

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____

Інфокомунікацій

(повна назва)

Кафедра _____

Інформаційно-мережної інженерії

(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

рівень вищої освіти _____

перший (бакалаврський)

Проектування мережі широкосмугового доступу мікрорайону

м. Харків

(тема)

Виконав:

здобувач 3 року навчання,

групи ТРИМу-22-1

Денис ВИННИК

(власне ім'я, прізвище)

Спеціальність 172 Телекомунікації

та радіотехніка

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма _____

Інформаційно-мережна інженерія

(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. Вячеслав ТИХОНОВ

(посада, власне ім'я, прізвище)

Допускається до захисту

Завідувач кафедри _____

(підпис)

Валерій БЕЗРУК

(власне ім'я, прізвище)

2025 р.

Не містить відомостей заборонених до відкритого публікування.

Студент

/ Денис ВИННИК /

Керівник

/ Вячеслав ТИХОНОВ /

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інфокомунікацій
Кафедра Інформаційно-мережної інженерії
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка
(код і повна назва)
Тип програми освітньо-професійна
Освітня програма «Інформаційно-мережна інженерія»
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)
«_____» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві Виннику Денису Віталійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проектування мережі широкосмугового доступу мікрорайону м. Харків

затверджена наказом університету від 23 травня 2025 р. № 411 Ст

2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії 15 липня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Провести проектування широкосмугової мережі доступу у 1-му мікрорайоні м. Харків. Необхідно підібрати оптимальну технологію та топологію мережі, активне мережне обладнання та пасивні елементи мережі. Врахувати необхідний енергетичний бюджет лінії, на основі обраних елементів мережі. Проектована мережа має забезпечувати надання сучасних послуг triple play та враховувати майбутні потреби у розвитку мережі.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

Вступ

1. Постановка завдання та характеристика району впровадження мережі

2. Розробка пропозицій щодо будівництва мережі доступу

3. Розрахунок технічних характеристик мережі доступу

4. Опис принципу розміщення обладнання

Висновки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) назва, мета і актуальність кваліфікаційної роботи; постановка завдання та опис мережі; основні елементи архітектури PON і принцип дії; порівняльний аналіз технологій; вибір обладнання, що проектується; топологічна схема мережі доступу I мікрорайону м. Харків на основі технології GPON; схема логічної структури мережі; вимірювання в PON на етапі будівельно-монтажних робіт; висновки

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Ознайомлення із завданням. Уточнення ТЗ.	23.05.25	виконано
2	Підбір літератури за темою роботи.	24.05-05.06.25	виконано
3	Постановка завдання та характеристика району впровадження мережі	06.06-17.06.25	виконано
4	Розробка пропозицій щодо будівництва мережі доступу	18.06-25.06.25	виконано
5	Розрахунок технічних характеристик мережі доступу	26.06-02.07.25	виконано
6	Опис принципу розміщення обладнання	03.07-15.07.25	виконано
8	Оформлення презентаційного матеріалу, підготовка до захисту в ЕК	14.07.25	виконано

Дата видачі завдання 23 травня 2025 р.

Здобувач _____
(підпис)

Керівник роботи _____ проф. Вячеслав ТИХОНОВ
(підпис) (посада, власне ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка 77 с., 30 рис., 11 табл., 9 джерел, 1 додаток.

Об'єкт дослідження – широкосмугова мережа мікрорайону міста Харків.

Мета роботи – проектування мережі широкосмугового доступу 1-го мікрорайону міста Харків.

З впровадженням нових технологій мережі доступу можна розглядати як найбільш динамічний сегмент телекомунікаційної галузі. В даний час у мережах доступу ведеться перехід на оптичні технології у фіксованому зв'язку. Поряд із традиційними рішеннями, на основі оптичних модемів, оптичного Ethernet, технології Micro SDH, з'явилися перспективні та прогресивні рішення для побудови мультисервісної мережі з наданням послуг IP телефонії, IPTV, доступу до Інтернету/передачі даних з використанням пасивних архітектур оптичних мереж PON. Тому в роботі було проведено проектування мережі доступу на території 1 мікрорайону м. Харків на базі архітектури FTTx з прокладання оптичних ліній зв'язку до будинків з потенційними абонентами.

Завдання, що вирішуються: вибір технології підключення та архітектури мережі, вибір обладнання та матеріалів, розрахунок бюджету оптичної потужності.

ШИРОКОСМУГОВА МЕРЕЖА, GPON, OLT, ONU, ПАСИВНА МЕРЕЖА, ОПТИЧНА ЛІНІЯ ЗВ'ЯЗКУ.

THE ABSTRACT

Explanatory slip 77 p., 30 fig., 11 tab., 9 sources, 1 attach.

Object of research - broadband network of the Kharkiv microdistrict.

The purpose of the work - designing a broadband access network for the 1st microdistrict of Kharkiv.

With the introduction of new technologies, access networks can be seen as the most dynamic segment of the telecoms industry. At present, access networks are transitioning to optical technologies in fixed-line communications. Along with traditional solutions based on optical modems, optical Ethernet, and Micro SDH technology, promising and advanced solutions have emerged for building a multiservice network providing IP telephony, IPTV, Internet access/data transmission services using passive architectures such as PON optical networks. Therefore, the work involved the design of an access network in the territory of the 1st microdistrict of Kharkiv based on FTTx architecture for laying optical communication lines to houses with potential subscribers.

Tasks to be solved: selection of connection technology and network architecture, selection of equipment and materials, calculation of the optical power budget.

BROADBAND NETWORK, GPON, OLT, ONU, PASSIVE NETWORK, OPTICAL LINK.

ЗМІСТ

	С.
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	9
ВСТУП.....	11
1 ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ТА ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНУ ВПРОВАДЖЕННЯ МЕРЕЖІ.....	13
1.1 Коротка географічна та соціально-економічна характеристика 1-го мікрорайону.....	13
1.2 Опис планованої мережі.....	13
1.3 Характеристика існуючої мультисервісної транспортної мережі та мережі широкосмугового доступу.....	14
1.4 Обґрунтування необхідності будівництва мережі PON.....	15
2 РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО БУДІВНИЦТВА МЕРЕЖІ ДОСТУПУ.....	17
2.1 Сучасні технології мереж доступу.....	17
2.1.1 Огляд технологій xPON.....	20
2.1.2 Порівняльний аналіз та вибір конкретної технології.....	23
2.2 Вибір обладнання, що проектується.....	25
2.2.1 Вибір активного обладнання.....	26
2.2.2 Вибір пасивного устаткування.....	30
2.3 Вибір волоконно-оптичного кабелю.....	37
2.3.1 Вибір магістрального волоконно-оптичного кабелю.....	40
2.3.2 Вибір розподільного волоконно-оптичного кабелю.....	41
2.4 Розробка перспективної схеми організації зв'язку мережі доступу.....	42
2.4.1 Розробка топологічної структури оптичної мережі доступу мікрорайону.....	43
2.4.2 Логічна схема мережі.....	45
3 РОЗРАХУНОК ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕРЕЖІ ДОСТУПУ.....	49
3.1 Розрахунок числа волокон магістральної оптичної мережі.....	49
3.2 Розрахунок будинкової розподільної мережі (БРМ).....	53
3.3 Розрахунок бюджету оптичної потужності.....	54
3.4 Вимірювання у пасивних оптичних мережах.....	60
3.4.1 Вимірювання в PON на етапі будівельно-монтажних робіт.....	61

3.4.2 Приймально-здавальні вимірювання PON.....	62
3.4.3 Експлуатаційні вимірювання в PON.....	65
4 ОПИС ПРИНЦИПУ РОЗМІЩЕННЯ ОБЛАДНАННЯ.....	68
ВИСНОВКИ.....	69
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	70
ДОДАТОК А СЛАЙДИ ПРЕЗЕНТАЦІЇ.....	71

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

APON – ATM PON – перший стандарт пасивних оптичних мереж ІТУ-Т G.983.x, що базується на транспорті осередків АТМ;

BPON – Broadband PON – стандарт широкосмугової пасивної оптичної мережі, рекомендація ІТУ-Т G.983.3, який став розширеним варіантом APON.

GPON – Gigabit PON – стандарт пасивних оптичних мереж ІТУ-Т G.984.3, що розглядається як органічне продовження APON/BPON;

GEPON – Gigabit Ethernet PON – стандарт пасивних оптичних мереж IEEE 802.3ah, що базується на Gigabit Ethernet та забезпечує повну сумісність з ІР-мережами;

FTTx – Fiber To The x (оптика до x) – загальна назва всіх технологій типу Fiber To The X, де X може позначати житло (h-home), будівлю (b-building), розподільну шафу (c-curb), віддалений модуль (r-remote) тощо;

PON – Passive Optical Network – технологія пасивних оптичних мереж.

Центральний вузол OLT (Optical Line Terminal) – пристрій, який встановлюється у центральному офісі. Цей пристрій приймає дані з боку магістральних мереж через інтерфейси SNI (Service Node Interfaces) та формує низхідний потік до абонентських вузлів (прямий потік) по дереву PON;

Абонентський вузол ONT (Optical Network Terminal) має, з одного боку, абонентські інтерфейси, з другого, – інтерфейс підключення до дереву PON. ONT приймає дані від OLT, конвертує їх та передає абонентам через абонентські інтерфейси UNI (User Network Interfaces);

xDSL - Digital Subscriber Line (цифрова абонентська лінія) - сімейство технологій, що дозволяють значно розширити пропускну спроможність абонентської лінії місцевої телефонної мережі шляхом використання ефективних лінійних кодів та адаптивних методів корекції спотворень лінії на основі сучасних досягнень мікроелектроніки та методів цифрової обробки сигналу;

ARPU (від англ. Average Revenue per User) - середньомісячний дохід на одного абонента;

АТМ - (від англ. Asynchronous Transfer Mode) - асинхронний спосіб передачі даних;

DBA - (від англ. Dynamic Bandwidth Allocation) — динамічний розподіл смуги пропускання;

EFMA – (від англ. Ethernet in the First Mile Alliance) – альянс виробників Ethernet-обладнання «останньої милі»;

ЕТТН (Ethernet To The Home) – один із способів постійного підключення до Інтернету за протоколом Fast Ethernet;

GFP (від англ. Generic Framing Protocol) - загальний протокол кадрів;

GEM – (від англ. GPON Encapsulated Method) – метод інкапсуляції GPON;

IP - (від англ. Internet Protocol) - міжмережевий протокол;

ITU-T - (від англ . Союз Електрозв'язку;

IEEE - (від англ . Institute of Electrical and Electronics Engineers) - інститут інженерів по електротехніки і радіоелектроніці;

IPTV - (від англ. Internet Protocol Television) - Телебачення в мережах передачі даних по протоколу IP;

MSDS – (від англ. Material Safety Data Sheet) – форма, що містить інформацію про властивості конкретної речовини. «Інструкція щодо запобіжних заходів при поводженні з речовиною»;

ONU - (від англ. Optical Network Unit) - оптичний мережевий модуль;

OTDR (англ. OTDR, Optical Time Domain Reflectometer) — прилад вимірювання параметрів волоконно-оптичних ліній (ВОЛП);

SDH (Synchronous Digital Hierarchy) – синхронна цифрова ієрархія. Це технологія транспортних телекомунікаційних мереж;

TDMA (англ. Time Division Multiple Access - множинний доступ з поділом за часом) - спосіб використання радіочастот, коли в одному частотному інтервалі знаходяться кілька абонентів, різні абоненти використовують різні часові слоти (інтервали) для передачі;

WDM (англ. Wavelength-division multiplexing, WDM) – спектральне ущільнення каналів;

ОПШ – оптична розподільча шафа;

ОРК – оптична розподільча коробка;

ТМ – телекомунікаційна мережа.

ВСТУП

Мережі доступу є сьогодні найконсервативнішою компонентою телекомунікаційних систем. До цього часу експлуатуються кабелі, прокладені на початку ХХ століття. Часто в якості мереж доступу використовується аналогова телефонна мережа, технічний стан та можливості якої не дозволяють впроваджувати нові послуги через обмежену пропускну здатність, непристосованість до високошвидкісної передачі даних та відеоінформацію.

З впровадженням нових технологій мережі доступу можна розглядати як найбільш динамічний сегмент телекомунікаційної галузі. Вони безпосередньо пов'язані з наданням операторських послуг абонентам, тому мережі доступу добре окупаються навіть за умов несприятливої економічної ситуації. Тут постійно вдосконалюються технології задоволення нових потреб користувачів, з'являються нові, характерні лише з цих мереж, технічні рішення [1].

В даний час у мережах доступу ведеться перехід на оптичні технології у фіксованому зв'язку. Тому можна з упевненістю сказати, що мережі доступу знаходяться у фазі розвитку, що робить їх технічно та фінансово привабливими.

Поряд із традиційними рішеннями, на основі оптичних модемів, оптичного Ethernet, технології Micro SDH, з'явилися перспективні та прогресивні рішення для побудови мультисервісної мережі з наданням послуг IP телефонії, IPTV, доступу до Інтернету/передачі даних з використанням пасивних архітектур оптичних мереж PON (passive optical network).

Концепція її архітектури полягає в організації пасивних оптоволоконних ліній від магістрального вузла до абонентських пристроїв, що мають деревоподібну структуру, на відгалуженнях гілок якого використовуються пасивні оптичні розгалужувачі, що не потребують обслуговування та живлення. Технології PON останнім часом приділяється багато уваги операторам зв'язку.

Дуже популярною стала послуга під назвою Triple Play. Така послуга включає три основні сервіси: високошвидкісний інтернет, цифрове телебачення і телефонію (TCP/IP + IPTV + VoIP). Насамперед це зручно для абонента, оскільки він може оплачувати в одному всі ці послуги.

Однак, впровадження Triple Play вимагають від постачальника послуг нового технічного оснащення. Це стосується обладнання як на стороні

оператора, так і на стороні абонента. Але й лінії зв'язку при цьому потребують суттєвої модернізації.

Тому останнім часом все більше уваги приділяється використанню оптоволокна на останній милі. FTTx – це позначення для низки технологій, таких як Fiber To The Building (FTTB) – оптоволоконний кабель заходить у будівлю (багатоквартирний будинок чи офіс); Fiber To The Curb (FTTC) - оптоволокно йде до групи будівель. У цих двох випадках у вузлі сполучення стоїть активне обладнання, а до користувача приходять кручена пара або коаксіальний кабель. Ми розглядатимемо технологію Fiber To The Home (FTTH) – оптоволокно проводиться до будинку чи квартири, тобто безпосередньо до абонента [1].

Метою кваліфікаційної роботи є будівництво на території 1 мікрорайону м. Харків на базі мережі FTTx з прокладання оптичних ліній зв'язку до будинків з потенційними абонентами за адресами:

- проспект Науки, будинки: 46-60;
- вулиця Олександра Олеся, будинки: 5-17;
- вулиця Отакара Яроша, будинки: 25а-55;
- вулиця 23-го Серпня, будинки: 30-70.

Тема роботи є актуальною, оскільки є відображенням стратегічного розвитку мережі широкосмугового доступу за технологією FTTx.

1 ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ТА ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНУ ВПРОВАДЖЕННЯ МЕРЕЖІ

1.1 Коротка географічна та соціально-економічна характеристика 1-го мікрорайону

1-й мікрорайон територіально входить в Шевченківський район м. Харків, розташований в північній частині міста.

Житлові мікрорайони та квартали Шевченківського району займають майже чверть території району (22%). Тут проживає 15% містян, що робить його другим за чисельністю населення після Салтівського району. За розміром території район також поступається лише Київському. Відмінною рисою району є велика кількість зелених насаджень у східній та північній частинах, де розташовані такі знакові місця, як Центральний парк культури та відпочинку, лісопарк, Олексіївський лукопарк, сад імені Т. Г. Шевченка та ботанічний сад Харківського університету. Район є історичним центром міста, де знаходяться Університетська гірка та Покровський монастир. Тут також розташований майдан Свободи, який вважається найбільшим у Європі, Історичний музей, Меморіал пам'яті, унікальна будівля Держпрому, Палац праці, Палац одруження, кіноконцертний зал «Україна» та один з найвідоміших пам'ятників Т. Г. Шевченку.

1.2 Опис планованої мережі

Розглянутий мікрорайон включає 6 вулиць (рис. 1.1): пр. Науки, вул. Олександри Белової, вул. Отакара Яроша, вул. 23-го Серпня, вул. Олександра Олеся та вул. Вартових Неба. Мережа доступу, що проектується, повинна забезпечити підключення всіх абонентів у цьому мікрорайоні. Будинки в мікрорайоні переважно 5-ти та 9-ти поверхові. Крім них є офісні будівлі, дитячий садок, школи, торговельні магазини та ринок.

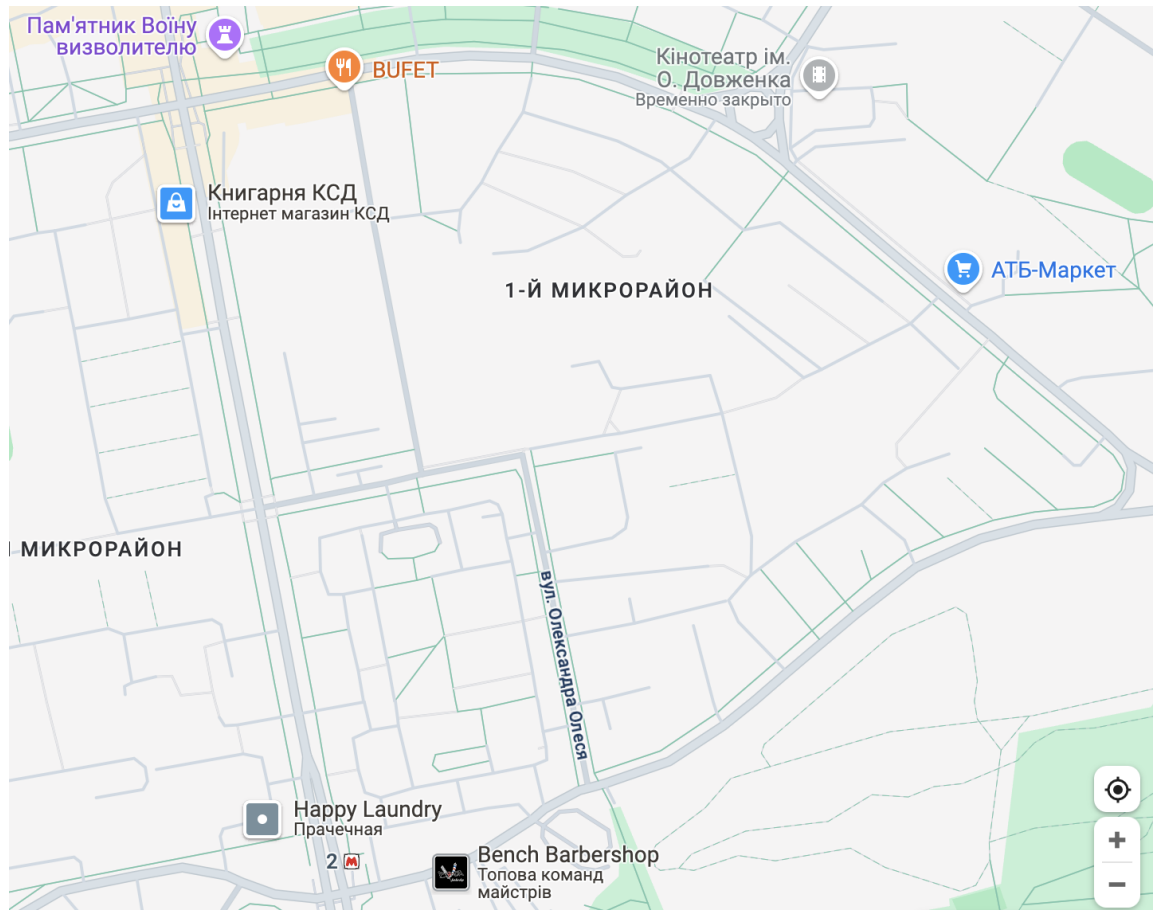


Рисунок 1.1 – 1-й мікрорайон м. Харків

У кваліфікаційній роботі для організації широкосмугового доступу будемо розглядати такі будівлі:

- проспект Науки, будинки: 46-60;
- вулиця Олександра Олеся, будинки: 5-17;
- вулиця Отакара Яроша, будинки: 25а-55;
- вулиця 23-го Серпня, будинки: 30-70.

1.3 Характеристика існуючої мультисервісної транспортної мережі та мережі широкосмугового доступу

В даний час на мережах зв'язку ВАТ «Укртелеком» розвивається мережа доступу за технологією PON. Існуюча мультисервісна мережа передачі даних організована з урахуванням технології IP/MPLS. Існуючі вузли розташовані у виробничих приміщеннях, що належать ВАТ «Укртелеком» та пов'язані між собою з використанням волоконно-оптичних ліній зв'язку (ВОЛЗ) з радіально-кільцевою територіально розташованою топологією. Для організації транспорту

трафіку між ключовими вузлами (великими АТС) в межах міста використовується DWDM-мережа. Комутатори Ethernet, які агрегують трафік від пристроїв рівня доступу, інтегровані в DWDM-інфраструктуру. Резервування каналів між мережевими пристроями реалізовано на транспортному рівні. Взаємодія між вузлами мережі передачі даних здійснюється через інтерфейси Gigabit Ethernet (GE), 2GE та 10GE. Керування, моніторинг та технічне обслуговування мультисервісної мережі здійснюється за допомогою системи Eltex EMS, розробленої ТОВ Підприємство «Елетекс».

1.4 Обґрунтування необхідності будівництва мережі PON

Останнім часом ціна на мідний та оптоволоконний кабель, включно з вартістю їх встановлення, майже однакова. При цьому, оптоволокно має значно більшу пропускну здатність, ніж мідь. Отже, при однаковій вартості початкових інвестицій, використання оптоволокна для нових проєктів дозволяє значно знизити вартість передачі одиниці інформації. Для прикладу, технологія ADSL забезпечує швидкість передачі даних від 1 до 8 Мбіт/с, в той час як оптоволоконні технології легко досягають швидкості 1 Гбіт/с і вище. Більше того, завдяки технологіям спектрального ущільнення, пропускну здатність оптоволоконних мереж можна збільшувати в міру зростання потреб, не прокладаючи нові кабелі.

GPON (Gigabit-capable Passive Optical Network) - це технологія, що базується на пасивній оптичній інфраструктурі і забезпечує значне збільшення пропускну здатності мережі, досягаючи швидкості до 1 Гбіт/с. На відміну від ADSL, GPON дозволяє передавати великі обсяги даних, необхідні для сучасних сервісів, таких як HDTV та Triple Play. Архітектура GPON передбачає використання пасивних оптичних розгалужувачів, що усуває необхідність в активному обладнанні між центральним вузлом та абонентом, підвищуючи надійність та знижуючи експлуатаційні витрати. Це дозволяє надавати абонентам стабільний та високошвидкісний доступ до Інтернету, а також додаткові послуги, такі як онлайн-відеоспостереження [1].

Таким чином можна відзначимо переваги технології GPON:

- висока пропускну здатність та якість передачі даних: оптоволокно забезпечує надзвичайно швидкий та якісний обмін інформацією, досягаючи

швидкості до 1 Гб/с. Це значно перевершує можливості інших технологій, як дротових, так і бездротових;

- надійність та захищеність: оптоволоконний кабель не чутливий до електромагнітних перешкод і сам їх не випромінює. Він компактний, легкий і забезпечує високий рівень захисту від несанкціонованого доступу до даних;

- сучасні технології: Оптичне волокно відкриває доступ до найновіших технологій передачі даних, дозволяючи користувачам бути на передовій прогресу;

- універсальність (Triple Play): завдяки оптоволокну можна отримати комплекс послуг "Triple Play" через одне з'єднання:

1) швидкісний Інтернет: доступ до Інтернету на швидкості до 1 Гб/с;

2) інтерактивне IP-телебачення: можливість перегляду понад 100 цифрових каналів, включаючи супутникові та ефірні, у високій якості (HDTV);

3) якісний телефонний зв'язок: підключення звичайного або IP-телефону з розширеними функціями, можливістю мати кілька номерів на одній лінії та збереженням номера при переїзді в межах зони обслуговування. IP-телефонія дозволяє значно заощаджувати на міжміських дзвінках [1].

2 РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО БУДІВНИЦТВА МЕРЕЖІ ДОСТУПУ

2.1 Сучасні технології мереж доступу

Будівництво сучасних мереж доступу базується на наступних напрямках:

- мережі на основі існуючих мідних телефонних ліній та технології xDSL;
- бездротові мережі;
- волоконно-оптичні мережі.

Розглянемо детальніше технологію xDSL, аббревіатура якої розшифровується як "цифрова абонентська лінія". Ці технології дають змогу використовувати звичайну телефонну лінію для широкопasmового доступу, наприклад, для перегляду відео на замовлення або дистанційного навчання. Сучасні DSL-технології забезпечують високошвидкісні цифрові канали зв'язку, причому швидкість передачі даних визначається якістю та довжиною лінії, що з'єднує користувача з провайдером.

В xDSL цифрові дані передаються на комп'ютер у цифровому форматі, що дозволяє ефективніше використовувати смугу частот телефонної лінії. Це дає можливість одночасно користуватися звичайним аналоговим телефонним зв'язком та високошвидкісною цифровою передачею даних по одній лінії, розділяючи частотні спектри цих сигналів [2].

Основні типи xDSL забезпечують швидкісний цифровий доступ через абонентську телефонну лінію. Деякі з цих технологій є унікальними розробками, інші існують лише як теоретичні моделі, а треті вже широко використовуються. Головна відмінність між різними xDSL технологіями полягає в методах модуляції, які використовуються для кодування даних [2].

У технології xDSL використовуються наступні види кодування інформації:

- 2B1Q: Two-binary, one-quaternary, використовується для IDSL та HDSL;
- CAP: Carrierless Amplitude Phase Modulation - використовується для HDSL;
- DMT: Discrete multitone modulation, найбільш поширений, відомий також як OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing).

Розвиток технологій xDSL значною мірою залежить від прогресу в методах кодування сигналу. Завдяки використанню цифрових сигнальних процесорів (DSP), вдалося значно збільшити швидкість передачі даних і одночасно збільшити відстань між модемом користувача та обладнанням DSLAM.

Однак, інфраструктури доступу, що базуються на мідних кабелях, мають ряд суттєвих недоліків. Обмеження пропускної здатності, характерні для широко розповсюдженої технології ADSL, є лише однією з проблем. Значною проблемою є також непередбачуване збільшення рівня перешкод (і, як наслідок, погіршення якості зв'язку) при збільшенні кількості ширококутових абонентів, підключених до одного кабелю. Дослідження, проведені операторами, показали, що в 10-парному кабелі для DSL можна використовувати лише обмежену кількість пар (наприклад, не більше трьох).

Інша поширена "мідна" технологія – Ethernet. Проте, найбільш економічний варіант Ethernet, призначений для офісів, може працювати на відстані до 100 метрів, використовуючи кручену пару категорії 5e. Оскільки відстані між вузлами зв'язку та будинками абонентів значно перевищують 100 метрів, а використовуваний кабель часто не відповідає категорії 5e, мідна кабельна інфраструктура не може вважатися перспективною для надання широкого спектру ширококутових послуг. Додатковим недоліком DSL є відносно низька швидкість передачі даних, яка коливається від 32 Кбіт/с до 65 Мбіт/с [4].

Далі розглянемо технологію ETTN (Ethernet To The Home), яка є одним із способів постійного підключення до Інтернету за протоколом Fast Ethernet. Ця технологія була спільно розроблена компаніями Teleste Corporation і Tratec Telecom BV.

Технологія ETTN забезпечує підключення до мережі Інтернет зі швидкістю 100 Мбіт/с або 1 Гбіт/с, усуваючи обмеження, властиві ADSL, такі як низька швидкість висхідного каналу та залежність від відстані. Підключення ETTN не потребує наявності телефонної лінії. До кожного об'єкта підключення прокладається оптоволоконний кабель. В якості абонентської лінії, залежно від інфраструктури провайдера, використовується кабель "кручена пара" категорії 5 або оптичний з'єднувальний кабель [4].

Мережі доступу ЕТТН, що активно розгортаються в регіоні ЕМЕА/Росія, характеризуються низькими капітальними витратами (CAPEX) на початковому етапі, але вищими операційними витратами (OPEX) в процесі експлуатації.

Переваги та недоліки технології ЕТТН детально представлені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Переваги та недоліки мереж ЕТТН

Переваги	Недоліки
Висока якість з'єднань, що організуються	Висока вартість будівництва мережі ФТТВ пов'язана з організацією нової кабельної інфраструктури
Є потенціал у розширенні смуги пропускання	Необхідність розміщення на майданчиках будівництва активного мережного обладнання
Значне скорочення ризику електромагнітних перешкод	Неекономічне використання оптичного кабелю
-	Трудомісткість у технічному обліку та експлуатації
-	Велика кількість оптичних інтерфейсних портів на магістральному вузлі мережі

Великі мережі ЕТТН, що розширюються поступово, часто стають надмірно складними та важкокерованими. Це пов'язано з їх децентралізованою структурою, відсутністю єдиного планування та неналагодженими системами обліку та управління. Підтримка таких мереж вимагає значних витрат.

На відміну від цього, технологія PON (Passive Optical Network) з оптоволоконним з'єднанням до дому (FTTH) пропонує більш ефективне рішення. PON використовує пасивну оптичну мережу, де одне волокно може обслуговувати до 64 абонентів на відстані до 20 км [3].

Ключові особливості PON:

- деревоподібна структура: мережа організована у вигляді дерева з пасивними оптичними розгалужувачами (сплітерами), які не потребують живлення;
- двоспрямована передача: використовується одне волокно для передачі даних в обох напрямках на різних довжинах хвиль (1550 нм для низхідного потоку та 1310 нм для висхідного);

- гнучкий розподіл смуги пропускання: метод TDMA дозволяє ефективно розподіляти пропускну здатність між абонентами;
- висока щільність підключення: до 64 абонентів можуть бути підключені до одного волокна, що виходить з центрального вузла (OLT);
- велика відстань: мережа може охоплювати відстань до 20 км [3].

Тобто ЕТТН мережі, що розростаються, часто стають некерованими та дорогими. PON/FTTH пропонує більш просте, ефективне та економічне рішення завдяки пасивній оптичній архітектурі та можливості обслуговувати велику кількість абонентів на значній відстані.

2.1.1 Огляд технологій xPON

Технологія PON базується на створенні пасивної оптичної мережі з деревоподібною структурою між центральним вузлом, який під'єднаний до магістральної мережі, та абонентськими пристроями. Ключовим елементом є оптичні розгалужувачі (сплітери), які можуть бути встановлені майже в будь-якому місці мережі [2].

Існує чотири основні архітектури побудови оптичних мереж доступу: кільцева, "точка-точка" (P2P), дерево з активними вузлами та дерево з пасивними вузлами.

Кільцева топологія, що використовує технологію SDH, добре зарекомендувала себе в міських телекомунікаційних мережах. Однак, для мереж доступу вона не завжди є оптимальною. Складність полягає в тому, що розташування та кількість абонентських вузлів у мережах доступу часто невідомі заздалегідь. У випадку непередбачуваного розширення мережі, кільцева топологія може перетворитися на розгалужену структуру з численними відгалуженнями. Підключення нових абонентів потребує розриву кільця та додавання нових сегментів, що негативно впливає на надійність мережі [2].

Топологія "точка-точка" (P2P) не обмежує вибір мережевої технології та може бути реалізована з використанням різних стандартів або нестандартних рішень, наприклад, з використанням оптичних модемів. З точки зору безпеки даних, P2P забезпечує найвищий рівень захисту абонентських вузлів. Однак, через необхідність прокладання окремого оптичного кабелю до кожного

абонента, цей підхід є найбільш витратним і підходить переважно для великих корпоративних клієнтів, а не для житлових районів.

Дерево з активними вузлами є економічно ефективним рішенням з точки зору використання оптичного волокна. Воно добре узгоджується зі стандартом Ethernet, що забезпечує ієрархію швидкостей від центрального вузла до абонентів (1000/100/10 Мбіт/с). Проте, кожен вузол дерева потребує активного обладнання, такого як комутатор або маршрутизатор. Оптичні мережі доступу Ethernet, які використовують цю топологію, є відносно недорогими. Основним недоліком є необхідність живлення та обслуговування активних пристроїв на проміжних вузлах [2].

Архітектура PON використовує логічну топологію "точка-багато точок" (P2MP). До одного порту центрального вузла можна підключити цілий волоконно-оптичний сегмент з деревоподібною структурою, що обслуговує десятки абонентів. При цьому, в проміжних вузлах дерева встановлюються компактні, повністю пасивні оптичні розгалужувачі (сплітери), які не потребують живлення та обслуговування (рис. 2.1).

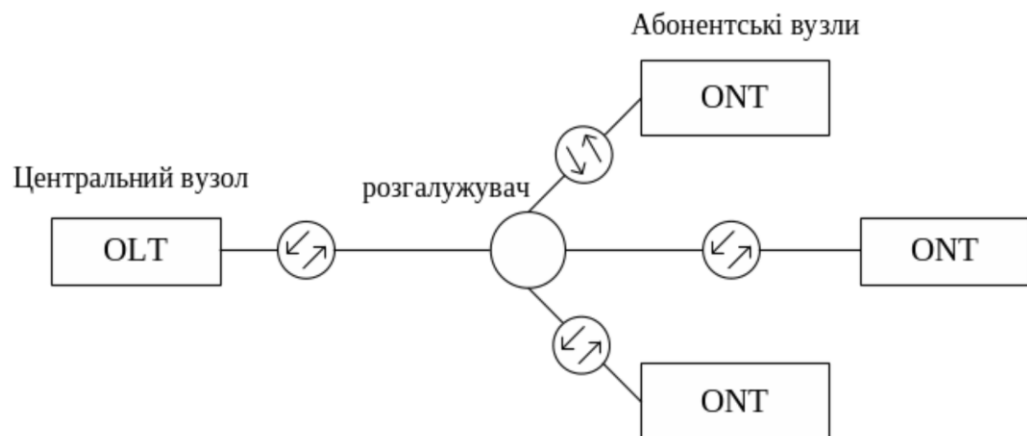


Рисунок 2.1 – Топологія «дерево» із пасивним оптичним розгалужувачем

Широко відомо, що технологія PON суттєво знижує вартість кабельної інфраструктури завдяки зменшенню загальної довжини оптичних волокон. Це досягається використанням єдиного волокна на ділянці між центральним вузлом та розгалужувачем. Саме ця топологія лежить в основі проектування мереж PON і залишатиметься актуальною в майбутньому.

Принципова особливість архітектури PON полягає в тому, що один прийомопередавальний модуль в OLT обслуговує велику кількість абонентських пристроїв ONT, як для передачі, так і для прийому даних. Кількість ONT, які можна підключити до одного OLT, визначається бюджетом потужності мережі та максимальною пропускнуою здатністю приймального обладнання. Для передачі даних від OLT до ONT (прямий потік) використовується довжина хвилі 1550 нм, а для передачі даних від ONT до OLT (зворотний потік) – 1310 нм (рис. 2.2а). Розділення цих потоків здійснюється за допомогою WDM-мультиплексорів, інтегрованих в OLT та ONT.

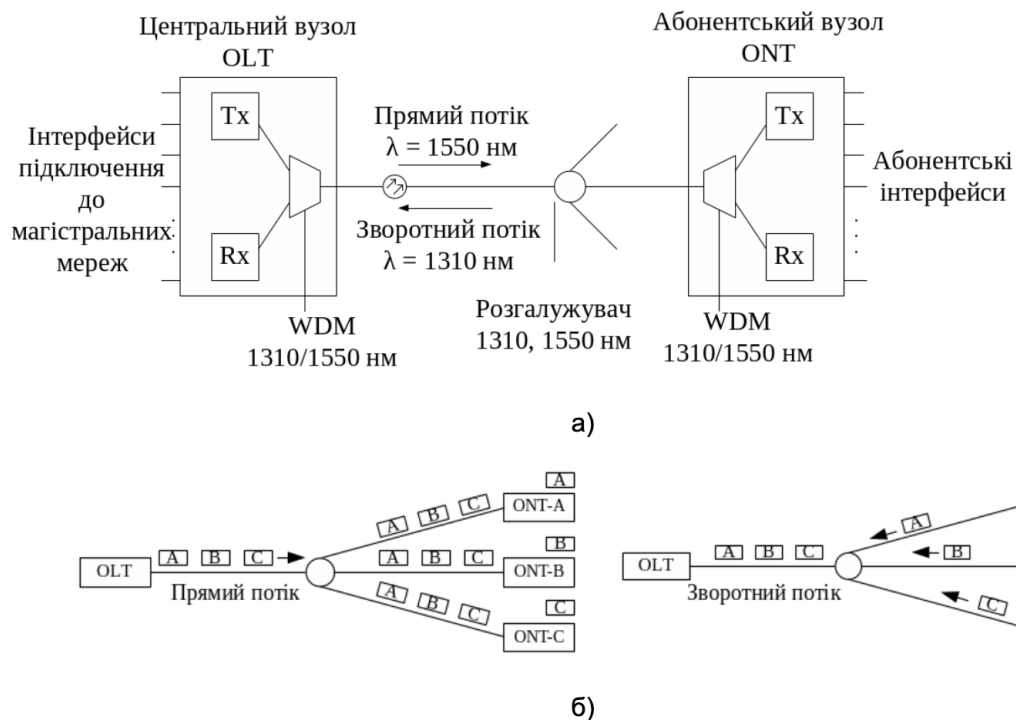


Рисунок 2.2 – Основні елементи архітектури PON (а) і принцип дії (б)

Передача даних від OLT до ONT в оптичних мережах xPON відбувається за принципом ширококомплетації. Щоб уникнути конфліктів, коли сигнали від різних ONT накладаються один на одного, використовується протокол TDMA MAC. Цей протокол призначає кожному ONT індивідуальний часовий інтервал для передачі даних, враховуючи затримку, яка залежить від відстані між ONT та OLT (рис. 2.2б).

Технологія xPON має ряд переваг:

- проста архітектура: відсутні активні пристрої між OLT та ONT;

- висока надійність: завдяки відсутності активних елементів у розподільчій мережі;
- ефективне використання ресурсів: економія волокон та ефективне використання пропускної здатності;
- економія обладнання: зменшення кількості оптичних приймачів в центральному вузлі;
- низькі експлуатаційні витрати: зменшення витрат на обслуговування та підтримку мережі;
- масштабованість: можливість поступового розширення мережі та гнучкість у налаштуванні;
- зручність: легке підключення нових абонентів та просте обслуговування;
- оптимізована інфраструктура: деревоподібна топологія дозволяє ефективно розміщувати оптичні розгалужувачі, враховуючи розташування абонентів, що знижує витрати на прокладання кабелю та його експлуатацію [3].

2.1.2 Порівняльний аналіз та вибір конкретної технології

Сьогодні найбільш поширені п'ять технологій PON, що поділяються на дві групи: ті, що еволюціонували від АТМ (APON, BPON, GPON), і ті, що базуються на Ethernet (EPON, GEPON). Враховуючи, що історія розвитку PON вже була висвітлена, перейдемо безпосередньо до розгляду найактуальніших технологій – GPON та GEPON. Порівняння їх характеристик представлено в табл. 2.1.

Технології GPON та GEPON були розроблені різними організаціями. GPON, стандартизована ІТУ-Т у 2005 році (рекомендація G.984), а GEPON – ІЕЕЕ у 2004 році (стандарт 802.3ah).

GPON має переваги над GEPON у пропускній здатності, підтримці різноманітних послуг, коефіцієнті розгалуження, можливостях управління та адміністрування (OAM). GPON краще підходить для мереж, які потребують розширеного керування, сумісності з іншим обладнанням та високого рівня захисту.

За однакової кількості абонентів, GPON забезпечує вдвічі більшу швидкість завантаження (downstream) на одного користувача, ніж GEPON.

Однак, обидві технології надають користувачам приблизно однаковий обсяг ресурсів, якщо в мережі GPON вдвічі більше користувачів на одне PON-дерево.

Таблиця 2.2 – Порівняльний аналіз технологій GEAPON та GPON

Характеристика	GEAPON(IEEE 802.3ah)	GPON(ITU-T G.894)
Швидкість фізична upstream/downstream, Гбіт/с	1,25/1,25	1,25/2,5
Коефіцієнт розгалуження	1:16/1:32/1:64	1:32/1:64/1:128
Швидкість у розгалуженні 1:32 up/downstream, Гбіт/с	0,91/0,96	1,1/2,3
Максимальна кількість абонентських вузлів на одне волокно	16	64 (128)
Кодування, біт	128	128
Протокол	Ethernet	ATM або GEM
Дальність дії, км.	10/20	20
Безпека	AES (up/downstream)	AES(тільки downstream)
Корекція помилок FEC	ні	необхідна
IP - фрагментація	ні	є
Захист даних	ні	шифрування відкритими ключами
Резервування	ні	є
ОАМ	IEEE 802.3ah OAM	OMCI, FCAPS
Транспорт TDM	Circuit emulation поверх Ethernet	ATM, GEM або Circuit emulation поверх Ethernet

Розглянемо, як GPON та GEAPON справляються з наданням послуг Triple Play (телефонія, інтернет та відео). Для прикладу, візьмемо профіль, що включає три канали IPTV (один HD та два SD), інтернет (2 Мбіт/с), доступ до локальних ресурсів (1 Мбіт/с) та три лінії VoIP. Загалом, одному користувачеві потрібно близько 28 Мбіт/с, якщо він використовує всі послуги одночасно. Згідно з розрахунками, такий профіль може бути підтриманий для 32 користувачів GEAPON або 64 користувачів GPON в одному PON-дереві.

Важливо враховувати, що трафік IPTV, який передається в режимі Multicast, не дублюється для кожного користувача в PON-дереві. Це означає, що всі абоненти можуть одночасно дивитися всі доступні IPTV-канали. Тому,

послуги IPTV практично не обмежують коефіцієнт розгалуження, а доступна абоненту смуга пропускання значно ширша, ніж розрахована.

У мережах GEAPON, що використовують топологію PON, реалізація багатоадресної розсилки (Multicast), згідно зі стандартом IEEE, здійснюється шляхом обробки пакетів з Multicast-адресами, подібно до того, як це відбувається в Ethernet-мережах. На відміну від цього, в GPON, стандартизованому ІТУ-Т, підтримка Multicast в PON-мережах обмежена лише протоколом АТМ. При використанні GEM, кожен виробник GPON реалізує Multicast по-своєму, використовуючи власні розширення протоколу GEM, які часто базуються на власних розробках або патентах третіх сторін.

Технологія EPON набула широкого поширення раніше, особливо в Японії та Кореї, де її почали використовувати з 2004 року. Там вона стала домінуючою технологією широкосмугового доступу. У 2007 році лідерами впровадження FTTH були: NTT (Японія, EPON з 2004), Verizon (США, GPON з 2005) та FranceTelecom (Європа, GPON з 2007) [2].

Проте, до 2012 року обсяги продажів обладнання GPON перевищили EPON завдяки активному розвитку ринків США, Європи та Китаю. В результаті, GPON вважається більш перспективною та економічно вигідною технологією. Це зумовлено її активним просуванням великими виробниками, а також оптимальною архітектурою, яка забезпечує широку смугу пропускання, високу концентрацію абонентів, підтримку потоків E1, трансляцію сигналів кабельного телебачення, а також контроль та управління трафіком завдяки механізмам динамічного розподілу смуги пропускання [2].

Враховуючи ці переваги, технологія GPON є оптимальним вибором для побудови мереж.

2.2 Вибір обладнання, що проектується

Мережа FTTx, побудована за технологією PON, має три ключові компоненти:

Станційне обладнання - на станції (АТС) розміщується активне обладнання OLT (Optical Line Terminal) та оптичний розподільчий фрейм ODF (Optical Distribution Frame) для комутації оптичних волокон.

Абонентське підключення - від розподільчих пристроїв до квартири абонента прокладається одноволоконний (рідше двоволоконний) дроп-кабель, який закінчується оптичною розеткою та активним абонентським терміналом ONT (Optical Network Terminal).

Лінійна інфраструктура - це волоконно-оптичний кабель, шафи, спліттери, конектори та з'єднувачі, що з'єднують станційне обладнання з абонентськими підключеннями. Лінійна інфраструктура, у свою чергу, поділяється на:

- магістральну ділянку: кабель, що прокладається від ODF на АТС до оптичної розподільчої шафи (ОРШ) у районі або кварталі, використовуючи телефонну каналізацію або повітряні лінії зв'язку;
- розподільчу ділянку: кабель, що виходить з ОРШ і прокладається всередині будівель, зазвичай вертикально по стояках між поверхами.

Найбільш складною та дорогою частиною мережі PON є лінійна інфраструктура, оскільки вона потребує значної кількості пасивного обладнання та будівельно-монтажних робіт. Тому вибір оптимальних методів побудови лінійної інфраструктури є критично важливим, оскільки саме вона визначає кінцеву топологію пасивної оптичної мережі.

2.2.1 Вибір активного обладнання

Технологія GPON дозволяє забезпечити високошвидкісний доступ до Інтернету для великої кількості користувачів (до 64) через одне оптоволоконно. Ця технологія здатна передавати дані зі швидкістю до 2,5 Гбіт/с на відстань до 20 кілометрів.

Структура мережі GPON складається з трьох основних компонентів:

- OLT (Optical Line Terminal) - центральне обладнання, яке з'єднує мережу GPON з іншими мережами;
- оптичні спліттери - пасивні пристрої, які розділяють оптичний сигнал між абонентами;
- ONT (Optical Network Terminal) - обладнання, встановлене у абонента, яке забезпечує підключення до мережі GPON.

Компанія "Укртелеком" використовує обладнання OLT P3310 виробництва BDCOM (Китай) для розгортання мережі PON у Харкові. Використання однотипного обладнання дозволяє оптимізувати витрати на

обслуговування, спростити управління мережею та ефективно використовувати запасні частини. Тому, в даній роботі також буде використано саме це обладнання.

Станційний термінал OLT P3310 призначений для надання широкопasmового доступу до Інтернету за допомогою пасивної оптичної мережі. Він має інтерфейси Gigabit uplink та 10G Base-X для підключення до транспортної мережі, а також 4 порти GPON для підключення до оптичної розподільчої мережі. Кожен порт GPON може обслуговувати до 64 абонентських терміналів (рис. 2.3). Завдяки технології динамічного розподілу смуги пропускання (DBA), кожному користувачеві може бути надана швидкість до 2,5 Гбіт/с [5].



Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд OLT P3310

Обладнання OLT P3310 є рішенням для створення гнучких та надійних мереж "останньої милі", здатних задовольнити суворі вимоги безпеки. Воно підходить для використання як у містах, так і в сільській місцевості. OLT P3310 виконує функції управління абонентським обладнанням, комутації трафіку та інтеграції з магістральною мережею [5].

Кінцевому користувачу надаються наступні послуги:

- голосові послуги;
- HDTV;
- VoIP-телефонія (на базі протоколів SIP/H.323/MGCP);
- високошвидкісний доступ до Інтернету;
- IPTV;
- відео на запит (VoD);
- відеоконференції;
- розважальні та навчальні програми в режимі «Online».

Функції OLT P3310:

- динамічний розподіл смуги DBA;
- підтримка механізмів якості обслуговування QoS, пріоритезація різних видів трафіку на рівні портів GPON відповідно до 802.1p;
- підтримка функцій безпеки;
- віддалене управління ONT, автоматичне виявлення нових ONT;
- корекція помилок FEC;
- можливість вимірювання потужності сигналу, що приймається від кожної ONT;
- організація VLAN (діапазон ідентифікатора VLAN 0-4094);
- фільтрація за MAC-адресою, розмір таблиці MAC адрес – 16 000 записів;
- підтримка IGMP Snooping v1/2/3, IGMP proxy;
- підтримка DHCP snooping, DHCP relay agent;
- підтримка PPPoE IA [5].

Пристрій виконаний у металевому корпусі з можливістю встановлення в 19" каркас типорозміром 1U.

Функція RSSI дає можливість вимірювати потужність оптичних сигналів, отриманих від кожного ONT, що дозволяє діагностувати стан оптичної лінії зв'язку.

Абонентська ділянка

Оптичні лінійні термінали (OLT) певного типу використовують абонентські термінали (ONT) серії NTP від компанії BDCOM (Китай), зокрема моделі NTP-2 (рис. 2.5), NTP-RG-1402G та NTP-RG-1402G-W (рис. 2.6). Конкретна модель ONT обирається в залежності від того, які послуги необхідно надати абоненту. ONT NTP слугують для підключення до пасивних оптичних мереж (GPON) і забезпечують кінцевим користувачам широкосмуговий доступ до мережі. Підключення до GPON здійснюється через PON-інтерфейс, а для підключення клієнтського обладнання використовуються Ethernet-інтерфейси [5].

Ці абонентські термінали дозволяють користувачам отримувати доступ до сучасних сервісів, таких як швидкісний інтернет, IP-телефонія, IP-телебачення та інші мультимедійні додатки.



Рисунок 2.5 – Абонентський термінал NTP-2



Рисунок 2.6 – Абонентський термінал NTP-RG-1402G-W

Можливості терміналів:

- підтримка стандарту IEEE802.3ad;
- підтримка VLAN у відповідність до IEEE802.1Q;
- фільтрація багатоадресних розсилок IGMP snooping/IGMP Proxy;
- високоефективний буфер з підтримкою механізмів якості обслуговування QoS;
 - пріоритезація різних видів трафіку на рівні портів PON відповідно до 802.1p, до 8 черг пріоритету;
 - алгоритм аутентифікації IEEE802.1x на рівні портів GPON;
 - підтримка функцій безпеки;
 - обмеження швидкості на портах;
 - AES-шифрування;
 - FEC-кодування;
 - енергонезалежна пам'ять EEPROM для зберігання параметрів конфігурації;
 - підтримка PPPoE (PAP, SPAP і CHAP авторизація);
 - підтримка статичної адреси та DHCP (DHCP-клієнт на стороні WAN, DHCP-сервер на стороні LAN, DHCP-relay);
 - підтримка DNS (Domain Name System);

- підтримка DynDNS (Dynamic DNS);
- підтримка UPNP (Universal Plug and Play);
- підтримка NAT (Network Address Translation);
- підтримка NTP (Network Time Protocol);
- підтримка TR-069/TR-142 [5].

NTP-RG-1402 ONT, окрім звичайних функцій, діють як маршрутизатор і, водночас, як мережевий міст.

2.2.2 Вибір пасивного устаткування

Сплітери є критично важливими компонентами PON-мереж, що відповідають за розподіл оптичної потужності. Розгалужувачі FBT виготовляються за допомогою технології сплавлення оптичних волокон, що передбачає з'єднання стрічкових волокон. Планарні сплітери забезпечують підтримку широкого спектру довжин хвиль (1260-1650 нм), що дозволяє їх використовувати з активним обладнанням PON, яке працює на довжинах хвиль 1310, 1490 та 1550 нм (рис. 2.7). Важливою перевагою планарних сплітерів є їхня вища надійність в умовах експлуатації порівняно з FBT-аналогами.



Рисунок 2.7 – Оптичний спліттер планарний

Довжина виводів оптичного кабелю - 1м (можливі зміни довжини до 7м).

Тип конектора для оконцювання розгалужувача: FC, ST, SC.

Тип полірування торця конектора: PC, SPC, UPC, APC.

Основні характеристики розгалужувачів:

- низькі втрати потужності: розгалужувач повинен мінімально послаблювати сигнал, що проходить через нього;
- висока спрямованість: важливо, щоб сигнал, який повинен йти в одному напрямку, не проникав в інший (висока ізоляція між портами);
- точний коефіцієнт відгалуження: розподіл потужності між вихідними портами повинен відповідати заданим значенням, незалежно від того, чи потрібен рівномірний, чи нерівномірний розподіл;
- широкосмуговість: параметри розгалужувача повинні залишатися стабільними в широкому діапазоні частот;
- збереження характеристик сигналу: для багатомодових розгалужувачів важливо, щоб вони не змінювали модовий склад сигналу та стан поляризації [5].

Шафи телекомунікаційні

Шафи використовуються для розміщення телекомунікаційного обладнання в умовах, де є високий рівень пилу, вологи, агресивних речовин або ризик пошкоджень (рис. 2.8). Вони можуть мати одну або дві двері. Двері можуть бути металевими або з тонованим склом для зручного візуального контролю обладнання.



Рисунок 2.8 – Шафа телекомунікаційна підлогова

Настінні антивандальні шафи призначені для безпечного розміщення 19-дюймового телекомунікаційного обладнання в умовах відкритого доступу,

зокрема в неопалюваних приміщеннях. Конструкція шафи посилена, а дверний отвір спроектований для максимального захисту від злому: бічні стінки, верхня та нижня панелі виступають над площиною дверей, а зазори мінімізовані. Дві пари монтажних профілів забезпечують можливість встановлення важкого обладнання з чотириточковим кріпленням.



Рисунок 2.9 – Настінна антивандальна телекомунікаційна шафа

Кроси оптичні

Оптичні кроси використовуються для завершення, розподілу та з'єднання оптичних кабелів у телекомунікаційних мережах. Вони виробляються згідно з технічними умовами та мають сертифікати, що підтверджують їх відповідність стандартам, встановленим Міністерством зв'язку України. Кроси доступні в двох варіантах: повністю укомплектовані (з пігтейлами та адаптерами) та у вигляді порожніх корпусів. Укомплектовані кроси поставляються повністю готовими до встановлення: адаптери вже встановлені в корпусі, пігтейли підключені до адаптерів і мають відповідне маркування [4].

Кроси оптичні стійкові - призначені для установки в стійки 19", 23", ETSI. Мають наступні характеристики:

- знімний передній органайзер для ШКОС-С;
- сумісність із кабельними вводами СКУ;
- можливість зміни положення кріпильних кронштейнів для регулювання глибини установки кросу в стійці (крім ШКОС-Л);
- можливість введення та кріплення в кросах претермінованих кабелів;
- змінні планки (крім ШКОС-Л) на 4-16 адаптерів FC, SC, ST, LC;
- надійна фіксація зовнішньої оболонки кабелю металевими гвинтовими хомутами;

- можливість введення кабелів з усіх напрямків завдяки подовжньо розташованому кабельному вводу.

Будемо використовувати кроси типу ШКОС-Л (легкі) див. рис. 2.10 та ШКОС-МУ (модернізовані з кутовими планками).



Рисунок 2.10 – Легкий крос серії ШКОС-Л із сплайс пластиною

На телекомунікаційному вузлі, якщо це можливо технічно, оптичний крос (ODF) слід розташовувати поруч зі стійками, де розміщене обладнання OLT. Для вузлів, що обслуговують до 40 000 абонентів, рекомендується з'єднувати магістральні лінії безпосередньо з оптичними портами OLT за допомогою патч-кордів, обминаючи поділ ODF на лінійну та станційну сторони. Між стійками OLT та ODF необхідно передбачити кабель-канали для зручного прокладання патч-кордів.

Патч-корди прокладаються всередині шафи та фіксуються за допомогою 19-дюймових органайзерів (рис. 2.11). Ці органайзери з кільцями дозволяють акуратно розмістити надлишок довжини патч-кабелів у монтажних шафах та стійках. Вони забезпечують не тільки фіксацію, але й зручне підведення кабельних джгутів, а також надійну фіксацію надлишків кабелю.



Рисунок 2.11 – Кабельний органайзер

Будинкові оптичні настінні кроси на базі шаф ОРШ

Антивандальні, стійкі до пилу та вологи кросові шафи ОРШ (оптична розширювальна шафа) розроблені для використання в житлових будинках при розгортанні мереж FTTH/PON ("волокно в квартиру"). Вони дозволяють організувати підключення абонентів до оптоволоконної мережі (рис. 2.12).

Оптичні волокна з'єднуються та комутуються у відкидних кросових модулях, які згруповані в кросовий блок. Шафа також оснащена кронштейном для кріплення в нижній частині.

Модульна конструкція шафи забезпечує:

- зручне введення магістральних та внутрішньобудинкових оптичних кабелів з надійною фіксацією силових елементів, таких як броня, центральний силовий елемент (ЦСЕ) та зміцнюючі нитки;
- простий монтаж та обслуговування оптичних волокон завдяки спеціальним відкидним кросовим модулям, з'єднаним у блоки;
- можливість встановлення та зручного обслуговування пасивних оптичних компонентів, наприклад, розгалужувачів;
- легке розширення кросу в будь-який час без переривання роботи існуючої мережі.



Рисунок 2.12 – Будинковий оптичний настінний крос на базі шафи ОРШ

Оптичні розподільні коробки

Кроси ШКОН-МПА, призначені для поверхового використання, забезпечують відгалуження волокон з міжповерхового кабелю (модуля) для обслуговування конкретного поверху. Вони дозволяють з'єднувати волокна міжповерхового кабелю з абонентськими пігтейлами в оболонці 3,0 мм, фіксують кабелі та пігтейли, а також забезпечують захист місця з'єднання та

зрощування. Зрощування волокон може бути виконане за допомогою зварювання або механічних з'єднувачів RECORDsplice. Кроси сумісні з міжповерховими кабелями із сердечником вільного доступу. Компактний дизайн дозволяє встановлювати їх у стояках, поверхових шафах, нішах тощо. Корпус кросу ШКОН-МПА (рис. 2.13) виготовлений з АБС-пластику і включає в себе з'єднувачі та оптичні адаптери. Наявність адаптерних портів спрощує процес здачі-приймання, мінімізує помилки при монтажі та полегшує підключення абонентів [5].



Рисунок 2.13 – Оптична розподільна коробка

Волоконно-оптичні сполучні шнури

Для використання у волоконно-оптичних лініях зв'язку виготовляються наступні види оптичних шнурів ST, FC, SC, LC та MTR.

Стандартні оптичні роз'єми виготовляються на волокні в буферному покритті 0,9 мм, на одножильному кабелі 2,0 мм та 3,0 мм, а також дуплексному кабелі 1,8х3,6 мм, 2,0х4,0 мм та 3,0х6,0 мм.

Оптичні шнури виготовляються відповідно до вимог стандартів IEC та TELCORDIA. Та повинні враховувати вимоги по прямих та зворотних втратах, радіусу кривизни, зміщення вершини наконечника, положення торця волокна в наконечнику, стійкості до механічних та кліматичних впливів. Оптичні патч-корди повинні відповідати вимогам Мінзв'язку України [5].

Оптичні патч-корди можуть бути виготовлені будь-якої довжини.

Найчастіше використовуюються патч-корди 2м (рис. 2.14) та 60м (рис. 2.15):



Рисунок 2.14 – Оптиволоконний патч-корд SC-SC 2м



Рисунок 2.15 – Оптиволоконний патч-корд SC-SC 60м

Кабельні муфти

Оптична кабельна муфта, зокрема модель МТОК-В3 (рис. 2.16), використовується для з'єднання, розгалуження та захисту оптичних кабелів у мережах зв'язку. Ця тупикова муфта призначена для прямих і перехідних з'єднань різних типів оптичних кабелів [5].



Рисунок 2.16 – Муфта МТОК-В3

Вона оснащена касетами КТ3645, кожна з яких вміщує 36 гілз КДЗС (захисних гілз для зварних з'єднань), і дозволяє встановити до шести таких касет, забезпечуючи загальну ємність до 216 (або 288 у розширеній версії) зварних з'єднань оптичних волокон [5].

Муфта МТОК-В3 характеризується широким діапазоном робочих температур (від -60 до +70°C) та посиленням корпусом. Вона може

використовуватися як підвісна муфта, зокрема на опорах високовольтних ліній електропередач, а також встановлюватися в шафах типу ШРМ. Крім того, муфта підходить для кабельної каналізації, колодязів і міських колекторів [5].

Конструкція муфти включає пластмасовий внутрішній кронштейн та оголовник з різними патрубками для введення кабелів. Вона підтримує різні варіанти монтажу: пряме з'єднання двох кабелів, розгалуження з введенням від трьох до шести кабелів, а також розгалуження з транзитом основного кабелю та виведенням до чотирьох кабелів, що відгалужуються [5].

Герметизація корпусу муфти здійснюється механічним способом, а введення кабелів – за допомогою термоусаджуваних трубок з клейовим шаром. У стандартній комплектації муфта постачається з однією касетою КТ3645.

Для встановлення у заповнених колодязях рекомендується використовувати консолі КСВ під стелею. Додатково можна придбати ключі для монтажу, монтажні кронштейни та струбцини. У комплекті з муфтою надаються інструкції з монтажу як самої муфти, так і касети КТ3645 [5].

2.3 Вибір волоконно-оптичного кабелю

Основні вимоги до магістральної волоконно-оптичної мережі:

- покриття: мережа повинна бути спроектована та побудована таким чином, щоб забезпечити можливість підключення до GPON всіх домогосподарств у зоні її дії. При цьому використовується дворівнева схема дерева PON з коефіцієнтом поділу сигналу 1:64;

- планування: для визначення необхідної кількості волокон у магістральній мережі GPON застосовується ситуаційне планування, яке враховує потреби конкретної місцевості;

- В2В та резервування: при проектуванні та будівництві магістральних ділянок ВОЛЗ необхідно враховувати потреби бізнес-клієнтів (В2В). Для комерційних об'єктів площею від 500 кв. м і більше передбачається резерв магістрального волокна (на ділянці від АТС до найближчої муфти) не менше 2 волокон. Цей резерв має бути врахований при розрахунках;

- резерв волокон: на кожній ділянці магістральної ВОЛЗ (від кластерної муфти) передбачається резерв волокон, що становить не більше 15%

від загальної ємності кабелю, але не менше 2 волокон. Усі резервні волокна повинні бути з'єднані (розварені) на всіх ділянках до кластерної муфти;

- кількість волокон на початку магістралі: кількість волокон у магістральному кабелі від оптичного кросу на АТС до першої розгалужувальної муфти в кабельній каналізації має становити 96. В окремих випадках допускається використання кабелю з 144 волокнами. Кількість резервних волокон у цьому кабелі може бути від 17 до 2;

- спосіб прокладання: основний спосіб прокладання ВОЛЗ – телефонна кабельна каналізація. У виняткових випадках, коли розміщення кабелю в каналізації неможливе, допускається підвіска ВОЛЗ на опорах, використання повітряних кабельних переходів між будинками, а також підвіска оптичного кабелю на опорах міських освітлювальних мереж, опорах контактної мережі міського електротранспорту, або прокладання кабелю в ґрунті [4].

Вимоги до зварних з'єднань:

- втрати сигналу в одному напрямку зварного з'єднання не повинні бути більшими за 0,15 дБ, а точність вимірювання цих втрат має бути в межах $\pm 0,15$ дБ;

- при вимірюванні втрат сигналу у зварному з'єднанні в обох напрямках, середнє значення втрат не повинно перевищувати 0,1 дБ, а точність вимірювання має бути в межах $\pm 0,1$ дБ.

Вимоги до оптичних кабелів:

- усі волокна оптичних кабелів, що використовуються в проекті, повинні бути з'єднані з зовнішніми роз'ємами оптичних кросових шаф;

- металеве покриття оптичних кабелів повинно бути обов'язково заземлене [4].

Оптичні волокна поділяються на два основні типи: одномодові та багатомодові. Ключова різниця між ними полягає в тому, як світло поширюється всередині волокна, що в першу чергу визначається розміром його серцевини.

Багатомодове волокно (MultiMode, ММ) дозволяє передавати одночасно декілька світлових сигналів (мод) з різними характеристиками (рис. 2.17). Однак, для цього потрібна більша серцевина. Збільшення діаметра серцевини призводить до збільшення кількості відбивань світла від її країв, що викликає

модову дисперсію (розсіювання). Це, в свою чергу, обмежує відстань передачі сигналу та зменшує пропускну здатність між ретрансляторами [2].

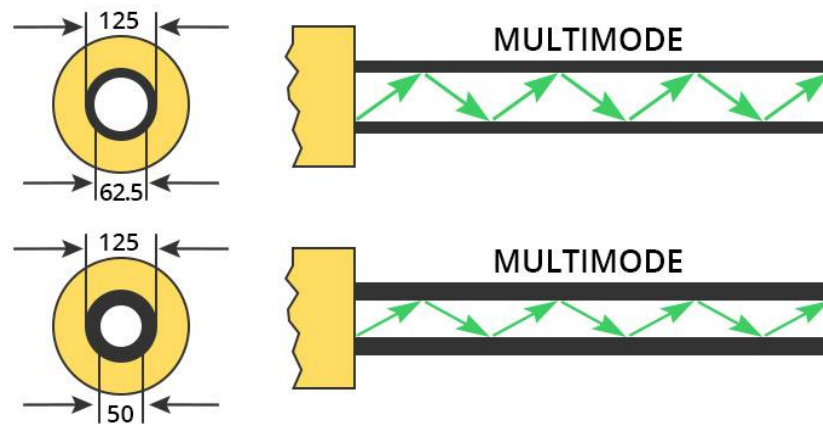


Рисунок 2.17 – Багатомодове волокно

Пропускна спроможність багатомодового оптоволоконна становить до 2,5 Гбіт/с.

Одномодове оптоволоконно (SM), також відоме як SingleMode, характеризується передачею світла лише в одній моді, тобто одним світловим променем. Завдяки малому діаметру сердечника (10 мкм або менше), модова дисперсія в такому волокні мінімізована. Це забезпечує можливість передачі сигналу на значні відстані без необхідності використання підсилювачів. Недоліком одномодової технології є вища вартість як самого волокна, так і обладнання для передачі та прийому оптичного сигналу [2].

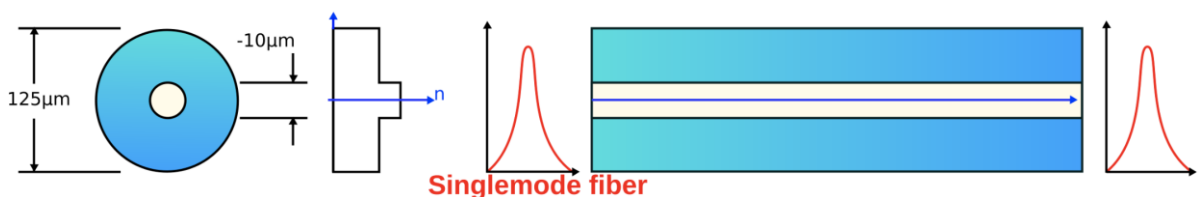


Рисунок 2.18 – Одномодове волокно

Пропускна спроможність одномодового оптоволоконна становить 10 Гбіт/с та більше.

Зазвичай, багатомодовий оптичний кабель застосовується для коротких з'єднань, наприклад, для об'єднання серверних кімнат або офісів, де відстань не перевищує 500-1000 метрів. Для більш протяжних ліній зв'язку кращим

вибором є одномодовий оптичний кабель. Процес з'єднання (зварювання) оптоволокон обох типів практично ідентичний, але з деякими нюансами: одномодове волокно більш чутливе до якості зварювання, і втрати сигналу на з'єднаннях у ньому, як правило, більші, ніж у багатомодовому. У цьому конкретному проєкті ми зупинилися на одномодовому оптичному кабелі, оскільки велика довжина необхідної ділянки робить використання багатомодового кабелю неможливим.

2.3.1 Вибір магістрального волоконно-оптичного кабелю

Оптимальним вибором для магістральної лінії зв'язку є оптичний кабель марки ДПС (ОК-ДПС), призначений для безпосереднього прокладання в ґрунті. Цей тип кабелю, завдяки броні зі сталевих дротиків, забезпечує високу механічну міцність і підходить для використання в різних умовах: у ґрунтах будь-якого типу, в кабельній каналізації, трубах і блоках. Детальні технічні характеристики кабелю ОК-ДПС наведені в таблицях 2.3 і 2.4 [5].



Рисунок 2.19 – Оптичний кабель марки ДПС

Кабель ДПС/ОМЗКГМ складається з наступних основних компонентів:

- 1 центральний елемент: для забезпечення міцності та підтримки використовується сталевий трос (у вигляді стренги, канату або дроту), склопластиковий пруток або арамідні нитки. Ці елементи можуть бути як з полімерним покриттям, так і без нього;
- 2 оптичні волокна: волокна, які передають оптичний сигнал;

- 3 гідрофобний заповнювач: спеціальна речовина, що знаходиться всередині оптичного модуля, яка запобігає проникненню вологи;
- 4 оптичний модуль: конструктивний елемент, що містить оптичні волокна та гідрофобний заповнювач;
- 5 гідроізоляція сердечника: захист від вологи, що забезпечується гідрофобним заповнювачем або водоблокуючим папером, які оточують сердечник кабелю;
- 6 проміжна оболонка: шар з поліетилену або негорючого матеріалу, що захищає внутрішні компоненти;
- 7 гідроізоляція броні: додатковий захист від вологи, що забезпечується гідрофобним заповнювачем або водоблокуючим папером, які оточують броню;
- 8 броня: шар із сталевих дротів, що забезпечує механічний захист кабелю;
- 9 зовнішня оболонка: захисний шар з поліетилену або негорючого матеріалу, що захищає кабель від зовнішніх впливів [5].

Таблиця 2.3 - Механічні характеристики кабелю ДПС

Кількість ОВ у кабелі	Діаметр кабелю, мм	Вага кабелю, кг/км	Навантаження, що розтягує, кН	Роздавлююче навантаження, кН/см	Радіус вигину, мм
До 16	13,4	295	7	0,7	268
До 32	13,6	298	7	0,7	272
до 48	14,0	313			280
До 64	14,0	313			280
До 72	14,8	349			296
До 96	15,4	377			308
До 144	18,4	577			368

Таблиця 2.4 - Параметри експлуатації ДПС

Робоча температура	-50 ° С ... +50°С
Температура монтажу	-10 ° С ... +50°С
Температура транспортування та зберігання	-50 ° С ... +50°С
Мінімальний радіус вигину	не менше 20 діаметрів кабелю
Термін служби	25 років
Термін гарантійної експлуатації	2 роки
Мінімальний радіус вигину оптичного волокна	не менше 3 мм (протягом 10 хв)

2.3.2 Вибір розподільного волоконно-оптичного кабелю

У мережах широкосмугового доступу (ШСД) Харківської філії ВАТ «Укртелеком» для розподільчих кабельних ліній зазвичай використовують кабель з маркуванням ОК НРС (його зображено на рисунку 2.20). Він складається з волокон що розміщені в центрі кабелю, силові елементи представлені двома сталевими проволочками по бокам, та шар зовнішньої ізоляції, що захищає від зовнішнього середовища. Основні технічні параметри цього кабелю наведено в таблиці 2.5 [5].

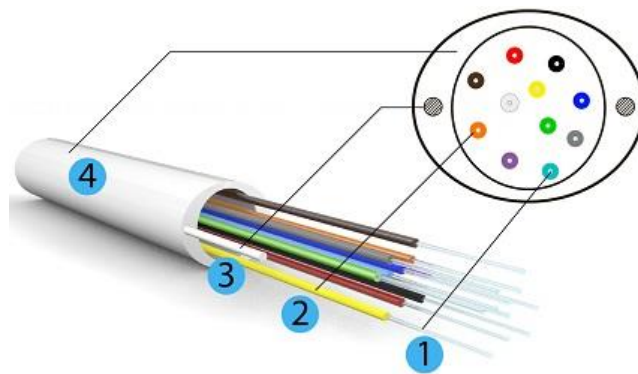


Рисунок 2.20 – Оптичний кабель ОК-НРС для міжповерхової прокладки

Таблиця 2.5 - Параметри експлуатації кабелю ОК-НРС

Робоча температура, °С	-30 ... +50
Температура монтажу, °С	-10 ... +50
Транспортування та зберігання, °С	-60 ... +70
Мінім.	Щонайменше 10
Термін служби, рік	25
Термін гарантійної експлуатації, рік	Не менше 2
Мінім.	Не менше 3 мм (протягом 10 хвилин)

2.4 Розробка перспективної схеми організації зв'язку мережі доступу

Проектування мережі GPON починається з визначення опорних вузлів. Ці вузли обираються серед існуючих АТС, враховуючи наступні ключові фактори:

- географічне розташування: опорні вузли повинні бути рівномірно розподілені по місту, щоб забезпечити оптимальне покриття;
- доступність каналів: кожен район міста повинен мати прямий доступ до одного з опорних вузлів через існуючу кабельну каналізацію;

- відстань до споживачів: максимальна відстань від будь-якої будівлі до найближчого опорного вузла не повинна перевищувати 10 км кабельною трасою;
- енергозабезпечення: опорні вузли повинні мати достатню потужність електропостачання для розміщення необхідного обладнання, особливо з урахуванням реконструкції існуючих АТС;
- плани модернізації: при виборі опорних вузлів необхідно враховувати плани виведення з експлуатації застарілого обладнання та реконструкції АТС з можливим звільненням приміщень.

Архітектура мережі GPON, згідно з технічною політикою "Укртелеком", має відповідати наступним вимогам:

- двокаскадна топологія: мережа GPON будується з використанням двокаскадної схеми розподілу сигналу;
- топологія "зірка" для магістралі: магістральна частина мережі використовує топологію "зірка", де обладнання OLT на опорному вузлі підключається до головної розподільчої шкафи (ГРШ) прямими волоконно-оптичними лініями;
- розміщення та коефіцієнти розподілу спліттерів: перший каскад спліттерів (1:16 або 1:8) розміщується в оптичних розподільчих шкафах (ОРШ); другий каскад спліттерів (1:4 або 1:8) розміщується в оптичних розподільчих коробках (ОРК);
- вибір спліттерів залежно від кількості квартир на поверсі: якщо на поверсі 4 або менше квартир, використовуються спліттери 1:16 в ОРШ та 1:4 в ОРК; якщо на поверсі більше 4 квартир, використовуються спліттери 1:8 в ОРШ та 1:8 в ОРК.

2.4.1 Розробка топологічної структури оптичної мережі доступу мікрорайону

Будь-яка мережа зв'язку характеризується структурою, яка визначає, як її компоненти з'єднані між собою за допомогою транспортних систем. Якщо ці компоненти мають конкретне географічне розташування, то така структура називається топологією мережі.

У рамках даної кваліфікаційної роботи розробляється локальна волоконно-оптична мережа, яка для підключення кінцевих користувачів

("остання миля") використовує технологію FTTH. Розглянемо детальніше, як організована мережа доступу в 1-му мікрорайоні Харкова.

Цей мікрорайон охоплює шість вулиць: пр. Науки, вул. Олександри Белової, вул. Отакара Яроша, вул. 23-го Серпня, вул. Олександра Олеся та вул. Вартових Неба. Мережа доступу, що проектується, повинна забезпечити підключення всіх абонентів у цьому мікрорайоні. Будинки в мікрорайоні переважно 5-ти та 9-ти поверхові. Проектована мережа доступу має забезпечити підключення всіх абонентів, що проживають у цьому районі.

Для оптимізації витрат та забезпечення можливості масштабування, все активне обладнання, включаючи OLT, доцільно розмістити в одному місці – центральному офісі. Спліттери ж будуть розташовані по всьому мікрорайону. Максимальна відстань між OLT та ONT не перевищує 1 км.

Оскільки кількість ONT у мікрорайоні не перевищує 256, достатньо встановити один OLT. Мережа буде побудована за топологією "мультидерево" з використанням 4-х волоконного кабелю. Враховуючи розташування будинків, було вирішено використовувати пасивну топологію дерева PLC 1x4 + PLC 1x16.

Структурна схема мережі доступу та схема розташування спліттерів з вказаними відстанями представлені на рис. 2.21 та 2.22.

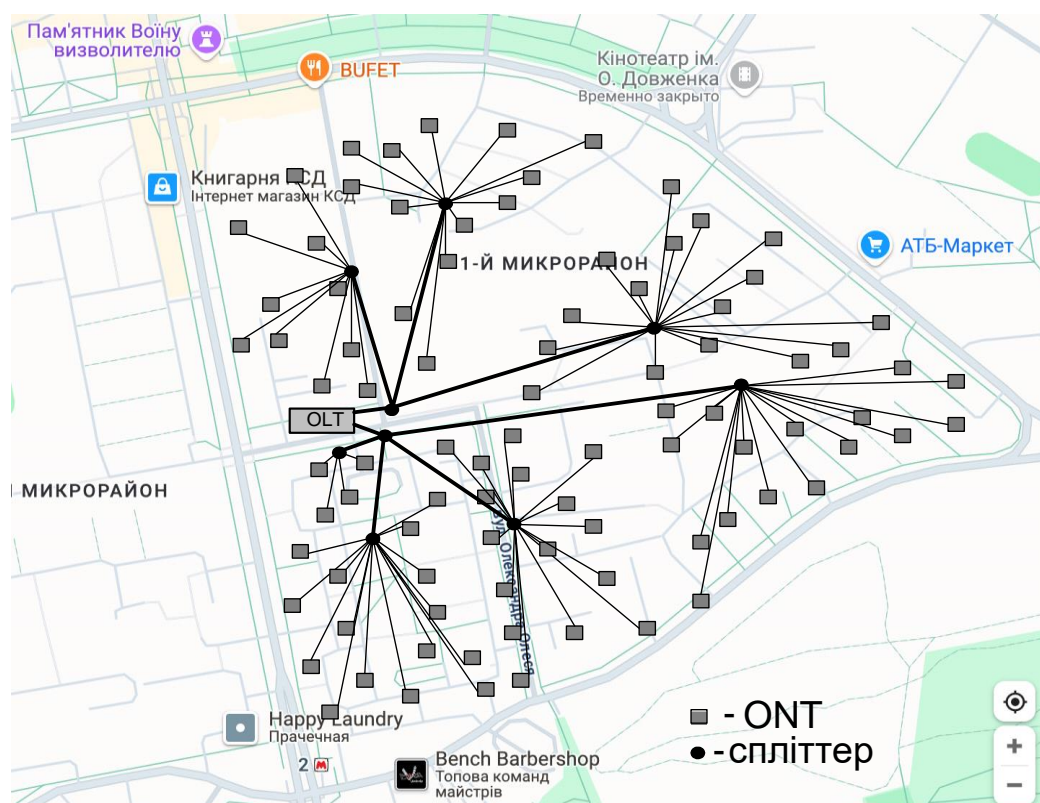


Рисунок 2.21 – Топологічна схема мережі доступу 1 мікрорайону м. Харкова на основі технології GPON

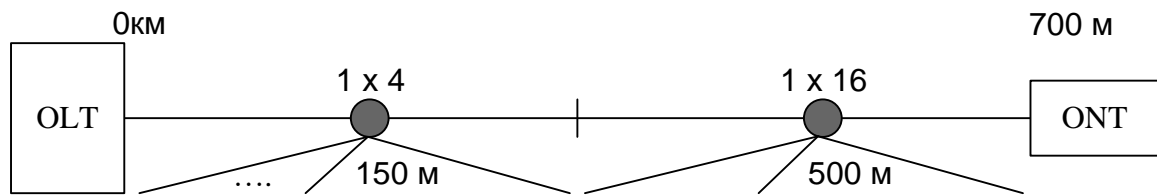


Рисунок 2.22 – Розміщення спліттерів на типовому участку мережі

На деяких розподільчих пристроях передбачені резервні порти, що спрощує підключення нових користувачів без необхідності зміни конфігурації існуючої мережі. Для міжбудинкової прокладки використовується кабель з волокнами, стійкими до вигинів (стандарт G.657.A). Внутрішньобудинкова розводка здійснюється за допомогою FTTX патчкордів та drop-кабелів виробництва "Елтекс". Характеристики використаних кабелів відповідають встановленим вимогам і не погіршують продуктивність мережі.

2.4.2 Логічна схема мережі

Логічна схема двокаскадної мережі представлена на рис. 2.23.

Проектування волоконно-оптичної магістральної мережі передбачає визначення її пропускної здатності (ємності) на етапі розробки. Розрахунок ємності міжповерхового кабелю базується на кількості поверхів у будинку, до якої додається одне резервне волокно.

Пропускна здатність транзитних кабелів залежить від кількості абонентів, яких планується підключити в будинку:

- одне волокно: якщо передбачається підключення до чотирьох абонентів;
- вісім волокон: якщо планується підключення п'яти або більше абонентів.

В кожному опорному будинку передбачено встановлення однієї оптичної розподільчої шафи (ОРШ). ОРШ монтується в підвальному або іншому приміщенні з обмеженим доступом. Встановлення додаткової ОРШ в опорному будинку, або розміщення ОРШ в приміщенні з вільним доступом потребує обґрунтування та окремого погодження.

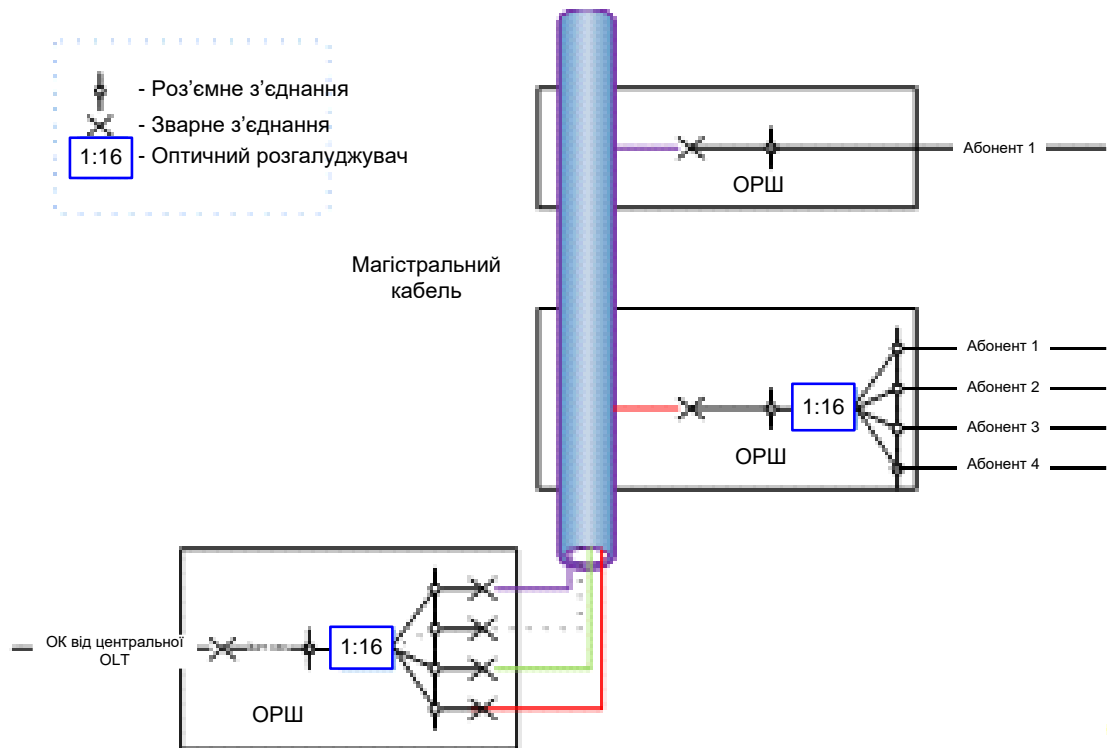


Рисунок 2.23 – Схема організації двокаскадної мережі GPON

У під'їздах базового будинку розподільчі коробки (ГРК) монтуються на сходових клітках таким чином, щоб кожна ГРК обслуговувала мешканців двох поверхів. Зміна зони обслуговування для ГРК допускається лише у виняткових ситуаціях і потребує детального обґрунтування. Розміщення ГРК починається з верхнього поверху і продовжується вниз по поверхах. Нумерація ГРК починається з верхнього поверху першого під'їзду (згідно з рисунком 2.24).

Якщо ГРК розміщуються на сходових майданчиках у будинках, де на першому поверсі є житлові приміщення, обов'язково передбачається встановлення ГРК на майданчику між першим і другим поверхами. Встановлення ГРК на майданчику нижче першого поверху заборонено.

Між поверхами базового будинку прокладається вертикальний кабель (рис. 2.25).

Якщо ГРК встановлюється в ніші, вона кріпиться безпосередньо до цього міжповерхового кабелю. Додатково розподільчу коробку слід закріпити до арматури, що знаходиться в ніші.

Якщо прокладаються додаткові вертикальні кабелі, розподільча коробка встановлюється та кріпиться на стіні.

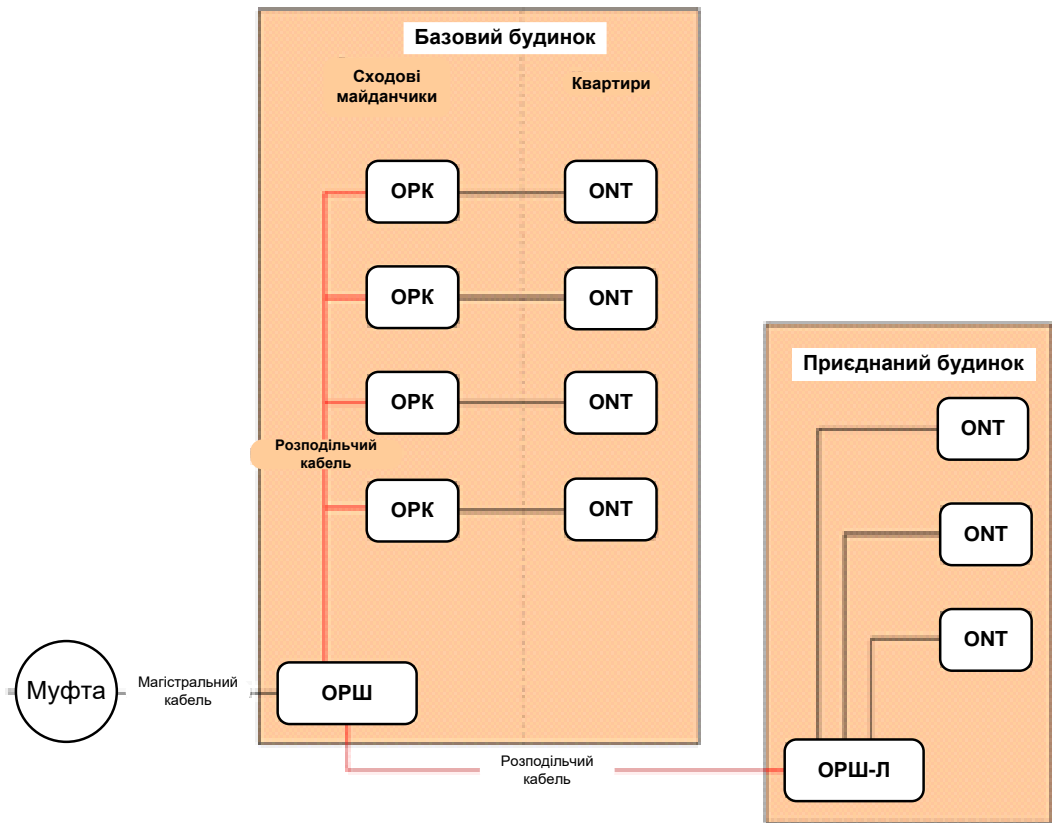


Рисунок 2.24 – Підключення приєднаних будинків

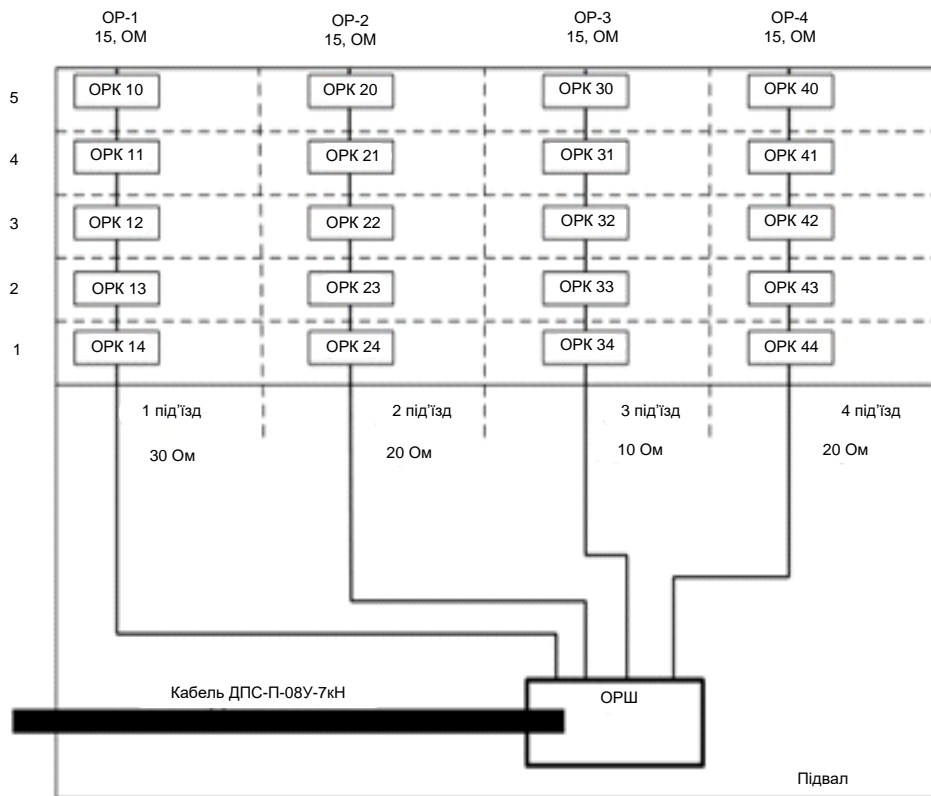


Рисунок 2.25 – Поверхова схема кабельної траси

Підключення першого абонента здійснюється шляхом приєднання абонентського кабелю (ОАК) до роз'єму живлення розподільчої коробки (ОРК) без використання спліттера другого каскаду.

Спліттер другого каскаду встановлюється в ГРК при підключенні другого абонента. Перший, другий та наступні абоненти підключаються до виходів цього спліттера.

При вичерпанні потужностей на ГРК використовується додаткове волокно міжповерхового кабелю, а також встановлюється додатковий ГРК на 2-му поверсі, без зміни підключення абонентів. Додаткові ГРК встановлюються лише за наявності потреби.

Підключення будинків здійснюється за допомогою транзитного оптичного кабелю до виходів оптичних спліттерів першого каскаду, які знаходяться в ОРШ опорних будинків.

У підключеному будинку, у зоні введення транзитного кабелю, встановлюється розподільна коробка ОРК-Т, яка забезпечує термінацію ВОК від опорного будинку та розміщення кількох спліттерів другого каскаду.

До приєднання будівлі висуваються такі вимоги:

- житловий будинок з кількістю домогосподарств до 32;
- нежитловий будинок із не більш ніж 32 юридичними особами.

3 РОЗРАХУНОК ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕРЕЖІ ДОСТУПУ

Оптимальна архітектура пасивної оптичної мережі (GPON) у зоні розміщення шафи (ЗРШ) передбачає використання оптичних спліттерів з коефіцієнтами поділу 1:8 або 1:16 для розподілу сигналу.

Вибір конкретного типу спліттера залежить від кількості квартир на поверсі (Кквп):

- якщо $K_{квп} \leq 4$: У ОРШ встановлюються спліттери 1:16 (Ксп16), а на кожному поверсі - оптичні розподільчі коробки (ОРК) зі спліттерами 1:4 (Кп4);

- якщо $K_{квп} > 4$: У ОРШ використовуються спліттери 1:8 (Ксп8), а на кожному поверсі - ОРК зі спліттерами 1:8 (Кп8).

Іншими словами, для ефективного розподілу оптичного сигналу в мережі GPON, при проектуванні необхідно враховувати кількість абонентів на поверсі. Якщо їх небагато, то в ОРШ ставиться спліттер з більшим коефіцієнтом поділу, а на поверхах - з меншим. Якщо ж абонентів на поверсі більше, то в ОРШ і на поверхах використовуються спліттери з меншим коефіцієнтом поділу.

3.1 Розрахунок числа волокон магістральної оптичної мережі

Загальні вимоги до магістральної ВОЛЗ:

- покриття: магістральна волоконно-оптична мережа (ВОЛЗ) повинна бути спроектована та побудована таким чином, щоб забезпечити можливість підключення до 100% домогосподарств у зоні її дії за технологією GPON. При цьому використовується дворівнева каскадна схема PON з коефіцієнтом розділення сигналу 1:64;

- планування: проектування магістральної мережі GPON базується на ситуаційному аналізі, який визначає необхідну кількість волокон;

- B2B та комерційна нерухомість: при проектуванні та будівництві магістральних ділянок ВОЛЗ необхідно враховувати потреби бізнес-клієнтів (B2B). Для комерційних об'єктів площею від 500 кв. м передбачається резерв магістральної ВОЛЗ (від АТС до найближчої муфти) не менше 2 волокон. Цей

резерв враховується при розрахунку загальної кількості волокон магістральної ВОЛЗ;

- резервування: на кожній ділянці магістральної ВОЛЗ (від кластерної муфти) передбачається резерв волокон не більше 15% від загальної ємності кабелю, але не менше 2 волокон. Усі резервні волокна повинні бути з'єднані (розварені) на всіх ділянках до кластерної муфти;

- кількість волокон: кількість волокон у магістральному кабелі від оптичного кросу на АТС до першої розгалужувальної муфти в кабельній каналізації має становити 96. В окремих випадках допускається використання кабелю з 144 волокнами. Кількість резервних волокон у цьому кабелі допускається від 17 до 22 [3].

Вимоги до прокладання та матеріалів:

- прокладання: прокладання ВОЛЗ здійснюється переважно в телефонній кабельній каналізації. У виняткових випадках, коли це неможливо, допускається підвіска ВОЛЗ на опорах, використання повітряних кабельних переходів між будівлями, підвіска на опорах міських освітлювальних мереж, опорах контактної мережі міського електротранспорту, або прокладання кабелю в ґрунті;

- траса: вибір траси здійснюється з урахуванням найкоротшої протяжності ділянок мережі, схеми існуючої кабельної каналізації, мінімізації кількості переходів через дороги та інші перешкоди, які можуть збільшити вартість проекту;

- кабель: використовується однотипний, модульний волоконно-оптичний кабель зі стандартним волокном G.652D;

- зварювання: згасання в зварних з'єднаннях не повинно перевищувати 0,15 дБ в одному напрямку, а похибка оцінки згасання не повинна перевищувати 0,15 дБ. При вимірюванні згасання у двох напрямках середнє значення не повинно перевищувати 0,1 дБ, а похибка оцінки згасання не повинна перевищувати 0,1 дБ;

- металеві покриття ВОК повинні бути заземлені [3].

Оптичні волокна буде розподілено в межах першого мікрорайону. Щоб це зробити, нам потрібна інформація про структуру мережі та коефіцієнт розгалуження GPON обладнання (1:64).

Активне обладнання OLT знаходиться на АТС, що розташована за адресою: м. Харків, вул. Вартових Неба, 42.

Для полегшення розрахунків розподілу волоконно-оптичних ліній зв'язку (ВОЛЗ) створимо табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Розподіл оптичних волокон дільниці

Адреса	Кількість під'їздів	Поверх-ність	Кількість квартир на поверсі	Кількість квартир у будинку	Кількість ОВ (Роб. + рез.)
Олександра Олеся, 1	5	5	4	100	4(2+2)
Олександра Олеся, 2	4	5	4	80	4(2+2)
Олександра Олеся, 3	5	5	3	75	4(2+2)
Олександра Олеся, 5	4	5	3	60	4(2+2)
Олександра Олеся, 8	4	5	3	60	4(2+2)
Олександра Олеся, 9	5	5	3	75	4(2+2)
Олександра Олеся, 10	4	5	3	60	4(2+2)
Олександра Олеся, 12	4	5	3	60	4(2+2)
Олександра Олеся, 13	4	5	3	60	4(2+2)
Олександра Олеся, 16	4	5	3	60	4(2+2)
Олександра Олеся, 17	4	5	3	60	4(2+2)
Олександра Олеся, 18	5	5	3	75	4(2+2)
Вартових Неба, 42	4	5	3	60	4(2+2)
Вартових Неба, 46	6	5	3	90	4(2+2)
Вартових Неба, 48	4	5	3	60	4(2+2)
Вартових Неба, 50	4	5	4	80	4(2+2)
Вартових Неба, 52	4	5	4	80	4(2+2)
Вартових Неба, 62	4	5	3	60	4(2+2)
Вартових Неба, 65	4	5	3	60	4(2+2)
Вартових Неба, 69	4	5	3	60	4(2+2)
23-го Серпня, 34	5	9	4	180	4(2+2)
23-го Серпня, 38	5	9	4	180	4(2+2)
23-го Серпня, 40	5	9	4	180	4(2+2)
23-го Серпня, 42	5	9	4	180	4(2+2)
23-го Серпня, 44	5	9	4	180	4(2+2)
23-го Серпня, 46	5	9	4	180	4(2+2)
23-го Серпня, 48	5	9	4	180	4(2+2)
23-го Серпня, 50	4	9	4	144	4(2+2)
23-го Серпня, 52	4	9	4	144	4(2+2)
23-го Серпня, 54	5	9	4	180	4(2+2)
23-го Серпня, 56	5	9	4	180	4(2+2)
23-го Серпня, 58	5	9	4	180	4(2+2)
23-го Серпня, 60	5	9	4	180	4(2+2)
23-го Серпня, 62	4	5	4	80	4(2+2)
23-го Серпня, 64	3	5	4	60	4(2+2)
23-го Серпня, 68	3	5	4	60	4(2+2)
23-го Серпня, 70	3	5	4	60	4(2+2)
Разом					148

Алгоритм розрахунку кількості магістральних волокон для житлових будинків з ознакою "ОРШ" (кількість квартир ≥ 32) наступний.

Кількість розподільчих портів ОРШ:

$$K_{рп} = (K_{пов.} * K_{порт}). \quad (3.1)$$

Кількість магістральних портів спліттерів визначається як:

$$K_{мп.сп} = K_{рп} / K_{сп.орш} + 2 \text{ (резерв)} \quad (3.2)$$

$K_{сп.орш}$ - кількість спліттерів в ОРШ залежить від кількості квартир на поверсі базового будинку, і може набувати значення 16 або 8. У даній роботі $K_{сп.орш} = 16$. Округлення при розподілі йде у більший бік.

$$K_{рп_{Пов6, Пов12, Н4, Н10, Н18, Н20, Н22, Н24, С1, Т7, Т9}} = 5 * 4 = 20,$$

$$K_{мп.сп_{Пов6, Пов12, Н4, Н10, Н18, Н20, Н22, Н24, С1, Т7, Т9}} = K_{рп} / K_{сп.орш} + 2 \text{ (резерв)} = \\ = 20 / 16 + 2 = 4,$$

$$K_{рп_{Пов4, Пов10, Н6, Н28}} = 5 * 5 = 25,$$

$$K_{мп.сп_{Пов4, Пов10, Н6, Н28}} = K_{рп_1} / K_{сп.орш} + 2 \text{ (резерв)} = 25 / 16 + 2 = 4,$$

$$K_{рп_{Т1}} = 5 * 6 = 30,$$

$$K_{мп.сп_{Т1}} = K_{рп_2} / K_{сп.орш} + 2 \text{ (резерв)} = 30/16 + 2 = 4.$$

Для забезпечення підключення будинків до мережі PON, магістральний кабель, що використовується, містить 148 оптичних волокон, що в результаті займають 3 порти OLT та 1 залишиться в резерві.

При виборі ємності кабелю для кожної будівлі, враховується необхідна кількість волокон, що підводяться до головної розподільчої шафи (ГРШ), а також резерв у щонайменше 2 волокна. Вибір здійснюється згідно з переліком доступних номіналів, наведеним у табл. 3.2. Прокладання оптичного кабелю відбувається в наявній кабельній каналізації.

З'єднання кабелів, що йдуть до окремих будівель, виконується за допомогою розгалужувальних муфт. Кількість відгалужень у муфтах визначається потребою підключення транзитних кабелів до сусідніх муфт.

Розташування розгалужувальних муфт планується в існуючих оглядових колодязях. Ємність транзитних і відгалужувальних кабелів обирається згідно з переліком номіналів у табл. 3.2.

На ділянці магістрального кабелю від оптичного кросу на АТС до першої розгалужувальної муфти, використовується кабель з 148 оптичними волокнами.

Таблиця 3.2 - Допустимі до застосування типи магістральних ВОК

N	Кількість волокон
1	8
2	12
3	24
4	48
5	64
6	96
7	148

Використовуючи схему організації зв'язку (рис. 2.12 та 2.25), розроблену на основі розрахунків у для магістральної ділянки мережі, було розраховано потребу в матеріалах. Результати розрахунків представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Відомість наявності матеріалів на магістральній ділянці

Найменування	Одиниці виміру	Кількість
Кабель ДПС-П-12У-7 кН	км.	0,205
Кабель ДПС-П-16У-7 кН	км.	0,090
Кабель ДПС-П-24У-7 кН	км.	0,116
Кабель ДПС-П-32У-7 кН	км.	0,041
Кабель ДПС-П-48У-7 кН	км.	0,060
Кабель ДПС-П-96У-7 кН	км.	0,043
Муфта МТОК В-3	шт.	14

3.2 Розрахунок будинкової розподільної мережі (БРМ)

Опис проекту розгортання мережі в типових панельних будинках.

Для підключення будинків буде використано наявну систему кабельних каналів. У підвалі, в центрі будівлі, на стіні буде встановлено шафу з обладнанням. Заземлення металеві броні оптичного кабелю виконуватиметься стандартним способом – підключенням до групової заземлювальної шини (ГЗШ) будинку за допомогою дроту ПВ-3 1х16.

Магістральний кабель буде захищено гофрованою трубою діаметром 25 мм, прокладеною до ГЗШ. У ГЗШ буде встановлено два корпусних сплітери 1:16, що забезпечить зручність при майбутніх вимірюваннях та обслуговуванні.

Розведення кабелів до під'їздів здійснюватиметься в жорстких ПВХ трубах діаметром 50 мм, а далі – у вертикальних кабельних каналах. На кожному поверсі, в існуючих слаботочних нішах, будуть встановлені поверхові розподільні коробки. У цих коробках розміщуватимуться безкорпусні сплітери 1:4, які будуть укладені в сплайс-касети на місці захисної гільзи.

Використання негорючого ПВХ матеріалу забезпечує пожежну безпеку, запобігаючи займанню та розповсюдженню полум'я. Механічний захист кабелю гарантує безпеку та надійність мережі. Гофрована труба не потребує заземлення та стійка до корозії.

3.3 Розрахунок бюджету оптичної потужності

Бюджет запасу потужності є зручним інструментом для аналізу та кількісної оцінки втрат у волоконно-оптичних лініях. Він являє собою суму посилень та втрат під час передачі сигналу від трансмітера до оптичного приймача, враховуючи резерв потужності. Різниця між оптичною потужністю та втратами в з'єднаннях і роз'ємах повинна залишатись у діапазоні між переданою потужністю та порогом чутливості приймача. Занадто велика оптична потужність може призвести до насичення приймача, тоді як дуже малий рівень потужності свідчить про наближення до максимального порога чутливості. Це може проявитися у зростанні частоти помилок BER або в погіршенні роботи кабелю та підключеного обладнання [4].

Результати проведеного аналізу дозволять оцінити, чи має волоконно-оптична лінія достатню потужність для компенсації втрат та забезпечення стабільної роботи. Якщо результати аналізу вказують на недостатню потужність, систему доведеться перепроєктувати для забезпечення надійної передачі даних від одного кінця до іншого. Це може вимагати підвищення оптичної потужності передавача, покращення чутливості приймача, зменшення втрат у кабелі або роз'ємах, або застосування всіх перелічених рішень [4].

Створення бюджету запасу потужності є важливим аспектом під час планування інсталяції волоконно-оптичної системи. При цьому слід враховувати ряд факторів:

- тривалість служби оптичного трансмітера (потужність зазвичай знижується з часом);
- зростання фізичного навантаження на кабель (що призводить до збільшення втрат);
- наявність мікровигинів у кабелі;
- визначення знос з'єднувачів при їх підключенні та заміні (що може спричинити порушення центрування та підвищення втрат);
- забруднення оптичних з'єднувачів (пил та бруд можуть заважати проходженню сигналу).

Запас потужності має бути достатнім для врахування можливих варіацій у робочих характеристиках системи, не впливаючи на значення BER. Зазвичай рекомендований запас потужності коливається в межах 3-6 дБ. Проте, жодних строгих норм щодо величини запасу не існує, адже він залежить від специфіки волоконно-оптичного кабелю, з'єднувачів та оптичних направлячів, які використовуються. Уникати слід ситуації, коли запас потужності дорівнює нулю, адже в такому випадку волоконно-оптична лінія повинна мати точну оптичну потужність для компенсації втрат, що може призвести до погіршення характеристик. Технічні параметри приймально-передавальних пристроїв наведені в таблицях 3.4 та 3.5.

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики OLT P3310

Потужність передавача	від +2 до +7 дБ
Чутливість приймача	від -30 до -6 дБ
Бюджет оптичної потужності upstream/downstream	30,5 дБ/30 дБ

Таблиця 3.5 - Технічні характеристики ONT NTP-RG-1402G-W

Потужність передавача	від +0,5 до +5 дБ
Чутливість приймача	від -28 до -8 дБ
Бюджет оптичної потужності upstream/downstream	30,5 дБ/30 дБ

Охарактеризуємо загальні втрати сигналу в кожній оптичній лінії зв'язку між центральним обладнанням (OLT) та абонентським терміналом (ONU) як суму згасань, що вносяться кожним елементом на шляху сигналу downstream (від OLT до ONU). Цю суму позначимо як $A_{\Sigma\text{OLT-ONU}_x}$ і вимірюємо в децибелах (дБ). Враховуємо, що передача даних до абонента відбувається на довжині хвилі 1490 нм. Величина загасання залежить від протяжності магістрального кабелю, кількості розгалужувачів, а також якості з'єднань (як зварних, так і роз'ємних). Розрахувати загальне загасання можна за допомогою формули (3.3).

$$A_{\Sigma\text{OLT-ONU}_x} = (l_1 + \dots + l_n)\alpha + N_p * A_p + N_z * A_z + (A_{\text{роз1}} + \dots + A_{\text{розm}}), \quad (3.3)$$

де x - номер будинку, в якому розташовується ONU;

l_i - довжина i -діляниці, км;

n – кількість ділянок;

α – коефіцієнт згасання оптичного кабелю, 0,24 дБ/км (1490 нм);

N_p - кількість роз'ємних з'єднань;

A_p – середні втрати у з'єднанні, дБ;

N_z – кількість зварних з'єднань;

A_z – середні втрати у зварному з'єднанні, дБ;

$A_{\text{роз}i}$ – втрати в i -оптичному розгалужувачі, дБ.

На станційному обладнанні передбачено одне зварне та одне роз'ємне з'єднання. Зварні з'єднання використовуються в муфтах.

На шляху від магістрального кабелю до абонентського пристрою (ONT) наявні наступні з'єднання:

- в ОРШ (оптичний розподільчий шкаф): роз'ємне з'єднання: волокно магістрального кабелю з'єднується з волокном спліттера; зварне з'єднання: до волокна магістрального кабелю приварено пігтейл;

- в ГРШ (горизонтальній розподільчій шкафі): роз'ємне з'єднання: спліттер з'єднується з розподільним кабелем; зварне з'єднання: до розподільного кабелю приварено пігтейли;

- на поверсі:

- для одного абонента: волокно безпосередньо з'єднується з ONT.

- для кількох абонентів (через розгалужувач 1:4): роз'ємне з'єднання: між поверховим кабелем і спліттером; абонентський кабель зварюється на

сходовому майданчику; пігтейл зварюється в КРК (кінцева розподільча коробка).

Нехай втрати на роз'ємних з'єднаннях дорівнюють $A_p = 0,2$ дБ, а на зварних $A_z = 0,05$ дБ.

Згасання, що вноситься розгалужувачами 1x16 і 1x4 приведено в таблиці 3.6. Для розрахунків обирають найгірший варіант (кат. Б).

Таблиця 3.6 - Загальні характеристики одномодових розгалужувачів

Конфігурація портів	Макс надлишкові втрати, дБ		Макс внесені втрати між вхідним та будь-яким із вихідних портів, дБ		Макс нерівномірність розподілу потужності вихідних портів, дБ	
	Кат. А	Кат. Б	Кат. А	Кат. Б	Кат. А	Кат. Б
1x2, 2x2	0,2	0,3	3,4	3,6	0,2	0,3
1x3, 2x3	0,4	0,7	5,6	6,3	0,6	0,8
1x4, 2x4	0,5	0,9	7,0	7,6	0,7	1,2
1x5, 2x5	0,6	1,0	8,3	9,2	0,9	1,5
1x6, 2x6	0,6	1,0	9,2	10,3	1,0	1,9
1x7, 2x7	0,7	1,1	10,2	11,1	1,1	2,1
1x8, 2x8	0,8	1,2	10,5	11,7	1,2	2,5
1x9, 2x9	0,9	1,4	11,2	12,9	1,3	2,7
1x10, 2x10	1,0	1,5	12,0	13,2	1,4	2,9
1x12, 2x12	1,1	1,6	12,6	13,4	1,5	3,1
1x14, 2x14	1,2	1,7	13,3	14,5	1,6	3,3
1x16, 2x16	1,3	1,8	14,0	15,2	1,7	3,5

Конкретні значення втрат для розгалужувачів беремо з вказаних виробником.

Розраховуємо втрати кожної оптичної лінії:

$$A_{\Sigma OLT-ONUORSH1} = (0,043+0,064+0,097)*0,24+5*0,2+8*0,05+15,2+7,6 = 24,25 \text{ дБ};$$

$$A_{\Sigma OLT-ONUORSH2} = (0,043+0,064+0,157)*0,24+5*0,2+8*0,05+15,2+7,6 = 24,26 \text{ дБ};$$

$$A_{\Sigma OLT-ONUORSH3} = (0,043+0,064+0,226)*0,24+5*0,2+8*0,05+15,2+7,6 = 24,28 \text{ дБ};$$

$$A_{\Sigma OLT-ONUORSH4} = (0,043+0,064+0,365)*0,24+5*0,2+8*0,05+15,2+7,6 = 24,31 \text{ дБ};$$

$$A_{\Sigma OLT-ONUORSH5} = (0,043+0,060+0,066)*0,24+5*0,2+8*0,05+15,2+7,6 = 24,24 \text{ дБ};$$

$$A_{\Sigma\text{OLT-ONUOPIII6}} = (0,043+0,060+0,110)*0,24+5*0,2+9*0,05+15,2+7,6 = \\ = 24,30 \text{ дБ};$$

$$A_{\Sigma\text{OLT-ONUOPIII7}} = (0,043+0,060+0,108)*0,24+5*0,2+9*0,05+15,2+7,6 = \\ = 24,30 \text{ дБ};$$

$$A_{\Sigma\text{OLT-ONUOPIII8}} = (0,043+0,060+0,160)*0,24+5*0,2+9*0,05+15,2+7,6 = \\ = 24,31 \text{ дБ};$$

$$A_{\Sigma\text{OLT-ONUOPIII9}} = (0,043+0,060+0,103)*0,24+5*0,2+9*0,05+15,2+7,6 = \\ = 24,29 \text{ дБ};$$

$$A_{\Sigma\text{OLT-ONUOPIII10}} = (0,043+0,060+0,287)*0,24+5*0,2+10*0,05+15,2+7,6 = \\ = 24,39 \text{ дБ};$$

$$A_{\Sigma\text{OLT-ONUOPIII11}} = (0,043+0,060+0,352)*0,24+5*0,2+10*0,05+15,2+7,6 = \\ = 24,41 \text{ дБ};$$

$$A_{\Sigma\text{OLT-ONUOPIII12}} = (0,043+0,060+0,288)*0,24+5*0,2+10*0,05+15,2+7,6 = \\ = 24,40 \text{ дБ};$$

$$A_{\Sigma\text{OLT-ONUOPIII13}} = (0,043+0,060+0,282)*0,24+5*0,2+10*0,05+15,2+7,6 = \\ = 24,40 \text{ дБ};$$

$$A_{\Sigma\text{OLT-ONUOPIII14}} = (0,043+0,060+0,288)*0,24+5*0,2+10*0,05+15,2+7,6 = \\ = 24,40 \text{ дБ};$$

$$A_{\Sigma\text{OLT-ONUOPIII15}} = (0,043+0,060+0,424)*0,24+5*0,2+11*0,05+15,2+7,6 = \\ = 24,47 \text{ дБ};$$

$$A_{\Sigma\text{OLT-ONUOPIII16}} = (0,043+0,060+0,496)*0,24+5*0,2+11*0,05+15,2+7,6 = \\ = 24,49 \text{ дБ}.$$

Розраховані значення загасання ліній мають бути збільшені на експлуатаційний запас, який зазвичай становить 3 дБ для мереж доступу. Цей запас компенсує потенційні втрати, пов'язані з пошкодженнями лінійного тракту, деградацією параметрів передачі та розширенням мережі. Далі необхідно переконатися, що сумарні втрати (включаючи експлуатаційний запас) не перевищують динамічний діапазон системи, який для GPON становить 30 дБ. На завершення, обчислюється загальне згасання для кожної лінії до абонента, з урахуванням доданого експлуатаційного запасу в 3 дБ, $A_{\Sigma\text{OLT-ONU}_{x+3}}$, дБ:

$$A_{\Sigma\text{OLT-ONUOPIII}} = 24,25+3 = 27,25 \text{ дБ};$$

$$\begin{aligned}
A_{\Sigma\text{OLT-ONUOPШ2}} &= 24,26 + 3 = 27,26 \text{ дБ}; \\
A_{\Sigma\text{OLT-ONUOPШ3}} &= 24,28 + 3 = 27,28 \text{ дБ}; \\
A_{\Sigma\text{OLT-ONUOPШ4}} &= 24,31 + 3 = 27,31 \text{ дБ}; \\
A_{\Sigma\text{OLT-ONUOPШ5}} &= 24,24 + 3 = 27,24 \text{ дБ}; \\
A_{\Sigma\text{OLT-ONUOPШ6}} &= 24,30 + 3 = 27,30 \text{ дБ}; \\
A_{\Sigma\text{OLT-ONUOPШ7}} &= 24,30 + 3 = 27,30 \text{ дБ}; \\
A_{\Sigma\text{OLT-ONUOPШ8}} &= 24,31 + 3 = 27,31 \text{ дБ}; \\
A_{\Sigma\text{OLT-ONUOPШ9}} &= 24,29 + 3 = 27,29 \text{ дБ}; \\
A_{\Sigma\text{OLT-ONUOPШ10}} &= 24,39 + 3 = 27,39 \text{ дБ}; \\
A_{\Sigma\text{OLT-ONUOPШ11}} &= 24,41 + 3 = 27,41 \text{ дБ}; \\
A_{\Sigma\text{OLT-ONUOPШ12}} &= 24,40 + 3 = 27,40 \text{ дБ}; \\
A_{\Sigma\text{OLT-ONUOPШ13}} &= 24,40 + 3 = 27,40 \text{ дБ}; \\
A_{\Sigma\text{OLT-ONUOPШ14}} &= 24,40 + 3 = 27,40 \text{ дБ}; \\
A_{\Sigma\text{OLT-ONUOPШ15}} &= 24,47 + 3 = 27,47 \text{ дБ}; \\
A_{\Sigma\text{OLT-ONUOPШ16}} &= 24,49 + 3 = 27,49 \text{ дБ}.
\end{aligned}$$

Розраховані втрати на лініях не перевищують границю в 30 дБ, тож мережа спланована коректно.

Аналіз показав, що найменше згасання сигналу висхідного каналу (upstream) від абонентів, підключених у будинку за адресою вул. Вартових Неба, 46 (ОРШ5), забезпечує максимальну потужність сигналу, що передається від ONT (оптичного мережевого терміналу) до OLT (оптичного лінійного терміналу). Враховуючи мінімальну вихідну потужність передавача ONT (+0,5 дБ) та поріг чутливості приймача OLT (-6 дБ), загальне згасання лінії зв'язку між ONT та OLT має бути не меншим за 6,5 дБ. Мінімальне згасання висхідного потоку для абонентів будинку 46 на вул. Вартових Неба (ОРШ5) визначається згідно з формулою (3.5).

$$A_{\Sigma\text{ONT-OLT}} = (l_1 + \dots + l_n)\alpha + N_p * A_p + N_z * A_z + A_{\text{роз}}, \quad (3.5)$$

де l_i - довжина i -діляниці, км;

n – кількість ділянок;

α – коефіцієнт згасання оптичного кабелю, 0,4 дБ/км (1310 нм);

N_p - кількість роз'ємних з'єднань;

A_p – середні втрати у з'єднанні, дБ;

N_3 – кількість зварних з'єднань;

A_3 – середні втрати у зварному з'єднанні, дБ;

$A_{роз}$ – надмірні втрати у розгалужувачі, дБ.

$$A_{\Sigma ONTORШ1-OLT} = (0,043 + 0,060 + 0,066) * 0,4 + 5 * 0,2 + 8 * 0,05 + 0,9 + 1,8 = 4,17 \text{ дБ.}$$

Оскільки приймач OLT може бути перевантажений, потрібно штучно збільшити згасання сигналу в лінії щонайменше на 2,33 дБ. Для цього пропонується встановити атенюатори на 3 дБ у всіх будинкових розподільчих шафах (ОРШ).

Після встановлення атенюаторів, навіть у найгіршому випадку (найбільші втрати сигналу) – для ділянки мережі від OLT до ONU через розподільчу шафу ОРШ16 за адресою 23-го Серпня 70, загальне загасання сигналу downstream (без урахування запасу на експлуатаційні потреби) становитиме 27,49 дБ. Це значення не перевищує заявлений виробником бюджет оптичної потужності в 30 дБ, залишаючи експлуатаційний запас у 2,52 дБ. Таким чином, ця умова буде виконана і для всіх інших ділянок мережі, де згасання сигналу менше.

3.4 Вимірювання у пасивних оптичних мережах

Створення сучасної та надійної оптичної мережі неможливе без ретельного тестування. Якісне тестування підтверджує відповідність ключових параметрів, що гарантують якісну передачу даних, а також допомагає виявити та локалізувати пошкодження. Враховуючи значні витрати часу та ресурсів на вимірювання в пасивних оптичних мережах (PON), вибір вимірювального обладнання має бути обдуманим, з урахуванням специфіки PON, а процедури та методи вимірювань повинні відповідати міжнародним стандартам [6].

Протягом життєвого циклу PON, від будівництва до експлуатації, проводяться різні види вимірювань:

- вхідний контроль: перевірка компонентів перед початком будівництва;
- вимірювання під час будівництва та монтажу: контроль якості з'єднань та параметрів мережі в процесі розгортання;

- прийнятно-здавальні вимірювання: перевірка відповідності збудованої мережі технічним вимогам перед введенням в експлуатацію;
- експлуатаційні вимірювання: моніторинг стану мережі та виявлення проблем в процесі її роботи [6].

Вхідний контроль компонентів мережі, що проводиться перед початком будівництва, має на меті перевірити відповідність характеристик кабелів, патч-кордів, сплітерів та інших пристроїв заявленим специфікаціям. Однак, для невеликих абонентських мереж, повноцінний вхідний контроль може бути недоцільним через значні витрати часу та необхідність використання дорогого обладнання. В таких випадках, більш раціональним може бути вибірковий контроль (наприклад, вимірювання загасання декількох кабельних сегментів) та покладання на гарантійні зобов'язання постачальника [6].

3.4.1 Вимірювання в PON на етапі будівельно-монтажних робіт

Під час будівництва та монтажу мережі PON необхідно контролювати якість її складових та правильність встановлення. Це передбачає вимірювання:

- втрат сигналу на кілометр оптичного кабелю;
- втрат у місцях зварювання оптичних волокон;
- втрат сигналу та відбиття від пасивних компонентів, таких як роз'єми та сплітери.

Для цього використовують оптичний рефлектометр (OTDR). Він підключається до одного кінця оптичної лінії та вимірює відбиту потужність по всій її довжині. Результатом є рефлектограма – графік, що показує, як змінюється потужність оптичного сигналу вздовж лінії. Аналізуючи рефлектограму (приклад на рис. 3.1), можна визначити коефіцієнт згасання оптичного кабелю (в дБ/км) за нахилом прямих ділянок графіка та втрати сигналу та відбиття у місцях з'єднань (зварювання, роз'єми), вигинів волокна та інших неоднорідностей.

Оптимальний процес будівництва PON передбачає тестування кожного етапу:

- після прокладання кабелю: перевірка кожної секції оптичного кабелю за допомогою рефлектометрії та вимірювання параметрів між кінцевими точками;

- після встановлення сплітера: вимірювання характеристик основного волокна від патч-панелі OLT до вихідних портів сплітера;
- після встановлення терміналів: вимірювання між портом кожного терміналу та патч-панеллю волоконно-розподільного вузла, або, для комплексної перевірки, між портом терміналу та патч-панеллю OLT [6].

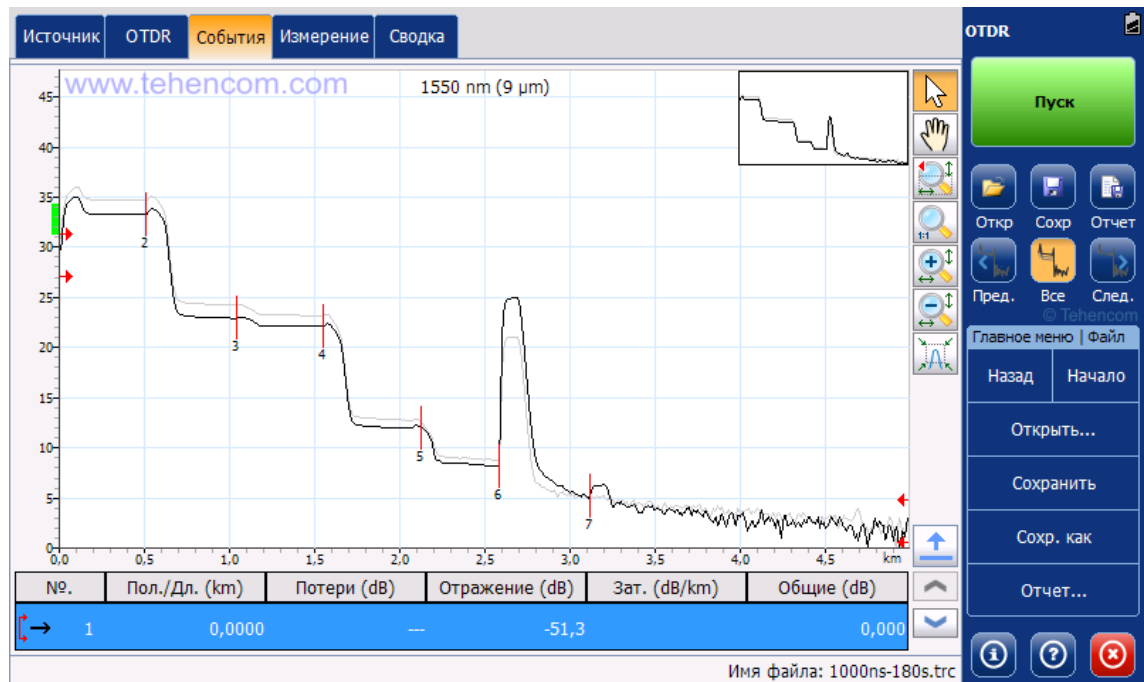


Рисунок 3.1 – Типова рефлектограма ділянки мережі PON

Рекомендується проводити рефлектометричні вимірювання (бажано на двох довжинах хвиль) після завершення робіт на кожному сегменті мережі та зберігати отримані рефлектограми. Ці дані стануть еталонними для швидкого виявлення пошкоджень шляхом порівняння з аварійними рефлектограмами.

3.4.2 Приймально-здавальні вимірювання PON

Після завершення всіх будівельних робіт проводяться приймально-здавальні вимірювання для підтвердження відповідності мережі заданим параметрам якості передачі даних.

Основні вимірювання для приймання PON зосереджені на загасанні та розподілі потужності в мережі, а саме: вимірюванні оптичної потужності на виході передавальних пристроїв та вимірюванні загасання в оптичному тракті [6].

Багато проводять ці вимірювання на працюючій мережі PON без переривання обслуговування абонентів.

Вимірювання оптичної потужності передавачів виконується в кросі після WDM мультиплексора на довжинах хвиль 1490 нм та 1550 нм. У разі відхилення від проектних значень, слід провести вимірювання безпосередньо на виходах передавачів та оптичного підсилювача [6].

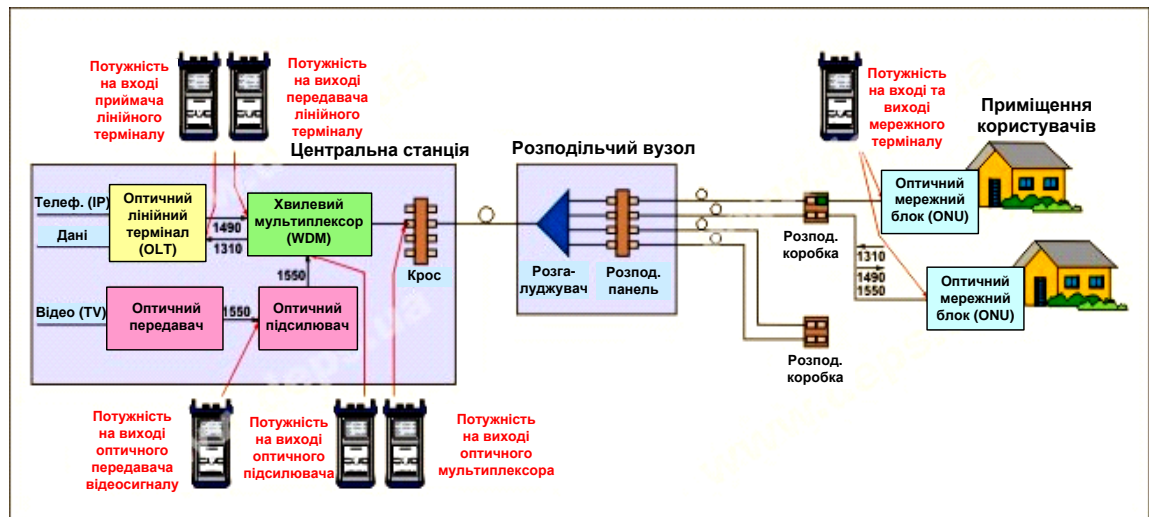


Рисунок 3.2 – Вимір оптичної потужності на виході передавальних пристроїв

У PON-мережах для трансляції телевізійного сигналу на довжині хвилі 1550 нм використовуються потужні передавачі (від +8 до +18 дБм). Для точного вимірювання таких високих рівнів потужності потрібні спеціалізовані оптичні вимірювачі потужності.

Вимірювання потужності передавача ONU (абонентського терміналу) ускладнюється тим, що в PON використовується технологія часового розділення каналів (TDMA) у зворотному напрямку. Це означає, що кожному ONU надається лише короткий проміжок часу для передачі даних до OLT (станційного терміналу). Звичайні вимірювачі потужності, які показують середнє значення потужності за певний період, не підходять, оскільки вони значно занижують реальну потужність ONU (на 20-30 дБ) [6].

Для вимірювання потужності ONU можна використовувати вимірювачі з піковим детектором, які фіксують пікові значення потужності незалежно від тривалості імпульсу. Однак, такі прилади більш чутливі до шумів і можуть

мати більшу похибку. Більш точні (і дорогі) прилади вимірюють середню потужність саме під час активної передачі даних ONU.

Оскільки ONU підключається до мережі одним волокном і передає дані лише у відповідь на сигнали від OLT, пряме підключення вимірювача потужності неможливе. Необхідно використовувати вимірювач, який працює "на прохід", тобто дозволяє сигналу OLT досягати ONU, щоб той міг передавати дані.

Для вимірювання потужності "на прохід" потрібен прилад, який може відводити частину сигналу (наприклад, за допомогою згину волокна) для детектування на каліброваних довжинах хвиль. Найкращим рішенням є спеціалізований PON-тестер з вбудованим розгалужувачем, який дозволяє вимірювати сигнали як при кінцевому підключенні, так і "на прохід" в режимі реального часу, вносячи при цьому невелике згасання в оптичну лінію (до 1,5-2 дБ) [7].

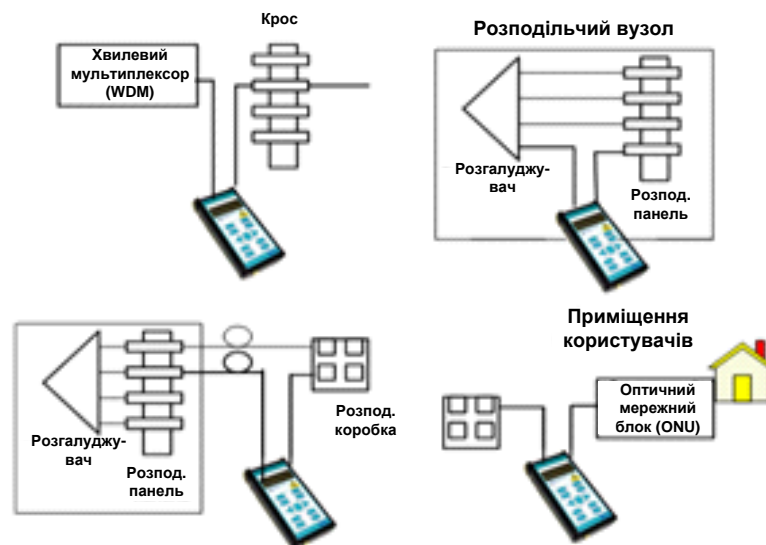


Рисунок 3.3 – Вимір оптичної потужності ONU на ділянках мережі

Обов'язково потрібно виміряти загальні втрати сигналу в кожній гілці пасивної оптичної мережі (PON) на лінійній ділянці. Для цього використовуйте каліброване джерело світла та вимірювач оптичної потужності, або ж оптичний тестер, який об'єднує ці дві функції. Використовуючи довжину хвилі 1550 нм, вважаючи випромінювання джерела практично безперервним, спочатку виміряйте потужність сигналу на виході передавача, а потім - в потрібній точці вздовж лінії передачі [7].

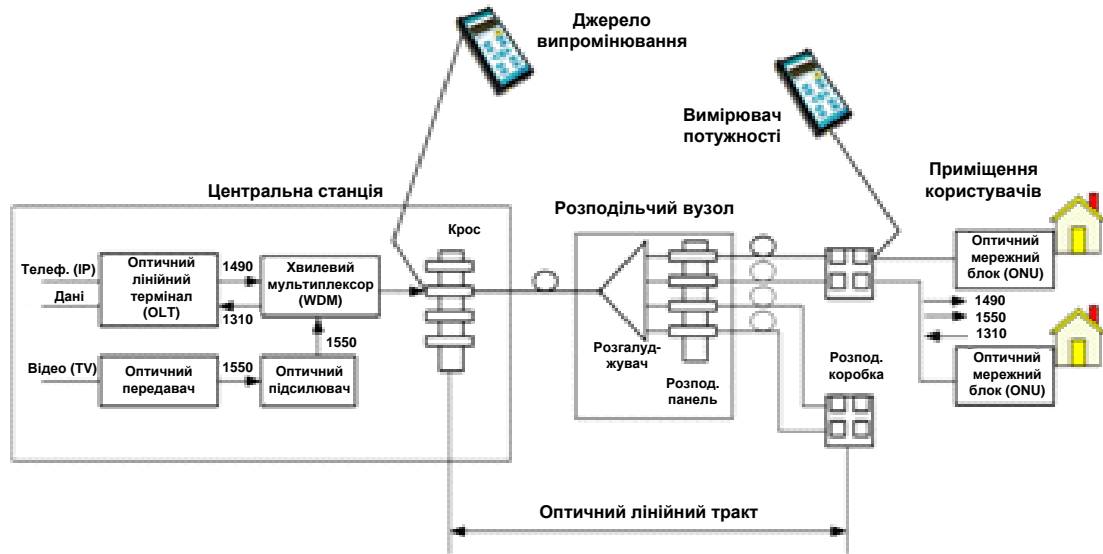


Рисунок 3.4 – Вимірювання згасання лінійного оптичного тракту

3.4.3 Експлуатаційні вимірювання в PON

В оптичних мережах зв'язку експлуатаційні вимірювання проводяться планово та у випадку аварій. Планові вимірювання виконуються регулярно для моніторингу ключових параметрів мережі та прогнозування можливих проблем з якістю передачі даних.

Однак, в реальних умовах експлуатації PON, вимірювання зазвичай стають необхідними лише при виникненні аварійних або близьких до аварійних ситуацій. В такому випадку головна мета вимірювань – швидко знайти причину погіршення сигналу або пошкодження. Знаючи тип пошкодження, часто можна припустити його причину, але це не завжди очевидно. Наприклад, слабкий сигнал на прийомі може бути викликаний як зносом лазера передавача, так і проблемами з кабелем: надмірним вигином, натягом або іншими пошкодженнями [8].

Тому, спочатку слід використовувати можливості діагностики OLT та оптичного передавача КТВ. Ці пристрої дозволяють перевірити вихідну потужність лазера, струм живлення, температуру та інші важливі параметри. Система управління OLT також може ідентифікувати кожен абонентський термінал ONU та контролювати його роботу в мережі. Визначивши кількість та розташування непрацюючих ONU, можна швидко локалізувати пошкоджену ділянку мережі. Важливо пам'ятати, що вимкнений від живлення термінал буде

сприйматися системою управління OLT як непрацюючий, так само як і ONU, що вийшов з ладу через обрив кабелю [8].

Якщо рефлектометр недоступний, для пошуку несправності в лінії можна виміряти рівень потужності в різних точках мережі за допомогою вимірювача потужності та джерела випромінювання або передавача OLT. Проте, цей метод не підходить для мереж з безкорпусними оптичними розгалужувачами, які використовуються найчастіше, оскільки корпусні розгалужувачі з роз'ємами вносять значні втрати в сигнал. Найточніший спосіб визначити місце пошкодження в лінії – використання оптичного рефлектометра (OTDR) [8].

Підключення рефлектометра з боку станції доцільне для мереж з простою структурою. В іншому випадку рефлектограма буде складною через велику кількість інформації про згасання та відбиття на різних ділянках, що ускладнить ідентифікацію проблеми. Крім того, таке підключення можливе лише після відключення всіх абонентів від OLT. Якщо пошкоджена ділянка знаходиться недалеко від одного або кількох ONU, можна просканувати лінію від абонентських терміналів до станції. Експерименти показали, що рефлектометр ефективно визначає тип пошкодження та його місцезнаходження, якщо між OTDR та пошкодженням знаходиться не більше одного-двох розгалужувачів. Найзручніше підключати рефлектометр безпосередньо до ділянки, де за допомогою OLT було виявлено пошкодження. Однак, це можливо лише в розподільних пристроях (шафах, боксах), де є роз'ємні з'єднання [8].

Для пошуку пошкоджень в неактивній оптичній мережі найкраще використовувати рефлектометр на довжинах хвиль 1550 нм або 1310 нм, оскільки вони дозволяють краще виявляти критичні вигини волокна. Для точного визначення коефіцієнта загасання волокна рекомендується проводити вимірювання на обох цих довжинах хвиль.

Використання рефлектометра на довжинах хвиль 1310 нм та 1550 нм в активній мережі PON є складним завданням. Це пов'язано з тим, що потужні імпульси рефлектометра можуть спричинити помилки в передачі даних на ONU та OLT, а сигнали передавачів мережі можуть спотворити рефлектограму.

Найбільш ефективним підходом є проведення вимірювань лише на пошкодженій ділянці мережі, наприклад, від останнього розгалужувача до ONU або від ONU до місця обриву волокна.

Альтернативним рішенням є використання рефлектометра з джерелом випромінювання на 1650 нм, спеціально розробленого для тестування PON без переривання зв'язку. Однак, це значно збільшує вартість приладу. Крім того, існує ризик, що гармоніки сигналу рефлектометра можуть вплинути на якість ТБ-сигналу, що приймається ONU.

При вимірюванні коротких ділянок кабелю рефлектометром рекомендується використовувати компенсаційну котушку волокна (довжиною 100-200 м) перед першим конектором, щоб уникнути перевантаження фотоприймача та мінімізувати похибки вимірювання, пов'язані з "мертвою зоною" приладу [9].

Якщо вимірюваний відрізок кабелю підключений до обладнання, необхідно уникнути відбиття сигналу від далекого торця волокна. Це можна зробити, зануривши кінець волокна в імерсійну рідину (наприклад, гліцерин), зробивши кілька витків волокна з малим радіусом вигину або приєднавши до кінця волокна пігтейл з роз'ємом типу APC [9].

Частою причиною аварій в мережах PON є пошкодження оптичних шнурів, особливо патч-кордів, зокрема обриви волокна в самому шнурі або біля конектора.

Для виявлення таких пошкоджень можна використовувати джерело видимого лазерного випромінювання (650 нм, червоне світло). Підключивши джерело до шнура, місце пошкодження буде яскраво світитися, що дозволить легко його виявити [9].

Для проведення необхідних вимірювань в мережах PON рекомендується мати наступний набір обладнання:

- вимірювач оптичних поворотних втрат (ORL);
- вимірювач оптичних втрат (OLTS);
- візуальний дефектоскоп (VFL);
- детектор активного волокна (LFD);
- оптичний рефлектометр (OTDR);
- вимірювач потужності для PON [9].

4 ОПИС ПРИНЦИПУ РОЗМІЩЕННЯ ОБЛАДНАННЯ

У цьому проєкті в якості станційного терміналу OLT використовується обладнання OLT P3310 виробництва компанії BDCOM (Китай). Кількість оптичних портів активного обладнання відповідає кількості портів для підключення абонентів.

Для забезпечення передачі абонентського трафіку, який обробляється на новому обладнанні вузла оптичного доступу, до існуючої мережі передачі даних ВАТ "Укртелеком", включно з телеметричними послугами, передбачено підключення нового обладнання до цієї мережі.

Для інтеграції нового обладнання P3310 в існуюче обладнання Cisco 6504 на вузлі доступу АТС 2 використовується вільне волокно в наявному оптичному кабелі. Для з'єднання обладнання з існуючим оптичним кросом передбачено прокладання симплексних оптичних патчкордів типу SC/UPC - FC/UPC по наявних кабельних каналах (GE2 км, 1 волокно, комплект TX/RX).

Для підключення до портів P3310 використовується оптичний крос стійкового типу ШКОС-С-48-SC/APC з використанням патч-кордів з конекторами типу SC/APC – SC/UPC, виготовлених ТОВ "Елтекс".

Все нове обладнання буде встановлено в існуючу 19-дюймову стійку в приміщенні АТС. Прокладання нових кабелів в приміщенні АТС буде здійснюватися по наявних металоконструкціях.

Захисне заземлення нового обладнання буде підключено до існуючих шин захисного заземлення.

Нове обладнання встановлюється в приміщенні АТС, яке відповідає всім необхідним нормам технологічного проєктування. На об'єкті використовуються існуючі інженерні системи, а також системи охоронної та пожежної сигналізації.

ВИСНОВКИ

Дана кваліфікаційна робота присвячена розробці інфраструктури широкосмугового доступу для мешканців 1-го мікрорайону міста Харків. Ключовим елементом дослідження є технологія пасивних оптичних мереж (PON), а саме GPON. Вибір GPON обумовлений її перевагами, такими як економічність, можливість масштабування, підтримка різних сервісів та здатність забезпечувати високу швидкість передачі даних до 2,5 Гбіт/с. Це робить GPON перспективним рішенням для задоволення зростаючих вимог користувачів до якості та різноманітності послуг.

В рамках проекту було вивчено методи проектування оптимальних пасивних оптичних мереж. Розроблено схему мережі доступу на базі GPON, підбрано необхідне обладнання та проведено розрахунок втрат в мережі, що підтверджує її функціональність.

Реалізація даного проекту дозволить забезпечити абонентів повним спектром сучасних телекомунікаційних послуг, збільшити абонентську базу та, відповідно, підвищити фінансові показники.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Андреев В.А., Бурдин В.А., Попов Б.В., Польшников А.И. Строительство и техническая эксплуатация волоконно-оптических линий связи:, 1995.– 200 с.
2. Скворцов Б.В., Иванов В.И., Крухмалёв В.В. Оптические системы передачи, 1994. – 224 с.
3. Убайдуллаев Р. Р. Волоконно-оптические сети. – М.: Эко-Трендз, 1998. – 270 с.
4. Телекомунікаційні системи передавання інформації [Текст] / Климаш М.М. , Колодій Р.С. – Л.: 2018. – 632 с.
5. Сайт Skomplekt PON – пассивные оптические сети [Электронный ресурс] Режим доступа: www/ URL: - 19.06.2025 р.
6. Родомиров Л., Скопин Ю.Г., Иванов А.Б. Методы и оборудование удалённого тестирования ВОЛЗ // Вестник связи. – 1998. – №5. – С. 64–71.
7. Вимірювання в пасивних оптичних мережах (PON) [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://deps.ua/ua/knowledge-base/articles/vymir-v-passivnyh-opticheskikh-setjah-pon.html> 25.06.2025 р.
8. Всеукраинский проект UA.PON [Электронный ресурс] // - Режим доступа: <http://ic-line.ua/projects/ua-pon>
9. PON – оптические сети с пассивной оптической магистралью [Электронный ресурс] // - Режим доступа до ресурсу: <http://deps.ua>