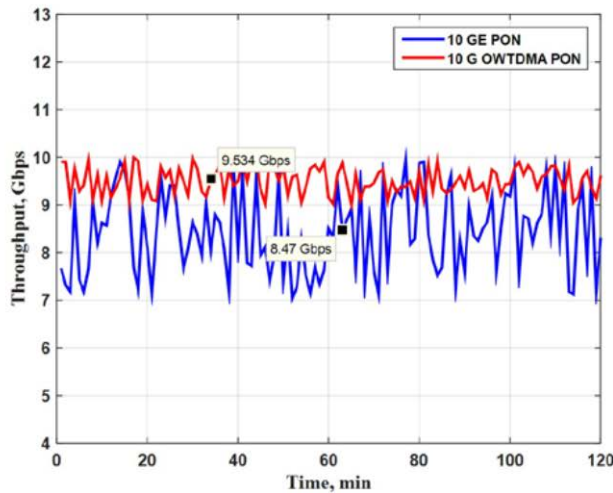
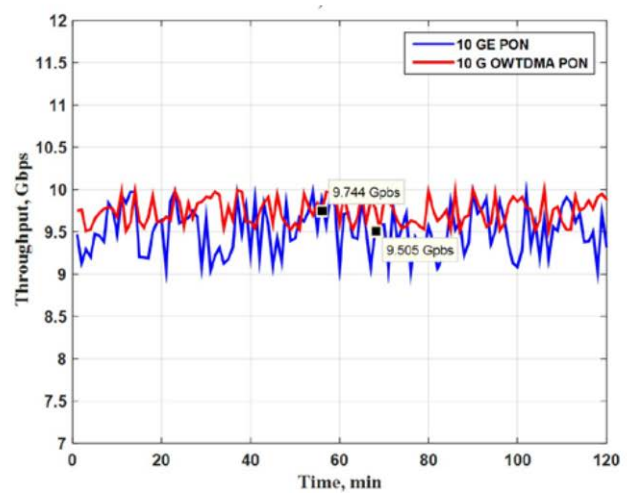


Рисунок А.4 – Модель процесу агрегації ресурсних блоків, спрямована на збільшення пікової пропускної здатності у конвергентних оптичних мережах доступу



а)



б)

Рисунок А.5 – Порівняльні графіки пропускної здатності запропонованої оптичної мережі з існуючими мережами 10 GEPON для висхідного каналу (а) та низхідного каналу (б).

Додаток Б
(обов'язковий)

Протокол
перевірки кваліфікаційної роботи
на наявність текстових запозичень

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Адаптація алгоритмів технології PON для підвищення якості широкосмугового доступу

Тип роботи: Бакалаврська дипломна робота
(БДР, МКР)

Підрозділ кафедра Інфокомунікаційних систем і технологій, факультет Інформаційних електронних систем
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unichек

Оригінальність 79 % Схожість 21 %

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

☒ 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

☐ 2. 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.

☐ 3. 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

(підпис)

Васильківський М.В.

(прізвище, ініціали)

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

Автор роботи

(підпис)

Матвіїв Б.І.

(прізвище, ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Барась С.Т.

(прізвище, ініціали)