

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 пасивної оптичної мережі доступу

(тема)

Виконав:

здобувач 4 року навчання  
групи ТРИМІ-21-1

Даниїл Алісов

(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: доцент Андрій Костромицький  
(посада, власне ім'я, прізвище)

Допускається до захисту

Завідувач кафедри

(підпис)

Валерій Безрук

(власне ім'я, прізвище)

2025 р.

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)

« 23 » \_\_\_\_\_ травня \_\_\_\_\_ 2025 р.

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві Алісову Даниїлу Євгенійовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проектування пасивної оптичної мережі доступу

затверджена наказом по університету від « 23 » травня 2025 № 410 Ст

2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії 18 червня 2025 р.

3. Вхідні дані до роботи Технічне завдання на модель. , Проектування пасивної оптичної мережі доступу для району хехст (Франкфурт)

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати у роботі Вступ

1. Принципи побудови сучасних інфокомунікаційних мереж

2. Проектування мережі

3. Обладнання для побудови мережі

Висновки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри \_\_\_\_\_  
*Слайди у форматі Power Point*

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1 )

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Строк / терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	23.05-29.05	виконано
2	Принципи побудови сучасних проектування мережі	29.05-06.06	виконано
3	Обладнання для побудови мережі	06.06-08.06	виконано
4	Висновки	08.06-09.06	виконано
5	Оформлення пояснювальної записки	09.06 – 11.06	виконано

Дата видачі завдання 23 травня 2025 р.

Здобувач \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ *доцент Андрій Костромицький* \_\_\_\_\_  
(підпис) (посада, власне ім'я, прізвище)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 68 с., 3 рис., 22 табл., 50 джерел, 1 додаток.

Мета роботи – розробка технічного рішення щодо побудови пасивної оптичної мережі доступу (PON) у міському середовищі.

Об'єкт роботи – процес проектування FTTH-інфраструктури в районі Хехст, м. Франкфурт-на-Майні (Німеччина), де наявна висока щільність забудови та велике інформаційне навантаження.

Проведено аналіз сучасних інфокомунікаційних технологій та принципів побудови пасивних оптичних мереж доступу. Розглянуто особливості районної інфраструктури м. Франкфурт-на-Майні (район Хехст) для проектування FTTH-мережі. Визначено оптимальну топологію, проведено розрахунок оптичного бюджету, підбрано відповідне активне та пасивне обладнання згідно з міжнародними стандартами. Запропоновано технічне рішення для впровадження масштабованої, енергоефективної PON-мережі у міських умовах.

## ABSTRACT

Explanatory note: 68 p., 3 fig., 22 tables, 50 sources, 1 appendices.

The purpose of the work is to develop a technical solution for the construction of a passive optical access network (PON) in an urban environment.

The object of the work is the process of designing FTTH infrastructure in the Hoechst district, Frankfurt am Main (Germany), where there is a high density of development and a large information load.

An analysis of modern infocommunication technologies and principles of building passive optical access networks was carried out. The features of the district infrastructure of Frankfurt am Main (Hoechst district) for the design of an FTTH network were considered. The optimal topology was determined, the optical budget was calculated, and the appropriate active and passive equipment was selected in accordance with international standards. A technical solution for the implementation of a scalable, energy-efficient PON network in urban conditions was proposed.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
1 ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СУЧАСНИХ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ .....	11
1.1 Загальна структура та ієрархія сучасної інфокомунікаційної мережі.....	11
1.2 Огляд та порівняння технологій оптичних мереж .....	19
2 ПРОЕКТУВАННЯ МЕРЕЖІ.....	22
2.1 Етапи планування .....	22
2.2 Збір вихідних даних для проектування оптичної мережі у місті Франкфурт- на-Майні.....	33
2.3 Вибір та обґрунтування топології мережі в місті Франкфурт-на- Майні на прикладі району Хехст .....	38
2.4 Розрахунок оптичного бюджету втрат у мережі GPON .....	43
3 ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПОБУДОВИ МЕРЕЖІ .....	45
3.1 Активне обладнання .....	45
3.2 Пасивне обладнання .....	51
3.3 Кошторис на обладнання .....	53
ВИСНОВКИ.....	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	57
ДОДАТОК А СЛАЙДИ ПРЕЗЕНТАЦІЇ .....	63

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- PON – Passive Optical Network – пасивна оптична мережа;
- GPON – Gigabit-capable Passive Optical Network;
- XGS-PON – 10-Gigabit-capable Symmetric Passive Optical Network;
- EPON – Ethernet Passive Optical Network;
- FTTH – Fiber To The Home – оптика до будинку;
- FTTB – Fiber To The Building – оптика до будівлі;
- ONU – Optical Network Unit – оптичний мережевий пристрій;
- OLT – Optical Line Terminal – оптичний лінійний термінал;
- QoS – Quality of Service – якість обслуговування;
- ITU-T – International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector;
- IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers;
- ISO/IEC – International Organization for Standardization / International Electrotechnical Commission;
- TIA – Telecommunications Industry Association;
- NGN – Next Generation Network – мережа зв'язку наступного покоління;
- ICT / IKT – Information and Communication Technologies / Інформаційно-комунікаційні технології;
- SM – Single Mode – одномодове волокно;
- MM – Multi Mode – багатомодове волокно;
- xDSL – різні типи цифрових абонентських ліній (ADSL, VDSL тощо);
- CATV – Cable Television – кабельне телебачення;
- ТЕО – Техніко-економічне обґрунтування;
- ВОЛЗ – Волоконно-оптична лінія зв'язку;
- ГІІ / GII – Глобальна інформаційна інфраструктура / Global Information Infrastructure.

## ВСТУП

Сучасна епоха характеризується стрімким розвитком інформаційно-комунікаційних технологій, що є невід'ємною частиною цифрової трансформації суспільства. Високошвидкісний доступ до Інтернету став критично важливим як для приватних користувачів, так і для бізнесу, органів державної влади та соціальної інфраструктури. Особливого значення це набуває в умовах зростання попиту на послуги відеоконференцій, хмарних сервісів, IoT-рішень, технологій «розумного міста» та дистанційного навчання.

Одним із провідних рішень для задоволення цих потреб є впровадження пасивних оптичних мереж доступу (PON), зокрема технологій GPON та XGSPON, що забезпечують надійне, масштабоване та енергоефективне середовище передачі даних. У країнах Європейського Союзу, зокрема в Німеччині, розвиток FTTH-інфраструктури розглядається як ключовий напрямок підвищення цифрової доступності населення.

Практика впровадження PON в провідних країнах світу демонструє її ефективність у порівнянні з традиційними мідними технологіями (xDSL) або бездротовим доступом. Переваги — висока пропускна здатність, низький рівень втрат, відсутність активного обладнання між абонентом і вузлом доступу, а також підтримка новітніх сервісів — сприяють активному поширенню даних рішень у міських і приміських зонах.

Актуальність цієї роботи зумовлена необхідністю розробки технічно обґрунтованої архітектури пасивної оптичної мережі доступу в умовах конкретного міського середовища — а саме міста Франкфурт-на-Майні (район хехст). У цьому районі спостерігається висока щільність забудови, значне інформаційне навантаження, наявність магістральних телекомунікаційних вузлів (у тому числі дата-центрів європейського масштабу), що робить проектування FTTH-мереж надзвичайно перспективним і технічно складним завданням.

Метою даної кваліфікаційної роботи є розробка технічного рішення щодо побудови PON для покриття частини житлової забудови Франкфурта. Передбачається виконання аналізу існуючого технічного середовища, вибір оптимальної топології, розрахунок оптичного бюджету, підбір активного та пасивного обладнання, а також оцінка витрат на впровадження мережі.

Галузь застосування результатів цієї роботи охоплює:

1. проектування сучасних телекомунікаційних інфраструктур у міських умовах;
2. розгортання мереж FTTH операторськими компаніями;
3. розвиток цифрових послуг у рамках «розумного міста»;
4. використання рекомендацій для муніципального та державного стратегічного планування.

Таким чином, проєктована система дозволить реалізувати високоякісну, масштабовану й енергоефективну інфраструктуру доступу, яка відповідатиме сучасним вимогам до швидкості, надійності та адаптивності цифрових комунікацій.

# 1 ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СУЧАСНИХ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

## 1.1 Загальна структура та ієрархія сучасної інфокомунікаційної мережі

Сучасний світ вже став неувяним поза застосуванням досягнень науки, техніки та технології в різних сферах людського буття. І виробництво, і обмін тісно пов'язані з різноманітними досягненнями, що пов'язані з обміном інформацією. Останнім часом все більшого значення отримують інформаційні комунікації. І не дарма рівень їх застосунку сприймається як одна з сутнісних ознак високо розвинутих країн. Показовим у цьому є те, що на сферу інфокомунікацій у розвинених країнах може припадати 7–10 % валового внутрішнього продукту (ВВП) [1], що є дуже значним розміром для сучасної економіки.

Також існує розуміння того, що інфокомунікації виступають і як засіб глобалізації і, як її об'єктивний наслідок, що відбиває розширення всесвітніх інтеграції та взаємозалежності країн у сферах виробництва, торгівлі, культури тощо. Телекомунікації відіграють важливу роль у світових інтеграційних процесах. За їх допомогою здійснюється зв'язок між приватними та публічними суб'єктами, забезпечується передача та обмін різноманітними даними, на їх основі будуються системи електронних фінансових послуг, засоби масової інформації (ЗМІ) поширюють свій контент, заклади освіти онлайн надають освітні послуги, впроваджуються державні сервіси тощо. Особливо чітко це видно з практики, що пов'язана з пандемією коронавірусу, коли людство було змушене вдатися до жорстких карантинних заходів, а відтак об'єктивно були широко застосовані різноманітні онлайн-сервіси. Врешті-решт це підвищило рівень інвестиційної привабливості цієї галузі людської діяльності й надало поштовх до її подальшого розвитку.

Дистанційні робота та навчання, електронні фінансові послуги, інші прояви онлайн-індустрії зумовили її суттєве розширення та вагому

модернізацію. Фахівці ведуть мову про утворення глобальної інформаційної інфраструктури (ГІІ, або Global Information Infrastructure, GII) [2], яка розглядається як технологічна основа інформаційного суспільства. Доєднатися до цієї глобальної інформаційної сфери користувачі має змогу за допомогою різних мереж доступу: традиційних провідних (дротових), що використовують для передавання сигналів лінії металевих й оптичних кабелів та інших дротових засобів комунікації (наприклад, DOCSIS, xDSL, FTTx, PLC), а також безпроводових, які спираються на різноманітні радіотехнології (CDMA, GSM, UMTS, WiMax тощо).

Щоб усвідомити сутність такого явища як телекомунікації треба мати чітке уявлення про їх еволюцію. Це також дає можливість розуміти особливості їх утворення та функціонування, осмислити їх наявний потенціал та перспективи, надати поштовх до пошуку нових сфер застосування та спрогнозувати напрями їх розвитку на майбутнє. У цьому контексті треба вказати, що, існують різні точки зору щодо такого питання. Зокрема, вказується, що еволюція телекомунікацій охоплює три етапи: аналоговий, цифровий та етап телекомунікаційно-комп'ютерної інтеграції [4]. Загалом можна погодитися з такою позицією, однак не можна забувати про те, що існують й інші, більш детальні, описи такого процесу, де здійснюється періодизація та наводиться характеристика окремих етапів розвитку телекомунікацій іншим чином [5]. Наприклад, вказується на тривалий час розвитку телекомунікацій від ранніх форм спілкування, таких як телеграф та телефон, до сучасних радіо та телебачення, Інтернету, мобільних технологій та бездротового зв'язку [6].

Такі описи є корисними з огляду на традиційне застосування принципу історизму у вивченні явищ на процесів. У зв'язку з цим є слушною думка про те, що розвиток – це питання не стільки того, що є, скільки того, що може бути зроблене з тим, що є [7]. Такий підхід створює належні орієнтири для оцінки явищ та процесів, дозволяє розуміти їх подальші можливі трансформації,

зкладає підвалини ефективності та підвищує потенціал модернізації на майбутнє.

Тим більше це є важливим з огляду на проблему пошуку нових підходів до управління телекомунікаціями в умовах побудови NGN-мереж (Next Generation Network – це мультисервісна мережа зв'язку наступного покоління, яка підтримує інтеграцію послуг передавання мови, даних та мультимедіа та базується на IP-мережі (на відміну від ISDN). Тобто у перебігу зближення та об'єднання різних телекомунікаційних технологій відбувається поступова інтеграція телекомунікацій, комп'ютерних технологій та медіа, які з'єднуються в цілісну систему й підвищують функціонал зберігання, передавання та/або приймання, а також обробки інформації. Відбиттям таких процесів є поява та широкий вжиток термінів «інфокомунікації», «інфокомунікаційна мережа» [8].

І хоча на законодавчому рівні такий термін ще не отримав свого закріплення, а замість поняття «телекомунікації» використовується інша категорія – «електронні комунікації» [9], він вже має досить широкий вжиток у фаховій, навчальній та науково-популярній літературі. Однак його розуміння все ще не є загально узгодженим та має певні варіації свого тлумачення. Деякі з них ми наведемо в таблиці 1.1. Також слід звернути увагу на те, що в окремих випадках відбувається підміна терміну «інфокомунікації» іншими, хоча і спорідненими з ним поняттями, наприклад «інфокомунікаційні послуги», що являють собою, на думку автора такої позиції, поєднанням інформаційних та телекомунікаційних технологій і послуг [10].

Разом з тим використовуються й інші словосполучення й аббревіатури для вербального й знакового позначення такого явища як «інфокомунікації» (Infocom). Наприклад, IST (Information Society Technology - технології інформаційного суспільства), сектор ТІМ (Telecom, IT and Media - телекомунікації, інформаційні технології та засоби масової інформації), «цифрова екосистема», «інформаційні та комунікаційні технології (ІКТ)».

Проте, ми задля вирішення завдань цієї роботи будемо використовувати наступні визначення, які вважаємо достатньо інформативними й логічно побудованими, а також є більш традиційними.

Таблиця 1.1 – Визначення поняття «інфокомунікації»

№	Визначення	Автори
1	Інфокомунікації – це порівняно новий термін, що означає нерозривний зв'язок інформаційних і телекомунікаційних елементів інформаційного обміну. Елементи розвиваються в процесі конвергенції, тобто взаємного проникнення та забезпечують доставлення сигналів електрозв'язку від джерел до споживачів, із можливістю ідентифікації їхнього інформаційного змісту та використання оптимальних методів обробки сигналів, включаючи методи передавання, маршрутизації, перетворення сигналів, програмування. Іншими словами, інфокомунікації – це об'єднання телекомунікацій з інформаційними, комп'ютерними технологіями та радіотехнологіями.	А.П. Бондарчук, Г.С. Срочинська, М.Г. Твердохліб [11]
2	Інфокомунікації – це сукупність мережевих ресурсів, призначених для спільної участі у виробництві та наданні телекомунікаційних, інформаційних та інших послуг інформаційного співтовариства.	П.П. Воробієнко, Л.А. Нікітюк, П.І. Резніченко [8]
3	Інфокомунікації – це сучасна інформаційно-телекомунікаційна інфраструктура суспільства, що розвивається відповідно до техніко-економічних та освітньо-наукових законів розвитку самого суспільства.	Г.Г. Асеев, К.Ю. Редька [21]
4	Інфокомунікації – сукупність засобів телекомунікації (електрозв'язку) та інформатики, що забезпечує доставляння сигналів електрозв'язку від джерел до споживачів, уможливлуючи ідентифікацію інформаційного змісту цих сигналів і використання оптимальних методів їх обробки, зокрема передавання маршрутизації, перетворення, програмування.	Кривуца В.Г., Беркман Л.Н., Лапінський В.В. [17]

## Продовження таблиці 1.1

5	Інфокомунікації – галузь, що виникла в результаті конвергенції телекомунікаційних, комп'ютерних та аудіовізуальних технологій, яка займається вивченням електронних комунікацій загалом з точки зору технологій, що їх підтримують, а також контенту, що вони транслують.	Office québécois de la langue française [23].
6	Термін «інформаційно-комунікаційні технології» (ІКТ) охоплює всі технічні засоби, що використовуються для обробки інформації та підтримки комунікації; сюди входить комп'ютерне та мережеве обладнання, а також пов'язане з ним програмне забезпечення.	Eurostat [24].
7	Інфокомунікації (Infocom) є природним розширенням телекомунікацій з функціями обробки інформації та управління контентом, включаючи всі види електронних комунікацій (фіксована та мобільна телефонія, передача даних, медіакомунікації, радіомовлення тощо) на цифровій технологічній базі, переважно за допомогою Інтернет-технологій.	Гюла Саллай [25]

Інфокомунікації – це сукупність мережевих ресурсів, призначених для спільної участі у виробництві та наданні телекомунікаційних, інформаційних та інших послуг інформаційного співтовариства [8].

Інфокомунікаційна мережа – комплекс технічних засобів, інфокомунікацій та споруд, призначених для маршрутизації, комутації, передавання і/або приймання знаків, сигналів, письмового тексту, зображень і звуків або повідомлень будь-якого роду по радіо, провідних, оптичних чи інших електромагнітних системах між кінцевим обладнанням [11].

Слід погодитися з тим, що термін «інфокомунікації» хоча і є відносно новим, але вже отримав певну специфіку свого розуміння. У цьому контексті не можна пройти повз зауваження, що значення цього терміна містить усі типи фіксованого і мобільного зв'язку, зберігання, передачі й обробки даних, медіазв'язки, широкомовлення тощо, в основному, за технологією Інтернету. Це розширення відповідає сучасному процесу конвергенції трьох раніше

незалежних секторів діяльності суспільства, а саме секторів інформаційних (комп'ютерних) технологій, телекомунікацій та засобів масової інформації [12].

Саме на процесі конвергенції у своїй більшості робиться акцент при розгляді поняття та сутності терміну «інфокомунікації». Поєднання телекомунікаційних, інформаційних та медіа-технологій з використанням спільних цифрових технологій за узгодженими стандартами призвела до створення інтегрованої сфери діяльності, в перебігу якої забезпечуються комунікації, зберігання, обробка, передача та відображення різноманітної інформації за допомогою електронних пристроїв, комп'ютерних програм, відповідних засобів зв'язку тощо.

Загально визнано, що сучасні інфокомунікації є складними (великими) системами, а відтак розгляд їх сутності та висвітлення наявних особливостей з позиції теорії систем є методично необхідним. У цьому контексті вкажемо, що теорія систем - це область наукового знання про навколишній світ як сукупність систем різної складності й різного рівня, які взаємодіють між собою. Теорія систем є загальнотеоретичним підходом, заснованим на методах діалектики, використанні знань філософії, прикладної математики, теорій пізнання та інших наукових дисциплін. Вона вивчає закономірності функціонування, взаємодії і розвитку великих систем [13]. Через застосування системного підходу ми маємо можливість визначити фундаментальні властивості відповідної системи, у тому числі її будову, склад елементів, особливості структури, функціонування, становлення та розвитку тощо.

Існує досить велика кількість визначень поняття «система», які засновані на різноманітних теоретичних та прикладних підходах. З огляду на такі обставини ми будемо виходити з розуміння поняття «система» як сукупності окремих об'єктів (елементів) з наявними постійними зв'язками між ними [14]. Виходячи з цього ми будемо розглядати інфокомунікації як систему, яка має склад елементів та відповідну структуру, яка відбиває впорядкованість складових частин системи та їх зв'язки й взаємодії між собою.

Треба зробити застереження, що інфокомунікації загалом відповідають розумінню «велика система» через особливості свого утворення у безпосередньому зв'язку процесами конвергенції, коли окремі телекомунікаційні, інформаційні та медіа системи через своє об'єднання та утворення усталених зв'язків сформували нове системне явище, яке отримало нові якості та можливості розвитку. Розгляд інфокомунікацій з огляду на ознаку їх системності необхідно здійснювати через розуміння взаємозв'язку чотирьох концептів, а саме: «інфокомунікації» як сфера діяльності, «інфокомунікаційна мережа» як фізичний об'єкт, «інфокомунікаційні технології» як сукупність методів і способів, що забезпечують функціонування такого об'єкта, та «інфокомунікаційна послуга» як кінцевий результат [13].

Фактично мова йде про необхідність визнання вказаних вище концептів як підсистем цілісного явища інфокомунікацій. Кожна з таких підсистем являє собою окрему систему нижчого рівня. Вагоме місце у цьому утворенні належить інфокомунікаційним мережам, які на фізичному рівні втілюють функціональні можливості інфокомунікацій. Інфокомунікаційна мережа як фізичний об'єкт являє собою, як було вище вказано, певне системне утворення складом якого є комплекс технічних засобів, інфокомунікацій та споруд, призначених для надання інфокомунікаційних послуг, а структура – відбиває взаєморозташування таких складових, їх зв'язки та взаємодії між такими частинами системи, тобто виражає її архітектуру. Недарма в літературі вказується на те, що структура системи набуває властивостей мережі взаємозв'язків, що є адекватною системоутворювальною моделлю. Тобто сучасна інфокомунікаційна мережа є складною і з точки зору її складових елементів, і з точки зору відповідних зв'язків і взаємодій між ними.

Зв'язки між елементами інфокомунікаційної мережі забезпечують цілісність її як системи, визначають її природні властивості та втілюються в її практичне функціонування. Але системність означає не тільки статичність зв'язків складових частин системи по відношенню як до інших елементів, так і до системи в цілому, вона передбачає, що взаємозв'язки є динамічними, тобто

існують прямий та зворотній вплив елементів між собою та забезпечення функціонування усієї множини елементів як одного цілого для реалізації цілей такого утворення.

У відкритих джерелах міститься велика кількість оригінальних авторських моделей побудови інфокомунікаційної мережі, які відбивають як її складові елементи, так і відповідні взаємозв'язки між ними. Як приклад можна навести схему яку оприлюднив Васильківський М. та його співавтори [16]. Якщо звернутися до інших публікацій, то можна констатувати, що у своїй переважній більшості серед відтворених елементів інфокомунікаційної мережі вказуються з певними варіаціями телекомунікаційні мережі (лінії, мережі, системи) зв'язку, системи електрозв'язку, транспортні мережі, транспортна мережа зв'язку) [17; 18; 28], як певне втілення взаємозв'язків між елементами інфокомунікаційної мережі.

Узагальнено це означає, що на фізичному рівні фундаментом структури інфокомунікаційної мережі будуть виступати лінії зв'язку та комунікаційне (мережеве) обладнання. Іноді йде мова про апаратне забезпечення та кабельну (або для бездротових систем – антенну) інфраструктуру, як середовища передачі. Вони можуть будуватися на основі різних технологій та матеріалів. До них відносяться металеві кабелі, оптоволоконні кабелі та радіоканали (для безпроводових технологій) [19]. Кожен з варіантів має свої переваги та недоліки. Серед нових телекомунікаційних технологій, що забезпечують високий рівень передавання інформації є застосування оптичних мереж, які використовують як середовище передачі волоконно-оптичний (чи то оптоволоконний) кабель.

Оптоволоконний кабель (Optical cable) - це кабель на основі волоконних світловодів, призначений для передачі оптичних сигналів в лініях зв'язку, зі швидкістю меншою швидкості світла через непрямолінійності руху. Оптичні кабелі розрізняють за матеріалом волокна, за місцем і умові монтажу і прокладки.

Оптичний кабель складається з певної кількості оптичних волокон, оточених загальною захисною оболонкою і складається з:

1. серцевини,
2. оптичної оболонки,
3. захисного покриття,
4. буферного покриття (опціонально).

Розрізняють одномодове і багатомодове волокно. Одномодове (SM) волокно буває: 8/125 і 9/125 мкм. Багатомодове (MM) волокно буває: 50/125 та 62/125 мкм. Одномодове волокно дешевше багатомодового і дозволяє передавати оптичний імпульс на великі відстані, але в той же час приймальнопередавальне обладнання для нього значно дорожче. У багатомодового волокна збільшується розсіювання на виході і зменшується відстань передачі сигналу [20].

## 1.2 Огляд та порівняння технологій оптичних мереж

Сучасні оптичні мережі є основою телекомунікаційних інфраструктур завдяки високій швидкості, надійності та здатності до масштабування. Вони дозволяють ефективно передавати великі обсяги даних як на короткі, так і на міжміські або трансконтинентальні відстані.

Серед найбільш поширених технологій оптичних мереж виділяють: GPON (Gigabit Passive Optical Network)

GPON – найрозповсюдженіша пасивна оптична мережа доступу. Відповідає стандарту ITU-T G.984.

1. Швидкість: 2.5 Гбіт/с (downlink) / 1.25 Гбіт/с (uplink).
2. Спліт: до 1:64 абонентів.
3. Топологія: “точка–багато точок”.
4. Застосування: FTTH, FTTB, сільські та міські мережі доступу.

Переваги:

Пасивна архітектура.

1. Широка сумісність з ONT різних виробників.
2. Стабільна підтримка TriplePlay (VoIP, IPTV, Internet).
3. Низькі витрати на енергоживлення та обслуговування EPON (Ethernet Passive Optical Network)

Альтернатива GPON, заснована на стандарті IEEE 802.3ah.

1. Швидкість: 1 Гбіт/с симетрично.
2. Технологія: базується на Ethernet.
3. Застосування: оператори кабельного телебачення, локальні мережі.

Переваги:

1. Простота протоколів.
2. Вища сумісність з існуючими Ethernet-мережами.
3. Гнучка QoS-архітектура.

Порівняння технологій оптичних мереж наведено у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Порівняння технологій PON

Характеристика	GPON	XGS-PON	EPON
Швидкість	2.5 / 1.25 Гбіт/с	10 / 10 Гбіт/с	1 / 1 Гбіт/с
Топологія	P2MP(зірка)	P2MP (зірка)	P2MP
Коефіцієнт розгалуження (спліт)	до 1:64	до 1:128	до 1:32
Протокол	ITU-T G.984	ITU-T G.9807.1	IEEE 802.3ah
Призначення	FTTH, FTTB	FTTH+ підприємства	FTTH, CATV
Сумісність	Висока(багато виробників ONT)	Зворотно сумісна з GPON	Добре сумісна з Ethernet-інфраструктурою

Висновки:

1. GPON – оптимальний вибір для побудови PON у житлових зонах, має ідеальне співвідношення ціна/якість.
2. XGS-PON – сучасна альтернатива GPON для майбутніх мереж із високою щільністю трафіку.

3. EPON – вибір для операторів із сильним Ethernet-інфраструктурним ядром.

## 2 ПРОЕКТУВАННЯ МЕРЕЖІ

### 2.1 Етапи планування

У фаховій літературі існує розуміння того, що складність створення інфокомунікаційних систем багато у чому пов'язана великою кількістю та різноманітністю її елементів, а також специфікою взаємозв'язків та взаємодій між ними. Кожній з підсистем, що входять до її складу також властиві особливості їх будови та функціонування. Не є виключенням у цьому й телекомунікаційні мережі, які базуються на застосуванні оптоволоконних технологій та створюють матеріальний фундамент функціонування інфокомунікаційних систем у розрізі передавання даних. Проте побудову таких систем та мереж багато в чому ще остаточно не формалізовано [26]. Тому існує багато варіантів їх конструювання. Для цього використовуються різноманітні схеми та моделі, або застосовують їх комбінації.

У цьому контексті не можна обійти зауваження про те, що для пасивних оптичних мереж дуже важливий, скоріше навіть критичний для подальшої працездатності мережі, етап проектування [29]. Звісно, що побудова пасивної оптичної мережі доступу є складним завданням з багатьох точок зору, вирішення якого пов'язане з процесом її проектування.

За загальним розумінням проектування – це розробка проекту. У довідниковій та фаховій літературі слово «проект» (від латинського *projectus* - виступаючий уперед) означає розроблений план побудови, виготовлення або реконструкції чого-небудь [27]. Проте єдиного методологічного підходу до здійснення проектної діяльності в сфері телекомунікацій не розроблено. Особливості проектування конкретних мережі або системи залежать від багатьох факторів, які врешті-решт визначають унікальність кожного окремого проекту. Об'єктивно при проектуванні пасивної оптичної мережі доступу відповідно до цілей, які ставляться перед нею можуть утворюватися об'єкти,

що будуть мати різноманітний склад, структуру та особливості функціонування та які можуть значно відрізнятися від аналогічних утворень. Будуть вони також дещо відрізнятися відповідно до обраного напрямку, за яким останні роки розвиваються мережі доступу, на які вказують фахівці:

- абонентські лінії на основі наявних мідних кабелів з використанням технологій xDSL;
- гібридні волоконно-коаксіальні мережі;
- мережі бездротового доступу;
- волоконно-оптичні мережі [29].

Недаремно вважається, що проектній діяльності властиві варіативність підходів до оцінки вихідних даних та методів проектування, плюралізм у доборі комплектуючого обладнання та устаткування, особисті уподобання проектувальників та їх можливий суб'єктивізм при прийнятті проектних рішень, відмінності у оформленні матеріалів та здійсненні обрахунків. Нарешті вплив на авторські рішення з боку замовників з їх настійними побажаннями. За таких обставин небезпідставно визнається відсутність єдиного алгоритму проектувальних дій та підкреслюється їх творчий та евристичний характер [30].

Вкажемо, що термін «алгоритм» означає послідовність дій, необхідних для виконання проектування [31]. І дійсно, в практиці проектування телекомунікаційних мереж ще не склався єдиний стандартизований порядок розробки проекту. Треба погодитися з тією точкою зору, що більшість провідних компаній, що спеціалізуються на постачанні обладнання для побудови структурованих кабельних систем впроваджують власні методології проектування, обмежують номенклатуру використовуваних компонентів, стандартизують процедури монтажу та випробувань, а також мають власні системи підготовки фахівців-проектувальників тощо [32].

Але це не означає відсутності наукової бази для проектної діяльності та застосування для її окремих етапів певних стандартів (міжнародних, державних, галузевих тощо) та тенденції до узагальнення досвіду та застосування окремих узгоджених підходів до проектування оптоволоконних

мереж. Крім того, теоретичним підґрунтям проектування виступають теорія побудови телекомунікаційних мереж, теорія реалізації архітектури інформаційних мереж, теорія проектування (синтезу і аналізу) і розрахунку показників функціонування телекомунікаційних мереж, теорія множин, диференційні та інтегральні обчислення, математична статистика тощо [33], які забезпечують реальну можливість створення ефективною побудови оптоволоконних телекомунікаційних мереж. Прикладом такої стандартизації може служити Державний стандарт України «Система розроблення та поставлення продукції на виробництво. Правила виконання науково-дослідних робіт. Загальні положення» ДСТУ 3973-2000, який є обов'язковим для науково-дослідних робіт (НДР), виконання яких повністю або частково фінансується з державного бюджету. Для НДР, які виконують за рахунок обігових або власних коштів установ, підприємств, організацій та інших суб'єктів господарської діяльності, положення стандарту є рекомендованими [34].

Іншим чинником, який необхідно враховувати при проектуванні оптоволоконних мереж є наявні вимоги нормативних будівельних норм та правил, інших актів законодавства. Таких як, наприклад, Відомчі будівельні норми ВБН В2.2-45-1-2004. І хоча, дія цього нормативного документа не поширюється на волоконно-оптичні лінії зв'язку (ВОЛЗ), що підвішуються на опорах ліній електропередачі (ЛЕП), контактні мережі, електрифікованих залізниць та міського електротранспорту, його положення потрібно враховувати через необхідність створення ефективної взаємодії різних телекомунікаційних мереж у зоні створення об'єкта проектування та не порушувати чинну архітектуру систем зв'язку [35].

Крім того, в проектній роботі необхідно вивчати та спиратися на стандартизовані рішення, які відбивають галузеву практику організації та функціонування інформаційно-телекомунікаційних технологій, враховують досвід провідних фахових підприємств й організацій у цій сфері. Так, Консорціум технологій волоконної оптики (КТВО, Fiber Optics Technology Consortium), у своїй діяльності спрямований на розробку та впровадження

стандартів, здатних забезпечувати сумісність, інтеграцію, ефективність та безпеку інформаційно-комунікаційних систем унаслідок використання оптичних волокон. Покликані розробляючи інновації в технології оптоволоконного зв'язку та встановлювати для нього стандарти такі установи та організація як:

- Міжнародний союз електрозв'язку (ITU), що є ключовою організацією в стандартизації ІКТ і телекомунікацій, у межах якої функціонує сектор ITU-T, що розробляє стандарти для телекомунікаційних мереж, зокрема оптоволоконних;

- Європейський інститут стандартів телекомунікацій (ETSI), що є європейською організацією, яка активно працює над стандартизацією телекомунікаційних технологій, зокрема оптоволоконних мереж;

- Інститут інженерів електротехніки та електроніки (IEEE), що через свій підрозділ Комунікаційне товариство і IEEE 802 розробляє ключові стандарти для оптоволоконних мереж, де необхідно визначати архітектуру та протоколи передачі даних крізь оптичні волокна;

- Міжнародна організація зі стандартизації (ISO), яка разом з Міжнародною електротехнічною комісією (IEC), зокрема через свій технічний комітет ISO/IEC JTC 1, займаються стандартизацією ІКТ, де оптоволоконні технології є важливим аспектом стандартизації в межах підкомітету SC 25, зосередженого на інтерфейсах і компонентах для мультимедійних систем і телекомунікацій;

- Американський національний інститут стандартів (ANSI), який координує розроблення національних стандартів для США, зокрема стандарти для оптоволоконних технологій. За допомогою підрозділів, таких як Асоціація телекомунікаційної індустрії (TIA), ANSI підтримує розроблення стандартів для оптичних волокон і телекомунікаційних систем, що використовують оптичне волокно для передачі даних та інші. Існує бачення того, що на сьогодні випрацьовані міжнародні стандарти ISO/IEC 11801, IEC 60793, TIA-568, TIA/EIA 492 AAАх, ITU-T відповідають потребам проектування, прокладання

та обслуговування оптоволоконних мереж [36]. Узагальнення за такими стандартами неведені нижче в таблиці 2.1.

Не можна не звернути увагу на застосування типових методик у проектуванні телекомунікацій, які враховують стандартизовані форми проектних та інших робіт, дозволяють уніфікувати підходи до застосунку обладнання та матеріалів, використовувати типові схеми прокладки кабелів, враховувати певні нормативи витрат, тарифи на супутні послуги, визначати контингенти споживачів, навантаження на мережі з огляду на кількість населення та ін. Наприклад існують типова побудова міської телефонної мережі, а також типова структура мережі xDSL-доступу, що значно полегшують проектні роботи та скорочують час на їх здійснення [3].

Стандартизація та уніфікація проектування телекомунікаційних мереж, заснованих на оптоволоконних технологіях як методологічний прийом у проектуванні не обмежуються лише питаннями застосування стандартизованого обладнання, комунікативних засобів та типових технічних рішень. Вони стосуються також, що є важливим, також і організації самого процесу проектної роботи, який поділяється на окремі відносно відособлені етапи (або стадії), перелік, послідовність та тривалість яких може бути різною.

З урахуванням того, що створення телекомунікаційних мереж, заснованих на оптоволоконних технологіях у сучасних умовах має ярко виражений інвестиційний характер, то треба вказати, що процес проектування може бути представлений за такою схемою:

визначення цілей і завдань інноваційного проекту;

1. оцінка ситуації;
2. формування стратегії;
3. робота над створенням інновацій;
4. реалізація проекту, мотивація подальшого розвитку проекту;
5. контроль здійснення проекту;
6. корективи проекту, завдань, спрямованості проекту [37].

Однак, оскільки проектування є складним процесом, в перебігу здійснення якого можуть виникати різні обставини, що будуть позначатися на його пліні. І загалом, з огляду на викладене можна наголосити, що планування пасивної оптичної мережі доступу (PON) буде зосереджуватися на наступних основних етапах:

1. отримання технічного завдання (у тому числі - визначення цілей і завдань проекту) на проектування оптичної мережі доступу (PON), його оцінка;
2. збирання необхідної інформації та її оцінка;
3. розробка техніко-економічного обґрунтування (ТЕО);
4. визначення обсягу робіт та графіку їх виконання;
5. обрання типу мережі, обрахунок її технічних показників, підбирання необхідного обладнання та кабелів;
6. створення (впровадження) робочого проекту та комплексу технічної й кошторисної документації;
7. здавання закінченого виконанням проекту замовникові.

Відносно планування оптичної мережі доступу (PON) слід звернути увагу на декілька застережень, які містить фахова література. По-перше, розробці повномасштабного проекту PON передуює розробка техніко-економічного обґрунтування (ТЕО), метою якого є вибір головних проектних рішень, оцінка вартості реалізації проекту, оцінка його економічної ефективності та визначення терміну окупності. На підставі ТЕО можуть приймається рішення про реалізацію проекту, про необхідність розробки іншого варіанту, або про припинення проектних робіт [38].

По-друге, проектування та будівництво оптичної мережі – трудомісткий, тривалий і коштовний процес. Основні витрати при розгортанні мережі припадають на будівельно-монтажні роботи (до 70%), а вартість лінійного й станційного обладнання становить відносно невелику частку. Зазначимо, що кількість волокон в оптичних кабелях не суттєво впливають на вартість проекту[3].

По-третє, процес підбору обладнання для побудови PON є багатоетапним і вимагає ретельного технічного аналізу. Він здійснюється на підставі отриманої вхідної інформації, що стосується специфіки розгортання мережі та вимог до неї. Наступним кроком є визначення топології мережі та планування трас прокладання оптичного кабелю. Надалі проводиться розрахунок оптичного бюджету втрат, що дозволяє оцінити допустимі втрати сигналу на всіх ділянках мережі. Завершальним етапом є підбір оптимального обладнання, зокрема оптичних розгалужувачів, абонентських терміналів (ONU) та інших компонентів, з урахуванням технічних характеристик і бюджету втрат.

Четверте, оскільки на рівні найбільш узагальненого уявлення, будь-яка мережа складається з сукупності пунктів і з'єднуючих їх ліній, то така відокремлена структура мережі отримала назву «топологія». Вона характеризує зв'язність мережі та здатність забезпечувати інформаційний обмін між різними адресатами. Розрізняють топології логічних зв'язків і фізичних зв'язків. Остання відображає схему з'єднань елементів мережі [39].

П'яте, завдання вибору топології мережі значно спрощується за умов наявності набору типових схем (топологічних примітивів), які можуть бути застосовані як самостійно, так і в різних поєднаннях між собою. Виділяють наступні топології: зіркоподібна структура або «зірка»; кільцева структура або «кільце»; петльова структура або «петля»; шинна структура або «шина»; деревоподібна структура або «дерево»; повнозв'язана структура або «сітка»; гібридна структура [22].

Стандарти, що регулюють проектування, прокладання, установлення та технічне обслуговування оптоволоконних мереж наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1.- Стандарти та характеристики [36]

Стандарт	Характеристика стандарту
ISO/IEC 11801	<p>Глобальний стандарт для структурованих кабельних систем і оптоволокон. Цей міжнародний стандарт визначає вимоги до кабельних систем загального користування для підтримки широкого спектра телекомунікаційних послуг у будівлях та між будівлями, а сфера застосування поширюється на проєктування та розгортання структурованих кабельних систем у таких середовищах, як офіси, центри оброблення даних, промислові об'єкти тощо. Основні аспекти стандарту охоплюють: – топологію (описує структуру кабельної системи, зокрема горизонтальні та магістральні кабелі, точки доступу та інші компоненти); – категорії кабелів (визначає категорії кабелів, наприклад клас оптоволоконних з'єднань: OM1 багатомодове волокно, серцевина 62,5 мкм, мінімальна смуга пропускання 200 МГц км на довжині хвилі 850 нм; OM2 багатомодове волокно, серцевина якого становить 50 мкм з мінімальною модальною смугою пропускання 500 МГц км та довжиною хвилі 850 нм; OM3 багатомодове волокно, серцевина якого становить 50 мкм з мінімальною модальною смугою пропускання 2000 МГц км та довжиною хвилі 850 нм; OM4 багатомодове волокно, серцевина якого становить 50 мкм з мінімальною модальною смугою пропускання 4700 МГц км та довжиною хвилі 850 нм); – типи середовищ передачі (може охоплювати мідні кабелі та волоконно-оптичні кабелі з відповідними вимогами до продуктивності для кожного типу); – особливості застосування (підтримка різних типів телекомунікаційних послуг, наприклад голосовий зв'язок, передача даних, відеоконференції та інші цифрові сервіси)</p>
IEC 60793	<p>Серія міжнародних стандартів, розроблених Міжнародною електротехнічною комісією (IEC), які визначають вимоги до оптичних волокон, що використовуються в телекомунікаціях і системах передачі інформації. Ці стандарти охоплюють як фізичні, так і передавальні характеристики оптичних волокон. Основні частини серії стандарту IEC 60793: – IEC 60793-1 (визначає методи випробування оптичних волокон, зокрема ті, що стосуються оптичних, геометричних та механічних властивостей); – IEC 60793-2 (установлює технічні характеристики продукції для різних типів оптичних волокон, зокрема багатомодові та одномодові, що застосовуються для передачі даних); – IEC 60793-3 (надає рекомендації щодо класифікації волокон за різними вимогами, специфічними для застосувань). IEC 60793-2 містить класифікацію</p>

Продовження таблиці 2.1

	та типи волокон. До класифікації волокон належать такі: одномодові волокна, що використовуються для передачі інформації на значні відстані з високою швидкістю, наприклад у магістральних мережах; багатомодові волокна, які застосовуються для передачі даних на коротші відстані, наприклад у локальних мережах. До основних типів волокон належать: ICE 60793-2-10 (містить характеристики багатомодових волокон із градієнтним профілем, наприклад OM2, OM3, OM4); ICE 60793-2-50 (описує одномодові волокна, зокрема G.652 та G.655, що застосовуються для передачі даних на довгі дистанції).
ТІА-568	Серія телекомунікаційних стандартів, що розроблені Американською асоціацією індустрії зв'язку (ТІА) та встановлюють вимоги щодо структурованих кабельних систем, використовуваних для передачі інформації, голосу та відео в комерційних будівлях. Основні частини стандарту ТІА-568 містять такі складники: – ТІА-568.0 (загальні вимоги до структурованих кабельних систем, що охоплює основні компоненти, такі як кабелі, роз'єми, точки доступу та кабельні траси); – ТІА-568.1 (телекомунікаційні кабельні системи для комерційних будівель, що визначає вимоги до встановлення, тестування та підтримки кабельних систем для таких середовищ); – ТІА-568.2 (стандарт для мідних кабельних систем, що містить специфікації для мідних кабелів категорій 3, 5у, 6, 6А 8, які підтримують різні швидкості передачі даних); – ТІА-568.3 (стандарт для волоконно-оптичних кабельних систем, що охоплює вимоги до оптоволоконних кабелів, роз'ємів та іншого оптичного обладнання); – ТІА-568.4 (стандарт для кабельних систем житлових будівель, що забезпечує рекомендації для телекомунікаційних рішень у житлових приміщеннях).
ТІА/ЕІА 492АААх	Серія специфікацій, що розроблені спільно ТІА та ЕІА (Electronic Industries Alliance) і стосуються волоконно-оптичних кабелів. Стандарт 492АААх визначає вимоги до різних типів одномодових та багатомодових оптичних волокон, що використовуються в телекомунікаціях і для передачі даних. Основні положення стандартів серії ТІА/ЕІА 492АААх мають такі складники: – 492АААА (специфікація, що містить вимоги до багатомодових волокон, які використовуються на коротших дистанціях у локальних мережах); – 492АААВ (специфікація, що визначає характеристики одномодових волокон, що використовуються для довгих дистанцій та високошвидкісної передачі інформації); – оптичні параметри, де стандарти охоплюють вимоги до коефіцієнта

Продовження таблиці 2.1

	заломлення, затухання, діаметра ядра та оболонки волокна, а також інші параметри, що впливають на продуктивність волокна; – механічні параметри, що містять вимоги міцності, стійкості до розтягування, впливу температури й навколишнього середовища; □ категорії волокон, де серія стандартів 492AAAx розширюється з новими категоріями та модифікаціями для покращення продуктивності, що відповідає розвитку ІКТ.
ANSI/TI A-568	Один з найпоширеніших стандартів у ІКТ, що охоплює специфікації для оптичних кабелів, з'єднувачів та практик встановлення для забезпечення високопродуктивних мереж. КТВО сприяє постійному оновленню розділів цього стандарту, що стосується оптоволоконних технологій, зокрема для покращення швидкості передачі можливостей дальності та забезпечення зворотної сумісності.
ANSI/TI A-492	Це сімейство стандартів надає специфікації для різних типів оптичних волокон, зокрема багатомодових і одномодових, і використовується в телекомунікаційних системах. Зазначені стандарти визначають такі характеристики, як затухання, пропускна здатність та механічні властивості. КТВО допомагає забезпечити відповідність типів волокон сучасним і майбутнім вимогам до високошвидкісної передачі даних, підтримуючи розгортання передових мереж, таких як 5G та інших.
ANSI/TI A-606	Цей стандарт встановлює керівні принципи для маркування, ідентифікації та адміністрування оптичних компонентів у телекомунікаційній інфраструктурі, що полегшує ефективне управління оптичними мережами, спрощує процеси усунення несправності та перешкод, оновлення та обслуговування. КТВО надає рекомендації щодо найкращих практик документування та організації оптичних мереж, забезпечуючи ефективну роботу та масштабованість інформаційно-комунікаційної інфраструктури.
ANSI/TI A-758	Стандарт, який надає рекомендації щодо встановлення та обслуговування оптичних систем поза будівлями, наприклад, оптоволоконні мережі між корпусами, дата-центрами та зовнішніми об'єктами. КТВО забезпечує формування стандартів для зовнішніх оптичних систем, зосереджуючись на питаннях довговічності в умовах навколишнього середовища, техніках встановлення та забезпечення продуктивності на великі відстані для високошвидкісних мереж.
ANSI/TI A-942	Стандарт, який визначає вимоги щодо проектування та встановлення інфраструктури дата-центрів, зокрема для кабельних систем, які використовують оптоволокно. Цей стандарт забезпечує, щоб дата-

Продовження таблиці 2.1

	центри могли обробляти високошвидкісну передачу даних із низькою затримкою. КТВО працює над рекомендаціями щодо оптоволоконного прокладання кабелю в дата-центрах для оптимізації продуктивності, зменшення втрат сигналу та підтримки майбутніх розширень.
ANSI/TIA-455	Серія стандартів, що окреслює методи тестування оптичних компонентів і систем для забезпечення стабільної та надійної роботи оптоволоконних технологій у різних середовищах і застосунках. КТВО сприяє визначенню процедур тестування для забезпечення цілісності, якості та довговічності оптоволоконних кабелів та з'єднувачів, таким чином підтримуючи надійність мереж.
ДСТУ ІЕС 60793-1-1-2001 та ДСТУ EN ІЕС 60793-1-34:2022.	Стандарти, що стосуються оптичних волокон і встановлення вимог до їх характеристик і тестування. Стандарт ДСТУ ІЕС 60793-1-1-2001 оснований на міжнародному стандарті ІЕС 60793-1-1 і стосується загальних вимог до оптичних волокон. Основне завдання стандарту – описати базові характеристики оптичних волокон та їх загальні параметри [18]. Стандарт ДСТУ EN ІЕС 60793-1-34:2022 є частиною оновленої серії, що також ґрунтується на міжнародних стандартах ІЕС і описує специфічні вимоги до методів тестування механічних властивостей оптичних волокон.
ДСТУ ISO/IEC 11801-1:2018.	Стандарт ідентичний міжнародному ISO/IEC 11801-1:2017, що встановлює вимоги до проектування, інсталяції та роботи кабельних систем загального призначення для приміщень користувачів. Основні положення застосування стандарту: а) для кабельних систем, які використовуються в будівлях і на територіях, зокрема офіси, житлові та громадські будівлі; б) обслуговування комунікаційних мереж, що забезпечують передачу даних.
DIN EN 50173	Структуровані кабельні системи – охоплює вимоги до оптоволоконних кабелів в офісах, дата-центрах тощо.
DIN EN 50174	Проектування, інсталяція та обслуговування кабельних інфраструктур (частини 1–3 стосуються середовища, практики монтажу, тестування).
DIN EN 60793 / DIN EN 60794	Вимоги до оптичного волокна і оптичних кабелів (типи, фізичні характеристики, методи тестування).
DIN EN 61753 / 61754 / 61755	Стандарти для з'єднувачів, роз'ємів, адаптерів і механічних характеристик.
DIN EN 61935-1	Вимоги до тестування структурованих кабельних систем.

Таблиця 2.2 – Німецькі національні галузеві норми

Норма	Призначення
ZTV TKNETZ 40	Специфікації для будівництва телекомунікаційних мереж (включає земляні роботи, прокладання кабелів).
DIN VDE 0800	Основи телекомунікаційної інженерії, включає безпеку і захист кабелів.
DKE/VDE IT- STANDARDS	німецький комітет з електротехніки розробляє локалізовані норми на базі IEC/ISO.

## 2.2 Збір вихідних даних для проєктування оптичної мережі у місті Франкфурт- на-Майні

В процесі проєктування пасивної оптичної мережі доступу (PON) етап збирання необхідної для її побудови інформації (вихідних даних) є одним з центральних. За відсутності різнопланової інформації, як-то: технічної, статистичної, геологічної та іншої не тільки побудова PON, але й саме її проєктування є неможливими. У залежності від отриманої інформації здійснюються як попередня оцінка можливості побудови PON згідно з технічним завданням замовника, так і розробляється загальна концепція проєкту. Від вихідних даних безпосередньо залежать проєктні рішення побудови PON, оскільки вони пов'язані з технічним завданням створення такої мережі.

До вихідних даних, необхідних для проєктування мережі, зазвичай належать такі основні параметри:

1. Кількість об'єктів (житлових квартир, офісних приміщень, підприємств чи установ), які передбачається підключити до мережі.
2. Прогнозована кількість абонентів, які будуть поступово приєднуватися до мережі, із зазначенням очікуваних швидкостей доступу.
3. Географічне розташування об'єктів із прив'язкою до карти місцевості або населеного пункту, де планується впровадження мережі.

4. Інформація про вже наявні телекомунікаційні мережі та інші елементи інфраструктури, які можуть бути використані або вплинути на проєктування.

Пріоритетними для загального попереднього ознайомлення та подальшого детального вивчення виступають карта місцевості з адресним планом розміщення будівель, споруд, а також природних об'єктів-елементів ландшафту (пагорбів, ущелин, урвищ, лісів, річок, струмків, озер, інших водоймищ тощо), а також схеми (плани, креслення) наявних комунікацій (кабельних ліній, мереж водо- та газопостачання тощо), шляхів загального користування та ін. Така інформація закладає підвалини окреслення попереднього ескізного бачення побудови PON. Вона створює орієнтири щодо потенційного охоплення абонентів, позначає місця розміщення оптичних вузлів зі спліттерами, схеми трасування кабелів тощо.

Ознайомлення з місцевістю надалі буде визначати необхідність здійснення комплексу дослідницько-пошукових робіт (проектно-вишукувальних робіт) з вивчення геодезичних, геологічних, екологічних і кліматичних особливостей місцевості. В перебігу таких робіт здійснюється оцінка та визначаються характеристики ґрунту, вивчаються роза вітрів, коливання температури за сезонами, карта опадів, наявність ґрунтових вод й інших факторів (сейсмічні умови, особливості рослинного і тваринного світу, наявність небезпечних техногенних джерел), які можуть негативно позначитися на побудові PON. по цільовій групі

Для з'ясування вихідних даних щодо контингенту абонентів проєктованої мережі PON, вивчається статистична інформація відносно населення конкретної місцевості. Це здійснюється за допомогою багатьох способів та джерел: відкриті відомості з мережі Інтернет, звітна інформація органів державної влади та місцевого самоврядування, довідники та путівники тощо.

Загальні відомості про регіон Загальні відомості про Франкфурт-на-Майні.

1. Населення:  $\approx 780\ 000$  (на 2025 рік)
2. Щільність населення: висока,  $\sim 3\ 000$  осіб/км<sup>2</sup>

3. Площа міста: ~248 км<sup>2</sup>

4. Тип забудови: змішаний - у центрі переважають висотні будівлі, на околицях — малоповерхова забудова.

Насиченість кабельної каналізації.

1. Інфраструктура: Франкфурт - один з провідних фінансових центрів Європи, тому має добре розвинену телеком-інфраструктуру.

2. Стан кабельної каналізації:

У центральних та комерційних районах - висока щільність, у тому числі магістральні канали.

У житлових кварталах – доступність різна: у старих районах каналізація може бути перевантажена або застаріла.

У новобудовах - сучасна каналізація з резервом під оптику.

Проблеми:

У центрі – складнощі з отриманням дозволів на розкопки. Можливі ділянки з нестачею вільного простору варто передбачити повітряну прокладку або мікророзкопи.

Типи ґрунтів.

1. Переважають алювіальні ґрунти: річковий гравій, супіски, суглинки з домішками піску.

2. На околицях - глинисті та суглинисті ґрунти.

3. Поблизу річки Майн - можливі вологі та пухкі шари.

Вплив на будівництво:

1. Піски та гравій — зручні для прокладки.

2. Глина і суглинки — вимагають спецтехніки, можливе водовідведення.

У старих районах — можуть бути щільні насипні шари.

Клімат і температурні умови

Клімат: помірно-континентальний.

Середня температура січня: +1...-1°C

Середня температура липня: +18...+22°C

Річний діапазон: від  $-10^{\circ}\text{C}$  (рідко) до  $+35^{\circ}\text{C}$

Вплив на мережу: температурні коливання прийнятні для більшості оптичних кабелів. Кабелі, прокладені в ґрунт, добре захищені.

Морози – рідкісне явище і не несуть значної загрози.

Висновок: Висока щільність населення та змішана забудова вимагають гнучкої архітектури PON із розміщенням спліттерів ближче до кінцевих користувачів. Варто звернутись до міських служб (наприклад, Stadtwerke Frankfurt або Deutsche Telekom) для отримання актуальних планів каналізації. Доцільне застосування технологій мікророзкопів або горизонтального буріння. Вологі зони - із дренажем та захистом.

Стандартні технічні умови (від  $-20$  до  $+60^{\circ}\text{C}$ ) підходять. Рекомендації для проектування PON у Франкфурті:

Архітектура мережі – GPON/XGS-PON із поділом 1:32 або 1:64.

Розміщення спліттерів – ближче до житлових кластерів (FTTC/FTTH), тип прокладки – в існуючу каналізацію, мікророзкопи в житлових районах, повітряна прокладка на околицях, глибина прокладки – 60–90 см залежно від типу ґрунту, маршрути – уникати історичних зон, використовувати тротуари та узбіччя.

Потенційні зони покриття

У якості зони покриття є житловий та бізнес-масив у західній частині Франкфурта, що включає:

1. Багатоповерхові житлові будинки (FTTH / FTTB)
2. Бізнес-центри (офісні клієнти, корпоративний сегмент)
3. Технічні приміщення, що можуть використовуватися під вузли OLT

Середня відстань від OLT до абонента: 2–5 км. Планована щільність розгалуження: 1:16 або 1:32. Інфраструктура та доступні ресурси наведено у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Інфраструктура та доступні ресурси

Категорія	Інформація / джерело даних
Оптичні кабельні канали	Частково існуючі, можливість укладки в телеком-колодязі
Живлення для активного обладнання	Доступне в технічних приміщеннях будівель
Доступ до дахів / підвалів	Узгоджується з муніципалітетом або приватними власниками
Фізична безпека обладнання	Умовно гарантована за європейськими стандартами

#### Вибір технології доступу

З урахуванням густоти забудови, вимог до швидкості та гнучкості обслуговування, для Франкфурта обґрунтовано обрано архітектуру FTTH (Fiber to the Home) на основі технології GPON. Це дозволяє забезпечити:

1. Пропускню здатність  $\geq 2.5$  Гбіт/с.
2. Масове підключення домогосподарств.
3. Високу енергоефективність та низькі експлуатаційні витрати.

#### Висновок:

Місто Франкфурт-на-Майні має розвинену інфраструктуру, що дає змогу ефективно впроваджувати волоконно-оптичні технології доступу. За результатами збору вихідних даних, можна переходити до проєктування топології мережі, розрахунків оптичного бюджету та вибору обладнання (OLT, ONU, спліттери, SFP).

## 2.3 Вибір та обґрунтування топології мережі в місті Франкфурт-на- Майні на прикладі району Хехст

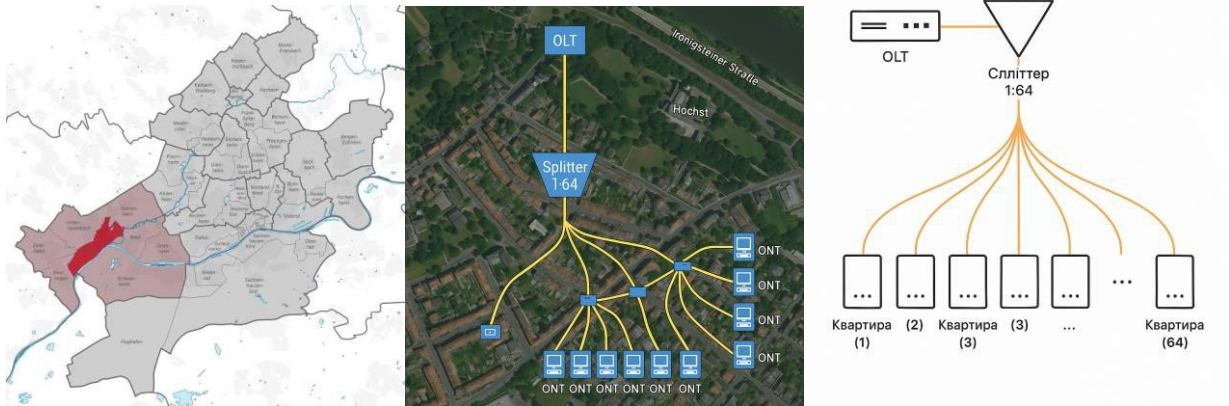


Рисунок 2.1 – розташування та схема мережі Франкфурт-Хехст

Загальні характеристики Хехсту:

1. Характер району: історичний та промисловий район на заході Франкфурта, з міксом старої забудови, багатоповерхівок і сучасних об'єктів.
2. Населення і щільність: точні дані по району важко знайти публічно, але за аналогією з загальним густим заселенням Франкфурта (~3 000 осіб/км<sup>2</sup>), можна очікувати високу щільність.
3. Інфраструктура: прокладені великі магістральні кабельні траси — будівництво залізничного вузла та великі об'єкти (наприклад, медичні будівлі) включають комплексну прокладку кабелів і каналів для електро- та телекоммереж.

Висновок: щільна забудова та активна інфраструктурна діяльність вимагають точного планування трас і гнучких рішень для розміщення обладнання PON.

Кабельна каналізація і її стан

1. Загальна мережа: загально місто має 1 600 км громадських каналів + понад 3 000 км приватних кабельних трас

2. Інспекція приватних каналів: діагностика з 2010 року, фіксуються пошкодження (трінки, коріння, зміщені стики), можливі засмічення .

3. В Хехсті – активне будівництво (наприклад, навколо вокзалу впроваджено заходи із захисту / перемикання кабелів) .

Висновок: потрібно провести локальну інспекцію каналізації, особливо приватної, щоб визначити придатність для прокладки оптики або потребу модернізації.

Геологічні умови ґрунтів

Для всього Франкфурта, включаючи Хехст, характерні:

Основні типи: алювіальні – річковий гравій, супіски, суглинки, іноді – вологі шари поруч із Main.

Ґрунти: змішані – іноді глинисті або щільні в історичних частинах.  
Вплив: Піщано-гравійні ділянки зручні для традиційного прокладання.

Глинисті/супіщані – потребують горизонтального буріння, мікротраншеї, гідродренаж.

Історична територія Хехсту – при великих земляних роботах може знадобитися дренаж, стабілізація ґрунту.

Каналізаційні ризики:

У Франкфурті каналізація проектувалася за старими нормами; сучасні грейдтракти найчастіше самонавчаються в інспекціях.

Сильні дощі можуть призводити до затоплень, особливо у низьких точках потрібно проектувати обладнання враховуючи ризик проникнення вологи.

Рекомендація: встановити зворотні клапани, підвищені портові та розподільчі шафи, резервувати для стоків.

Рекомендації PON для Хехсту наведено у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4- Рекомендації PON для Хехсту

Компонент	Рекомендації
Архітектура	GPON/XGS-PON із спліттерами 1:32 або 1:64, залежно від густоти забудови
Розміщення	Вузлові спліттери — біля вокзалу, житлових кварталів; OLT - у телеком-хабах
Методи прокладки	Сочленене буріння (HDD), micro-trenching для приватного сектору; внутрішнє укладання в каналізації
Глибина при прокопці	60–90 см, глибше де є старі зв'язки або комунікації
Захист від вологи	IP55/65 для муфт та шаф, підйом кабелів над рівнем ґрунту
Попередня інспекція	ССТV-огляд приватних каналів; перевірка на предмет тріщин, коренів, засмічень
Маршрути	Уникати зштовхування в історичні фундаментальні зони; використовувати дороги/тротуари

Проектування архітектури оптичної мережі доступу (PON) у місті Франкфурт-на-Майні потребує ретельного аналізу топології з урахуванням щільності забудови, кількості потенційних абонентів, вартості обладнання, гнучкості масштабування та надійності. У цьому проекті обрана зіркова топологія (topology star) з централізованим розгалуженням (centralized splitting), яка є найкращим варіантом для реалізації FTTH-мереж у щільній міській забудові. проведемо короткий аналіз топологій у таблиці 2.5.

## Обґрунтування вибору топології.

Таблиця 2.5 – Альтернативні топології

Топологія	Характеристика	Причина відмови
Каскадна	Послідовне розгалуження спліттерів	Складніше прорахувати бюджет втрат, важкий доступ
Деревоподібна	Ієрархічна структура з декількома спліттерами	Вища вартість, більше вузлів обслуговування
Шина / кільцева	Характерна для магістральних транспортних мереж	Не відповідає PON-архітектурі

## Обґрунтування вибору топології:

Архітектура “зірка” з централізованим спліттером: Оптичний лінійний термінал (OLT) встановлюється в центральному вузлі (операторський ЦОД або телекомунікаційна шафа).

Від нього прокладаються волоконно-оптичні магістралі до оптичних розподільчих точок (ODF), де встановлюються централізовані спліттери (1:8, 1:16, 1:32).

Від спліттерів — окремі волокна до кожного абонента (ONT). Переваги обраної топології:

Простота обслуговування - усі активні елементи зосереджені в одному місці. Мінімальні втрати сигналу - короткі відгалуження та прогнозовані маршрути передачі.

Масштабованість - можна додавати нові абонентські лінії без зміни основної інфраструктури.

Оптимальні витрати - відсутність активних елементів на маршруті до клієнта зменшує потребу в енергоживленні та техобслуговуванні.

Особливості міста Франкфурт-на-Майні, враховані в топології:

1. Щільна міська забудова — багатоквартирні житлові комплекси (MDU), бізнес-центри та офісні парки.

2. Висока густина користувачів — доцільно використовувати спліттери 1:16 або 1:32, встановлені в телекомунікаційних шафах або техповерхах.

3. Наявність каналізацій зв'язку та кабельної інфраструктури - дозволяє прокласти підземні траси без значних додаткових витрат.

4. Екологічні та енергетичні вимоги Німеччини — пасивна архітектура без активних вузлів на маршруті абонента відповідає концепціям "Green IT".

Схема топології (опис):

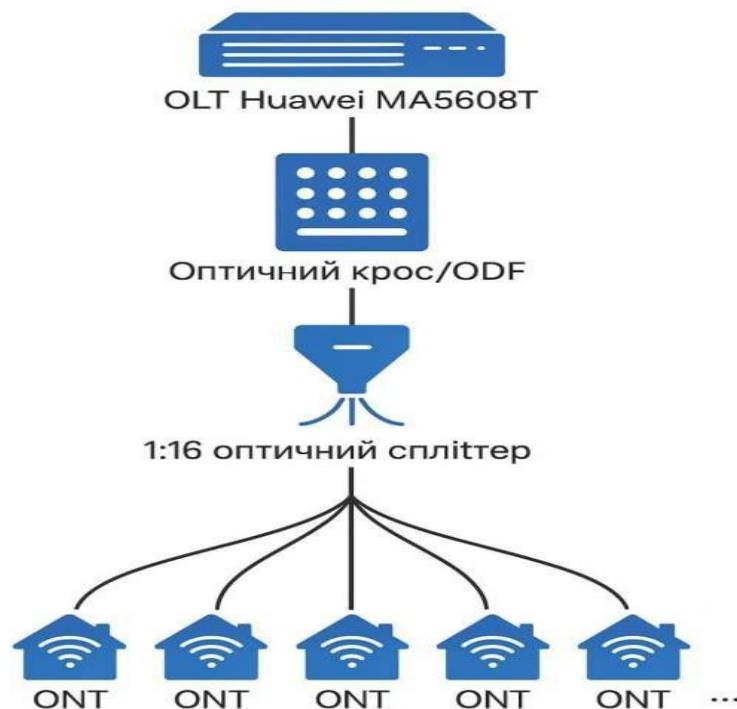


Рисунок 2.2 – Схема 2 x GPON плати = 32 порти → 32 x 1:16 спліттерів 512 абонентів на прикладі одного MA5608T

Обрана зіркова топологія з централізованими спліттерами є найбільш доцільною для FTTH-мережі:

1. забезпечує оптимальне співвідношення “ціна/якість”,
2. гарантує гнучке масштабування,

3. відповідає архітектурним особливостям міста,
4. підтримує сучасні сервіси (IPTV, VoIP, інтернет) із резервом на майбутнє.

#### 2.4 Розрахунок оптичного бюджету втрат у мережі GPON

Мета розрахунку: визначити, чи дозволяє сумарне загасання (втрати) в оптичній лінії забезпечити стабільну роботу ONU в межах стандарту ІТУ-Т G.984 (GPON), з урахуванням довжин волокон, кількості з'єднань і спліттерів.

Технічні обмеження GPON (G.984.2):

Таблиця 2.6 – Технічні обмеження

Параметр	Значення
Оптична довжина хвилі	1490 нм (downstream), 1310 нм (upstream)
Максимальний бюджет втрат	28 дБ (клас В+), 29 дБ (С+)
Мінімальний приймальний рівень	-27 дБм (типовий для ONU класу В+)
Максимальна відстань	До 20 км

Типова структура лінії наведено у рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 – Схема структури лінії Компоненти та їхні втрати:

Таблиця 2.7 - Компоненти

Компонент	Кількість	Типові втрати (дБ)	Підсумок
Оптичне волокно (макс.5 км)	1	0.35 дБ/км	$5 \times 0.35 = 1.75$ дБ
Патч-корди / з'єднання (заг.)	4 з'єднання	0.2–0.5 дБ/шт	$4 \times 0.3 = 1.2$ дБ
Спліттер (централізований) 1:16	1	~13.5–14.5 дБ	14.0 дБ
Домова ділянка (50 м)	1	0.35 дБ/км	$0.05 \times 0.35 = 0.018$ дБ
Маржа на старіння та резерв	—	Рекомендовано 3 дБ	3.0 дБ
Загальні втрати	—	—	≈ 20.0 дБ

Оптичний бюджет GPON (B+): до 28 дБ Розраховані втрати: ≈ 20.0 дБ

Резерв: ~8 дБ ⇒ норма витримана з запасом

Навіть при довжині до 10–12 км або заміні спліттера на 1:32 (≈17 дБ), бюджет лишається у межах допуску.

Таблиця 2.8 – Рекомендовані втрати для основних компонентів

Компонент	Втрати (типові)
Волокно (SM, G.652D)	0.35 дБ/км
З'єднувач (SC/APC)	0.2–0.5 дБ
Зварювання	0.05 дБ/точка
Спліттер 1:8	~10.5 дБ
Спліттер 1:16	~13.5–14.5 дБ
Спліттер 1:32	~17 дБ

### 3 ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПОБУДОВИ МЕРЕЖІ

#### 3.1 Активне обладнання

Для побудови пасивної оптичної мережі (GPON) необхідне активне обладнання на обох кінцях волоконно-оптичного каналу — в головній станції (вузлі оператора) та у приміщеннях абонентів. Активне обладнання забезпечує генерацію, прийом, модуляцію/демодуляцію та маршрутизацію сигналу.

OLT – Оптичний лінійний термінал.

Таблиця 3.1 – Порівняння моделей

	Huawei MA5608T	ZTE C300	Nokia 7360 ISAM FX	FiberHome AN5516-04
Слоти для плат	2 сервісні	16	6	4
GPON порти (макс.)	32 (2x16)	до 128	до 96	64
XG-PON / XGS-PON	+ (опційно)	+ (модулі)	+	+
Uplink порти	4 x 10GE	до 8 x 10GE	4 x 10GE	2–4 x 10GE
Температурний режим	–40° ~ +65°C	–25° ~ +65°C	–40° ~ +65°C	–25° ~ +55°C
Управління	U2000 / CLI	ZTE NMS	Nokia Altiplano / CLI	FiberHome NView / CLI
Продуктивність абоненти	до 4К	до 16К	до 16К	до 8К
Резервування керування	+	+	+	+
Форм-фактор	2U	6U	6U	3U–4U
Ціна (орієнтовна)	\$\$ (~\$1500–3000)	\$\$\$ (~\$4000+)	\$\$\$ (~\$6000+)	\$\$ (~\$2000–3000)

Таблиця 3.2 – Порівняльна оцінка (1–5):

Критерій	Huawei MA5608T	ZTE C300	Nokia 7360	FiberHome AN5516
Масштабованість	3	5	5	4
Компактність	5	3	3	4
Енергоефективність				
Надійність / резервування	5	5	5	4
Простота в розгортанні	5	3	3	4
Вартість / ефективність	5	3	2	4

Вибір моделі: Huawei MA5608T

1. Кількість портів GPON: до 16 (можливість розширення)
2. Інтерфейси підключення: uplink 10GE/GE, SFP/SFP+
3. Макс. кількість абонентів на порт: до 128 (рекомендовано - 64)
4. Підтримка QoS, VLAN, мультикаст
5. Розміщення: в операторському вузлі або дата-центрі Обґрунтування

вибору:

Huawei MA5608T - компактний модульний OLT, що підтримує масштабування та має низьке енергоспоживання. Підходить для міських умов, де очікується поступове нарощування кількості підключень.

ONU / ONT – Абонентські термінали.

Таблиця 3.2 – Порівняння моделей

Модель	Huawei HG8546M	ZTE F660 / F680	Nokia G-240W-A	TP-Link XPON XZ000-G3
Стандарт PON	GPON	GPON / Combo (F680)	GPON	GPON / XPON

Продовження таблиці 3.2

LAN порти	4 x GE	4 x GE	4 x GE	1 x GE / 4 x FE
Wi-Fi	2.4 GHz (n)	2.4 GHz (n) + 5 GHz (ac)	2.4 GHz (n) + 5 GHz (ac)	2.4 GHz (n)
VoIP	1 x FXS	2 x FXS	2 x FXS	1 x FXS
Антени	2 зовнішні	4 (2 внутр., 2 зовн.)	2 внутрішні	2 зовнішні
Wi-Fi швидкість	До 300 Мбіт/с	До 1167 Мбіт/с (dual band)	До 1167 Мбіт/с	До 300 Мбіт/с
TR-069	+	+	+	+
OMCI підтримка	+	+	+	+

Таблиця 3.3 – Порівняльна оцінка в балах (1–5)

Критерій	HG8546M	ZTE F680	Nokia G-240W-A	TP-Link XZ000
Надійність	5	4	5	3
Якість Wi-Fi	3	5	5	3
Підтримка VoIP	4	5	5	4
Простота налаштування	5	4	3	4
Сумісність	5	5	5	4
Ціна	4	3	2	5

Таблиця 3.4 – Висновок і рекомендації

Потреби	Рекомендована модель
Бюджетний і надійний варіант з VoIP	Huawei HG8546M
Подвійний Wi-Fi 2.4/5 ГГц + потужність	ZTE F680
Мінімальна вартість на 1 порт GE	TP-Link XZ000-G3

Вибір моделі: Huawei EchoLife HG8546M LAN порти: 4 × 10/100/1000 Mbps RJ45

1. Wi-Fi: 2.4 GHz (802.11n), опціонально 5 GHz
2. VoIP порт (FXS): 1 або 2
3. Живлення: 12 В, 1 А
4. Монтаж: внутрішній, у квартирі або офісі Обґрунтування вибору:

Даний тип ONT поєднує GPON-модем, Wi-Fi-роутер і телефонний порт, що забезпечує "усі послуги через одне підключення" (Triple Play). Зручне підключення кінцевого користувача без необхідності додаткового обладнання.

Комутатори доступу

Таблиця 3.5 – Порівняння моделей

Характеристика	Cisco C9200-24P	HPE Aruba 2930F-24G- PoE+	Huawei S5720-28X-PWR-SI	MikroTik CRS328-24P-4S+RM
Порти користувача	24 x 1G PoE+	24 x 1G PoE+	24 x 1G PoE+	24 x 1G PoE+
Uplink	4 x SFP	4 x SFP	4 x 10GE SFP+	4 x 10GE SFP+
PoE бюджет	740 Вт	370 Вт	740 Вт	500 Вт
Layer	L2 / L3	L2 / static L3	L2 / L3 full	L3 basic (routing limited)
Stacking	+ (StackWise-160)	+ (Virtual Stacking)	+ (iStack)	-
Управління (CLI / SNMP)	IOS-XE / SNMP / DNA	ArubaOS / SNMP	VRP / SNMP / eSight	RouterOS / Web/ CLI
Безпека (802.1X, DHCP)	+ MACSec + ACL	+	+	Обмежено
Ціна (орієнтовна)	(~\$2000+)	(~\$1200–1500)	(~\$1300–1600)	(~\$500–700)

Таблиця 3.6 – Оцінка по критеріях (1–5):

Критерій	Cisco C9200	HPE 2930F	Aruba	Huawei S5720	MikroTik CRS328
Надійність	5	4		5	3
Функціональність L3	5	3		5	2
Безпека	5	4		5	2
Масштабування (стек)	5	4		5	1
Зручність керування	5 (DNA)	4		4	3
Ціна	2	3		3	5

Таблиця 3.7 – Рекомендації по вибору:

Потреби	Рекомендований комутатор
Enterprise-рівень, безпека, L3, стекування	Cisco C9200
Гарне співвідношення ціна/функції	HPE Aruba 2930F
Carrier-grade рішення з L3 + 10G uplinks	Huawei S5720
Доступний PoE-комутатор для невеликих мереж	MikroTik CRS328

Вибір моделі: Cisco Catalyst C9200

1. Використання: для розподілу трафіку у вузлі перед передачею на OLT
2. Порти: 24–48 GE, uplink 10GE
3. Підтримка VLAN, SNMP, LACP, PoE

Призначення:

Забезпечує керування та агрегацію трафіку в центральному вузлі. Дає змогу інтегрувати GPON-сегмент у загальну мережу оператора.

Джерела безперебійного живлення (UPS).

Таблиця 3.8 – Порівняння моделей

Характеристика	APC SMT2200I	Eaton 9SX 2000i RT2U	CyberPower PR2200ELCDRTL2U	Powercom Smart King RM 2200VA
Тип UPS	Line-Interactive	Online double conversion	Line-Interactive	Line- Interactive
Потужність (W)	1980 Вт	1800 Вт	1980 Вт	1760 Вт
Вихідна форма	Чиста синусоїда	Чиста синусоїда	Чиста синусоїда	Чиста синусоїда
Час перемикання	~8 мс	0 мс (постійна онлайн)	~10 мс	~8 мс
Розетки виходу	10 (IEC C13 + C19)	8 (IEC + Schuko mix)	8 (IEC C13 + C19)	8 x IEC C13
LCD дисплей	+	+	+	-
Мережева карта	Опціонально	Вбудовано	Опціонально	-
Можливість батарей	+	+	+	-
Ціна (орієнтовна)	(~\$1200–1400)	(~\$1300–1500)	(~\$1000–1100)	(~\$600–700)

Таблиця 3.9 – Порівняльна оцінка (1–5)

Критерій	APC SMT2200	Eaton 9SX	CyberPower PR2200	Powercom RM2200
Надійність	5	5	4	3
Чиста синусоїда	5	5	5	5
Рівень захисту	5	5	4	3
Управління (SNMP/Web)	4 (опція)	5	4	2
Тривалість роботи (на базі)	4	4	4	3
Масштабування	5	5	4	2
Ціна / Вартість володіння	3	3	4	5

Таблиця 3.10 – Рекомендації по вибору:

Потреби	Рекомендована модель
Надійний UPS для серверної, з підтримкою SNMP	APC Smart-UPS 2200VA
Безперервне живлення (true online, 0 мс)	Eaton 9SX 2000i RT2U
Хороший баланс ціна/функції, LCD + розширення	CyberPower PR2200ELCDRTXL2U
Бюджетне рішення з базовим захистом	Powercom Smart King RM

Вибір моделі: APC Smart-UPS 2200VA

1. Підключення: до OLT, комутаторів та серверного обладнання
2. Час автономної роботи: до 30 хв при повному навантаженні
3. Функції: моніторинг, холодний старт, захист від перенапруг

Висновок:

Обране активне обладнання відповідає сучасним стандартам зв'язку, підтримує масштабування мережі та забезпечує стабільну роботу навіть при значному навантаженні. Воно сумісне з провідними виробниками спліттерів, патч-панелей та пасивних елементів, що важливо для інтеграції всієї системи.

### 3.2 Пасивне обладнання

Пасивне обладнання в GPON-мережах не потребує живлення та виконує функції розподілу, з'єднання та маршрутизації оптичного сигналу. Воно складається з елементів оптичної інфраструктури, що забезпечують фізичне з'єднання між активними пристроями OLT і ONU.

Оптичні кабелі

1. Тип: одномодові (Single Mode, G.652.D або G.657.A1)
2. Кількість волокон: 2–24 для магістрального прокладання, 1–2 волокна - до абонентів

3. Оболонка: LSZH (вогнетривка, не поширює полум'я)

4. Метод прокладання: підземний (в каналізаційних колодязях), повітряний - в околицях

Призначення: Передача оптичного сигналу між вузлами мережі, спліттерами та абонентськими пристроями.

Оптичні з'єднувачі (конектори)

Тип: SC/APC або SC/UPC (в залежності від обладнання) Втрати при з'єднанні:  $\leq 0.5$  дБ

Матеріал: керамічні ферули

Застосування: для підключення ONT/OLT до патч-панелей або спліттерів

Оптичні спліттери

Тип: PLC (Planar Lightwave Circuit) Конфігурація: 1:8, 1:16, 1:32

Втрати:

1:8  $\approx 10.5$  дБ

1:16  $\approx 13.5$  дБ

1:32  $\approx 17.0$  дБ

Форм-фактор: касети, коробки, модулі в патч-панелі

Призначення: Розділення сигналу з одного оптичного порту OLT на кілька абонентських ліній.

Оптичні кроси та патч-панелі.

Тип: настінні або стоякові (19") з гільзами та адаптерами. Кількість портів: 12, 24, 48 SC/APC.

Функція: організація зручного та структурованого підключення волокон

1. Зварювальні муфти та монтажні коробки

2. Муфти: герметичні муфти для підземної установки

3. Монтажні коробки (розеткові): для підключення ONU в приміщеннях Функція: захист і з'єднання волокон в польових умовах

Кріплення та допоміжне обладнання Кронштейни, труби, лотки для укладки кабелів Маркувальні етикетки, пластикові стяжки

Витратні матеріали: зварювальні гільзи, термоусадка Висновок:

Обране пасивне обладнання відповідає міжнародним стандартам, забезпечує надійне з'єднання оптичних ліній та високу якість сигналу. Його використання у поєднанні з активними пристроями GPON гарантує надійну роботу мережі навіть у складних міських умовах Франкфурта.

### 3.3 Кошторис на обладнання

Ось приклад розділу "3.3 Кошторис на обладнання" для GPON-мережі у місті Франкфурт-на-Майні. Цей базовий кошторис включає найпоширеніші позиції активного та пасивного обладнання на 64 абоненти (2 спліттери 1:32). Ціни орієнтовні й залежать від виробника, постачальника та курсу валют.

Кошторис на обладнання (орієнтовно, для 64 абонентів).

Таблиця 3.11 – Кошторис на обладнання (для 64 абонентів)

№	Найменування	Кількість	Орієнтовна ціна за одиницю (EUR)	Загальна сума (EUR)
1	Активне обладнання			
1.1	OLT Huawei MA5608T (з 2 GPON-платами)	1	3,000	3,000
1.2	ONU/ONT Huawei HG8546M	64	40	2,560
1.3	Комутатор доступу Cisco	1	1,200	1,200
1.4	UPS APC Smart-UPS 2200VA	1	900	900
2	Пасивне обладнання			
2.1	PLC-спліттер 1:32(SC/APC)	2	45	90
2.2	Оптичний кабель (10 км, 4 волокна)	1	1.00 €/м	1,000
2.3	Абонентський кабель (64 × 50 м)	3.2 км	0.30 €/м	960
2.4	Оптичні конектори SC/APC	130	2.00	260
2.5	Зварювальні муфти	4	50	200
2.6	Патч-панелі (на 24 порти)	2	100	200

## Продовження таблиці 3.11

2.7	Оптичні розетки (абонентські точки)	64	5	320
2.8	Монтажні коробки, кріплення тощо	–	–	300
3	Монтажні та резервні витрати			
3.1	Витратні матеріали (гільзи, маркування)	–	–	200
3.2	Монтажні роботи (умовно)	–	–	1,500
3.3	Резерв (непередбачені витрати 5–10%)	–	–	1,200
Разом:		13,850 EUR		

Приблизна вартість підключення 1 абонента дорівнює 216 EUR

Примітки:

Ціни наведено станом на 2025 рік, без урахування ПДВ або імпортних мит. Вартість монтажу може відрізнятися залежно від умов (земляні роботи, доступ до будівель тощо). При збільшенні кількості абонентів значно знижується відносна вартість на 1 підключення.

## ВИСНОВКИ

У рамках виконання кваліфікаційної роботи було повністю реалізовано завдання з проєктування сучасної пасивної оптичної мережі доступу (PON) на базі технології GPON для міського середовища, зокрема для умов міста Франкфурт-на-Майні. У результаті виконано повний цикл проєктних робіт - від аналізу вхідних даних до розрахунку оптичного бюджету, підбору топології, технічного оснащення мережі та підготовки базового кошторису.

Досягнуті кількісні та якісні показники проєкту свідчать про відповідність обраної архітектури сучасним вимогам:

- забезпечено підключення до абонентів через спліттер 1:64;
- передбачено 5 км оптоволоконного магістрального сегмента та 50 м абонентських ліній;
- обрано активне (Huawei MA5608T) і пасивне обладнання відповідно до рекомендацій ITU-T та норм ЄС;
- розрахований оптичний бюджет підтвердив працездатність обраної схеми без потреби в додатковому підсиленні.

Розроблена модель має високий ступінь відповідності до вітчизняних та світових аналогів, у тому числі проєктів, реалізованих у Німеччині, Польщі, Південній Кореї та Китаї. Усі технічні рішення узгоджено з міжнародними стандартами ISO/IEC 11801, ITU-T G.984, IEC 60793, що підтверджує їхню універсальність і практичну застосовність.

Робота тематично та змістовно пов'язана з науково-дослідною діяльністю кафедри Інформаційно-мережної інженерії Харківського національного університету радіоелектроніки, зокрема із напрямом удосконалення архітектури мереж доступу нового покоління та оптимізації моделей побудови FTTH-інфраструктур.

У процесі виконання роботи отримано нові проєктні рішення, які відображені в пояснювальній записці. Основні положення можуть бути

використані при написанні наукової публікації в галузі телекомунікацій. На основі цієї розробки рекомендовано створити демонстраційний стенд або навчальний макет для використання у лабораторних роботах студентів.

Практична цінність проєкту полягає в його адаптивності до реальних умов розгортання мереж у міському середовищі. Передбачена архітектура дає змогу зменшити енергоспоживання, забезпечити масштабованість та мінімізувати експлуатаційні витрати. Оцінений кошторис свідчить про економічну доцільність розгортання мережі такого типу при розвитку цифрової інфраструктури в регіонах.

Таким чином, виконана кваліфікаційна робота повністю відповідає поставленим завданням, містить технічно обґрунтовані рішення та може бути основою для подальших наукових і практичних розробок у галузі телекомунікацій.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Коваль В.В., Толкачова Г.В., Небога Т.В. Стратегічні орієнтири розвитку сфери інфокомунікацій як складової національної інноваційної інфраструктури. - Проблеми економіки. № 1. 2017. - С. 89-93.
2. Лемешко О.В., Єременко О.С., Невзорова О.С. Поточкові моделі та методи маршрутизації в інфокомунікаційних мережах: відмовостійкість, безпека, масштабованість. – Харків: ХНУРЕ, 2020. – 308 с.
3. Проектування, будівництво та експлуатація мереж широкосмугового доступу: [навч. посіб. з дипломного проектування та виконання магістерських робіт] /:[В.О. Балашов, І.Б. Барба, В.І. Корнійчук, А.Г. Лашко, Л.М. Ляховецький, В.І.Орешков]. – Одеса: РВЦ ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2012. – 240 с.
4. Телекомунікаційні системи та мережі : навчальний посібник для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» /Укладачі : Микитишин А.Г., Митник М.М., Стухляк П.Д. – Тернопіль :Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017 –384 с.
5. Загальні принципи побудови комп'ютерних мереж. 1.1 Історія виникнення та розвитку комп'ютерних мереж та телекомунікацій. URL.: [https://web.posibnyku.vntu.edu.ua/fmib/43azarova,lysak\\_komp\\_merezhi\\_ta\\_telekomun/p2.html](https://web.posibnyku.vntu.edu.ua/fmib/43azarova,lysak_komp_merezhi_ta_telekomun/p2.html).
6. Історія розвитку телекомунікацій. URL.: <https://ua5.org/lan/2035-istoriya-rozvytku-telekomunikaczij.html>.
7. Глушенкова А.А., Лазоренко Л.В. Сутність та основні тенденції розвитку телекомунікаційних підприємств України. Мукачівський державний університет. Економіка і суспільство. Вип. № 12. 2017. С. 213.
8. Телекомунікаційні та інформаційні мережі : Підручник [для вищих навчальних закладів] / П.П. Воробієнко, Л.А. Нікітюк, П.І. Резніченко. – К.: САММІТ-Книга, 2010. – 708 с.

9. Про електронні комунікації: Закон України від 16 грудня 2020 року № 1089- IX. URL.: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1089-20#n2246>.

10. Інфокомунікації як чинник соціально-економічного та науково-технічного врозвитку Україні та її регіонів у контексті розбудови інформаційного суспільства. [Електронний ресурс] / М.С. Яценко // Економіка: реалії часу.

Науковий журнал. – 2012. – № 1 (2). – С. 143-146. URL.: <http://economics.opu.ua/files/archive/2012/n1.html> . 11. Бондарчук А.П. Основи інфокомунікаційних технологій. Навчальний посібник [Електронний ресурс] / А.П. Бондарчук, Г.С. Срочинська, М.Г. Твердохліб. – Державний університет теле-комунікацій, Київ. – 2015. – 76 с. URL.: [http://www.dut.edu.ua/uploads/1\\_840\\_37756081.pdf](http://www.dut.edu.ua/uploads/1_840_37756081.pdf).

12. Гребенніков В.О. Суспільство, економіка, інфокомунікації та сталий розвиток України (у двох частинах). Економіка розвитку. № 4 (76). 2015. С. 40-51. URL.: <https://repository.hneu.edu.ua/bitstream/123456789/33742/1/%d0%b3%d1%80%d0%b5%d0%b1%d0%b5%d0%bd%d0%bd%d1%96%d0%ba%d0%be%d0%b2.pdf> .

13. Основи теорії систем і системного аналізу: Навч. посібник /К.О. Сорока. – Харків: ХНАМГ, 2004. – 291 с.

14. Основи системного аналізу об'єктів і процесів комп'ютеризації. URL.: [https://web.posibnyku.vntu.edu.ua/fksa/13kolesnycky,rojik,bokocey\\_osn\\_syst\\_anal\\_objekt-i-proces\\_komp/p2.html](https://web.posibnyku.vntu.edu.ua/fksa/13kolesnycky,rojik,bokocey_osn_syst_anal_objekt-i-proces_komp/p2.html).

15. Поповський В.В. Основи теорії телекомунікаційних систем: підручник. –Харків: ХНУРЕ, 2018. – 368с. URL.: <https://ice.nure.ua/en/books-and-tutorials/osnovy-teorii-telekomunikatsijnykh-system/>.

16. Васильківський, М., Варгатюк, Г., & Болдирева, О. (2022). Дослідження архітектури штучного інтелекту для інфокомунікаційних мереж 6g. MEASURING AND COMPUTING DEVICES IN TECHNOLOGICAL PROCESSES,(4), 62–70. URL.: <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2022-72-4-7> .

17. Кривуца В. Г. Основи інфокомунікацій: навч. посібник для загальноосвіт. навч. закладів: 11й клас / Кривуца В. Г., Беркман Л. Н., Лапінський В. В.; за ред. В. Г. Кривуци.— К.:ДУІКТ, 2011.— 276 с.

18. Комп'ютерні мережі. Частина 1. Навчальний посібник [Електроннийресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення» та 126 «Інформаційні системи та технології», спеціалізації «Інженерія програмного забезпечення інформаційно управляючих систем» та «Інформаційне забезпечення робототехнічних систем»/ Б. Ю. Жураковський, І.О. Зенів; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 8,6 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 336 с.

19. Єременко О.С. , Лемешко В.О. , Куренко В.О. Дослідження показників надійності фрагменту локальної інфокомунікаційної мережі . Електронне наукове фахове видання – журнал «Проблеми телекомунікацій». Вип. №2 (33). 2023 . С. 14-43.

20. Технології Мереж. Оптоволоконний кабель. URL.:<https://nettech.ua/news/volonkonno-opticheskiy-kabel.21>. Редька К.Ю. Стратегічні орієнтири розвитку сфери інфокомунікацій. DOI:<https://doi.org/10.32461/2409-9805.2.2018.150358> .

22. Основи теорії телекомунікацій і радіотехніки: навч. посіб. для студ.спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»/ КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: П. В. Кучернюк. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 290 с.,URL.: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/d33a687d-b2e5-4114-bcff-9642a196bf4b/content>.

23. Québec . Office québécois de la langue française. URL.:<https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/8382589/infocommunication>.

24. Eurostat . Glossar: Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT). URL.:[https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Information\\_and\\_communication\\_technology\\_\(ICT\)/de](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Information_and_communication_technology_(ICT)/de).

25. Gyula Sallai. Defining Infocommunications and Related Terms. Acta Polytechnica Hungarica. Vol. 9, No. 6, 2012. URL.: [https://acta.uni-obuda.hu/Sallai\\_38.pdf](https://acta.uni-obuda.hu/Sallai_38.pdf).

26. Недашківський О.Л. Планування та проектування інформаційних систем. Київ, 2014. – 215 с. URL.: <https://duikt.edu.ua/ua/lib/1/category/2122/view/842>.

27. Тарбаєв С.И. та ін. Проектування інфокомунікаційних мереж. Навчальний посібник. Підготовлений для самостійної роботи студентів вищих навчальних закладів з кредитно-модульною організацією навчального процесу. – Київ: ННІТІ ДУТ, 2019. – 186 с.

28. Підручник для студентів вищих навчальних закладів за напрямком «Телекомунікації» з дисциплін СП, ТОТСМ, ТЕСЗ. – К.: ДУІКТ, 2013. -700 с.

29. Ковальчук В.К, Овчинников К.А., Тесленко А.Ю. Методика. С. 137-142. URL.: <https://openarchive.nure.ua/server/api/core/bitstreams/6aaeb35c-a5d9-444f-9b0e-9fcae7424830/content>.

30. Методологія проектування. Конспект лекцій [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів які навчаються за освітньо-науковою програмою магістерської підготовки, спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», спеціалізації «Інжинирінг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання виробництв полімерних і будівельних матеріалів та виробів» / В. Ю. Щербина; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 77 с.

31. Державні Будівельні Норми. Алгоритм проектування системи. URL.: [https://dbn.co.ua/blog/algorithm\\_proektuvannja\\_sistemi/2016-12-10-14729](https://dbn.co.ua/blog/algorithm_proektuvannja_sistemi/2016-12-10-14729).

32. Дубін О.Ф. Лекція. Загальні відомості про структуровану кабельну систему /

О.Ф. Дубін. - Житомир: Державний університет «Житомирська політехніка», 2019. URL.: <https://ppt-online.org/1450694> . С. 17. [https://learn.ztu.edu.ua/pluginfile.php/253100/mod\\_resource/content/1/](https://learn.ztu.edu.ua/pluginfile.php/253100/mod_resource/content/1/)

33. Голь, В. Д. Телекомунікаційні та інформаційні мережі [Електронний ресурс]: навч. посіб. для курсантів (слухачів, студентів), які навчаються в Інституті за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка», галузі знань 172 «Електроніка та телекомунікації» / Голь В. Д., Ірха М. С. ; ІСЗЗІ КПП ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 5,48 Мбайт). – Київ : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 250 с.

34. ДСТУ 3973-2000. Державний стандарт України. Система розроблення та поставлення продукції на виробництво. Правила виконання науково-дослідних

робіт. Загальні положення. URL.: [https://www.dnu.dp.ua/docs/ndc/standarts/Sustema\\_rozroblennyu\\_DSTU\\_3973-2000.pdf](https://www.dnu.dp.ua/docs/ndc/standarts/Sustema_rozroblennyu_DSTU_3973-2000.pdf).

35. Відомчі будівельні норми України. Проектування телекомунікацій. Лінійно-кабельні споруди. ВБН В.2.2-45-1-2004. URL.: <https://budinfo.org.ua/doc/1810034/VBN-V-2-2-45-1-2004-Proektuvannia-telekomunikatsii-Liniino-kabelni-sporudi>.

36. Мадінов М. Л., Руденко Н. В. Стандарти як основа інформаційно-комунікаційних технологій: дослідження міжнародних стандартів комунікаційних систем. Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2024. № 4 (30). С. 153–164. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2024.4.153>.

37. Глушенкова А.А. Особливості управління інноваційними проектами у сфері телекомунікацій та інформатизації. Економіка. Менеджмент. Бізнес . - 2015. - № 4. - С. 72-77. URL.: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/esteb\\_i\\_2015\\_4\\_10](http://nbuv.gov.ua/UJRN/esteb_i_2015_4_10) . С. 73.

38. Тарбаєв С.І., Отрох С.І.. Методичний посібник для виконання курсового проекту з ПІМ: Навчально методичний посібник. Київ - Державний університет телекомунікацій, 2016. - 29 с. URL.: [https://duikt.edu.ua/uploads/1\\_639\\_52267713.pdf](https://duikt.edu.ua/uploads/1_639_52267713.pdf).

39. Серих С. О. Конспект лекцій з навчальної дисципліни “Телекомунікаційні інформаційні мережі” (Частина 1). – Київ: Державний

університет телекомунікацій, 2015. – 141 с. URL.: [https://duikt.edu.ua/uploads/l\\_927\\_34791388.pdf](https://duikt.edu.ua/uploads/l_927_34791388.pdf). С. 50.

40. capable Passive Optical Networks (GPON): General characteristics – ITU-T Recommendation. Recommendation ITU-T G.9804.1 (2019) Amd. 2 (01/2024). URL.: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.1>.

41. Cisco Systems. Gigabit Passive Optical Networks (GPON) Fundamentals. Cisco Technical Documentation, 2020.

42. Huawei Technologies Co., Ltd. MA5600T Series OLT Product Documentation. 2021.

43. ZTE Corporation. ZTE C320/C300 OLT Product Overview. URL.: <https://www.batna24.com/en/p/zte-c320-olt-rmmhh>.

44. FS.COM. PLC Fiber Optic Splitter Guide. URL.: <https://www.fs.com>.

45. Gerd Keiser. Fiber Optic Communications, 5th Edition. McGraw-Hill Education, 2021. URL.: <https://mrce.in/ebooks/Fiber%20Optic%20Communications.pdf>

46. Нечипорук С. І., Галіяш Н. І. Технології широкопугового доступу. – Навчальний посібник. – Львів: Видавництво «Новий Світ – 2000», 2018.

47. ДСТУ EN 50174-1:2018. Інформаційні технології. Установлення кабельних інфраструктур. Загальні вимоги. URL.: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=107148](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=107148).

48. Міністерство цифрової трансформації України. Методичні рекомендації з розбудови мереж доступу нового покоління (NGA). Київ, 2021.

49. Інтернет-ресурс: TelecomInfraProject.org – Open Optical & Packet Transport. <https://telecominfraproject.com>.

50. ITU-T G.984 – Series G: Transmission Systems and Media – Gigabit- ITU-TG.984.4. SERIES G: TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA, DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS. URL.: <https://www.ietf.org/lib/dt/documents/LIAISON/file1019.pdf>.