

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА
ФАКУЛЬТЕТ РАДІОФІЗИКИ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ

Кафедра радіотехніки та радіоелектронних систем

Робота допущена до захисту в ЕК
рішенням кафедри радіотехніки та радіоелектронних систем
від _____ 2025 року, протокол No ____.

Завідувач кафедри доктор фіз.-мат. наук, професор
_____ Ігор АНІСІМОВ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

на тему:

«ПРОЕКТУВАННЯ ОПТОВОЛОКОННОЇ ДІЛЯНКИ МІСЬКОЇ МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ»

Виконав:

студент 4-го курсу
денної форми навчання
спеціальності 172 - Телекомунікації та радіотехніка
ОПП «Інформаційна безпека телекомунікаційних систем і мереж»
Дерновий Владислав Миколайович

Науковий керівник:

Кандидат військових наук, доцент
Довбня Сергій Якович

Рецензент:

Кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
Леоненко Геннадій Павлович
Засвідчую, що у цій бакалаврській роботі
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань
Студент Владислав ДЕРНОВИЙ

РЕФЕРАТ

Дипломна робота присвячена дослідженню та проектуванню ділянки волоконно-оптичної лінії зв'язку (ВОЛЗ) для підприємства, що потребує оновлення телекомунікаційної інфраструктури. Основна мета роботи – розробка практичного рішення для побудови сучасної високошвидкісної оптоволоконної мережі, яка відповідає вимогам надійності, пропускну здатності та економічної ефективності.

У першому розділі дипломної роботи розглядаються загальні положення щодо ВОЛЗ, класифікація оптичного волокна, його властивості та області застосування. Надано порівняльний аналіз одномодових та багатомодових волокон, а також їх відповідність міжнародним стандартам (G.652, G.657 тощо).

Другий розділ присвячений огляду елементів ВОЛЗ, включаючи конструкції волоконно-оптичних кабелів, їх типи та умови прокладання, принципи мультиплексування WDM/DWDM, будову оптичних трансиверів, особливості випромінювачів і приймачів, а також основні типи оптичних підсилювачів (EDFA, Раманівські, НПЛП).

У практичній частині було виконано проєкт конкретної ділянки лінії зв'язку між вул. Ямська та вул. Федорова. Проведено вибір обладнання, зокрема кабелю FinMark UT024-SM-04-T та оптичної муфти Crosver FOSC-SP, та здійснено розрахунок загального загасання оптичного сигналу з урахуванням довжини лінії, кількості з'єднань та типу елементів.

Результати розрахунків засвідчили, що обрана конфігурація забезпечує прийнятний рівень втрат в межах енергетичного бюджету системи, що дозволяє забезпечити якісний зв'язок без потреби в додаткових підсилювачах.

Ключові слова: волоконно-оптична лінія зв'язку, оптичне волокно, DWDM, оптичний трансивер, підсилювач, мультиплексор, загасання, з'єднання, кабель.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	4
ВСТУП	5
I ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ	6
1. Огляд поточного стану	6
2. Актуальність теми	6
3. Мета роботи	7
II ЕЛЕМЕНТИ ВОЛЗ	8
1. Оптичне волокно	8
2. Волоконно-оптичний кабель (ВОК)	9
3. WDM, DWDM	9
4. Оптичний трансивер	11
4.1. Випромінювачі	11
4.2. Приймачі	12
5. Підсилювачі.....	12
III ПРОЕКТУВАННЯ ДІЛЯНКИ ОПТОВОЛОКОННОГО ЗВ'ЯЗКУ.....	14
Огляд обладнання.....	15
Розрахунок параметрів ВОЛЗ.....	16
Економічне та масогабаритне обґрунтування.....	19
РЕЗУЛЬТАТИ І ВИСНОВКИ	22
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	23

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

APD – Avalanche Photodiode (Лавинний фотодіод);

DWDM – Dense Wavelength Division Multiplexing (Щільне мультиплексування з розділенням по довжині хвилі);

EDFA – Erbium Doped Fiber Amplifiers (Оптичний підсилювач легований ербієм);

EML – Electroabsorptive Modulated Laser (Електро-абсорбційні модульовані лазери);

VCSEL – Vertical-cavity surface-emitting laser (Поверхнево-випромінюючі лазери з вертикальним резонатором);

WDM – Wavelength Division Multiplexing (Мультиплексування з розділенням по довжині хвилі);

ВОК – Волоконно-оптичний кабель;

ВОЛЗ – Волоконно-оптичні лінії зв'язку;

НПЛП – Напівпровідникові лазерні підсилювачі;

ВСТУП

У сучасному світі інформаційні технології та засоби зв'язку відіграють ключову роль у функціонуванні як державних структур, так і приватних підприємств. Зростання обсягів переданої інформації, високі вимоги до надійності, швидкості та безпеки передачі даних зумовлюють необхідність переходу до більш досконалих систем зв'язку, серед яких особливе місце посідають волоконно-оптичні лінії зв'язку (ВОЛЗ).

Оптичні технології забезпечують надзвичайно високу пропускну здатність, низький рівень втрат та стійкість до електромагнітних завад, що робить їх основою сучасних телекомунікаційних мереж. У зв'язку з цим зростає попит на кваліфікованих фахівців, здатних не лише розуміти принципи роботи таких систем, а й проєктувати, впроваджувати та обслуговувати їх.

Метою даної дипломної роботи є дослідження структури та основних компонентів ВОЛЗ, а також практичне проєктування фрагменту оптичної мережі для підприємства, що розташоване на вулиці Федорова. У рамках роботи розглянуто елементи оптичної системи – оптичне волокно, кабель, трансивери, підсилювачі, а також технології мультиплексування (DWDM), які дозволяють ефективно використовувати спектр пропускну здатності.

Особливу увагу приділено вибору оптимального обладнання для заданих умов прокладання та виконано детальний розрахунок параметрів передавання сигналу з урахуванням втрат на з'єднаннях, загасання в кабелі та енергетичного запасу.

Практичне значення роботи полягає в розробці готового рішення для реального телекомунікаційного об'єкта, яке може бути впроваджене на підприємстві, сприяючи модернізації та підвищенню ефективності його інформаційної інфраструктури.

I. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

1.1 Огляд поточного стану

Сучасні телекомунікаційні системи постійно розвиваються в напрямку підвищення пропускної здатності, надійності та енергоефективності. Зі зростанням обсягів переданої інформації традиційні мідні лінії зв'язку стають недостатніми для задоволення потреб як бізнесу, так і приватних користувачів. У цьому контексті волоконно-оптичні лінії зв'язку (ВОЛЗ) займають провідне місце завдяки своїм технологічним перевагам: широкій смузі пропускання, низькому рівню загасання сигналу, стійкості до електромагнітних завад і високій безпеці передавання даних.

Широке впровадження ВОЛЗ спостерігається у всіх галузях – від магістрального інтернету та мобільного зв'язку до внутрішньої інфраструктури підприємств. Одним із важливих напрямів є модернізація локальних ліній зв'язку підприємств, де волоконно-оптичні системи дозволяють реалізувати високу швидкість обміну даними при одночасному зниженні експлуатаційних витрат у довгостроковій перспективі.

Незважаючи на технічну зрілість технологій оптичного зв'язку, для ефективного проєктування таких систем необхідно враховувати велику кількість факторів: правильний вибір типу волокна, обладнання, оцінку загасання сигналу, взаємодію компонентів у спектральному діапазоні, а також забезпечення необхідного енергетичного балансу лінії.

1.2 Актуальність теми

У зв'язку з постійним зростанням вимог до швидкості й надійності передачі інформації, особливо в умовах цифровізації бізнесу та переходу до «індустрії 4.0», тематика побудови ефективних волоконно-оптичних систем є вкрай актуальною. Для

підприємств це означає не лише технологічне оновлення, а й отримання стратегічної переваги – стабільного й безпечного каналу комунікацій.

Особливу актуальність тема набуває в контексті необхідності оновлення локальних телекомунікаційних мереж підприємств, які часто базуються на застарілих рішеннях. Запровадження оптоволоконної інфраструктури дозволяє значно підвищити ефективність обміну даними, забезпечити масштабованість мережі, а також створити основу для інтеграції сучасних сервісів, таких як IP-телефонія, відеоспостереження, «розумні» системи керування тощо.

1.3 Мета роботи

Метою даної дипломної роботи є проєктування фрагменту волоконно-оптичної лінії зв'язку для конкретного підприємства, з урахуванням топографічних умов, технічних вимог та параметрів обраного обладнання. У межах роботи здійснюється:

- аналіз типів оптичних волокон і кабелів;
- розгляд принципів мультиплексування WDM/DWDM;
- вибір і обґрунтування компонентів системи (трансивери, муфти, підсилювачі);
- розрахунок загасання оптичного сигналу та оцінка енергетичного балансу;
- створення проєкту прокладки лінії зв'язку з урахуванням розташування об'єкта та особливостей інфраструктури.

Результати роботи можуть бути використані як основа для впровадження або модернізації телекомунікаційної мережі в умовах реального підприємства.

II. ЕЛЕМЕНТИ ВОЛЗ

2.1 Оптичне волокно

Основні властивості та класифікація оптичного волокна [2]:

Оптичне волокно — це монолітна скляна нитка з ядром (вищий n) та оболонкою (нижчий n), що передає світло ($\sim 2/3$ с) завдяки повному внутрішньому віддзеркаленню при куті падіння нижче критичного. Воно виготовляється з високочистого кварцового скла, де оболонку легують для забезпечення різниці n .

Ключові «вікна» роботи (мінімальне загасання):

- 1-е (~ 850 нм)
- 2-е (1310 нм)
- 3-е (1550 нм)
- 4-е (1625 нм, в розробці)

Види волокна:

Багатомодове — передає багато мод, але через міжмодову дисперсію обмежене відстань, не використовується в DWDM.

Одномодове — діаметр ядра малий, одна мода, мінімальна дисперсія, висока пропускна здатність, основне в DWDM.

Стандарти одномодового волокна (ITU-T):

1. **G.652 SM**
2. **G.657 BIF** (гнучке)
3. **G.653 DS**
4. **G.654** (зі зміщеним λ_0 відсічки)
5. **G.655 NZDS**

Параметри:

Затухання: поглинання (UV/IR), Релеївське розсіювання (більше на коротких λ), кабельні втрати (<20 % при дотриманні технічних умов).

Дисперсія: головним чином хроматична (ps/нм·км), суттєва на відстанях 1 000–5 000 км.

2.2 Волоконно-оптичний кабель (ВОК)

Волоконно-оптичний кабель (ВОК) за умовами прокладки [2] поділяється на:

Наземний (в ґрунт) – для всіх типів ґрунтів, боліт, неглибоких річок;

Підводний – для морських і річкових переходів, озер, водосховищ, мерзлотних ґрунтів;

В кабельну каналізацію – лотки, тунелі, колектори;

В труби (ЗПТ) – із задувкою в захисні поліетиленові труби або каналізацію (без гризунів);

Аеропідвісний зі сталевим елементом – на опорах ліній зв'язку, освітлення та між будівлями (діелектричний варіант – біля ЛЕП);

Аеропідвісний самонесучий – на опорах зв'язку, ЛЕП, залізничних контактних мереж, з підвищеною стійкістю до ЕМП;

Розподільний – всередині будівель і на фасадах у лотках, каналах, трубах і ЗПТ.

2.3 WDM/DWDM

Принцип роботи [3]

– Використовує можливість оптичного волокна передавати одночасно світло різних довжин хвиль без взаємної інтерференції.

– Кожна λ — окремий канал; у DWDM інтервал між сусідніми каналами — частки нанометра.

Основні компоненти

Лазерні передавачі генерують канали на різних λ .

Мультиплексор (MUX) об'єднує всі канали в один багатоканальний потік.

EDFA-підсилювачі посилюють весь діапазон $\sim 1530\text{--}1565$ нм без ОЕ-перетворення.

OADM (Add/Drop) дозволяє додавати чи виділяти окремі λ на проміжних вузлах.

Демультимплексор (DEMUX) розділяє потік на окремі λ для фотоприймачів.

Фотоприймачі й електронне обладнання обробляють сигнали й управляють мережею.

Еволюція й ємність

Перші WDM-системи: 4–16 каналів по 2,5 Гбіт/с (SDH/SONET).

Сучасні DWDM: десятки й сотні каналів, сумарна швидкість до ~ 1 Тбіт/с.

Ключові вимоги до компонентів:

- **Спектральна узгодженість:** вузькі межі допусків для MUX/DEMUX, фільтрів, решіток.
- **Оптичні характеристики:** вносимі втрати, відбиття, поляризаційна залежність, дисперсія та шум у всьому робочому діапазоні.
- **Тестування** складне через малі інтервали між λ і широкий спектр при великій кількості каналів.

Особливості проектування

- Всі канали розглядаються як рівні за довжиною та характеристиками лінії.
- Урахування взаємодії каналів, узгодження коефіцієнта посилення EDFA й дисперсії по всьому спектру.
- Гарантія якості можлива лише при комплексному тестуванні всієї системи, а не окремих елементів.

2.4 Оптичний трансивер

Оптичний трансивер [1] — модуль для перетворення електричного сигналу в оптичний і назад, що під'єднує мережеву плату до волоконно-оптичної лінії.

Будова: містить передавач (Tx) і приймач (Rx); буває однопортовий (WDM/Bi-Di із фільтром або циркулятором) або двопортовий (двоволоконні CWDM/DWDM, 40G/100G).

Форм-фактор і характеристики: відрізняються швидкістю (1G–100G+), дальністю (кілометри–сотні км) та типом конектора (порт чи пігтейл).

Оптичний бюджет (Link Budget, AR/OLL): різниця між мінімальною потужністю Tx і чутливістю Rx, що визначає максимально можливі втрати в каналі й, відповідно, граничну довжину лінії без урахування дисперсії.

2.4.1 Випромінювачі [1]

FP (Fabry–Perot): найдешевші, для відстаней до ~10 км (ОМ: 1310/1550 нм до 5 км; БМ: 850/1300 нм), швидкість ≤ 1 Гбіт/с.

VCSEL: 850 нм, до 25 Гбіт/с, недалекі траси (багатомодові), низька вартість, стабільні по температурі.

DFB: вузький спектр, висока потужність, ОМ-лінії до 150 км при 1 Гбіт/с (40 км при 10 Гбіт/с), застосовуються в CWDM.

EML: DFB + ЕАМ-модулятор, до 100 Гбіт/с і дальності > 40 км, для CWDM/DWDM; дорожчі, з великою розсіюючою потужністю.

Ключові параметри:

- **Ширина спектра:** FP 3–5 нм; VCSEL 0,5–1 нм; DFB 0,1–0,5 нм; EML 0,01–0,08 нм.
- **Середня потужність:** вказується діапазоном (серійна варіація).
- **SMSR (для ОМ-лазерів):** ≥ 30 дБ.

2.4.2 Приймачі

Типи фотодіодів[1]

- **PIN (InGaAs):** перетворює світло в струм пропорційно потоку; живлення ≈ 5 В; достатня чутливість для ліній середньої довжини.
- **APD (лавинний):** +6–8 дБ підвищена чутливість; використовуються на протяжних лініях та в системах, де потрібен великий запас між потужністю Tx і чутливістю Rx; вимагають суворого контролю вхідної потужності.

Ключові параметри

- **Чутливість** (мінімальна P для заданного BER):
 - ~ -45 дБм @ 100 Мбіт/с
 - ~ -35 дБм @ 1 Гбіт/с
 - ~ -24 дБм @ 10 Гбіт/с
- **Перевантаження:** максимальна P без спотворень або ушкоджень.
- **Втрати на відбиття:**
 - короткі лінії: ≈ -14 дБ
 - інші системи: ≥ -20 дБ

Такі характеристики визначають вибір PIN-приймача (дешевші, простіші) або APD-модуля (вища чутливість, дорожчий), а також впливають на максимальну довжину й якість волоконно-оптичної лінії.

2.5 Підсилювачі

Оптичні підсилювачі [1] - це пристрої, що підсилюють оптичний сигнал без його електричного перетворення. Серед них для WDM-систем актуальні три типи:

1. Раманівські підсилювачі

Використовують стимульоване раманівське розсіювання — нелінійний ефект, що дозволяє передавати енергію від хвилі накачування до слабого сигналу. Мають

широкий спектральний діапазон посилення, що підходить для WDM. Основна складність — перехресні завади між каналами.

2. Напівпровідникові лазерні підсилювачі (НПЛП)

Мають низький ККД через малу площу активного шару (порівняно з діаметром волокна). Також чутливі до поляризації сигналу (різниця посилення до 8 дБ). Найчастіше використовуються в інтегрованих рішеннях (наприклад, з лазерами).

3. Домішкові волоконні підсилювачі (EDFA)

Найпоширеніші в телекомунікаціях. Працюють на довжині хвилі **1550 нм**, де втрати у волокні мінімальні (~0.2 дБ/км). Після демонстрації ефективності EDFA у 1987 році стали стандартом для далекомагістральних ліній зв'язку.

Більш поглиблений огляд технологій оптоволокна надано в Додатку А.

III. ПРОЕКТУВАННЯ ДІЛЯНКИ ОПТОВОЛОКОННОГО ЗВ'ЯЗКУ

У процесі цієї роботи було досліджено та спроектовано деяку ділянку лінії зв'язку. Для цього було обране підприємство на вул. Федорова яке потребувало оновлення їх ліній телекомунікацій.

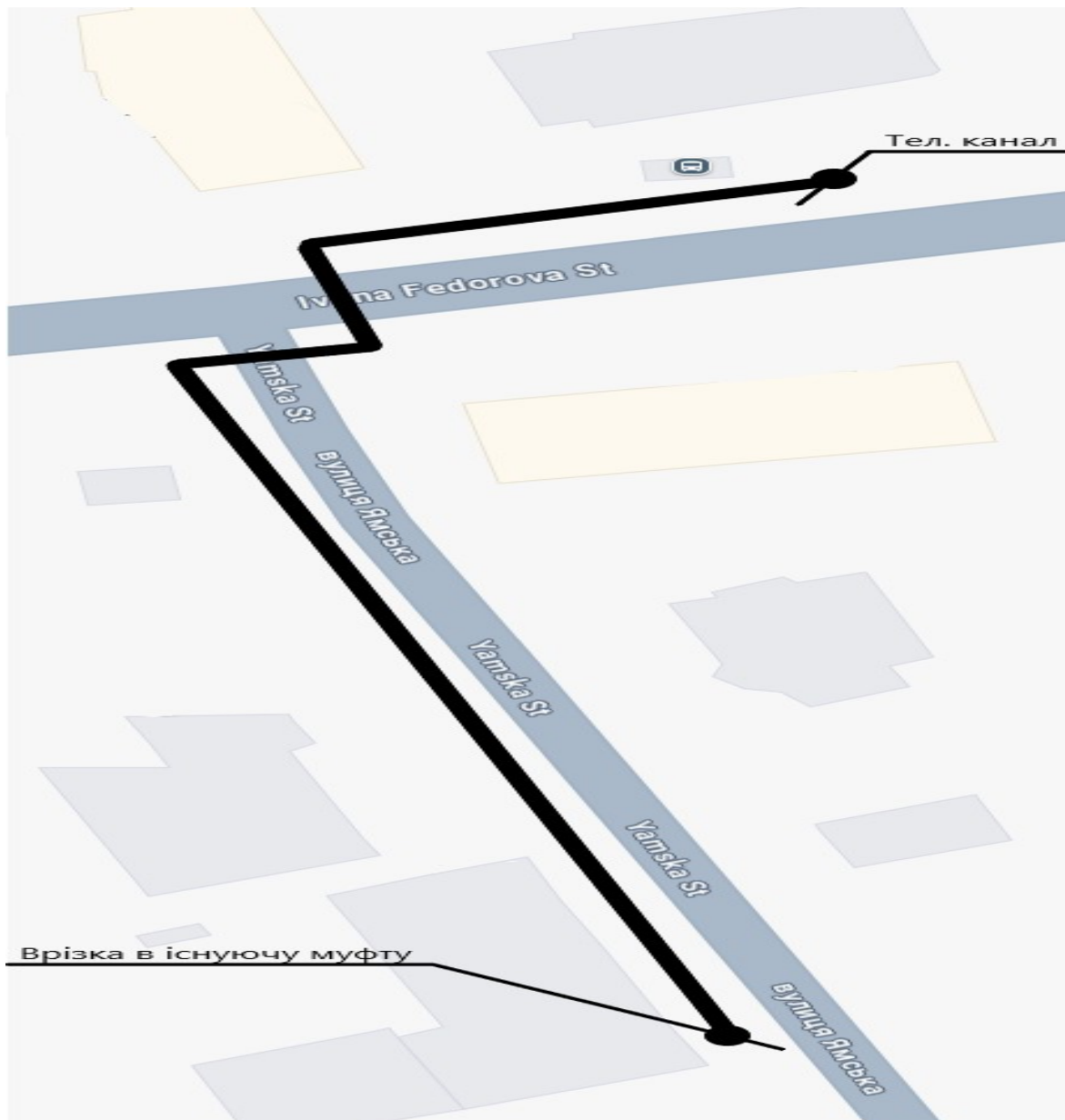


Рис. 1 Траса прокладання ВОЛЗ

Після огляду місцевості на мапі, було прийняте рішення прокладати лінію від існуючої муфти на вул. Ямська через каналізацію за маршрутом наведеним на рис.1.

3.1 Огляд обладнання

На сьогоднішній день на ринку існує велика кількість компаній, що розробляють оптичні модулі, серед них найбільші: Cisco, D-link, A-Gear, GateRay, FiberTrade, HP, MikroTik, Juniper, Huawei.

Для нашої задачі потрібні 2 компонента:

- Оптичний кабель
- Оптична муфта

Після огляду параметрів доступних Оптичний кабелів, було обрано кабель моделі Utxxx-SM-04-T виробництва FinMark [5].

Оптичний кабель з центральним оптичним модулем, в якому може розташовуватися до 24 оптичних волокон. Являє собою полегшену модифікацію конструкції UTxxx-SM-03-T. Шар броні виконаний з сталевий гофрованої стрічки і, крім механічного захисту, служить гідробар'єром, який перешкоджає дифузії вологи через полімерні оболонки в сторону оптичного волокна.

Між бронею та оптичним модулем прокладена водоблокуюча стрічка. Зовнішня оболонка виготовлена з УФ-стабілізованого поліетилену високої щільності. Для додання додаткової міцності конструкції в зовнішній оболонці розміщено два силових елемента, виготовлені з сталевий дроту.

У оптичний кабель закладається оптичне волокно Fujikura FutureGuide - LWP (відповідає ITU-T G.652.D).

Після огляду параметрів доступних Оптичних муфт, було обрано Муфта оптична Crosver FOSS-SP [6].

Муфта оптична зварювальна, для оптичного кабелю, підвищеної удароміцності, тупикового типу. Призначена для зрощування та розгалуження

оптичного кабелю при повітряній, настінній та підземній інсталяції. Дозволяє вводити до 5 кабелів, допускає установку від 1 до 4 сплайс-касет типу S112 номінальною ємністю 12 і максимальною 24 зварювання, герметизацію вводу термоусадкою.

Більш точні параметри компонентів наведено в Додатку Б.

3.2 Розрахунок параметрів ВОЛЗ

Як було наведено вище, для проектування в даній роботі було обрано маршрут вул. Федорова - вул. Ямська. Ця лінія буде прокладена від існуючої муфти до телефонної лінії на підприємстві через каналізацію. Дана лінія буде завдовжки 303,5м.

Після подальшого огляду місцевості та огляду літератури [5], був розроблений подальший план прокладання кабелю:

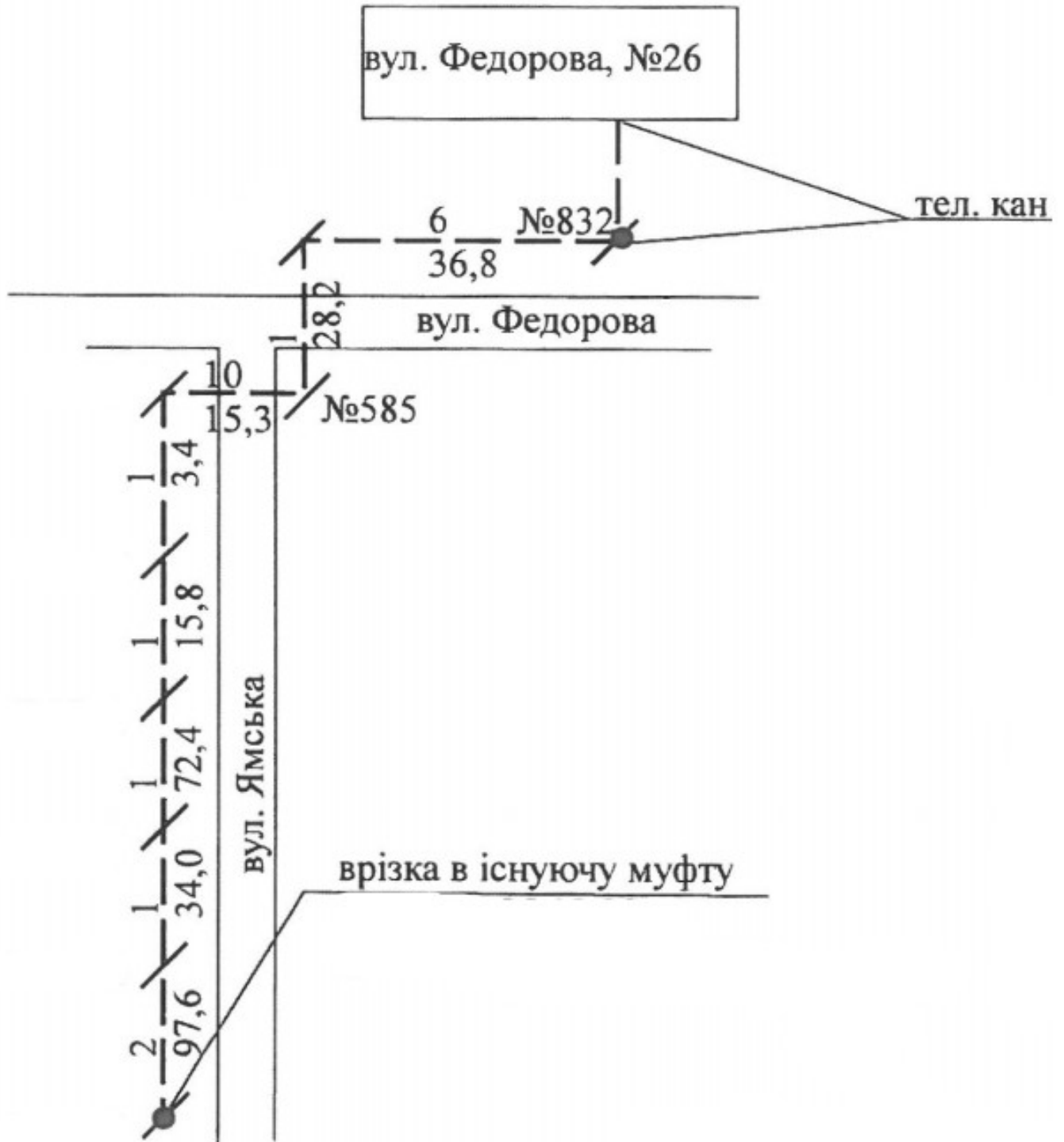


Рис. 2 Структура секції ВОЛЗ

На цій лінії використовується броньований кабель FinMark UT024-SM-04-T, якій має погонне затухання 0.22дБ/км. За параметрами проекту буде встановлено 8

з'єднувальних муфт, тобто маємо приблизно 9 стиків, включаючи вхідне та вихідне з'єднання.

Довжина ділянки волоконно-оптичної системи передавання обмежується з одного боку втратами у оптичному лінійному тракті, з другого – дисперсією волоконного світловода. На рис. 3 наведена модель волоконно-оптичного каналу, що відображує розподіл втрат на ділянки.

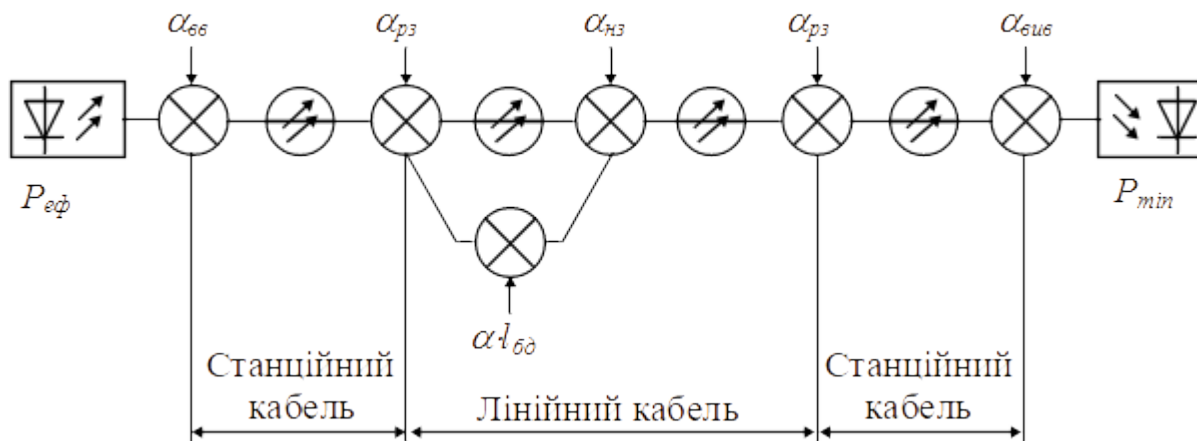


Рис. 3 – Модель волоконно-оптичного каналу

P_{ef} – ефективна потужність випромінювача; $\alpha_{вв}$, $\alpha_{вив}$ – втрати введення та виведення оптичної потужності відповідно, $\alpha_{рз}$, $\alpha_{нз}$ – втрати в роз'ємних і нероз'ємних з'єднаннях відповідно; α – кілометричне загасання кабелю; $l_{бд}$ – будівельна довжина кабелю P_{min} – поріг чутливості.

Втрати в роз'ємних з'єднувачах становлять 0,3–2 дБ, у нероз'ємних 0,05–0,2 дБ залежно від технології з'єднання (зварювання, зклеювання) та типу ВС (одномодовий, багатомодовий).

Втрати в оптичному лінійному тракті дорівнюють

$$\alpha_{лт} = \alpha_{вв} + \alpha_{вив} + \alpha_{рз} \cdot N_{рз} + \alpha_{нз} \cdot N_{нз} + \alpha \cdot L_{рд} \quad (3.1)$$

$N_{рз}$ та $N_{нз}$ – кількість роз'ємних і нероз'ємних з'єднань відповідно, $N_{рз} = 2$; $L_{рд}$ – довжина ділянки.

Втрати в роз'ємних з'єднувачах становлять 0,3–2 дБ, у нероз'ємних 0,05–0,2 дБ залежно від технології з'єднання (зварювання, зклеювання) та типу ВС (одномодовий, багатомодовий). Енергетичний потенціал має компенсувати втрати в оптичному лінійному тракті ($\alpha_{лт}$)

$$Q = P_{\text{еф}} - P_{\text{мін}} \geq \alpha_{лт} + P_3 \quad (3.2)$$

де P_3 – енергетичний запас для ВОСП різного призначення $P_3 = 6$ дБ

Розрахунок:

Для ділянки довжиною $L = 303.5$ м з 9 нероз'ємними з'єднаннями (“муфтами”) загальне загасання буде:

$$\alpha = 0,22 \text{ дБ/км}$$

$$L_{рд} = 0,3035 \text{ км}$$

$\alpha_{вв} = \alpha_{внв} = \alpha_{нз} \approx 0,2$ дБ, так як наше введення є існуюча Оптична муфта;

$N_{рз} = 0$; $N_{нз} = 9$, так як Оптична муфта це нероз'ємне з'єднання;

з цього:

$$\alpha_{лт} = 9 \cdot 0,2 + 0,22 \cdot 0,3035 = 1,86677 \text{ дБ} \quad (3.3)$$

3.3 Економічне та масогабаритне обґрунтування

1. Порівняння масогабаритних характеристик: один кабель vs. жгут з 10 кабелів

Для порівняння візьмемо:

Однокабельний варіант: кабель FinMark UT024-SM-04-T з 2–4 волокнами.

Жгутовий варіант: жгут з 10 одноканальних (1 волокно) кабелів того ж типу або спрощеного варіанту.

Технічні параметри FinMark UT024-SM-04-T:

Зовнішній діаметр: $\approx 9,3$ мм

Вага 1 км: ≈ 87 кг/км

[За технічним паспортом FinMark]

Жгут із 10 таких кабелів (1–2 волокна):

Зовнішній діаметр: $\approx 27,9$ мм

Вага жгута з 10: ≈ 10 кабелів $\times 87$ кг/км ≈ 870 кг/км

Порівняння (табл.1):

Параметр	Один кабель (2–4 волокна)	Жгут з 10 кабелів (1 волокно)
Діаметр, мм	$\sim 9,3$ мм	$\sim 27,9$ мм
Вага 1 км	~ 87 кг	~ 870 кг
Кількість волокон	2–4	10
Прокладання	Просте	Складне
Монтаж	1 муфта	10 муфт або складна муфта
Захист	Сталева броня	Обмежений

Висновок: використання єдиного кабелю з кількома волокнами суттєво вигідніше як за вагою, так і з точки зору монтажу та захисту.

2. Розрахунок вартості 303,5м кабелю з муфтами

Вартість кабелю:

FinMark UT024-SM-04-T (4 волокна, броньований): ≈ 20 грн/м

Вартість за 303,5м:

$303,5\text{м} \times 20 \text{ грн/м} = 6070\text{грн}$

Вартість муфт:

Crosver FOSS-SP (до 24 волокон): $\approx 1355,90$ грн/шт

Загальна вартість муфт:

Кількість муфт: 8 шт

$8 \times 1355,90 = 10847,2\text{грн}$

Разом (табл.2):

Компонент	Вартість, грн
Кабель (300 м)	6070
8 муфт	10847,2
Разом	≈ 16917,2

3. Вартість 3000м x 10 кабелю (1 волокно)

3000м x 12 грн/м = 36000 грн

Для жгута з 10 кабелів:

300м x 10 x 12грн/м = 360 000 грн.

(де 12 грн/м — орієнтовна вартість легшого одномодового кабелю на 1 волокно)

Загальний висновок

1. Єдиний багатоволоконний кабель (2–4 волокна) дозволяє зменшити:
 - кількість прокладених кабелів,
 - кількість з'єднувальних муфт,
 - витрати на матеріали та монтаж.
2. Економія у масштабах мережі:
 - до 324 000 грн (для 3000 м) у порівнянні з жгутовою конфігурацією.
3. Масогабаритні переваги:
 - Менший діаметр,
 - Менша вага,
 - Простіше прокладання в каналізації та підземних трасах.

РЕЗУЛЬТАТИ І ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи було досліджено структуру та ключові елементи волоконно-оптичної лінії зв'язку (ВОЛЗ), а також здійснено практичне проєктування ділянки оптичної мережі для підприємства, яке потребує оновлення телекомунікаційної інфраструктури.

Основні результати роботи:

1. Проведено огляд сучасного стану технологій оптичного зв'язку, типів волокон, кабелів, що застосовуються в системах WDM/DWDM.

2. Проаналізовано характеристики одномодових волокон, що відповідають стандарту ITU-T G.652.D, а також вимоги до оптичних компонентів з точки зору загасання, дисперсії та енергетичного бюджету.

3. Обґрунтовано вибір обладнання для побудови ВОЛЗ: оптичного кабелю FinMark UT024-SM-04-T та оптичної муфти Crosver FOOSC-SP, з урахуванням умов прокладання та експлуатації.

4. Розроблено топологію прокладання кабелю між вулицями Ямська та Федорова з використанням існуючої каналізації, що дозволяє знизити витрати на реалізацію проєкту.

5. Виконано розрахунок загального загасання лінії довжиною 303,5м з урахуванням 9 нероз'ємних з'єднань. Визначено, що сумарні втрати не перевищують допустимий енергетичний потенціал трансивера, що підтверджує технічну доцільність обраного рішення.

Отже, проєктована волоконно-оптична лінія зв'язку повністю відповідає вимогам до пропускної здатності, стабільності та надійності передавання інформації. Отримані результати можуть бути використані для реалізації практичного впровадження телекомунікаційної інфраструктури на підприємстві. Запропоноване рішення забезпечує довготривалу експлуатацію мережі з мінімальними витратами на обслуговування та високу якість передавання даних.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Волоконна оптика: компоненти, системи передачі, вимірювання — М.: Компанія «Сайрус Системс», 1999. / Іванов А.Б.
2. Волоконно-оптичні мережі / Р.Р. Убайдулаєв / М.: Еко-тренди 2001
3. Andre Girard. Guide to WDM Systems Technology and Testing. — М.: EXFO, 2001.
4. Лінійно-кабельні Споруди Телекомунікацій / проектування / ГБН в.2.2-34620942-002:2015 / (остаточна редакція)
5. Оптичні транспортні мережі / В. Д. Соломенчук, В. А. Мищенко, К. Н. Гура.
6. Технічна специфікація FinMark Utxxx-SM-04-T
7. Інструкція з монтажу Crosver FOCS-SP / ЧЗ Основні технічні характеристики
8. Компанія COSMONOVA BROADCAST / Приватне повідомлення.