



НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ».

# ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ В ПАСИВНИХ ОПТИЧНИХ МЕРЕЖАХ

Дипломний проект



**Виконав:**  
Смоловик Дмитро Євгенійович



**Керівник роботи:**  
Золотарьов Володимир Михайлович



м. Харків – 2026 р.



## ЗРОСТАННЯ ТРАФІКУ ДАНИХ

Щорічне збільшення обсягів передаваних даних у мережах зв'язку зумовлене поширенням відеоконтенту високої якості, хмарних сервісів, IoT-пристроїв та онлайн-додатків.



Зростання обсягів передачі даних



Популярність відео у високій якості



Розвиток хмарних сервісів



Збільшення кількості IoT-пристроїв



# 1 ПАСИВНІ ОПТИЧНІ МЕРЕЖІ АБОНЕНТСЬКОГО ДОСТУПУ

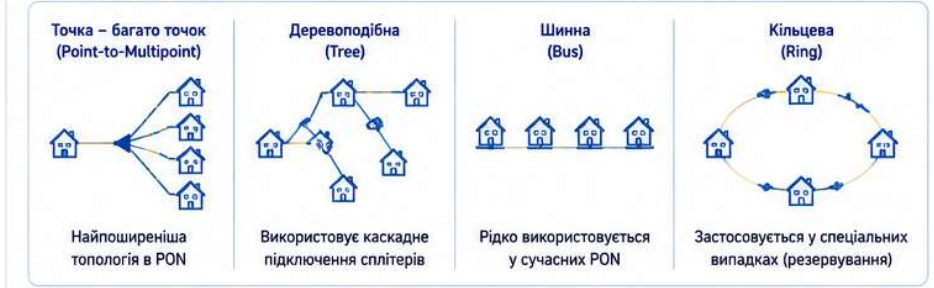
## 1.1 Топологія мереж 7

PON (Passive Optical Network) – архітектура мережі, в якій оптичний сигнал від центрального вузла до абонента передається через пасивні оптичні компоненти без використання активних елементів у розподільчій мережі.

### Типова топологія PON



### Основні типи топології PON



- Переваги топології PON:**
- ✓ Економія оптичного волокна
  - ✓ Низька вартість розгортання і експлуатації
  - ✓ Висока масштабованість
  - ✓ Відсутність активних елементів у розподільчій мережі

! PON – ефективне рішення для побудови сучасних мереж абонентського доступу, що забезпечує високу пропускну здатність, надійність та економічну ефективність.

## 1.2 Обладнання мереж 13



### OLT (Optical Line Terminal)

- Встановлюється у центральному офісі оператора
- Забезпечує керування мережею PON
- Формує та передає оптичний сигнал downstream
- Приймає та обробляє сигнал upstream
- Підтримує управління, моніторинг та QoS



### Оптичний сплітер (Passive Optical Splitter)

- Пасивний компонент, що не потребує живлення
- Розподіляє оптичний сигнал від OLT до ONU/ONT
- Типові коефіцієнти поділу: 1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32, 1:64
- Низькі втрати, висока надійність



### ONU/ONT (Optical Network Unit / Terminal)

- Встановлюється у приміщенні абонента
- Перетворює оптичний сигнал в електричний
- Забезпечує доступ користувача до мережесервісів
- Порти: Ethernet, Wi-Fi, VoIP, IPTV тощо



### Оптичне волокно

- Середовище передачі оптичного сигналу
- Одномодове волокно (SMF) у PON мережах
- Велика пропускну здатність та низькі втрати



### З'єднувальні та монтажні елементи

- Оптичні конектори (SC/APC, LC/APC)
- Муфти, патч-корди, розетки
- Забезпечують надійне з'єднання та зручність обслуговування мережі



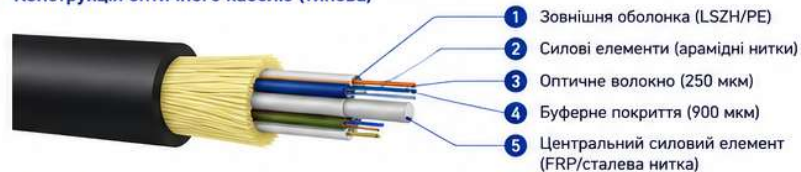
# 2 КАБЕЛІВ АБОНЕНТСЬКОГО ДОСТУПУ

## КОНСТРУКЦІЯ І ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАГІСТРАЛЬНИХ

### 2.1 Оптичні кабелі

Оптичні кабелі абонентського доступу призначені для передавання оптичних сигналів у мережах доступу (FTTH, FTTB, FTTC). Вони відзначаються малою вагою, компактністю та високою гнучкістю.

#### Конструкція оптичного кабелю (типова)



#### Основні типи оптичних кабелів

<p><b>Плоский (Flat)</b></p> <p>2–12 волокон Для внутрішньої прокладки (у приміщеннях, стояках)</p>	<p><b>Круглий (Round)</b></p> <p>4–24 волокна Для зовнішньої та внутрішньої прокладки</p>	<p><b>Дроп-кабель (Drop)</b></p> <p>1–4 волокна Для підключення абонента від опори до будівлі</p>	<p><b>Силовий (ADSS/самонесучий)</b></p> <p>12–144 волокна Для прокладання у повітрі без додаткових опор</p>
---	---	---	--

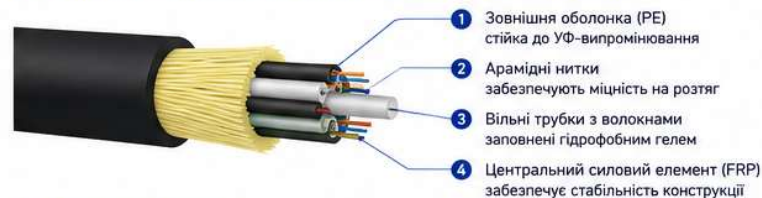
#### Технічні характеристики (типові значення)

Параметр	Значення
Кількість волокон	1 – 144 волокон
Тип волокна	Singlemode (G.652.D, G.657.A1/A2), Multimode (OM3/OM4)
Зовнішній діаметр	2,0 x 3,0 мм (плоский), 4,0 – 12,0 мм (круглий)
Маса кабелю	8 – 120 кг/км (залежно від типу та кількості волокон)
Робоча температура	-40 °C ... +70 °C
Мінімальний радіус вигину	10xD (під час монтажу), 7,5xD (після монтажу)
Загасання волокна (1310/1550 нм)	≤ 0,35 / ≤ 0,22 дБ/км (G.652.D)
Максимальне розтягуюче зусилля	0,6 – 3,0 кН (залежно від конструкції)

### 2.2 Оптичні кабелі для прокладання у повітрі

Повітряні оптичні кабелі застосовуються для прокладання між опорами ЛЕП, між будівлями та спорудами. Вони мають високу механічну міцність та стійкість до зовнішніх впливів.

#### Конструкція повітряного оптичного кабелю (ADSS – самонесучий)



#### Особливості та переваги

<p>Стійкість до погодних умов та УФ-випромінювання</p>	<p>Висока механічна міцність</p>	<p>Мала вага, відсутність металевих елементів (ADSS)</p>	<p>Простота монтажу на опорах ЛЕП</p>	<p>Висока пропускна здатність та надійність</p>
--	----------------------------------	--	---------------------------------------	---

#### Технічні характеристики повітряних оптичних кабелів

Параметр	Значення (типові)
Кількість волокон	12 – 144 волокон
Зовнішній діаметр	8,0 – 16,0 мм
Маса кабелю	70 – 200 кг/км
Максимальне розтягуюче зусилля (RTS)	5 – 15 кН
Робоча температура	-40 °C ... +70 °C
Максимальна довжина прольоту	80 – 120 м
Загасання волокна (1310/1550 нм)	≤ 0,35 / ≤ 0,22 дБ/км (G.652.D)

#### Схема прокладання у повітрі



Прокладання між опорами ЛЕП без металевих елементів, стійке до електромагнітних впливів.



**Висновок:** Оптичні кабелі абонентського доступу забезпечують надійне та високошвидкісне передавання даних. Вибір типу кабелю залежить від умов прокладання та вимог до мережі.

# 3 ТЕХНОЛОГІЯ ПРОКЛАДАННЯ та монтажу ОПТИЧНОГО КАБЕЛЮ

## 3.1 Прокладання оптичних кабелів

### Способи прокладання

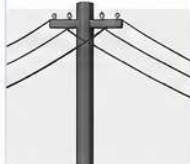
У кабельній каналізації (трубах, колекторах)



У траншеях (безпосередньо в ґрунті)



Повітряне прокладання (на опорах, ЛЕП, фасадах)



Прокладання в будівлях (по стояках, лотках, кабель-каналах)



### Етапи прокладання оптичного кабелю

#### 1 Підготовка траси

- Обстеження маршруту
- Розробка плану
- Підготовка матеріалів і інструментів



#### 2 Розмотування кабелю

- Використання кабельних барабанів
- Контроль радіуса вигину (не менше мінімально допустимого)



#### 3 Прокладання кабелю

- Дотримання допустимих зусиль на кабель
- Захист від механічних пошкоджень
- Кріплення на опорах або в лотках



#### 4 Завершення прокладання

- Герметизація вводів
- Фіксація кінців кабелю
- Оформлення документації



### Основні вимоги та рекомендації

- ✓ Дотримуватись мінімального радіуса вигину кабелю.
- ✓ Уникати перевищення допустимих розтягуючих зусиль.
- ✓ Забезпечити захист кабелю від вологи, гризунів та механічних пошкоджень.
- ✓ Використовувати сигнальну стрічку при прокладанні в ґрунті.
- ✓ Дотримуватись температурних режимів прокладання.

#### Мінімальний радіус вигину (типові значення)

Кабель без навантаження	≥ 10xD
Кабель під час монтажу	≥ 20xD
Кабель довготривало в експлуатації	≥ 10xD
D – зовнішній діаметр кабелю	

### Увага!

Оптичний кабель чутливий до надмірних зусиль, стискання та різких вигинів. Недотримання технології прокладання може призвести до підвищених втрат сигналу або пошкодження волокон.

## 3.2 Монтаж оптичних кабелів

### Етапи монтажу оптичного кабелю

#### 1 Підготовка кабелю



- Зняття зовнішньої оболонки
- Видалення силових елементів
- Очищення волокон

#### 2 Розділення волокон



- Ідентифікація волокон за кольором
- Розподіл по модулях або сплайс-лотках

#### 3 Зварювання волокон (сплайсинг)



- Очищення волокон
- Зварювання на сплайсери
- Контроль якості зварки

#### 4 Захист зварного з'єднання



- Установка гільзи КДЗС
- Термоусадка
- Розміщення в сплайс-лотку

#### 5 Укладання кабелю в муфту/бокс



- Фіксація кабелю
- Укладання запасу волокна
- Герметизація муфти/боксу

#### 6 Тестування лінії



- Вимірювання оптичних параметрів (OTDR)
- Перевірка рівня втрат
- Оформлення результатів

### Типи з'єднань волокон

#### Зварне з'єднання (рекомендоване)



- Виська надійності
- Довговічність

#### Механічне з'єднання (конекторне)



- Швидкий монтаж/демонтаж
- Вищі втрати (0,2-0,5 дБ)
- Зручність обслуговування

### Необхідні інструменти та матеріали



Сплайсер



Стрипер для оптичного кабелю



Кевларові ножиці



Ізопропіловий спирт та серветки



Гільзи КДЗС та термоусадка



OTDR / Оптичний тестер



### Важливо!

- Дотримуйтесь чистоти робочого місця та оптичних елементів.
- Не торкайтесь торців волокон пальцями.
- Використовуйте тільки якісні витратні матеріали та інструменти.
- Після монтажу обов'язково перевіряйте лінію оптичним тестером.

# 4 МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ ТРАКТІВ

## 4.1. Оптичні технології з використанням часового мультиплексування (TDM)

TDM (Time Division Multiplexing) – технологія, при якій декілька незалежних оптичних потоків об'єднуються в один шляхом почергової передачі їх у різні часові інтервали.

### Принцип роботи



### Характеристики

- ✓ Об'єднання потоків у часовій області.
- ✓ Потребує високошвидкісних електронних компонентів.
- ✓ Ефективне для мереж доступу та систем з помірною кількістю каналів.
- ✓ Приклад: SONET/SDH, OTN, Ethernet TDM (CPRI, OBSAI).

### Переваги

- Відносно проста реалізація.
- Сумісність з існуючими системами.
- Гнучке виділення смуги пропускання.

### Недоліки

- Обмежена масштабованість швидкості.
- Затримки, пов'язані з буферизацією.
- Не використовує спектральні ресурси.

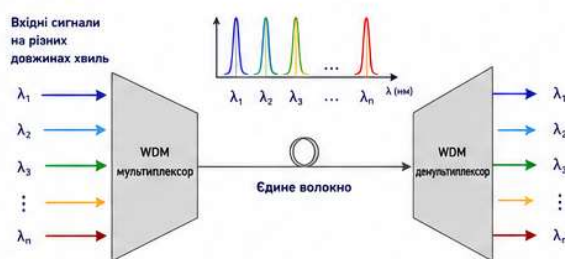
### Типові сфери застосування



## 4.2. Хвильове мультиплексування в оптичних системах передавання (WDM)

WDM (Wavelength Division Multiplexing) – технологія, при якій декілька оптичних сигналів передаються одночасно по одному волокну на різних довжинах хвиль (кольорах).

### Принцип роботи



### Типи WDM

Тип	Діапазон	Кількість каналів	Крок каналів	Призначення
CWDM	1270–1610 нм	4–18	20 нм	Доступ, Metro
DWDM	1528–1565 нм	40–160+	50/100 ГГц (0,4/0,8 нм)	Metro, Long-haul
UDWDM	Широкий діапазон (S+C+L)	160+	Гнучкий	Магістральні мережі нового покоління

### Переваги

- Дуже висока пропускна здатність.
- Масштабованість без прокладання нового волокна.
- Ефективне використання оптичного спектра.

### Недоліки

- Вища вартість обладнання.
- Вимоги до точності стабільності довжин хвиль.
- Чутливість до нелінійних ефектів.

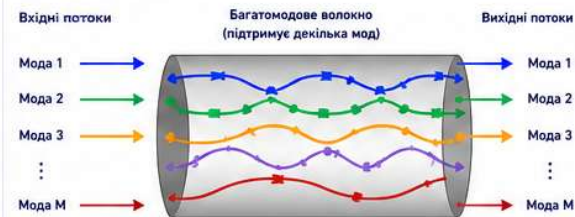
### Типові сфери застосування



## 4.3. Модове мультиплексування

Модове мультиплексування (MDM, Mode Division Multiplexing) – технологія, при якій декілька незалежних потоків передаються одночасно в різних модах (просторових каналах) одного волокна.

### Принцип роботи



### Основні підходи

**SDM (Spatial Division Multiplexing)** в декількох просторових каналах (модах) одного волокна.



**FMF (Few-Mode Fiber)** використання волокон, що підтримують обмежену кількість мод (2–6).



### Переваги

- Значне підвищення пропускної здатності без збільшення смуги частот.
- Перспективне рішення для мереж наступного покоління.
- Сумісне з WDM для мультиплексування в декількох вимірах.

### Недоліки

- Складніший передавач/приймач (потрібні MIMO-обробка сигналів).
- Вищі вимоги до волокон та з'єднань.
- Обмежена комерційна доступність на сьогодні.

### Типові сфери застосування



**Висновок:** Комбінація різних методів мультиплексування (TDM, WDM, MDM) дозволяє багаторазово підвищити інформаційно-пропускну здатність волоконно-оптичних трактів без прокладання додаткових волокон, що є ключовим фактором розвитку сучасних і майбутніх мереж зв'язку.

## 4.4 Волокна для систем мовового мультиплексування

Для MDM використовуються спеціальні волокна, що підтримують поширення багатьох просторових мод з низькою міжмодовою взаємодією.

### Типи волокон

Тип волокна	Поперечний переріз	Приклад розподілу мод	Кількість підтримуваних мод (типово)
Ступінчасте багатомодове (SI-MMF)			10 – 100
Градієнтне багатомодове (GI-MMF)			10 – 100
Кільцеве серцевина (RCF)			10 – 100
Волокно з депресією показника (IDF)			> 100
Багатомодове з низькою міжмодовою взаємодією (LC-MMF)			> 100

### Ключові вимоги до волокон для MDM

- ✓ Висока міжмодова ізоляція
- ✓ Низькі втрати та дисперсія між модами
- ✓ Стабільність параметрів по довжині
- ✓ Підтримка великої кількості мод на робочих довжинах хвиль

### Переваги MDM з використанням спеціальних волокон

- Значне збільшення пропускної здатності без розширення смуги частот
- Сумісність з існуючими системами WDM
- Потенціал для подальшого масштабування ємності мереж

## 4.5 Мовові конвертери та мультиплексори

Пристрої для перетворення модових станів та об'єднання/розділення модових каналів.

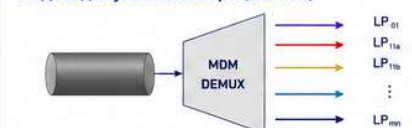
### Модові конвертери



### Модові мультиплексори (MUX)



### Модові демультиплексори (DEMUX)



### Переваги

- Ефективне об'єднання великої кількості модових каналів
- Гнучкість у конфігурації систем
- Підвищення спектральної та просторової ефективності

### Недоліки

- Складність вирівнювання мод
- Чутливість до вигинів та неоднорідностей
- Висока вартість компонентів

## 4.6 Поляризаційне мультиплексування

Технологія, при якій два незалежних потоки даних передаються одночасно на ортогональних поляризаціях однієї моди.

### Принцип роботи



### Реалізація



### Основні характеристики

Параметр	Значення (типово)
Кількість каналів	2 (X та Y поляризації)
Приріст пропускної здатності	≈ 2x
Додаткове обладнання	PMUX, PDMUX, контролери поляризації
Чутливість до ПМД (PMD)	Середня
Сумісність з WDM	Повна (PDM + WDM)

### Переваги

- Подвоєння пропускної здатності без додаткового волокна та смуги частот
- Відносно низька складність реалізації
- Широко застосовується в сучасних когерентних системах

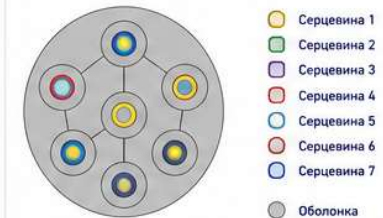
### Недоліки

- Чутливість до поляризаційної дисперсії (PMD)
- Потреба в контролі стану поляризації
- Додаткові оптичні компоненти

## 4.7 Багатосерцевинні оптичні волокна

Волокна, що містять кілька незалежних серцевин в одній оболонці, кожна з яких може передавати окремий сигнал.

### Структура волокна



### Переваги

- ✓ Лінійне зростання ємності (кількість ядер = кількість каналів)
- ✓ Низькі втрати між ядрами
- ✓ Підвищена стійкість до зовнішніх впливів
- ✓ Сумісність з WDM, PDM та іншими технологіями

### Типові конфігурації



### Застосування

- Магістральні та міжміські лінії зв'язку
- ЦОД та мережі надвисокої ємності
- Майбутні системи з ексабітними швидкостями



**Висновок:** Використання методів мультиплексування – мовового, поляризаційного та багатосерцевинного – у поєднанні з WDM/TDM дозволяє багаторазово підвищити інформаційно-пропускну здатність волоконно-оптичних трактів без прокладання додаткових волокон.

# 5

## ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОГО КАБЕЛЮ ТИПУ ОКТ-Д(1,0)П-2x12Е1-24Е1



### 5.1 Економічний ефект

Виготовлення та застосування волоконно-оптичного кабелю типу ОКТ-Д(1,0)П-2x12Е1-24Е1 забезпечує зниження витрат на будівництво та експлуатацію ліній зв'язку порівняно з традиційними мідними кабелями.

Порівняння варіантів побудови лінії зв'язку (на 1 км траси)

Показник	ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИЙ КАБЕЛЬ ОКТ-Д(1,0)П-2x12Е1-24Е1	МІДНИЙ КАБЕЛЬ (аналог) 24Е1 по коаксіальним парам
Ємність лінії	24 Е1 (2x12 Е1)	24 Е1
Вартість кабелю та матеріалів, грн/км	112 000	186 000
Монтажні роботи, грн/км	48 000	86 000
Додаткове обладнання, грн/км	32 000	74 000
Експлуатаційні витрати, грн/(км·рік)	3 500	9 500
Термін служби, років	25–30	10–15
Стійкість до зовнішніх впливів	Висока	Середня/низька

Розрахунок економічного ефекту (для лінії довжиною L = 50 км)

Стаття витрат	ВО кабель, грн	Мідний кабель, грн	Економія, грн
Капітальні витрати (кабель + монтаж + обладнання)	(112 000 + 48 000 + 32 000) × 50 = 9 600 000	(186 000 + 48 000 + 74 000) × 50 = 17 300 000	7 700 000
Експлуатаційні витрати (за 10 років)	3 500 × 50 × 10 = 1 750 000	9 500 × 50 × 10 = 4 750 000	3 000 000
<b>РАЗОМ ЗА 10 РОКІВ</b>	<b>11 350 000</b>	<b>22 050 000</b>	<b>10 700 000 (48,5%)</b>



#### Економічний ефект

Застосування кабелю ОКТ-Д(1,0)П-2x12Е1-24Е1 забезпечує економію приблизно 10,7 млн грн (48,5 %) на 50 км траси протягом 10 років експлуатації за рахунок менших капітальних та експлуатаційних витрат.

#### Додаткові переваги

- ✓ Збільшена пропускна здатність та резервування.
- ✓ Мала маса і габарити, зручність монтажу.
- ✓ Висока надійність і стійкість до завад.
- ✓ Низькі втрати в лінії та вартість обслуговування.

### 5.2 Інтегральний показник конкурентоспроможності

Для комплексної оцінки конкурентоспроможності кабелю використовуємо метод інтегрального показника, що враховує основні технічні та економічні критерії.

Критерії оцінювання та їх вагомість

№	Критерій	Позначення	Вага, $w_i$
1	Пропускна здатність	$K_1$	0,25
2	Надійність та стійкість	$K_2$	0,20
3	Вартість володіння (ТСО)	$K_3$	0,25
4	Простота монтажу та експлуатації	$K_4$	0,15
5	Термін служби	$K_5$	0,15
			$\sum w_i = 1,00$

#### Нормування критеріїв

Оцінка кожного варіанта за критерієм  $g_{ij}$  за шкалою від 0 до 1, де 1 – найкраще значення.



Оцінка кабелю ОКТ-Д(1,0)П-2x12Е1-24Е1 та аналога

Критерій	Позначення	Вага $w_i$	Оцінка $g_{ij}$		Зважена оцінка $w_i \cdot g_{ij}$	
			ОКТ-Д(1,0)П-2x12Е1-24Е1	Мідний кабель (аналог)	ВО кабель	Мідний кабель
Пропускна здатність	$K_1$	0,25	1,00	0,50	0,250	0,125
Надійність та стійкість	$K_2$	0,20	0,95	0,60	0,190	0,120
Вартість володіння (ТСО)	$K_3$	0,25	0,90	0,40	0,225	0,100
Простота монтажу та експлуатації	$K_4$	0,15	0,90	0,50	0,135	0,075
Термін служби	$K_5$	0,15	1,00	0,60	0,150	0,090
<b>Інтегральний показник <math>K_{int}</math></b>					<b>0,950</b>	<b>0,510</b>



#### Висновок

Інтегральний показник конкурентоспроможності кабелю ОКТ-Д(1,0)П-2x12Е1-24Е1 становить  $K_{int} = 0,950$ , що значно перевищує показник мідного кабелю-аналога ( $K_{int} = 0,510$ ). Отже, виготовлення та застосування даного волоконно-оптичного кабелю є технічно доцільним та економічно вигідним рішенням.



**Загальний висновок:** Кабель ОКТ-Д(1,0)П-2x12Е1-24Е1 забезпечує високу інформаційно-пропускну здатність, надійність та значну економію витрат на будівництво й експлуатацію волоконно-оптичних ліній зв'язку, що підтверджує його конкурентоспроможність.

# 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Метою охорони праці є збереження життя та здоров'я працівників під час виготовлення та монтажу волоконно-оптичних кабелів, а також мінімізація впливу виробничої діяльності на навколишнє середовище.

## 6.1 ОХОРОНА ПРАЦІ

**Основні небезпечні та шкідливі фактори**



**Електричний струм**  
ризик ураження при роботі з електрообладнанням



**Механічні травми**  
порізи, проколи, удари інструментом, уламками волокон



**Пил та мікрочастинки**  
можливе подразнення дихальних шляхів та очей



**Хімічні речовини**  
клеї, розчинники, гелі можуть викликати подразнення шкіри



**Недостатнє освітлення**  
перевтома очей, зниження уваги

**Заходи безпеки**

- Організаційні заходи**  
Інструктажі з охорони праці, допуск до робіт, навчання персоналу, наявність інструкцій та журналів з охорони праці. Дотримання технологічних регламентів.
- Технічні заходи**  
Використання справного обладнання з заземленням, огороження рухомих частин, місцева витяжна вентиляція, достатнє освітлення робочих зон.
- Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)**  
Захисні окуляри, рукавички (антистатичні та захисні), спецодяг, захисне взуття, респіратори при роботі з пилом та хімічними речовинами.
- Пожежна безпека**  
Наявність вогнегасників, заборона куріння, справна електропроводка, дотримання правил зберігання легкозаймистих речовин.

**Вимоги до робочих місць**



Температура повітря  
18 – 25 °С



Відносна вологість повітря  
40 – 60 %



Освітленість робочої поверхні  
не менше 300 лк



Повітрообмін відповідно до санітарних норм



Рівень шуму  
не більше 80 дБА

**Пам'ятайте!**

- Дотримуйтесь інструкцій та правил безпеки.
- Використовуйте справне обладнання та засоби захисту.
- У разі нещасного випадку негайно повідомте керівника та надайте першу допомогу.

## 6.2 ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

**Основні екологічні аспекти**

- Викиди в атмосферне повітря**  
Пил при різанні та обробці матеріалів, пари розчинників та клеїв.
- Скиди у водні об'єкти**  
Можливе потраплення хімічних речовин при неправильній утилізації.
- Відходи виробництва**  
Обрізки оболонки кабелю, пластик, залишки матеріалів, використана упаковка.
- Шумове забруднення**  
Шум від роботи екструдерів, тягучих машин та іншого обладнання.
- Споживання енергоресурсів**  
Використання електроенергії для обладнання та систем освітлення.



**Заходи щодо захисту довкілля**

- Встановлення систем місцевої витяжної вентиляції та фільтрів.
- Застосування екологічно безпечних матеріалів та клеїв на водній основі.
- Раціональне використання сировини та матеріалів, мінімізація відходів.
- Сортування та передача відходів на повторне використання або переробку.
- Безпечне зберігання та утилізація хімічних речовин відповідно до норм.
- Енергоефективне обладнання та регулярне технічне обслуговування.
- Дотримання природоохоронного законодавства та екологічних норм.

**Поводження з відходами**

Вид відходів	Приклади	Клас небезпеки	Спосіб утилізації
Пластикові відходи	Обрізки оболонки кабелю, стяжки, ізоляційні матеріали	IV (малонебезпечні)	Передача на переробку, повторне використання
Металеві відходи	Дріт, металеві елементи конструкції	IV (малонебезпечні)	Здача в пункти прийому металобрухту
Хімічні відходи	Залишки клеїв, розчинників, гелів	III (помірно небезпечні)	Зберігання в тарі, передача спеціалізованим організаціям
Паперові відходи	Упаковка, документація	IV (малонебезпечні)	Здача на переробку

**Наш принцип:** Безпечні умови праці для людей – чисте виробництво для довкілля – стійкий розвиток для майбутнього.

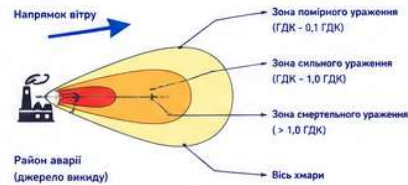





# 7 ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ

## 7.1 Характеристика осередка хімічного ураження

Осередок хімічного ураження (ОХУ) – територія, в межах її в результаті застосування (аварійного викиду) отруйних хімічних речовин (ОХР) відбулося ураження людей, сільськогосподарських тварин, рослинності та руйнування (пошкодження) об'єктів.

### Основні елементи осередка хімічного ураження



### Параметри, що характеризують осередок

Параметр	Позначення	Одиниця виміру	Зміст
Площа осередку	S	км <sup>2</sup>	Площа території, на якій спостерігається зараження
Глибина осередку	Г	км	Відстань від джерела до межі осередку по осі хмар
Ширина осередку	Ш	км	Максимальна ширина осередку перпендикулярно осі хмар
Площа зони смертельного ураження	S <sub>1</sub>	км <sup>2</sup>	Площа зони з концентрацією ОХР, що спричиняє смертельне ураження
Площа зони сильного ураження	S <sub>2</sub>	км <sup>2</sup>	Площа зони з концентрацією ОХР, що спричиняє важкі ураження
Площа зони помірного ураження	S <sub>3</sub>	км <sup>2</sup>	Площа зони з концентрацією ОХР, що спричиняє легкі ураження

### Фактори, що впливають на розмір осередку

- Вид і кількість небезпечної хімічної речовини
- Метеорологічні умови (напрямок і швидкість вітру, температура повітря, інверсія)
- Рельєф місцевості та характер підстильної поверхні
- Час доби та пори року

**Небезпека!** При потрапінні в осередок хімічного ураження необхідно негайно використовувати засоби індивідуального захисту, залишити небезпечну зону у напрямку, перпендикулярному до напрямку вітру, та надати першу допомогу при ураженні.

## 7.2 Вплив на людей і будівлі уражальних чинників ядерного вибуху

Ядерний вибух супроводжується дією комплексу уражальних чинників.

### Уражальні чинники та їх вплив

Уражальний чинник	Характеристика впливу на людей	Характеристика впливу на будівлі та гаспоруди
Світлове випромінювання	Опінки шкіри та очей різного ступеня, тимчасове або стійке ослаблення	Пожарі, опіки та руйнування відкритих конструкцій, пошкодження обладнання
Ударна хвиля	Контузії, травми, баротравми, ураження внутрішніх органів	Руйнування та пошкодження будівель, споруд, комунікацій, обладнання
Проникаюча радіація	Проникнення хвороба, ураження кровоносних органів, підвищення ризику онкозахворювань	Не впливає безпосередньо, але створює радіаційне зараження місцевості, предметів, води
Радіоактивне зараження місцевості	Внутрішнє опромінення при вдиханні, через їжу та воду; зронічні захворювання	Забруднення поверхонь, води, ґрунту; вимагає спеціальної обробки
Електромагнітний імпульс (ЕМІ)	Порушення роботи нервової системи (при впливі високої напруги)	Виведення з ладу електронної апаратури, систем зв'язку, норування та енергопостачання

### Зони руйнувань і уражень (орієнтовні радіуси)

Зона	Надлишковий тиск у фронті ударної хвилі	Характер руйнувань
Повних руйнувань	≥ 50 кПа	Повне руйнування всіх будівель
Сильних руйнувань	20 – 50 кПа	Сильні руйнування капітальних будівель
Середніх руйнувань	10 – 20 кПа	Часткові руйнування будівель
Слабких руйнувань	5 – 10 кПа	Легкі пошкодження будівель
Легких пошкоджень	3 – 5 кПа	Пошкодження вікон, дверей, покриттів

**Важливо!** Найбільш небезпечним для життя людей є поєднання ударної хвилі та радіаційного зараження місцевості.

## 7.3 Визначення місця розташування об'єкта у відповідній зоні забруднення

Визначення зони забруднення проводиться за картою прогнозованого радіоактивного забруднення за результатами розрахунків.

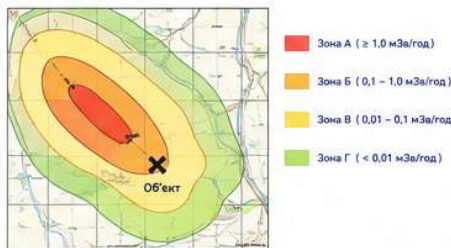
### Зони радіаційного забруднення

Зона	Потужність дози гамма-випромінювання (ПД), мЗв/год	Рівень забруднення	Характеристика
Зона А	ПД ≥ 1,0	Сильне	Небезпечна для перебування людей без ЗІЗ та укриттів
Зона Б	0,1 ≤ ПД < 1,0	Помірне	Перебування обмежене у часі
Зона В	0,01 ≤ ПД < 0,1	Слабке	Допустиме перебування із дотриманням заходів
Зона Г	ПД < 0,01	Незначне	Обмежень для перебування немає

### Алгоритм визначення місця об'єкта на карті забруднення

- Отримати карту прогнозованого радіоактивного забруднення.
- Визначити координати (місцезнаходження) об'єкта на карті.
- Виміряти або взяти з карти потужність дози гамма-випромінювання (ПД) у точці об'єкта.
- Віднести об'єкт до відповідної зони (А, Б, В або Г) згідно з таблицею.
- Визначити необхідні заходи захисту для даної зони.

### Приклад визначення



**Висновок:** Об'єкт розташований у зоні \_\_\_ (вказати зону) з потужністю дози гамма-випромінювання \_\_\_ мЗв/год.

## 7.4 Розробка пропозицій щодо захисту різних категорій населення, особового складу, що опинилися в зоні радіаційного забруднення місцевості

Захист населення та особового складу здійснюється з урахуванням рівня радіаційного забруднення та категорії осіб.

### Основні заходи захисту

- Укриття населення**  
Використання захисних споруд, підвалів, заглиблених приміщень. Зменшує дозу опромінення в 10–100 разів.
- Обмеження часу перебування**  
Скорочення часу перебування на відкритій місцевості відповідно до рівня забруднення.
- Застосування засобів індивідуального захисту**  
Респиратори, протигаз, захисний одяг для запобігання внутрішньому опроміненню.
- Йодна профілактика**  
Приймання препаратів стабільного йоду для захисту щитоподібної залози від радіоактивного йоду.
- Санітарна обробка та дезактивація**  
Обробка шкіри, одягу, взуття, техніки та поверхонь для зменшення забруднення.
- Інформування населення**  
Своєчасне оповіщення про обстановку, рекомендації щодо дій та заходи безпеки.

### Рекомендації для різних категорій населення

Категорія	Рекомендовані заходи
Населення (діти)	Негайне укриття, йодна профілактика, обмеження перебування на відкритій місцевості, контроль харчування та питної води.
Населення (дорослі)	Укриття, використання ЗІЗ, дотримання режиму перебування, санітарна обробка.
Особовий склад	Виконання завдань у ЗІЗ, дозиметричний контроль, чергування, ротация особового складу.
Медичний персонал	Робота у захисних засобах, профілактика та лікування, контроль опромінення.

**Пам'ятайте!** Дотримання заходів захисту значно знижує ризик опромінення та зберігає життя і здоров'я людей.

**Загальні принципи цивільного захисту:**

- попередження та своєчасне оповіщення;
- захист населення та територій;

- ліквідація наслідків надзвичайних ситуацій;
- навчання населення діям у НС.

**Головне завдання – збереження життя і здоров'я людей, зменшення наслідків надзвичайних ситуацій та швидке відновлення нормальних умов життєдіяльності.**

# ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЄКТУ

## Впровадження WDM-PON для підвищення пропускної здатності мережі



### ВИСОКА ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

Оптимізація витрат на мережеву інфраструктуру та експлуатацію при значному зростанні пропускної здатності та якості сервісів.



### ЗНИЖЕННЯ ВИТРАТ НА МОДЕРНІЗАЦІЮ

- ✓ Використання технології WDM-PON дозволяє передавати більше даних по одному волокну.
- ✓ Скорочення потреби в прокладанні нових кабельних ліній та встановленні додаткового обладнання.



### ВИКОРИСТАННЯ ІСНУЮЧОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

- ✓ Використання наявної оптичної інфраструктури (ОБ, розгалужувачі, кабельна каналізація).
- ✓ Заміна лише активного обладнання (OLT, ONT) без зміни пасивної мережі.



### ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ

- ✓ Масштабоване рішення для зростаючих вимог абонентів.
- ✓ Підтримка нових поколінь сервісів (4K/8K, VR/AR, IoT, хмарні сервіси).
- ✓ Підвищення конкурентоспроможності оператора та лояльності клієнтів.

### ПОРІВНЯННЯ ВИТРАТ НА МОДЕРНІЗАЦІЮ МЕРЕЖІ

для збільшення пропускної здатності в 4 рази (умовний приклад)



### ЕКОНОМІЯ ТА ПОВЕРНЕННЯ ІНВЕСТИЦІЙ



Економія на капітальних витратах (CAPEX) **-62%**  
(350 тис. \$)



Економія на експлуатаційних витратах (OPEX) щорічно **-25%**  
(≈15 тис. \$/рік)



Орієнтовний термін окупності інвестицій (Payback Period) **1,5 – 2 роки**



Чистий приведений дохід (NPV) за 5 років **+320 тис. \$**



Внутрішня норма прибутковості (IRR) **> 35%**



### КЛЮЧОВИЙ ЕФЕКТ

WDM-PON забезпечує значне зростання пропускної здатності мережі при мінімальних інвестиціях та швидкому поверненні витрат.

### ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ WDM-PON



Підтримка зростаючого трафіку – готовність мережі до збільшення навантаження в 10–40 разів.



Підтримка сучасних сервісів – 4K/8K відео, хмарні послуги, онлайн-ігри, IoT, розумний дім.



Гнучкість та масштабованість – можливість поступового розширення без значних капіталовкладень.



Підвищення задоволеності абонентів – стабільна якість послуг та вища швидкість доступу.



Конкурентна перевага – сучасна мережа забезпечує залучення нових клієнтів та збільшення доходів.

### ЕТАПИ ВПРОВАДЖЕННЯ



### ПІДСУМОК



Зниження витрат на модернізацію до **62%**



Швидке повернення інвестицій – **1,5–2 роки**



Висока рентабельність: **IRR > 35%**



Готовність мережі до майбутніх вимог та зростання трафіку

# ВИСНОВКИ

Дослідження та впровадження технології WDM-PON для підвищення пропускної здатності мережі



## 1. ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ



**Проаналізовано сучасні технології PON:** GPON, XG-PON, NG-PON2 та технологію WDM-PON, їх принципи роботи та особливості.



**Обґрунтовано переваги WDM-PON:** висока пропускна здатність, ефективне використання спектру та масштабованість.



**Виконано порівняльний аналіз технологій:** GPON, XG-PON та NG-PON2 за швидкістю, ефективністю, масштабованістю та підтримкою сервісів.



**Отримано практичні результати:** збільшення пропускної здатності в мережі до 16 разів, підвищення ефективності використання спектру до 75%.



**Підтверджено економічну ефективність:** зниження витрат на модернізацію до 62% та швидке повернення інвестицій (1,5–2 роки).



**Забезпечено належний рівень охорони праці та безпеки** при роботі з оптичним обладнанням.



## 2. ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ ПРОЕКТУ



**Покращення якості послуг для абонентів:** підтримка 4K/8K відео, хмарних сервісів, онлайн-ігор, IoT та інших сучасних застосунків.



**Економія ресурсів оператора:** використання існуючої інфраструктури та кабельної мережі дозволяє зменшити капітальні та операційні витрати.



**Зростання пропускної здатності мережі** без необхідності повної заміни обладнання.



**Підвищення надійності та безпеки мережі** завдяки сучасним технологіям передачі та резервуванню каналів.



**Підвищення конкурентоспроможності** оператора на ринку телеком-послуг.



**Екологічна ефективність:** зменшення енергоспоживання та використання ресурсів при модернізації мережі.



## 3. ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ



**Масштабування мережі WDM-PON** для забезпечення ще вищої пропускної здатності (понад 40 Гбіт/с).



**Інтеграція з новими сервісами:** VR/AR, 8K відео, хмарні обчислення, розумний дім, індустрія 4.0.



**Поеднання з мобільними мережами 5G/6G** для створення єдиної високошвидкісної інфраструктури.



**Розвиток оптичних технологій:** впровадження нових стандартів NG-PON2, TWDM-PON та гнучких архітектур.



**Автоматизація та інтелектуальне управління** мережею для оптимізації трафіку та підвищення ефективності.



**Створення основи для майбутніх поколінь** мереж з максимальною пропускною здатністю та гнучкістю.



## ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК

Впровадження технології WDM-PON є ефективним рішенням для підвищення пропускної здатності мережі, покращення якості послуг та зниження витрат. Проект має високу практичну цінність і створює надійну основу для розвитку телекомунікаційних мереж нового покоління.



**16x**

зростання пропускної здатності



**75%**

ефективність використання спектру



**62%**

зниження витрат на модернізацію



**1,5–2 роки**

термін окупності інвестицій

# ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!



## Запитання та обговорення



**ВИСОКА  
ПРОПУСКНА ЗДАТНІСТЬ**

Підтримка швидкісних  
сервісів та зростаючих  
потреб користувачів



**МАСШТАБОВАНІСТЬ**

Гнучка архітектура  
для розширення  
мережі



**НАДІЙНІСТЬ**

Стабільна та безпечна  
передача даних



**ГОТОВНІСТЬ  
ДО МАЙБУТНЬОГО**

Технології WDM-PON –  
інвестиція у розвиток

**РАЗОМ БУДУЄМО МЕРЕЖІ МАЙБУТНЬОГО!**

