

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інститут інформатики та радіоелектроніки, факультет радіоелектроніки та  
телекомунікацій  
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра «Захисту інформації»  
(повне найменування кафедри)

## Пояснювальна записка

до магістерської роботи  
(ступінь вищої освіти)

на тему «Аналіз способів захисту інформації  
в волоконно-оптичних лініях зв'язку»

Виконав: студента 6 курсу, групи РТ-719М

Спеціальності 125 - «Кібербезпека»  
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Безпека інформаційних і комунікаційних систем

Лобачов О.Р.  
(прізвище та ініціали)

Керівник Щекотихін О.В.  
(прізвище та ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
**Національний університет «Запорізька політехніка»**  
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет Інститут інформатики та радіоелектроніки, Факультет  
радіоелектроніки та телекомунікацій  
 Кафедра захисту інформації  
 Ступінь вищої освіти магістр  
 Спеціальність 125 – «Кібербезпека»

(код і найменування)

Освітня програма (спеціалізація) Безпека інформаційних і комунікаційних систем  
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри Карпуков Л.М.,**  
**докт. техн. наук, професор**



« 02 » 09 2020 року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТА**

Лобачова Олександра Руслановича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Аналіз способів захисту інформації в волоконно-оптичних лініях зв'язку

керівник проекту (роботи) доцент, КТН Щекотихін Олег В'ячеславович,

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від «06» листопада 2020 року №314

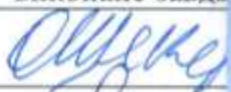
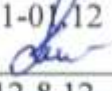

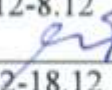

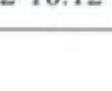

2. Строк подання студентом проекту (роботи) \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до проекту (роботи) розробити волоконно-оптичну лінію зв'язку підвищеної захищеності від несанкціонованого зйому сигналу

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналіз волоконно-оптичної лінії; способи несанкціонованого знімання інформації з волоконно-оптичних ліній зв'язку; методи захисту інформації у волоконно-оптичних лініях; розробка захищеної від НДІ ВОЛЗ; економічне обґрунтування технічної частини; охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 47 рисунків; 16 таблиць; презентація магістерської роботи.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
Основні розділи	доцент, КТН Щекотихін О.В.	01.09-25.11	
Розділ з економіки	доцент, Круглікова В.В.	26.01-01.12 	
Розділ з ОП і НС	доцент, Якімцов Ю.В.	01.12-8.12 	
Нормоконтроль	ст. викладач Корольков Р.Ю	11.12-18.12 	

7. Дата видачі завдання «01» вересня 2020 року.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Прим.
1	Складання та затвердження ТЗ	01.09-14.09	Викон
2	Підбір літератури	15.09-21.09	Викон
3	Огляд волоконно-оптичної лінії зв'язку	22.09-12.10	Викон
4	Аналіз способів несанкціонованого знімання інформації з волоконно-оптичних ліній зв'язку	13.10-25.10	Викон
5	Розробка методів захисту інформації в волоконно-оптичних ліній зв'язку	26.10-10.11	Викон
6	Розробка захищеної від НДІ ВОЛЗ	11.11-24.11	Викон
7	Розрахунок економічного обґрунтування технічної частини	25.11-01.12	Викон
8	Розгляд питань з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	01.12-05.12	Викон
9	Оформлення пояснювальної записки	07.12-8.12	Викон
10	Оформлення графічної частини	08.12-10.12	Викон

Студент

  
(підпис)

Лобачов С  
(прізвище та іні)

Керівник проекту (роботи)

  
(підпис)

Щекотихін О  
(прізвище та іні)

## РЕФЕРАТ

ПЗ: 114 сторінок, 46 рисунків, 16 таблиць, 18 джерел.

Об'єкт дослідження – волоконно-оптична лінія зв'язку (ВОЛЗ).

Мета роботи – розробити волоконно-оптичну лінію зв'язку підвищеної захищеності від несанкціонованого зйому сигналу.

Спочатку ВОЛЗ мають більш високу ступінь захищеності інформації від несанкціонованого доступу, ніж будь-які інші лінії зв'язку, що пов'язано з фізичними принципами поширення електромагнітної хвилі в світловоді. Встановлено, що навіть після формування статичного розподілу поля в волокні, невелика частина розсіяного випромінювання все ж проникає за межі відбиваючої оболонки і може бути каналом витоку інформації, що передається; виявлені способи несанкціонованого доступу; розглянуті основні методи захисту волоконно-оптичного тракту із зазначенням їх недоліків; запропоновано оптимальний спосіб забезпечення захищеності волоконно-оптичної лінії зв'язку від несанкціонованого доступу.

ВОЛОКОННО-ОПТИЧНІ ЛІНІЇ ЗВ'ЯЗКУ, ЗАГАСАННЯ ЛІНІЇ, ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ, ЛАЗЕРНИЙ ДІОД, ЛІНІЙНИЙ РЕГЕНЕРАТОР, ЛІНІЯ ЗВ'ЯЗКУ, НЕСАНКЦІОНОВАНИЙ ДОСТУП, ОПТИЧНЕ ВОЛОКНО, ОПТИЧНИЙ КАБЕЛЬ, ПОРІГ ЧУТЛИВОСТІ, СВІТЛОДІОД.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ І ПОЗНАЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
1 АНАЛІЗ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОЇ ЛІНІЇ ЗВ'ЯЗКУ.....	11
1.1 Дослідження и вибір волоконно-оптичних ліній зв'язку.....	11
1.2 Основи променевої теорії поширення світла в оптоволокні.....	12
1.3 Устрій оптичних світловодів.....	20
2 СПОСОБИ НЕСАНКЦІОНОВАНОГО ЗНІМАННЯ ІНФОРМАЦІЇ З ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ.....	22
2.1 Методи знімання інформації в волоконно-оптичних лініях зв'язку.....	22
2.1.1 Порушення повного внутрішнього відображення.....	22
2.1.2 Зміна кута падіння.....	23
2.1.3 Вплив розтягуванням оптоволокна.....	24
2.2 Реєстрація розсіяного випромінювання.....	24
2.3 Параметричні методи реєстрації випромінювання, що проходить.....	25
2.3.1 Компенсаційний спосіб.....	26
2.3.2 Вплив низьких температур.....	28
2.3.3 Розрив оптоволокна.....	28
2.3.4 Спосіб лінзового фокусування.....	28
3 МЕТОДИ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ В ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ ЛІНІЯХ.....	30
3.1 Особливості ОВ, що перешкоджають НДІ.....	30
3.2 Апаратні засоби захисту інформації в ВОЛЗ.....	32
3.2.1 Захист від несанкціонованого доступу на основі концентраторів.....	35
3.2.2 Концентратори багатосегментні - захист від несанкціонованого доступу.....	35
3.2.3 Логічна структуризація мережі.....	36

3.3	Захист ВОЛЗ на рубіжі ОВ.....	38
3.3.1	Оптичне волокно з поверхневою металізацією.....	38
3.3.2	Багатошарове оптичне волокно.....	40
3.4	Захист інформації на рубежі волоконно-оптичного кабелю.....	41
3.4.1	Особливості методу захисту інформації з використанням вибору волоконно-оптичного кабелю.....	41
3.4.2	Способи захисту інформації від НДІ вибором типу ВОК.....	44
3.5	Захист ВОЛЗ на рубежі прокладки ВОК.....	52
3.5.1	Захист ВОЛЗ шляхом прокладки по лініях електропередачі.....	52
3.5.2	Прокладки в ґрунт.....	55
3.5.3	Прокладка ВОК під водою.....	56
3.6	Захист ВОЛЗ на рубежі оптичних муфт.....	56
3.6.1	Типи оптичних муфт по призначенню.....	57
3.6.2	Конструкції оптичних муфт.....	59
3.6.3	Методи захисту доступу до ОВ в оптичних муфтах.....	61
3.7	Захист ВОЛЗ моніторингом оптичного тракту.....	63
3.7.1	Методи контролю оптичного сигналу на виході ОВ.....	63
3.7.2	Захист лінії зв'язку з використанням аналізатора потужності прийнятого сигналу.....	64
3.7.3	Захист лінії зв'язку з використанням рефлектометричної системи діагностики ВОЛТ.....	65
3.7.4	Оптична рефлектометрія в тимчасовій області (OTDR).....	65
3.8	Захист ВОЛЗ шляхом шифрування з використанням маскуванню інформації.....	70
3.8.1	Принципи оптичного мультиплексування WDM.....	70
3.8.2	Спосіб маскуванню інформації у ВОЛЗ від несанкціонованого доступу.....	72
4	РОЗРОБКА ЗАХИЩЕНОЇ ВІД НДІ ВОЛЗ.....	80
5	ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНІЧНОЇ	85

ЧАСТИНИ.....				
5.1	Планування	розробки	захисту	85
ВОЛЗ.....				
5.2	Побудова		мережевого	86
графіка.....				
5.3	Визначення витрат на проектування і впровадження системи захисту			
ВОЛЗ..... 90				
5.3.1	Розрахунок		заробітної	90
плати.....				
5.3.2	Визначення	витрат	на	91
матеріали.....				
5.3.3	Витрати		на	92
обладнання.....				
5.3.4	Накладні витрати.....			94
5.3.5	Розрахунок		експлуатаційних	95
витрат.....				
6	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ			96
СИТУАЦІЯХ.....				
6.1	Аналіз		потенційних	96
небезпек.....				
6.1.1	Вплив	лазерного	випромінювання	на органи
зору..... 96				
6.1.2	Техніко-гігієнічна	оцінка	лазерних	96
виробів.....				
6.1.3	Класи	небезпеки	лазерного	97
випромінювання.....				
6.2	Вимоги	безпеки	при експлуатації	лазерних
виробів..... 99				
6.2.1	Вимоги	до	розміщення	лазерних
виробів..... 99				
6.2.2	Класифікація	умов	і	характеру
99				

праці.....	
6.2.3 Вимоги безпеки при експлуатації та обслуговуванні лазерних виробів.	100
6.3 Заходи з виробничої санітарії та гігієни праці.....	100
6.3.1 Гігієнічне нормування лазерного випромінювання.....	100
6.3.2 Небезпечні і шкідливі впливи, викликані процесами пайки.....	102
6.3.3 Опис біологічної дії небезпечних і шкідливих речовин, які знаходяться в повітрі робочої зони.....	102
6.3.4 Біологічна дія інфрачервоного випромінювання на організм людини...	104
6.3.5 Визначення інтенсивності ІЧ випромінювання.....	105
6.4 Заходи з пожежної безпеки.....	106
6.5 Заходи по захисту персоналу від лазерного випромінювання.....	110
6.6 Заходи по захисту будівлі від блискавки.....	110
Висновки.....	111
Перелік джерел.....	113
	використаних

**ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ І ПОЗНАЧЕНЬ**

- ВОК – волоконно-оптичний кабель;
- ВОЛЗ – волоконно-оптична лінія зв'язку;
- ВОСП – волоконно-оптична система передачі;
- ЛЗ – лінія зв'язку;
- НДІ – несанкціонований доступ до інформації;
- НЗІ – несанкціоноване знімання інформації;
- ОВ – оптичне волокно;
- ОК – оптичний кабель;
- ПОМ – передавальний оптичний модуль;
- ППЗ – профіль показника заломлення;
- ПРОМ – приймальний оптичний модуль;
- ЦСП – цифрова система передачі.

## ВСТУП

Захист інформації є актуальною проблемою сучасного суспільства, що пов'язано із захистом конфіденційних переговорів, як на комерційному рівні, так і на військовому і державному рівнях. Можливість злому захисту інформації і проникнення до систем секретних зв'язків завдає істотної шкоди державним інтересам. У зв'язку з цим постійне вдосконалення систем захисту інформації є нагальною вимогою кібербезпеки.

Захист інформації ділиться на два етапи:

- захист від проникнення до систем зв'язку і знімання інформації;
- шифрування і кодування конфіденційної інформації.

Величезна частина інформації передається в мережах Інтернет, доступ до якої не становить труднощів і першорядним є її надійне шифрування і кодування. Секретна інформація державного і військового рівня передається по закритих мережах зв'язку, доступ до яких недоступний, а середовище передачі інформації є захищеною.

Останнім часом одним з найбільш перспективних напрямків мережі зв'язку в Україні і в світі є волоконно-оптичні лінії зв'язку (ВОЛЗ). В області систем передачі інформації з великою інформаційною ємністю і високою надійністю роботи ВОЛЗ не мають конкурентів. Це пояснюється тим, що вони значно перевершують дротяні за такими показниками, як пропускна здатність, довжина регенераційної ділянки, а також перешкодозахищеність.

Вважається, що ВОЛЗ, в силу особливостей поширення електромагнітної енергії в оптичному волокні (ОВ), мають підвищену скритність. Це пояснюється тим, що оптичне випромінювання, що є носієм інформації, поширюється в ОВ відповідно до закону повного внутрішнього відображення, а за ОВ електромагнітне випромінювання експоненційно спадає.

Але завжди існує принципова можливість знімання інформації з ОВ оптичного кабелю.

Несанкціонований доступ (НСД) до ВОЛЗ, незважаючи на складність і дорожнечу, все таки можливий. Способи знімання, які можуть бути використані для перехоплення інформації з ВОЛЗ, можна розділити на три групи:

- за способом з'єднання: без дискретний, дискретний, локальний, протяжний;

- за способом реєстрації і підсилювача: пасивні - реєстрація випромінювання з бічної поверхні оптоволокна; активні - реєстрація випромінювання, що виводиться через бічну поверхню оптоволокна за допомогою спеціальних засобів, що змінюють параметри сигналу.

## 1 АНАЛІЗ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОЇ ЛІНІЇ ЗВ'ЯЗКУ

### 1.1 Дослідження и вибір волоконно-оптичних ліній зв'язку

Основні переваги ВОЛЗ наступні:

- відмова від дорогих і дефіцитних кольорових металів, оскільки основу ОВ складають кремній та його сполуки (запаси кольорових металів на планеті обмежені на відміну від кремнію);

- низькі втрати - 0,2 дБ/км і менше, що дозволяє організувати ділянки регенерації довжиною до 100 км і значно скоротити кількість ретрансляторів або зовсім їх не використовувати;

- мала залежність загасання в кабелі від смуги частот. Це дозволяє в оптичних кабелях, які мають багатомодові волокна із ступінчастою зміною профілю показника заломлення (ППЗ), мати ширину смуги пропускання 30-50 МГц/км. У кабелях з плавною зміною ППЗ - 200-300 МГц/км. При використанні одномодових волокон ширина смуги пропускання може досягати 10 ГГц/км і більш. Це дає можливість нарощувати ємність мережі без заміни кабелю і збільшення числа ретрансляторів. Таким чином, використання волоконно-оптичних кабелів (ВОК) дає можливість організації від декількох тисяч до півмільйона телефонних розмов по одному волокну;

- малі розміри і маса ВОК, що дозволяє істотно знизити вартість транспортування і прокладки кабелів, наприклад, в підводних човнах. Вага кілометра одножильного оптичного кабелю трохи більше кілограма. Один ВОК діаметром 10 мм може замінити мідний кабель діаметром кілька сантиметрів;

- висока захищеність від зовнішніх електромагнітних полів. ВОК нічого не випромінює і не сприймає. Оптичний зв'язок не сприйнятливий до будь-яких зовнішніх електричних або електромагнітних завад. У ВОЛЗ не існує проблеми перехресних перешкод;

- ВОК безпечні у вибухонебезпечних середовищах, так як виключають можливість короткого замикання, які існують в металевих кабелях;

- ВОК в порівнянні з електричними кабелями несприйнятливі до високих температурних умов. Непокриті захисними оболонками скляні волокна можуть витримувати температуру до  $1000^{\circ}\text{C}$ ;

- сьогодні вартість сучасних високоякісних коаксіальних кабелів близька до вартості ВОК. Ціна ВОК продовжує постійно зменшуватися з вдосконаленням технології їх виготовлення;

- низька вартість установки і прокладки ВОК в порівнянні з металевими обумовлена тим, що витрати на транспортування і прокладку складають чверть відповідних витрат для металевих кабелів, а трудомісткість вдвічі менше;

- можливість легкого здійснення світлоізоляції одного волокна від іншого;

- стійкість до ударів блискавки;

- відсутність іскріння і загорання;

- висока міцність волокон - граничне навантаження при розтягуванні 7 кг на одне волокно діаметром 125 мкм (проте ОВ крихкий на вигин);

- висока скритність переданої інформації, що обумовлено дуже малою інтенсивністю випромінювання, що розсіюється;

- висока надійність волоконно-оптичних систем передачі інформації (ВОСП), так як забезпечується повна електрична ізоляція приймального і передавального пристроїв, виключається необхідність заземлення електронних схем і можливість виникнення короткого замикання [2].

## 1.2 Основи променевої теорії поширення світла в оптоволокну

Якісний опис процесу поширення хвиль в ОВ дає променева теорія, яка дозволяє також отримати деякі важливі кількісні результати. Більш повний і суворий опис хвиль в ОВ забезпечує теорія електромагнітного поля.

Заломлення світла. Коли промінь світла (рис. 1.1) входить під кутом падіння  $\alpha$  в оптично більш щільне середовище (наприклад, скло або воду) з оптично менш густого середовища (наприклад, повітря), то його напрямок

поширення щодо нормалі до поверхні падіння змінюється, тобто він переломлюється під кутом заломлення  $\beta$ .

Для ізотропних середовищ, тобто матеріалів або речовин, які мають однакові властивості в усіх напрямках, справедливий закон заломлення Снелліуса: ставлення синуса кута падіння  $\alpha$  до синусу кута заломлення  $\beta$  є величиною постійною і також ідентично відношенню  $\frac{c_1}{c_2}$  швидкостей світла  $c_1$  в першому середовищі і  $c_2$  у другому середовищі (рис. 1.2):

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2}, \quad (1.1)$$

де  $\alpha$  – кут падіння;

$\beta$  – кут заломлення;

$c_1$ – швидкість світла в середовищі 1;

$c_2$ – швидкість світла в середовищі 2.

З двох прозорих середовищ оптично більш щільною називається та, в якій швидкість світла менше.



Рисунок 1.1 – Заломлення світла

При переході з вакууму ( $\approx$ повітря), в якому світло поширюється зі швидкістю  $c_0$ , в середу зі швидкістю світла  $c$  має силу співвідношення:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_0}{c} = n \quad (1.2)$$

Відношення швидкості світла  $c_0$  в вакуумі до швидкості світла  $c$  в середовищі називається показником заломлення  $n$  відповідного середовища. Показник заломлення вакууму ( $\approx$ повітря)  $n_0$  дорівнює 1.

Для двох різних середовищ з показниками заломлення  $n_1$  і  $n_2$  і швидкостями світла в них  $c_1$  і  $c_2$  мають силу вираження:

$$c_1 = \frac{c_0}{n_1} \quad \text{і} \quad c_2 = \frac{c_0}{n_2} \quad (1.3)$$

Звідси виводиться інша форма закону заломлення Снелліуса:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} \quad (1.4)$$

Відношення синуса кута падіння до синуса кута заломлення дорівнює зворотному відношенню відповідних показників заломлення.

Показник заломлення  $n$  середовища залежить головним чином від довжини хвилі світла. Для довжин хвиль в інфрачервоному діапазоні, які важливі для оптичного зв'язку з використанням кварцового скла, він постійно зменшується в міру збільшення довжини хвилі [3].

Повне внутрішнє віддзеркалення і його використання в волоконній оптиці. Якщо промінь світла 3 (рис. 1.2) падає на поверхню розділу між оптично щільним середовищем з показником заломлення  $n_1$  і оптично менш щільним середовищем з показником заломлення  $n_2$ , під кутом падіння  $\alpha$ , який все більше збільшується, то при певному значенні кута падіння  $\alpha = \alpha_0$  кут

заломлення  $\beta_0$  стає рівним  $90^\circ$ . В цьому випадку промінь світла 2 поширюється паралельно поверхні розділу двох середовищ. кут падіння  $\alpha_0$  називається критичним (граничним) кутом двох середовищ.

Для критичного кута  $\alpha_0$  має силу наступне відношення:

$$\sin \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1}, \quad (1.5)$$

тобто критичний кут залежить від відношення показників заломлення  $n_1$  і  $n_2$  двох середовищ.

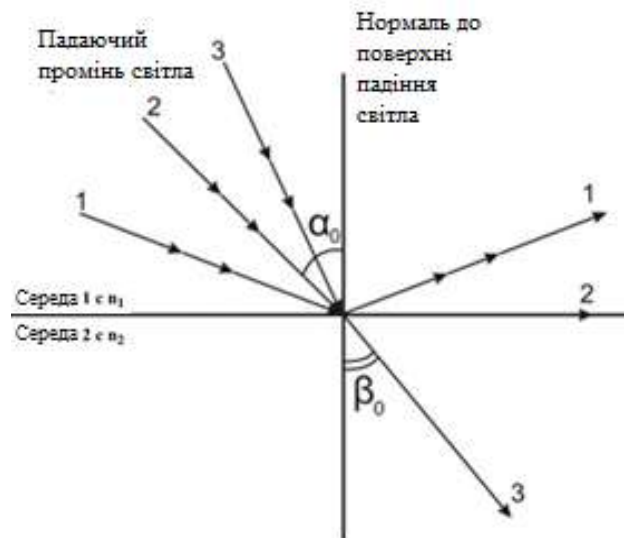


Рисунок 1.2 – Повне внутрішнє віддзеркалення світла:

- 1 - повне внутрішнє відбиття світла;
- 2 - переломлений промінь світла з критичним кутом заломлення  $90^\circ$ ;
- 3 – переломлений промінь світла з кутом заломлення  $\beta_0 < 90^\circ$

У попередній ситуації розглянуто падіння променів на межу розділу двох середовищ з різних точок випромінювання.

Практичний інтерес представляє собою випадок падіння променів на межу розділу двох середовищ з однієї точки під різними кутами, наведений на рис. 1.3. Розглянемо явище падіння променю світла на кордон розділу двох

прозорих діелектричних середовищ з показниками заломлення  $n_1$  і  $n_2$ , причому  $n_1 > n_2$ .

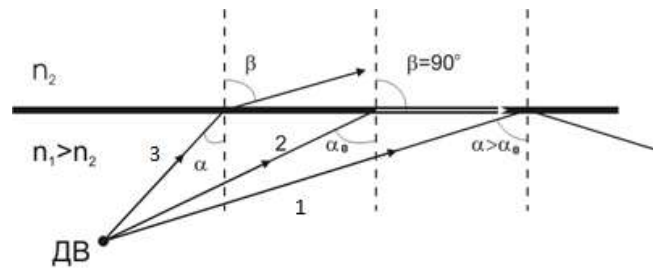


Рисунок 1.3 – Поширення світла при випромінюванні з однієї точки

Точкове джерело випромінювання (ДВ) розташоване з боку середовища 1. Кути:  $\alpha$ , переломлення  $\beta$  і відображення  $\alpha > \alpha_0$  відраховуються від перпендикуляра, який опущений в точку падіння. У загальному випадку кут падіння  $\alpha$  і кут заломлення  $\beta$  (наприклад, для променю 3) пов'язані зі значеннями показників заломлення  $n_1$  і  $n_2$  законом Снелліуса:

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta \quad (1.6)$$

Для якогось кута падіння  $\alpha = \alpha_0$ , який називається критичним, світло не заломлюється в другу середу (промінь 2), а ковзає уздовж кордону розділу. При цьому  $\beta = \pi / 2$ , а  $\sin \alpha_0 = n_2 / n_1$ . При  $\alpha > \alpha_0$  спостерігається режим повного внутрішнього відображення, світло не заломлюється в другу середу, а залишається в першій (промінь 1). Режим повного внутрішнього відображення використовується для каналізації (напрямку) світлових променів в плівкових і круглих волоконних світловодах із ступінчастим профілем показника заломлення.

На рис. 1.4 наведено приклад відображення, яке має практичне використання в волоконній оптиці. Уявіть собі два шари скла, зображених на рис. 1.4 а) Перший шар має показник заломлення 1,48; другий - 1,46. Ці величини є типовими для оптичного волокна. Використовуючи закон Снелліуса, можна обчислити значення критичного кута:

$$\alpha_0 = \arcsin\left(\frac{1,46}{1,48}\right) = 80,6^\circ.$$

Світло, що падає на кордон між  $n_1$  і  $n_2$  під кутом більше ніж  $80,6^\circ$ , буде відобразитися назад у вихідну середу. При цьому кут відображення  $\alpha = 80,6^\circ$  буде дорівнювати куту падіння  $\alpha = 80,6^\circ$ .

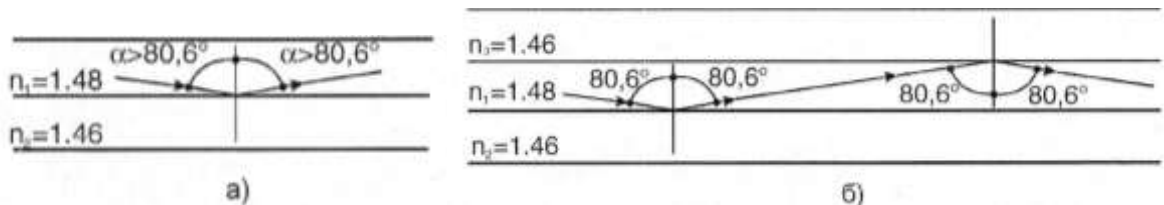


Рисунок 1.4 – Практичний приклад використання відображення скла

На рис. 1.4 б) показаний приклад ланцюжка відображень. Уявіть собі, що третій шар скла, позначений  $n_3$ , з показником заломлення, рівним  $n_2$ , розташований зверху шару матеріалу  $n_1$ . Таким чином, середа  $n_1$  розташована між середовищами  $n_2$  і  $n_3$ . Ми знову маємо ті ж умови для кордонів середовища, що і раніше. Однак в цьому випадку відбитий промінь стає променем, який падає на новий кордон. Критичний кут залишається рівним  $80,6^\circ$ . В результаті промінь, що падає, знову відбивається в вихідне середовище. Луч, відбитий від  $n_3$ , знову повертається і стає падаючим променем для середовища  $n_2$ . Ситуація повторюється. Ми маємо справу з променем, який захоплений між шарами  $n_2$  і  $n_3$ . До тих пір, поки кут падіння більше  $80,6^\circ$ , світло буде повертатися назад. Таким чином, закон Снелліуса показує на даному спрощеному прикладі, що відображення завжди виконується. Світло буде поширюватися вздовж шару вихідного середовища завдяки повному внутрішньому віддзеркаленню, поки не дійде до кінця середи  $n_1$  [3].

Аналогічний принцип лежить в основі роботи оптичного волокна. Основна відмінність полягає в тому, що волокно має циліндричну форму, так що середовище  $n_1$  оточує середа  $n_2$  з усіх сторін.

Ефект повного внутрішнього відображення створюється в оптичних хвилеводах за рахунок того, що всередині світловоду є «скляна серцевина» з

показником заломлення  $n_1$  і навколо неї - «скляна оболонка» з показником заломлення  $n_2$ , при цьому  $n_1$  трохи більше ніж  $n_2$  (рис. 1.5)

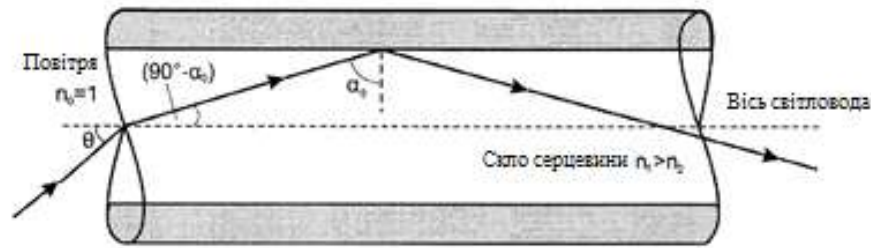


Рисунок 1.5 – Поширення світла в оптичному волокні

З умови  $\sin \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1}$  випливає, що всі промені, які відхиляються від осі світловода на кут не більше  $(90^\circ - \alpha_0)$ , або на кут повного внутрішнього відображення, будуть поширюватися в сердцевині.

Для того, щоб ввести світло зовні (повітря з показником заломлення  $n_0 = 1$ ) в сердцевину, кут введення  $\theta$  між променем світла і віссю світловода можна визначити відповідно до закону заломлення:

$$\frac{\sin \theta}{\sin(90^\circ - \alpha_0)} = \frac{n_1}{n_0}, \quad (1.7)$$

Випливає

$$\sin \theta = n_1 \cos \alpha_0 = n_1 \sqrt{1 - \sin^2 \alpha_0} \quad (1.8)$$

За умови дотримання вимоги щодо критичного кута  $\sin \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1}$ , результат буде таким:

$$\sin \theta = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (1.9)$$

Максимально можливий кут введення променів на торець світловода  $\theta$  називається вхідною кутовою апертурою світловода. Вона залежить тільки від двох показників заломлення:  $n_1$  і  $n_2$ . Синус вхідної кутової апертури називається числовою апертурою NA світловода:

$$NA = \sin \theta \quad (1.10)$$

Ця величина дуже важлива для введення світла в волоконний світловод. На рис. 1.6 зображені траєкторії променів, падаючих під різними кутами на вхідний торець найпростішого ОВ, складеного з двох концентричних шарів діелектрика - з серцевини з показником заломлення  $n_1$  і оболонки з показником  $n_2$  ( $n_1 > n_2$ ).

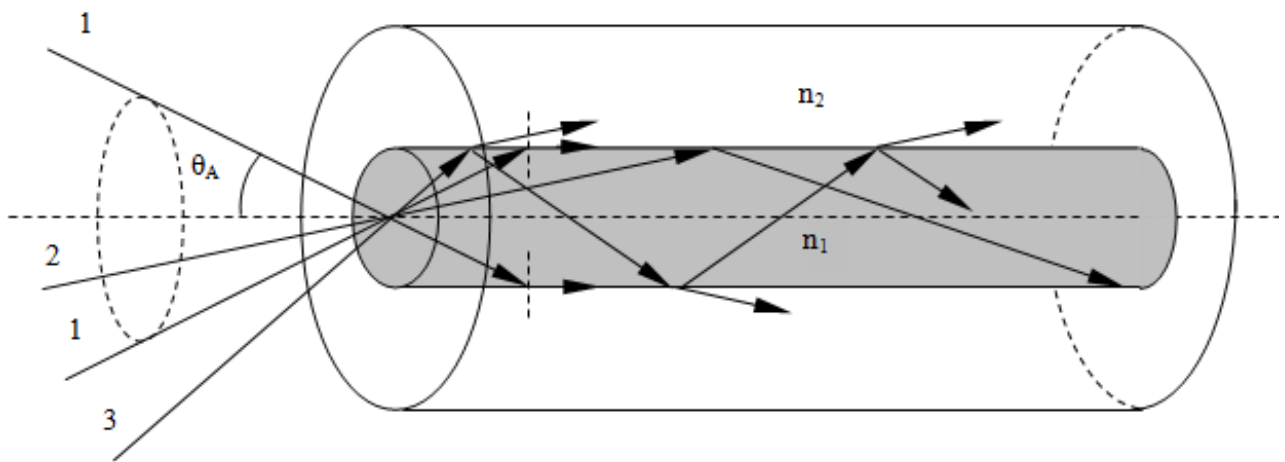


Рисунок 1.6 – Поширення світла в оптичному волокні

Першому променю відповідає кут  $\theta_A$ , при якому промінь входячи в серцевину ОВ падатиме на кордон розділу діелектриків під критичним кутом  $\alpha_0$ . Кут  $\theta_A$  називається апертурним кутом, його величина визначається із закону заломлення для вхідного торця ОВ:

$$n_0 \sin \theta_A = n_1 \sin(90^\circ - \alpha_0), \quad (1.11)$$

де  $n_0$  – показник заломлення середовища, що межує з вхідним торцем ОВ, для повітря  $n_0=1$ .

За (1.10) з урахуванням (1.11) вводиться так зване апертурне число:

$$NA = n_0 \sin \theta_A = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (1.12)$$

При обертанні променя 1 навколо осі ОВ утворюється конус, який називається апертурним конусом. Умовою поширення променів в ОВ є їхнє потрапляння всередину апертурного конуса (промінь 2,  $\theta < \theta_A$ ). В цьому випадку для променів в серцевині ОВ буде виконуватися умова повного внутрішнього відображення, так як  $\alpha > \alpha_0$ . При цьому промені послідовно перевідображаючись від кордону розділу діелетриків будуть поширюватися по світловоду на великі відстані. Якщо промені не потрапляють всередину апертурного конуса (промінь 3,  $\theta > \theta_A$ ), то в ОВ умову повного внутрішнього відображення не буде виконано, так як  $\alpha < \alpha_0$ . В цьому випадку в процесі перевідбиття падаючих променів з'являться заломлені промені, які будуть передавати частину оптичної енергії в оболонку, що призведе до швидкого загасання енергії променів в серцевині світловода.

### 1.3 Устрій оптичних світловодів

Оптичне волокно являє собою тонку прозору діелектричну нитку (скло, пластмаса), в якій є дві області (рис. 1.7). Центральна область 1 - називається світлонесуча серцевина з показником заломлення  $n_1$ ; її оточує світловідображаюча оболонка 2 з показником заломлення  $n_2$ . У волокнах, які в основному використовуються для зв'язку, обидві області виконані з кварцового скла ( $\text{SiO}_2$ ) і відрізняються тільки значенням показника заломлення. Для забезпечення світловодних (напрямних) властивостей, необхідним є дотримання умови  $n_1 > n_2$ .

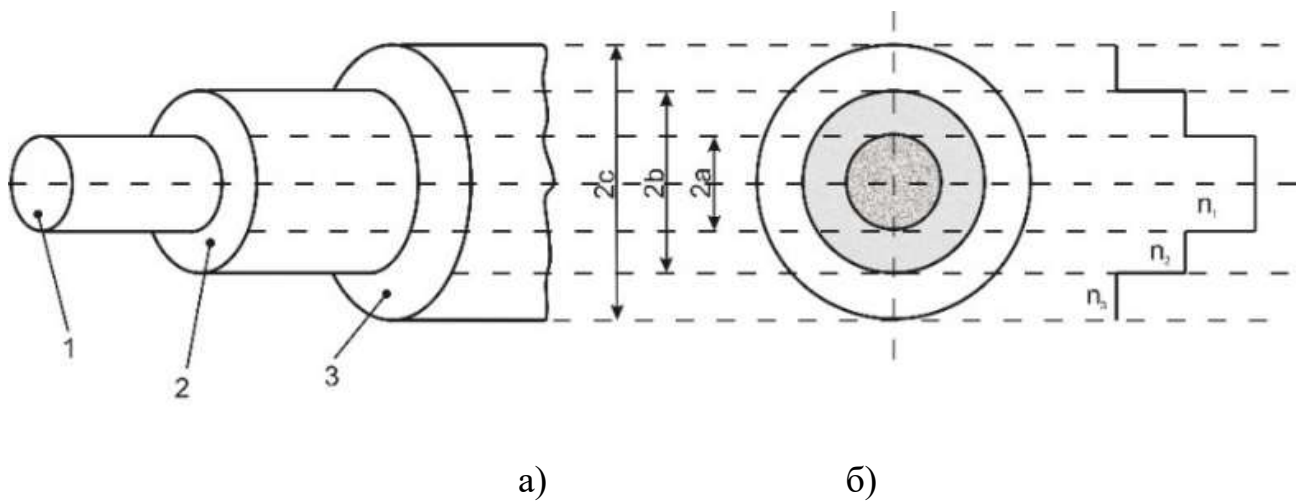


Рисунок 1.7 – Оптичне волокно:

а) пристрій ОВ; б) розподіл профілю показника заломлення

На рис. 1.10, б зображено розподіл профілю показника заломлення (ППС) в серцевині, відбивної оболонці і в захисному покритті. Відношення показників заломлення невеликий і становить 0,2 ... 1%. Змінюють величину  $n$  шляхом легування скла спеціальними домішками. Для забезпечення механічної міцності в процесі витяжки ОВ покривають захисним пластмасовим покриттям, що має показник заломлення  $n_3 < n_2$  (область 3 на рис. 1.20). Діаметри серцевини, оболонки і покриття позначають відповідно  $2a$ ,  $2b$ ,  $2c$ , мкм. Розміри поперечного перетину ОВ записуються у вигляді дроби  $2a / 2b$ , наприклад, запис 50/125 означає, що  $2a = 50$  мкм,  $2b = 125$  мкм.

## 2 СПОСОБИ НЕСАНКЦІОНОВАНОГО ЗНІМАННЯ ІНФОРМАЦІЇ З ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ

### 2.1 Методи знімання інформації в волоконно-оптичних лініях зв'язку

На відміну від всіх інших середовищ передачі інформації, для формування каналів витоку на ділянках волоконно-оптичного тракту, як правило, вимагають прямого доступу до оптоволокну і спеціальних заходів відведення частини випромінювання з оптоволокну або реєстрації проходження випромінювання. Основні фізичні принципи формування каналів витоку в ВОЛЗ можна розділити на наступні типи:

- порушення повного внутрішнього відображення;
- реєстрація розсіяного випромінювання на довжинах хвиль основного інформаційного потоку і комбінаційних частотах;
- параметричні методи реєстрації випромінювання, що проходить.

#### 2.1.1 Порушення повного внутрішнього відображення

Порушення повного внутрішнього відображення, що приводить до витоку інформації може здійснюватися наступними способами:

Зміна кута падіння - використання зовнішнього впливу для зменшення кута падіння до значення, меншого значення граничного кута падіння, при якому починає спостерігатися повне внутрішнє відбиття;

Зміна відношення кута заломлення оболонки до показника заломлення серцевини оптоволокну - використання зовнішнього впливу для збільшення кута повного внутрішнього відображення до значень, більших характерних кутів падіння в світловоді;

Оптичне тунелювання - полягає в проходженні випромінювання через оболонку оптоволокну з показником заломлення меншим, ніж у серцевини, при кутах падіння більших кута повного внутрішнього відображення [4].

### 2.1.2 Зміна кута падіння

Зміна кута падіння може бути досягнута наступними методами:

- мікрОВИГин;
- макрОВИГин;
- акустичний вплив;
- розтягнення;
- скручування;
- вплив статичних електромагнітних полів;
- оптичне тунелювання.

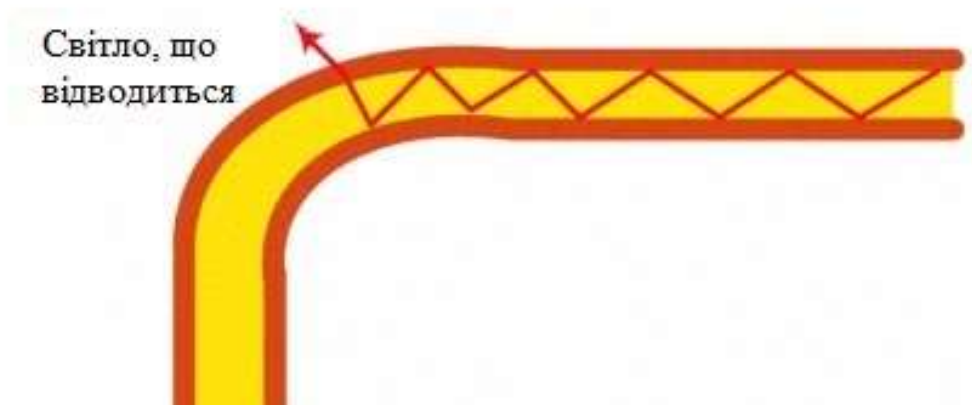


Рисунок 2.1 – МакрОВИГин

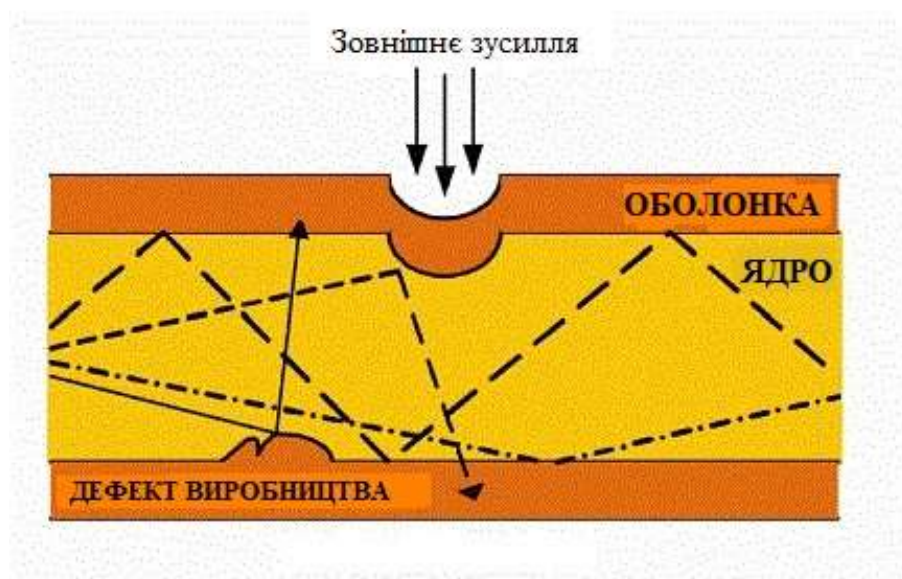


Рисунок 2.2 – МікрОВИГин

### 2.1.3 Вплив розтягуванням оптоволоконна

Іншим зовнішнім впливом, що змінює відношення показника заломлення оболонки до показника заломлення серцевини оптоволоконна ( $n_2/n_1$ ), є механічна дія без зміни форми волокна, наприклад, розтягнення (рис.2.3).

При розтягуванні оптичного волокна відбувається зміна показників заломлення серцевини і оболонки оптичного волокна на  $\Delta n_1$  і  $\Delta n_2$ . При цьому збільшується значення кута повного внутрішнього відбиття від  $\varphi_r$  до  $\varphi'_r$ .

Значення кутів пов'язані виразом  $\sin \varphi'_r \approx \left(1 - \frac{\Delta n_1}{n_1} + \frac{\Delta n_2}{n_2}\right) \sin \varphi_r$ . Вираз для відношення  $(\Delta n/n)$  визначається фотопружним ефектом так, що  $\frac{\Delta n}{n} = -\frac{1}{2} n^2 p \epsilon$ , де  $p$ ,  $\epsilon$  - ефективні складові тензорів фотопружності і деформації, це пов'язано з анізотропією оптичного волокна яка виникає при розтягуванні. З урахуванням того, що плавлений кварц витримує великі напруги (до 106 Па в ідеальному стані), то, прикладаючи великі механічні напруги до оптоволокону, можливо домогтися зміни граничного кута на величину  $\varphi'_r - \varphi_r \approx 10^{-6} \sin \varphi_r$ , чого може виявитися достатньо для виведення частини інтенсивності основного інформаційного потоку за межі оптичного волокна.

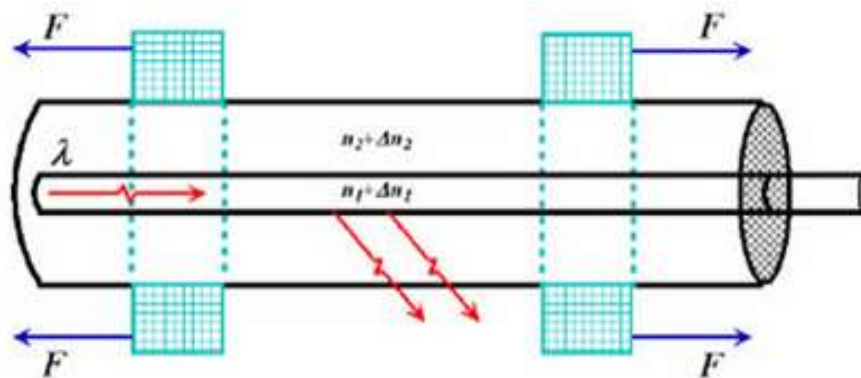


Рисунок 2.3 - Формування каналу витoku інформації розтягуванням оптоволоконна при впливі зовнішнього зусилля F

### 2.2 Реєстрація розсіяного випромінювання

Оптичні волокна мають малі втрати (0,2-0,18 дБ/км на довжині хвилі 1,55 мкм), що дозволить передавати інформацію на великі відстані без ретрансляції

сигналу. Ретрансляційні ділянки становлять понад 100 км. Це вимагає створення світлових імпульсів великої величини. Значна величина потужності, що вводиться в оптичне волокно, створює підвищене розсіювання на близькій до ретранслятору ділянці, яке може бути використане для знімання інформації.

Сучасні фотоприймачі дозволяють вимірювати світлові потоки дуже малої величини.

Розсіяне випромінювання дозволяє сформувати канали витоку інформації, засновані на наступних фізичних принципах:

- пряма зміна розсіяного випромінювання на довжинах хвиль носія інформації;
- зміна розсіяного випромінювання на комбінаційних частотах;
- реєстрацію випромінювання на основі спеціальної обробки оптоволокна зовнішніми полями, такими як теплове, електромагнітне, радіаційне, з метою збільшення інтенсивності розсіяного випромінювання.

Таким чином, за допомогою зовнішнього впливу можна посилити втрати в світлооводів на локальних ділянках, забезпечуючи формування каналів витоку інформації.

### 2.3 Параметричні методи реєстрації випромінювання, що проходить

При поширенні по оптоволокну оптичного випромінювання, що є носієм інформації, воно викликає зміну фізичних властивостей середовища передачі інформації.

Модуляцію властивостей оптоволокна в залежності від інтенсивності світлових імпульсів можливо реєструвати спеціальними високочутливими пристроями.

Зміна властивостей оптоволокна є основою для формування каналу витоку інформації.

Наступні параметри оптоволокна піддаються модуляції світловим потоком:

- показник заломлення;

- показник поглинання світлового потоку оптоволокна при проходженні світла;

- малі зміни геометричних розмірів внаслідок фотопружного ефекту;

- реєстрація модуляції властивостей поверхні оптоволокна.

Сучасна техніка вимірювань дозволяє реєструвати незначні, дуже малі зміни фізичних властивостей оптоволокна. Так використання спектроскопії втрат дозволяє реєструвати зміну показника поглинання, що викликається при проходженні по оптоволокну інформаційного потоку світла.

### 2.3.1 Компенсаційний спосіб

Компенсаційні способи мають наступні переваги - скритність та ефективність, проте існують технічні труднощі при реалізації. Вивід випромінювання, формування і зворотне введення через бокову поверхню мають здійснюватися з коефіцієнтом передачі, близьким до одиниці. Проте статистика розподілу параметрів оптичного волокна по довжині, спектральної смуги напівпровідникового лазера і характеристик пристрою зйому має наслідки того, що різниця між введеним і виведеним рівнями потужності має імовірний характер. Робимо висновок, що коефіцієнт передачі може мати різні значення.

При зніманні інформації таким способом можливо за використання спліттерів.

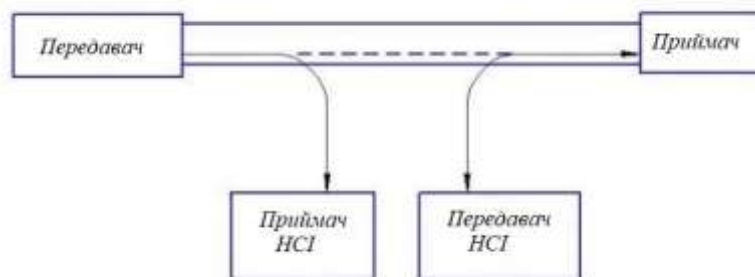


Рисунок 2.4 - Компенсаційний спосіб НД

Оптичне розщеплення.

Оптоволокну вставляється в сплітер, який відводить частину оптичного сигналу. Цей метод є інтрузивним, оскільки вимагає розрізування волокна, що викликає спрацьовування тривоги. Однак, не виявлене підключення такого типу може працювати роками [5].

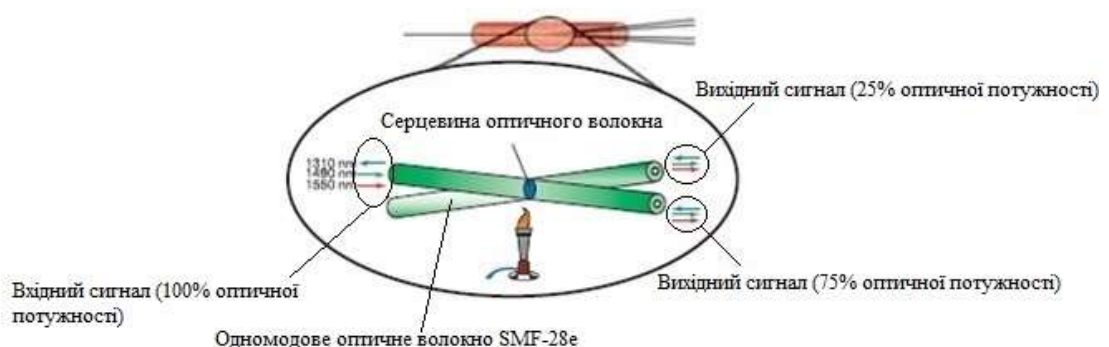
Оптичний дільник/сплітер/розгалужувач - неселективний пасивний елемент (N-полосник), що має як мінімум три полюси/порта і розподіляє вхідну оптичну потужність між вихідними портами в певному співвідношенні, без будь-якого посилення або перемикання.

Оптичні сплітери класифікуються за характеристиками:

- технологія виготовлення;
- кількість входів.

В даний час існує дві найбільш поширені технології виготовлення оптичних розгалужувачів - Fused Biconical Taper (FBT) і Planar Lightwave Circuit (PLC).

Оптичні подільники, створені за технологією FBT, називають біконічними або звареними (Fused coupler). Назва «зварні» подільники отримали за технологією виробництва, а «біконічні» за принципом роботи. Технологія виробництва відносно проста - два волокна з віддаленими зовнішніми оболонками (лак, пластиковий буфер) сплавляють в чотиріполюсник з двома входами і двома виходами (2:2). Якщо ж потрібно дільник 1:2, то один з входів «заглушають» безвідбиваючим методом.



## Рисунок 2.5 - Процес виготовлення подільників зварного типу

Принцип роботи зварного подільника полягає в поєднанні оптичних хвилеводів перед сплавом таким чином, щоб необхідна частка вхідного оптичного сигналу передавалася через бічні поверхні. Залежно від взаємопроникнення серцевин зварювальних волокон можна забезпечити нерівномірний розподіл потужності, наприклад, 25:75 (25% потужності сигналу проходить в один порт, 75% в інший).

### 2.3.2 Вплив низьких температур

Цікавим є також протяжне безрозривне вилучення інформації, яке можна здійснити на прямому волокні під впливом низьких температур. Справа в тому, що при низьких температурах відбувається зміна коефіцієнтів заломлення скла, в результаті чого в серцевині може підвищитися рівень розсіювання.

### 2.3.3 Розрив оптоволокна

Пристрої розривного НД дозволяють здійснювати більш надійне знімання інформації. Однак розривне підключення вимагає тимчасового виключення лінії, що може сигналізувати про наявність самого доступу. Ймовірно, «для маскування», паралельно з підключенням можуть бути здійснені і навмисні пошкодження кабелю.

### 2.3.4 Спосіб лінзового фокусування

Основним і найбільш популярним способом безрозривного локального НД є спосіб лінзового фокусування сингулярних мод на вигині волокна. Цей спосіб знайшов застосування в апаратах для зварювання ОВ (і юстирування).

Очевидно, що для того, щоб здійснити НДІ, необхідно дістатися до самого волокна ВОЛТ і будь-яким чином зчитати інформацію, знявши частину оптичної потужності PRX через розгалужувач оптичний (PO) в точці з потужністю PX, внісши втрати  $\alpha X$  і не порушуючи при цьому функціонування каналу зв'язку (рис. 2.6).

Розглянемо вплив на параметри ВОЛТ знімання інформації при пасивному локальному несанкціонованому доступі (НД) [1, 2]. Введемо наступні позначення:  $P_S$ ,  $P_R$ ,  $P_X$ ,  $P_{RX}$  - потужності оптичних сигналів, відповідно на виході ПОП (на початку ВОЛТ), на вході ПрОП (в кінці ВОЛТ), в місці знімання інформації і на вході ПрОП НД,  $\alpha$  [дБ/км] - загасання ВОЛТ,  $E$  - енергетичний потенціал приймачів ВОЛЗ.

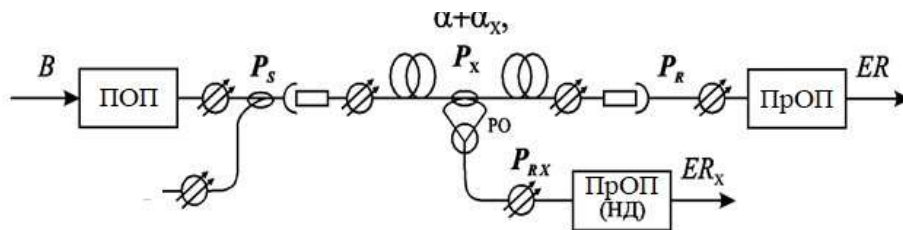


Рисунок 2.6 - ВОЛЗ з пасивним НД

При НДі при здійсненні впливу на оптичне волокно виникає неоднорідність, при цьому з ОВ випромінюється оптичний сигнал  $\Delta P_X$ , частина якого  $P_{RX}$  подається на ПрОП НД, і в ВОЛТ вноситься додаткове загасання  $\alpha_X$ .

Введемо наступні коефіцієнти:  $K_c = P_{RX}/P_X$  - коефіцієнт зв'язку пристрою НДі;  $K_b = P_{RX}/\Delta P_X$  - коефіцієнт відбору пристрою НДі;  $K_{зч} = P_{R0}/P_{RX0}$  - коефіцієнт запасу чутливості пристрою НДі, де  $P_{R0}$ ,  $P_{RX0}$  - чутливість відповідно фотоприймачів ВОЛЗ і пристрої НДі.

Енергетичний потенціал ВОЛЗ  $E$  і координата  $x$  від початку ВОЛТ до місця знімання інформації для пристрою НД з заданим коефіцієнтом запасу чутливості  $K_{зч}$  визначають коефіцієнт зв'язку  $K_c$  пристрою НДі. Залежно від конструктивних особливостей і технології виготовлення пристрою виведення-введення для НДі забезпечується певний рівень  $K_b$ , що викликає додаткове внесене згасання ВОЛТ  $\alpha_X$ .

Необхідно підкреслити, що захисні оболонки та деталі конструкції ВОК істотно знижують бокове випромінювання. Тому НДі всіма перерахованими вище способами можливе тільки в такому випадку, коли порушується цілісність зовнішньої захисної оболонки ВОК та при безпосередньому доступі до ОВ.

Такі способи перехоплення інформації з ОВ спростовують гіпотезу про неможливе зняття інформації методом формування каналів витоку.

Тому необхідні провести ознайомлення з ймовірними методами захисту інформації, з використанням ВОЛЗ [5].

### 3 МЕТОДИ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ В ВОЛЗ

#### 3.1 Особливості ОВ, що перешкоджають НДІ

Вважається, що ВОЛЗ, в силу особливостей поширення електромагнітної енергії в оптичному волокні (ОВ), мають підвищену скритність. Однак, завжди існує принципова можливість знімання інформації з оптичного кабелю. Відомо, що волокно являє собою хвилевідну структуру, в якій оптичне випромінювання поширюється по закону повного внутрішнього відображення. Проте, навіть після формування стаціонарного розподілу поля в волокні, невелика частина розсіяного випромінювання все ж проникає за межі відбиваючої оболонки і може бути каналом витоку інформації, що передається.

Для знімання інформації з ОВ необхідно здійснити фізичний контакт з його поверхнею. Правильний вибір конструкції ОВ дозволяє підвищити захищеність ВОЛЗ від НДІ, так як ускладнює фізичний контакт з поверхнею, що відбиває волокна.

Оптичне волокно - це багат шарова структура, що складається з світловедучого сердечника, відбиваючої оболонки і одного або декількох шарів захисних оболонок. Вивід випромінювання з поверхні захисної оболонки мало ефективний через малу величину виведеного випромінювання.

Контакт з світлопрвідною серцевиною ОВ при руйнуванні відбиваючої оболонки, монолітно сплавленою з серцевиною, практично виконати дуже складно у зв'язку з чим цей варіант не розглядається. Здійснити вивід випромінювання з ОВ можливо при фізичному контакті з відображаючою оболонкою, видаливши захисне покриття.

Можливість існування побічних оптичних випромінювань з бічної поверхні ОВ обумовлена низкою фізичних, конструктивних і технологічних факторів:

- існування впливаючих мод на досить видовженій початковій ділянці волокна, обумовлене фізичними процесами поширення оптичного випромінювання в діелектричному хвилеводі при порушенні його джерелом випромінювання з просторовою діаграмою, що перевищує апертуру волокна;

- випромінювання впливаючих і випромінювальних мод на всьому протязі ОВ за рахунок релєєвського розсіювання на структурних неоднорідностях матеріалу ОВ, характерні розміри яких істотно менше довжини хвилі випромінювання;

- перетворення направляючих мод в впливаючі за рахунок локальних змін хвилеводного параметра на хвилеводних нерегулярностях волокна: мікрОВИГИНАХ (радіус вигину порівно з діаметром ОВ) і макрОВИГИНАХ (радіус вигину набагато більше діаметра ОВ); перенесення енергії від направляючих мод до впливаючих може бути значним, якщо неоднорідності (хвильові нерегулярності) мають місце на більшій частині ОВ і їх періодичність дорівнює періоду биття між цими модами;

- виникнення розподілених і локальних тисків на ОВ.

Хвилі, що направляються, випромінюються та витікають.

У звичайному волоконному світловоді існують три типи хвиль: направляючі, що впливають і випромінюються (рис. 3.1). Дія і переважання будь-якого типу хвиль пов'язано в першу чергу з апертурою і співвідношенням кутів падіння хвилі і повного її відображення.

Хвилі, що направляються (основний тип хвилі) поширюються по світловоду. Вся енергія зосереджена усередині сердечника світловода і забезпечує передачу інформації. Хвилі, що направляються збуджуються при введенні променів в торець світловода під кутом, більшим кута повного відображення, тобто всередині апертурного кута.

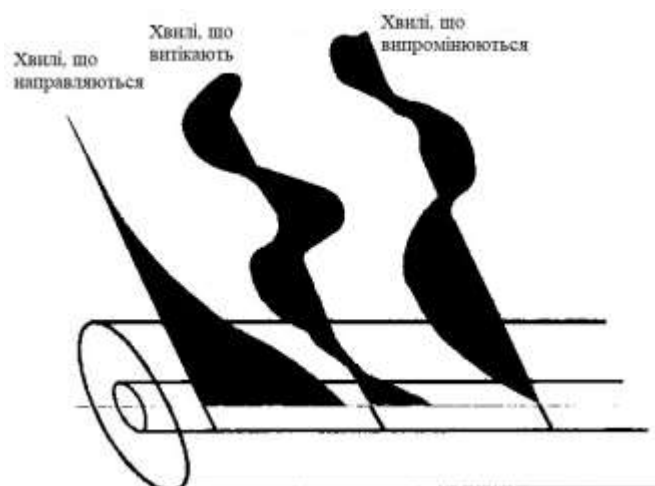


Рисунок 3.1 - Епюри хвиль

Випромінювані хвилі поширюються в оболонці і практично повністю затухають на перших 3 м довжини світловода. Слабковпливаючі хвилі повільно слабшають і роблять помітний вплив на кілометричне загасання при довжинах до сотень метрів оптичного кабелю. В градієнтних багатомодових волокнах з параболічним профілем близько 25% поширюваної енергії може міститися в слабковитікаючих хвилях. Ця частка зменшується по мірі поширення сигналу по кабелю [6].

Хвилі, які впливають (хвилі оболонки) утворюються за рахунок косих променів. Частина енергії просочується в оболонку і поширюється вздовж кордону розділу середовищ в поверхневому шарі. Енергія, що просочується з віддаленням від центру загасає по експоненціальному закону і проникає в навколишній простір. Таким чином, в звичайних світловодах з полімерним покриттям відбувається значна втрата енергії - до 30% введеної енергії за рахунок просочування в оболонку. Останні два типи хвиль сприяють НДІ на перших сотнях метрів ВОЛЗ.

Одним з рубежів захисту ВОЛЗ від НДІ є правильний вибір конструкції ОВ, що перешкоджає створенню оптичного контакту з його відбиваючою оболонкою.

### 3.2 Апаратні засоби захисту інформації в ВОЛЗ

Для захисту інформації в ВОЛЗ можливе використання традиційних апаратних засобів, широко використовуваних в провідних системах зв'язку. Деякі з них наведені нижче.

#### 3.2.1 Захист від несанкціонованого доступу на основі концентраторів

Розділюване середовище надає дуже зручну можливість для несанкціонованого прослуховування мережі і отримання доступу до переданих даних. Для цього достатньо підключити комп'ютер з програмним аналізатором протоколів до вільного роз'єму концентратора, записати на диск весь трафік, що проходить по мережі, а потім виділити з нього потрібну інформацію.

Розробники концентраторів надають деякі способи захисту даних в поділюваних середовищах.

Найбільш простий спосіб призначення дозволених MAC-адресів портам концентратора. У стандартному концентраторі Ethernet порти MAC-адресу не мають. Захист полягає в тому, що адміністратор вручну пов'язує з кожним портом концентратора деякий MAC-адрес. Цей MAC-адрес є адресою станції, якій дозволяється підключатися до даного порту. Наприклад, на рис. 3.2 першому порту концентратора призначений MAC-адрес 123 (умовна запис). Комп'ютер з MAC-адресою 123 нормально працює з мережею через даний порт. Якщо зловмисник від'єднує цей комп'ютер і приєднує замість нього свій, концентратор помітить, що при старті нового комп'ютера в мережу почали надходити кадри з адресою джерела 789. Так як ця адреса є неприпустимим для першого порту, то ці кадри фільтруються, порт відключається, а факт порушення прав доступу може бути зафіксований.

Зауважимо, що для реалізації описаного методу захисту даних концентратор потрібно попередньо конфігурувати. Для цього концентратор повинен мати блок управління. Такі концентратори зазвичай називають інтелектуальними. Блок управління являє собою компактний обчислювальний блок з вбудованим програмним забезпеченням. Для взаємодії адміністратора з блоком управління концентратор має консольний порт (найчастіше RS-232), до якого підключається термінал або персональний комп'ютер з програмою емуляції терміналу. При приєднанні терміналу блок управління організовує на його екрані діалог, за допомогою якого адміністратор вводить значення MAC-адресу. Блок управління може підтримувати і інші операції конфігурації, наприклад ручне відключення або включення портів і т. д. Для цього при підключенні терміналу блок керування видає на екран деяке меню, за допомогою якого адміністратор вибирає потрібну дію [7].

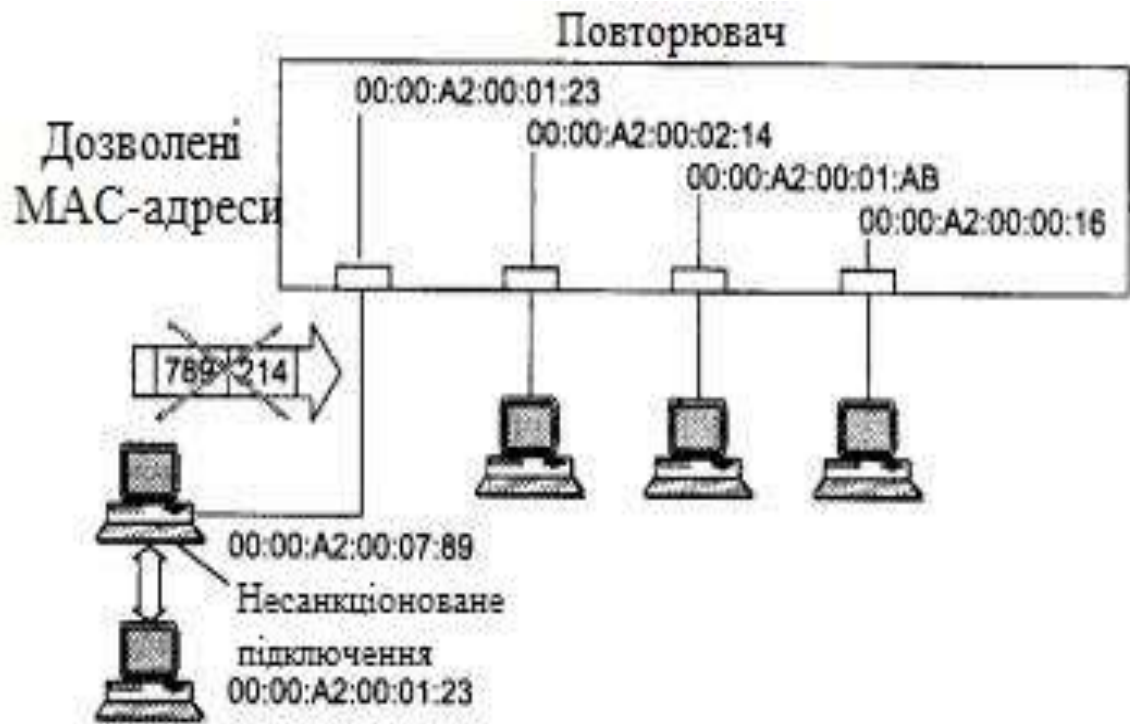


Рисунок 3.2 - Ізоляція портів: передача кадрів тільки від станцій з фіксованими адресами

Іншим способом захисту даних від несанкціонованого доступу є їх шифрування. Однак процес справжнього шифрування вимагає великої обчислювальної потужності, і для повторювача, що не буферизує кадр, виконати шифрацію «на льоту» вельми складно. Замість цього в концентраторах застосовується метод випадкового спотворення поля даних в пакетах, переданих портам з адресою, відмінною від адреси призначення пакета. Цей метод зберігає логіку випадкового доступу до середовища, так як всі станції бачать зайнятість середовища кадром інформації, але тільки станція, якій посланий цей кадр, може зрозуміти зміст поля даних кадру (рис. 3.3). Для реалізації цього методу концентратор також потрібно забезпечити інформацією про те, які MAC-адреси мають станції, підключені до його портів. Зазвичай поле даних в кадрах, які направляються станціям, відмінним від адресата, заповнюється нулями.

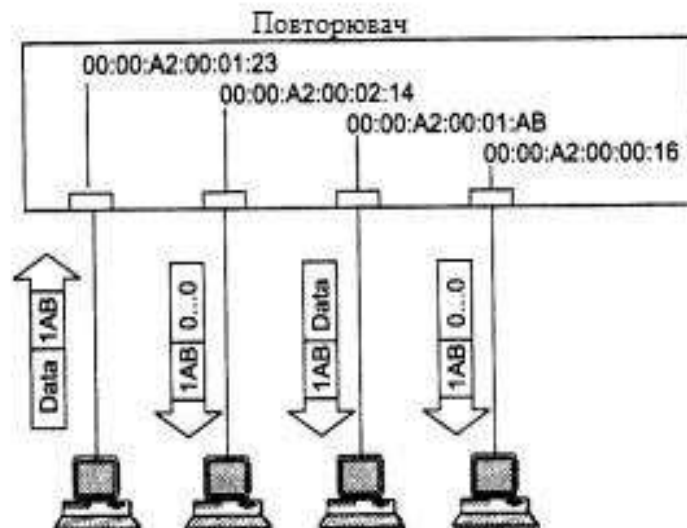


Рисунок 3.3 - Спотворення поля даних в кадрах,  
не призначених для прийому станціями

3.2.2 Концентратори багатосегментні - захист від несанкціонованого доступу

Концентратор, зображений на рис. 3.4, має три внутрішні шини Ethernet. Якщо в такому концентраторі 72 порта, то кожен з цих портів може бути пов'язаний з будь-якою з трьох внутрішніх шин. На малюнку перші два комп'ютери пов'язані із шиною Ethernet 3, а третій і четвертий комп'ютери - з шиною Ethernet 1. Перші два комп'ютери утворюють один сегмент, що розділяється, а третій і четвертий - інший сегмент, що розділяється.

Між собою комп'ютери, підключені до різних сегментів, спілкуватися через концентратор не можуть, так як шини всередині концентратора ніяк не пов'язані.

Багатосегментні концентратори потрібні для створення поділюваних сегментів, склад яких може легко змінюватися. Більшість багатосегментних концентраторів дозволяють виконувати операцію з'єднання порту з однієї з внутрішніх шин чисто програмним способом, наприклад за допомогою локального конфігурування через консольний порт, в результаті адміністратор мережі може приєднувати комп'ютери користувачів до будь-яких портів концентратора, а потім за допомогою програми конфігурації концентратора

управляти складом кожного сегмента. Якщо сегмент 1 стане перевантаженим, то його комп'ютери можна розподілити між рештою сегментами концентратора.

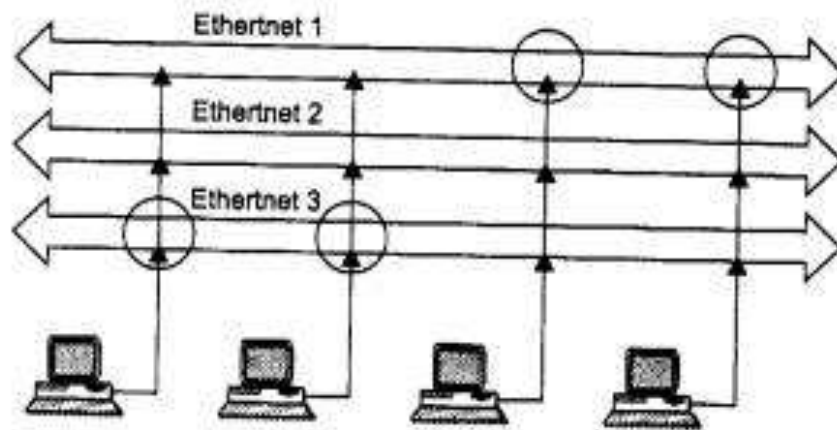


Рисунок 3.4 - Багатосегментний концентратор

Можливість багатосегментного концентратора програмно змінювати зв'язки портів з внутрішніми шинами називається конфігураційною комутацією (configuration switching).

Багатосегментні концентратори - це програмована основа великих мереж. Для з'єднання сегментів між собою потрібні пристрої іншого типу - мости/комутатори або маршрутизатори. Такий міжмережевий пристрій повинен підключатися до декількох портів багатосегментного концентратора, приєднаним до різних внутрішніх шин, і виконувати передачу кадрів або пакетів між сегментами точно так же, як якщо б вони були утворені окремими пристроями-концентраторами.

Для великих мереж багатосегментний концентратор грає роль інтелектуальні кросової шафи, який виконує нове з'єднання не за рахунок механічного переміщення вилки кабелю в новий порт, а за рахунок програмної зміни внутрішньої конфігурації пристрою.

### 3.2.3 Логічна структуризація мережі

Обмеження, що виникають через використання загального середовища, що розділяється, можна подолати, розділивши мережу на кілька поділених середовищ і з'єднавши окремі сегменти мережі такими пристроями, як мости, комутатори або маршрутизатори (рис.3.5).

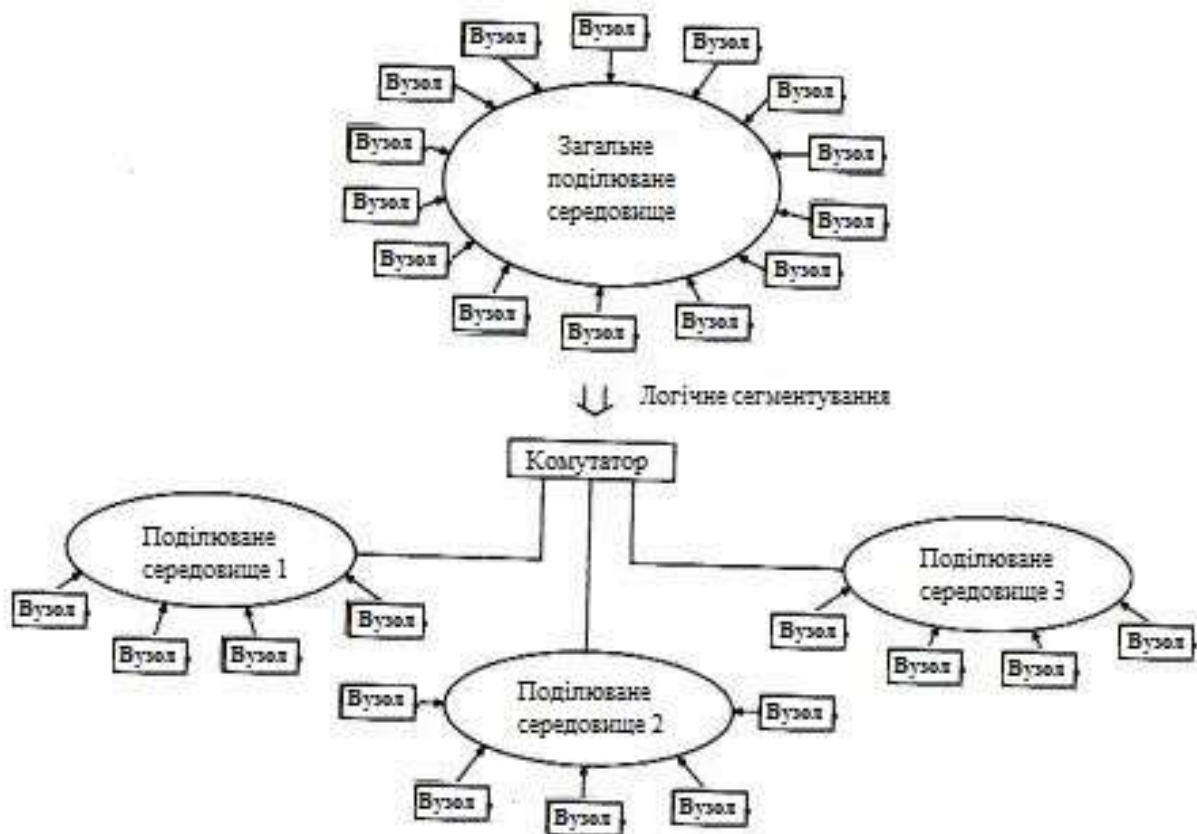


Рисунок 3.5 - Логічна структуризація мережі

Дані пристрої передають кадри з початкового порта на інший, при цьому проходить аналіз адреси призначення, яка поміщена в даних кадрах (різниця від концентраторів полягає в тому, що повторюються кадри на всіх своїх портах та передаються в усі під'єднані до них елементи, не зважаючи на якому з них розміщується станція призначення). Мости та комутатори проводять операцію передачі кадрів, основою яких є плоскі адреси канального рівня, тобто MAC-адреса, а маршрутизатори - на основі номеру мережі. Необхідно мати на увазі, що єдине колективне середовище, на основі концентраторів, ділиться на

декілька елементів, кожен з яких приєднаний до порту моста, маршрутизатора або комутатора.

### 3.3 Захист ВОЛЗ на рубіжі ОВ

Одним з рубежів захисту ВОЛЗ від НДІ є правильний вибір конструкції ОВ, що перешкоджає створенню оптичного контакту з його відбиваючою оболонкою.

#### 3.3.1 Оптичне волокно з поверхневою металізацією

Розроблено конструкцію ОВ з повним захистом від несанкціонованого зйому інформації із застосуванням спеціального поглинаючого покриття ОВ.

Спроби створити металізоване волокно з досить прийнятними характеристиками велися давно, так в невеликих масштабах проводиться протяжка оптичного волокна через розплав легкоплавких металів (мідь, олово і ін.). Однак метод наморожування металевієї плівки на поверхню волокна виявився непродуктивним через недостатню адгезії металу і дифузії волокна, додатково додаючи загасання. Тому застосування цієї технології можливо тільки при класичній структурі оптичного волокна і обмежене спеціальними прикладними задачами.

В Оксфорді (Англія) проводилися спроби використовувати вакуумну технологію, при якій отримано волокно з гарною адгезією металевієї плівки, але після перших дослідів через дорожнечу волокна широкого застосування воно не знайшло. Також була недосконала і технологія.

У Росії вакуумна технологія отримала подальший розвиток і вдосконалення. Для такої технології традиційна структура волокна була непридатна. Був розроблений і отриманий патент на нове металізоване волокно зі структурою, пристосованою для металізованого покриття. У новому волокні поширення робочого випромінювання відбувається в поверхневому кільцевому шарі з товщиною, що забезпечує одномодове проходження, майже в 2 рази зросло апертурне число, виключено утворення оболонкових мод і просочування

випромінювання. Поширення випромінювання відбувається між дзеркальною поверхневою плівкою металу і основною жилою в шарі з підвищеним коефіцієнтом заломлення (рис. 3.6).



Рисунок 3.6 - Оптичне волокно з поверхневою металізацією

Металізоване покриття підвищує температурний діапазон використання волокна до 700-800°C. Поверхневий шар дозволяє збільшити апертурне число для одномодового випромінювання.

Нове оптичне волокно з металізованим вакуумним покриттям дозволяє розширити діапазон застосування оптичного волокна і підвищити експлуатаційні характеристики волоконно-оптичних ліній зв'язку. Вакуумна технологія, яка використовується для виготовлення волокна, дозволяє використовувати високочисті матеріали, виключити поглинання парів води матеріалом світловодної серцевини і використовувати нові матеріали з вікном прозорості в діапазоні 3 - 4 мкм і втратами до 0,02-0,01 дБ/км.

Металева плівка, нанесена на поверхню кварцового волокна, має високу адгезію і міцність до розчавлюючих навантажень, хорошу радіаційну стійкість і хімічну стійкість до агресивних середовищ, температуростійкість визначається властивостями металу і можливо адаптувати волокно до заданих температурних умов.

Металізація волокна дозволяє захистити передану інформацію від несанкціонованого зйому.

Металізоване покриття є відбиваючою оболонкою ОВ і не допускає випромінювання з його поверхні. У разі порушення металізованого покриття істотно зростають втрати, що може бути виявлено відомими методами (контроль НДІ з ВОЛЗ і перервана передача конфіденційної інформації).

### 3.3.2 Багатошарове оптичне волокно

Запропоновано метод захисту з використанням багатошарового оптичного волокна зі спеціальною структурою відображаючих і захисних оболонок. Конструкція такого волокна являє собою 4-шарову структуру з одномодовою серцевиною.

Оптичне волокно складається з чотирьох шарів: центральної світлопрвідної серцевини, внутрішньої відбиваючої оболонки, світлопрвідної оболонки і зовнішньої оболонки. (рис. 3.7)

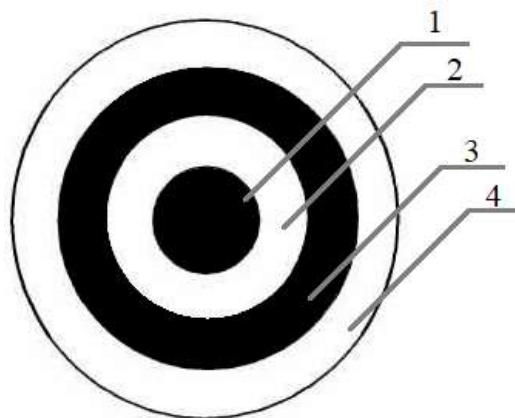


Рисунок 3.7 – Чотиришарове оптичне волокно:

- 1 - центральна світлопрвідна серцевина;
- 2 - внутрішня оболонка, що відображає;
- 3 - світлопрвідна оболонка;
- 4 - зовнішня оболонка, що відображає.

Підібране співвідношення коефіцієнтів заломлення шарів дозволяє передавати по кільцевому направляючому шарі багатомодовий контрольний шумовий оптичний сигнал. Зв'язок між контрольним і інформаційним

оптичними сигналами в нормальному стані відсутній. Кільцевий захист дозволяє також знизити рівень випромінювання інформаційного оптичного сигналу через бічну поверхню ОВ (за допомогою мод витоку при вигинах волокна на різних ділянках лінії зв'язку) на 20 - 30 дБ по відношенню до стандартних волокон. Спроби проникнути до серцевини виявляються зі зміни рівня контрольного (шумового) сигналу або по змішуванню його з інформаційним сигналом. Місце НСД визначається з високою точністю за допомогою рефлектометра.

### 3.4 Захист інформації на рубежі волоконно-оптичного кабелю

3.4.1 Особливості методу захисту інформації з використанням вибору волоконно-оптичного кабелю

Одним з рубежів захисту ВОЛЗ є вибір типу ВОК, конструкція якого ускладнює доступ до ОВ в конкретних умовах його експлуатації.

Для того, щоб встановити контакт з ОВ, без якого практично неможливо здійснити НДІ, зловмисникові необхідно отримати доступ до нього в ВОК, конструкція якого, в залежності від умов прокладання, представляє певні труднощі.

Для доступу до ОВ необхідно видалити кілька зміцнюючих і захисних елементів, що становлять багатокомпонентну систему, що захищає основний елемент ВОК - оптичне волокно. Перераховані елементи ВОК виконуються з різних матеріалів, таких як: бавовняні нитки, нитки високомодульного матеріалу, наприклад, кіавлара, різні полімерні матеріали, які використовуються як внутрішні покриття певних елементів, так і зовнішні покриття ВОК в цілому. Це може бути поліамід, фторопласт, поліетилен, полівінілхлорид, а також металеві елементи, такі як мідні або сталеві дроти у вигляді сітки або екрани, які розміщуються в середині або на поверхні ВОК.

При виборі волоконно-оптичного кабелю для захисту від несанкціонованого доступу до лінії зв'язку, необхідно звернути увагу на структуру кабелю. До складу волоконно-оптичного кабелю повинно входити

якомога більше захисни та допоміжних оболонок. За наявності таких оболонок дуже ускладнюється НДІ з оптичного волокна.

Для приклада важкодоступності до оптичного волокна в ВОК розглянемо кабель типу ОКЛ, рис.3.8, який широко використовується в сучасних ВОСПІ.

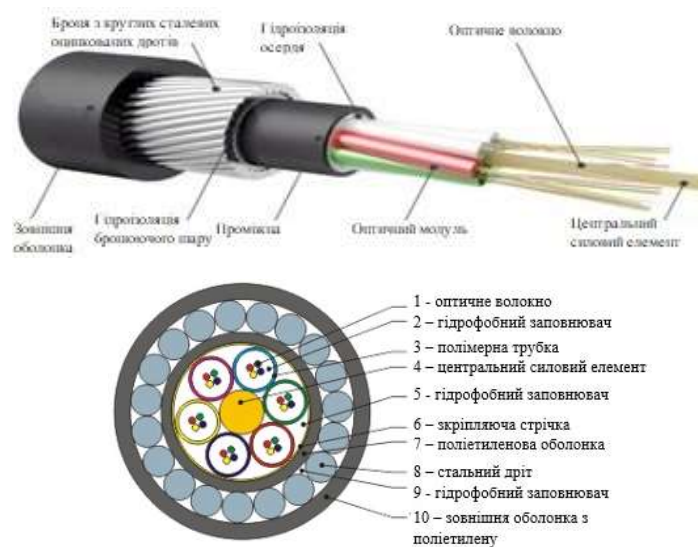


Рисунок 3.8 - Структура оптичного кабелю ОКБ

ВОК містить 24 оптичних волокна (1), які зібрані в групи по 4 ОВ в кожній. Кожна група ОВ укладена в полімерну трубку (3), утворюючи 6 оптичних модулів. Модулі наповнені гідрофобним заповнювачем (2) і укладені навколо центрального силового елемента (4), який призначений для застосування розтягуючого зусилля при прокладці ВОК. Простір між модулями і силовим елементом оточене гідрофобним заповнювачем (5), що перешкоджає проникненню вологи до ОВ. Всі 6 модулів зібрані в загальну групу і зафіксовані зкріплюючою стрічкою (6). Поверх стрічки (6) виконана захисна поліетиленова оболонка (7), навколо якої знаходиться обплетення зі сталевого дроту (8), призначене для запобігання ОВ від розчавлюючого навантаження і від гризунів. Навколо сталевого дроту розташована зовнішня оболонка з поліетилену (10). Простір між внутрішньою і зовнішньою поліетиленовими оболонками містить гідрофобний заповнювач (9).

Для здійснення НДІ зловмисникові необхідно визначити місце прокладання ВОК в ґрунті, що є вельми складним, тому що ОВ не випромінює електромагнітне випромінювання (ЕМВ), потім відкопати ВОК з ґрунту і приступити до його оброблення.

Обробленню оптичного кабелю повинна піддаатися ділянка набагато більша, ніж при обробленні кабелю з металевими жилами, тому що обмежитися тільки фізичним контактом з ОВ недостатньо. Необхідно оголити протяжну ділянку ОВ, щоб можна було його витягти з ВОК, в якому він знаходиться в натягнутому стані, а також мати запас для установки і вигину його в оправленні (при зніманні інформації методом вигину ОВ) для контакту з фотоприймачем в апаратурі НДІ.

Отже, після визначення довжини ділянки ВОК, що обробляють починається його розтин з визволення від зовнішньої поліетиленової оболонки. Потім необхідно видалити липкий і важко змиваємий гідрофобний заповнювач (9) і приступити до зняття сталевого дроту (8), попередньо переконавшись, що він не знаходиться під напругою. Потім видаляється внутрішня поліетиленова оболонка (7) і скріплюча стрічка (6), а також внутрішній шар гідрофобного заповнювача (5). Далі перед зловмисником виникає важко вирішуване завдання, як визначити в якому з шести модулів, що містять 24 ОВ знаходиться саме те волокно, по якому передається необхідна конфіденційна інформація. Для цього необхідно розкрити полімерні трубки (3) всіх шести модулів, звільнити ОВ від третього шару гідрофобного заповнювача (2) і приступити, методом перебору, до прослуховування переданої інформації по кожному з 24 ОВ (1), на що буде потрібно досить багато часу, а також розшифровка змісту, що передається в кожному ОВ інформації.

ВОК типу ОКБ представляє серійний широко використовуваний кабель спрощеної конструкції, що прокладається в ґрунті або в кабельній каналізації. У порівнянні з іншими кабелями його конструкція проста. Для надійного захисту ВОК від НДІ необхідно вибрати такий тип кабелю, конструкція якого

значно ускладнить доступ до ОВ. У зв'язку з цим пропонується ознайомитися з типами ВОК, використовуваних в ВОСПІ, їх конструкцією, призначенням і характеристиками, що дозволить здійснити правильний вибір необхідного кабелю, що надійно захищає доступ і контакт злоумисника з ОВ.

### 3.4.2 Способи захисту інформації від НДІ вибором типу ВОК

Щоб більш детально ознайомитися з вибором кабелю такої конструкції, яка ускладнить НДІ, розглянемо конструкції кабелів для прокладання в ґрунті, підвісні кабелі і підводні кабелі.

Волоконно-оптичний кабель для підземного прокладання. В різних країнах виготовляється велика кількість багатьох типів ОК для підземної прокладання. Їх поділяють на чотири групи (рис. 3.9): плоскі кабелі стрічкового типу, кабелі пучкового скручування; кабелі концентричного повівного скручування, кабелі з профільованим осердям.

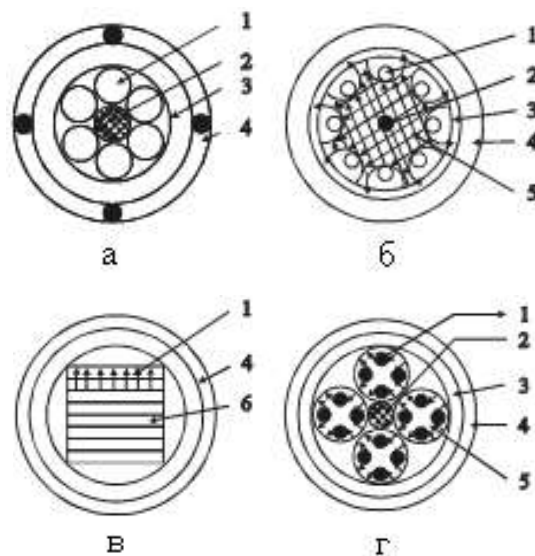


Рисунок 3.9 – Типові конструкції ВОК:

- а – повівного скручування;
- б – з профільним осердям;
- в – стрічкового типу;
- г – пучкового скручування;
- 1 – оптичне волокно;

- 2 – силовий елемент;
- 3 – внутрішня оболонка;
- 4 – зовнішня поліетиленова оболонка;
- 5 – профільоване осердя;
- 6 – стрічка з волокнами.

На сьогоднішній день відомі два конструктивні різновиди волоконно оптичних кабелів:

- металеві елементи, які мають в структурі провідники, оболонки з алюмінію або свинцю, бронепокриви;
- повністю діелектричні (без металу).

До позитивних якостей першого виду виділяється вологостійкість та висока механічна міцність. По мідних провідниках можна здійснювати службовий зв'язок, використовувати їх для дистанційного електроживлення лінійних регенераторів і визначати місце їх прокладання. До мінусів таких кабелів виділяють уразливість відносно електромагнітних дій (гроза і ін.) та вони мають велику масу та габарити.

Діелектричні кабелі не залежать від електромагнітних дій, проте мають меншу механічну міцність, мають нижчу вологостійкість і легко пошкоджуються гризунами.

Згідно технічним вимогам такі кабелі призначені для прокладки в ґрунтах, мають забезпечуватись бронею, бути грозостійкими (витримувати імпульсний струм 105 кА). Зовнішня захисна оболонка таких кабелів має опір ізоляції не менше 10 МОм·км при напрузі 10 кВ змінного струму відносно штучного електроду заземлення протягом 5 хв.

Оптичні підвісні кабелі зв'язку. Оптичні підвісні кабелі зв'язку використовують на територіях зонової взаємопов'язаної мережі зв'язку. Структуру таких кабелів можна поділити на дві групи: підвісні кабелі на опорах ліній зв'язку і підвісні кабелі на опорах високовольтних ліній (ВВЛ) та залізниць.

Кабелі 1-ої групи зазвичай мають металевий трос, який приєднується до оптичного сердечника.

Як трос можуть бути у використанні і мідні жили, по яких передаються сигнали телеметрії та службового зв'язку.

Кабелі 2-ої групи структурно повністю діелектричні.

Кабелі 1-ої групи можна розділити на чотири підгрупи:

- самонесучі конструкції волоконно-оптичного кабелю;
- з металевим тросом;
- навивні конструкції на металевому тросі або дроті;
- прикріплені до металевого дроту оптичного кабелю.

В режимі струмів грозових розрядів і короткого замикання кожне ОВ має стабільно працювати при температурі понад  $200^{\circ}\text{C}$ . Ця температура визначає мінімальну точку плавлення діелектричних елементів оптичного волокна. Досліди показують, що за деяких умов температура може бути більшою  $300^{\circ}\text{C}$ , що є недопустимим.

Існує ризик зовнішніх пошкоджень волоконно-оптичного кабелю, саме з цією метою ВОК вбудовують як центральний елемент навколо сталевого троса ВВЛ.

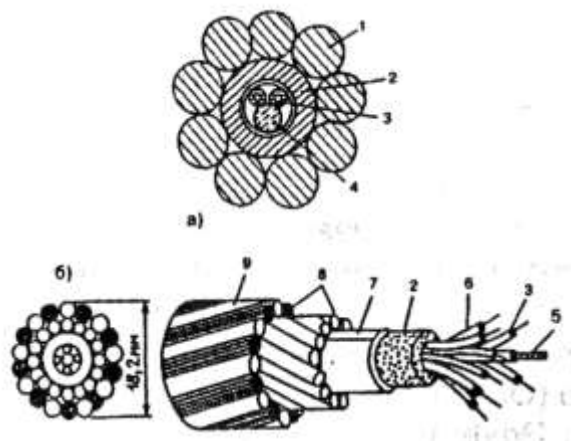


Рисунок 3.10 – Конструкція ВОК, який вбудований в грозозахисний заземлений дріт (а); фазний дріт (б):

- 1 – дріт із сплаву алдрея;
- 2 – оболонка з поліетилену;

- 3 – ОВ в трубчастій захисній оболонці;
- 4 – сердечник з полімерного матеріалу;
- 5 – сталевий трос;
- 6 – мідні ізольовані струмо-провідні жили;
- 7 – алюмополіетиленова стрічка;
- 8 – шістнадцять дротів із сплаву алдрея;
- 9 – дев'ять дротів із сплаву алдрея.

Кабелі, вбудовані в конструкцію високовольтної лінії, поділяють на 2 типи:

- самонесучі волоконно-оптичні кабелі;
- волоконно-оптичні кабелі, навиті на грозозахисний трос або фазу, або прикріплені до фази (рис. 3.12)

Найекономічніша конструкція волоконна (рис. 3.11) повинна бути навита на дрід (рис. 3.13), або прикріплена до троса навитим корделем доброї міцності. Ця конструкція забезпечить відсутність переробки елементів високовольтної лінії та за короткий проміжок часу може бути навита на грозозахисний трос або фазовий дрід. Ця конструкція має бути повністю діелектричною. Використовую таку конструкцію на сьогоднішній час у США, Індії, Великобританії, Новій Зеландії та Норвегії.

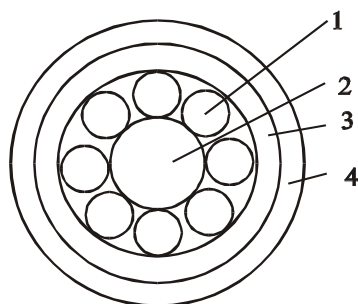


Рисунок 3.11 – Конструкція ОК, який навивається на грозотрос високовольтної лінії електропередачі:

- 1 – ОВ з вторинним покриттям;
- 2 – центральний армуючий елемент;
- 3 – тепловий ізолюючий шар;

4 – теплостійка гума.



Рисунок 3.12 – Навивка ОК на грозотрос:

1 – волоконно-оптичний кабель;

2 – грозотрос.

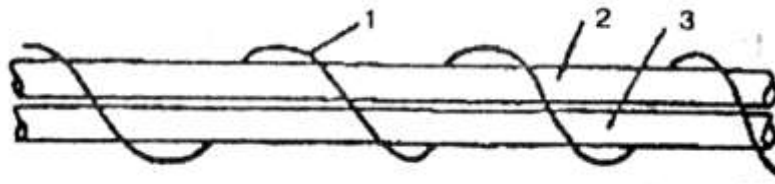


Рисунок 3.13 – Підвіска ВОК на грозотрос за допомогою корделя:

1 – кордель;

2 – грозотрос;

3 – ВОК.

ВОК може бути задіяний в фазі із потужністю 115 кВ і на грозозахисний трос ВВЛ до 400 кВ.

ВОК в грозозахисному кабелі. Вважається, що з усіх типів підвісних ОК найбільш поширені – саме в грозозахисному тросі (ОКГТ) [8].

Переваги використання ОКГТ на лінії електропередачі визначається наступними факторами:

- наявність по всій планеті широкої мережі високовольтних ліній електропередачі і цей надає можливість не будувати нову лінію зв'язку, а користуватися вже існуючими;

- поєднання волоконно-оптичного кабелю з обов'язковим на лініях електропередач грозозахисним кабелем, який є силовим несучим елементом і екранує від електромагнітних впливів.

Зазвичай у ОКГТ використовуються вільні трубчасті модулі – металеві або пластмасові трубки, в яких оптичне волокно розташовується з невеликою надлишковою довжиною в порівнянні до довжини кабелю. Це є необхідним, щоб волокна не були деформованими при прикладанні на кабель розтягуючого зусилля.

Герметичні металеві трубки необхідні для захисту волокна від проникнення вологи і мають низьку вразливість до роздавлювання.

При використанні пластмасових трубок можлива дифузія парів води. Водень та гідроксильні групи ОН проникають в ОВ, що призводить до сильного зростання втрат енергії. Тому пластмасові трубки модулів заповнюють гідрофобним компаундом, який запобігає проникненню не тільки від води, а також захищає від вібрації.

Центральний опорний елемент в мультимодульних кабелях може буває діелектричним: склопластиковим стрижнем (кордель), або металевим: круглий сталевий дріт, алюмініюваний; або із сплаву алюмінію - стрижень з пазами.

Оптичний сердечник у ряді конструкцій представляє собою трубку – полімерну або з алюмінієвого сплаву та з нержавіючої сталі. Всі ці кабелі поверх поясної трубки мають 1 або 2 повія металевих дротів, які створюють грозозахисний трос. Дроти бувають сталевими; алюмінієвими; сталевими, плакировані алюмінієм (ACS), і алдрееві – складаються з сплаву алюмінію з магнієм, залізом і кремнієм. Вибір дротів обґрунтовується в залежності доексплуатаційних вимог та фізико-механічних параметрів троса.

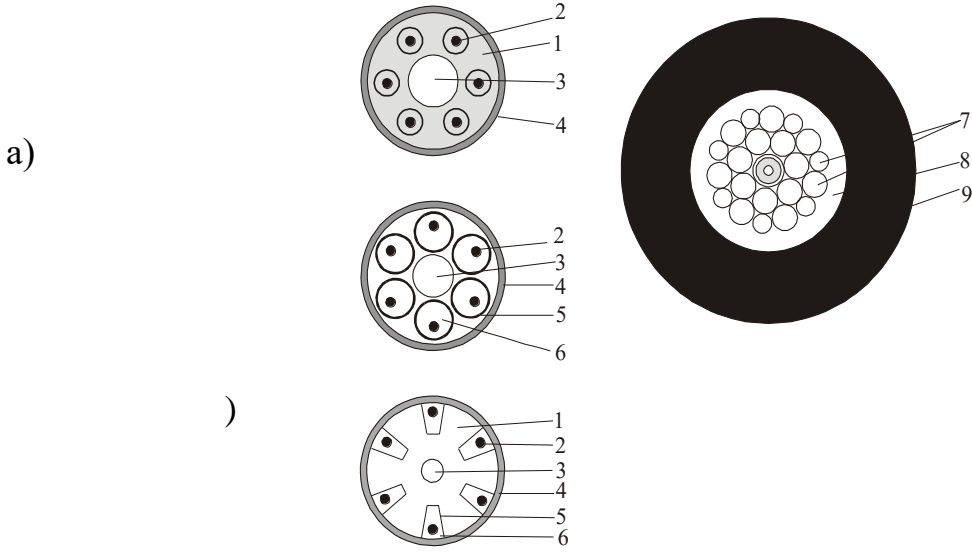
У 2-повівному тросі зовнішній повів має структуру з дротів підвищеної електропровідності (алюміній та алдрей), внутрішній – з дротів з досить високою механічною міцністю (стал та плакована сталь). Робимо висновок, що дроти, які забезпечують механічну міцність троса, захищають кабель від ударів блискавки. Короткі замикання у високовольтних лініях електропередач приводять до високої щільності струму в тросі і зростанню температури зовнішніх алюмінієвих або алдреевих дротів, захищаючи цим від нагріву також і оптичні модулі. У 1-повівному тросі комбінуються два типи дротів.

В 1-шарових конструкціях ОКГТ захист складається зі дротів з алюмінієвого сплаву і сталевих дротів з алюмінієвою оболонкою. Поперечний перетин дроту з декількох матеріалів обирається в залежності від механічних та електричних вимог.

ОКГТ витримують досить високі електричні і механічна навантаження; мають досить тривалий термін експлуатаціх; мають малий діаметр та масу; вони працюють за температурою – 60...+70°C; надають мале навантаження на опори; забезпечують оптимальний механічний захист світловодів.

Підводні оптичні кабелі. На початку 1980-х років відбулося прокладання ліній для регулярної експлуатації завдовжки від 300 до 10000 км на максимальній глибині до 7500 м.

Підводні кабелі повинні мати міцність на розрив не менше 80 кН і витримувати тиск води до 75 МПа. Конструкцію і можливі різновиди оптичних модулів підводних оптичних кабелів показано на рис. 3.14.



Р

рисун  
ок  
3.14  
–  
Опти  
чний  
підво  
дний  
кабе  
ль:  
а,б,в

– різновиди оптичних модулів

Рекомендації до захисту інформації від НДІ вибором типу ВОК.

1. При проектуванні ВОЛЗ необхідно вибрати таку конструкцію ВОК, яка ускладнювала б доступ до ОВ наявністю в ньому різних конструктивних елементів, таких як металевих захисних покриттів з гофрованих труб, сталевих дротів (фазні дроти ЛЕП і троси грозозахисту з внутрішнім розташуванням ОВ), а також з комбінованим захистом декількох шарів сталевих дротів і товстих шарів гуми (морські ВОЛЗ, глибоководні кабелі і т.д.), що ускладнюють доступ до ОВ.

2. Вибір типу оптичних модулів в конструкції кабелю з розташованими в них ОВ монолітної конструкції перешкоджає їх обробленню і вилученню інших ОВ. Монолітна конструкція модулів з розташованими в них ОВ перешкоджає вилученню з них окремих оптичних волокон і може привести до пошкодження або руйнування їх, що буде зареєстровано пристроями контролю стану ВОЛЗ.

3. Використання волоконно-оптичного кабелю без кольорового маркування оптичного волокна, що затруднює зловмисникові точне визначення ОВ, з переданою секретною інформацією.

4. Використання багатоволоконних кабелів, в яких велика кількість оптичних модулів, що ускладнює визначення шуканого волокна зловмисникові.

5. Використання ВОК з плоским розташуванням стрічок, що містять кілька ОВ кожна, з монолітною упаковкою їх в пластиковому покритті, що перешкоджає доступу до волокон. Використання ВОК з стрічковим вторинним покриттям ОВ істотно ускладнює НДІ, тому що зловмисникові доводиться послідовно проводити перебір стрічок з розташованими в них ОВ, витягувати з кожної стрічки окремі ОВ, знімати з них первинне захисне покриття і досліджувати трафік, що передається по ним в пошуках конфіденційного, що істотно ускладнює НДІ.

6. Використання газонаповнених ВОК, підключених до датчиків тиску, що сигналізує про випадок порушення герметичності ВОК. При використанні герметичних газонаповнених ВОК на кінцевих пунктах, підключених до датчиків тиску істотно підвищується захищеність ВОЛЗ від НДІ. Для проникнення до ОВ зловмисникові необхідно розкрити зовнішнє захисне

покриття ВОК, що призведе до падіння тиску в кабелі і буде виявлено датчиком тиску на крайовому пункті ВОЛЗ і буде поданий сигнал тривоги.

7. ВОК з струмоведучими жилами або металевою опліткою, підключеною до сигналізації про розтин ВОК. При використанні ВОК із захисною металевою опліткою у вигляді гофра або стрічки для проникнення до ОВ необхідно порушити її цілісність. Якщо металева оплетка підключена до напруги з невикористанням релейного захисту, то при порушенні її цілісності відбудеться знеструмлення лінії і спрацьовування сигналізації, що повідомляє про НДІ. При використанні комбінованих ВОК з ОВ і мідним дротом можливе підключення їх до високої напруги. При розтині подібного ВОК перехоплювач буде вражений.

8. Використання конструкції ВОК, яка захищає ОВ від вигину, який сприяє порушенню повного внутрішнього відбиття.

Як впливає з розгляду конструкції всередині об'єктових кабелів, вони легко доступні для проведення НДІ. У зв'язку з цим необхідно проводити їх прокладку такими методами, які б ускладнили проникнення к ним злоумисника. При горизонтальній прокладці їх необхідно прокладати всередині стін в спеціальних каналах або в коробах по стінах. При вертикальній прокладці укласти ВОК в важкорозтинаючі трубки, прокладені між поверхами.

### 3.5 Захист ВОЛЗ на рубежі прокладки ВОК

Середовище передачі інформації з використанням оптичного волокна дозволяє підвищити захищеність ліній зв'язку, що використовують традиційні способи прокладки, а також застосовувати нові способи, що перешкоджають доступу до волокно-оптичного кабеля.

Волокно-оптичні лінії зв'язку значно перевершують лінії з використанням металевих проводів за цілою низкою властивостей. Особливо важливими властивостями для захисту від НДІ є: відсутність електромагнітного випромінювання з поверхні ОВ; несприйнятливість до електромагнітного випромінювання і малі габаритно-масові показники.

Ці властивості дозволяють підвищити захищеність від НДІ при використанні традиційних методів прокладки, а також здійснювати абсолютно нові способи прокладки ВОК, що володіють підвищеною захищеністю від НДІ і високою економічністю.

### 3.5.1 Захист ВОЛЗ шляхом прокладки по лініях електропередачі

Абсолютно нові можливості захисту інформації відкрилися при прокладці ВОК способом підвіски. Традиційні провідні лінії зв'язку виконуються або з використанням окремо розташованих стовпів на яких відсутні лінії електропередачі, або підвішуванням між будівлями далеко від джерел, що створюють електромагнітні перешкоди в металевих провідниках.

У зв'язку з тим, що в оптичних волокнах замість потоку електронів використовується фотони, ВОЛЗ не сприйнятливі до ЕМВ. Ця властивість дозволяє виконувати прокладку ВОК спільно з лініями електропередачі. Така прокладка виявляється набагато економічніше, тому що не вимагає відчуження землі і установки стовпів. Також зникає можливість зняття інформації з лінії зв'язку традиційними методами з використанням індуктивних методів, що застосовуються в дротяних лініях зв'язку. Найсуттєвішим способом захисту ВОЛЗ від НДІ є захищеність від встановлення контакту злоумисників з ВОК в зв'язку з розташуванням лінії зв'язку в зоні високовольтної напруги. Нові способи прокладки ВОК, як по стовпах міського електротранспорту та залізниці, так і з використанням ЛЕП ускладнюють можливість фізично дістатися до кабелю, через небезпеку ураження електричним струмом.

Використання підвіски по лініях електропередачі (ЛЕП) повністю виключає можливість НДІ, тому що ВОК знаходиться в безпосередньому контакті з фазними проводами, під дуже високою напругою, або знаходиться в середині фазного проводу або в середині троса грозозахисту.

У зв'язку з вищесказаним з'явилися також нові способи прокладки ВОК, захищені від НДІ, як підвіска самоутримних кабелів, що не містять металевих елементів, поряд з струмопровідними проводами; примотки ВОК до фазного

проводу за допомогою діелектричних ниток; навивання на фазний провід, заміна існуючих фазних проводів на дроти з ОВ всередині них, прокладка троса грозозахисту з ОВ в його центрі.

Самоутримних підвісних ВОК в якості елемента, що захищає ОВ від розтягування, використовується діелектричні стрижні, розраховані на певне розтягуюче зусилля. Використання діелектричних стрижнів не створює нагріву кабелю електромагнітними наведеннями від лінії електропередачі. Це охороняє елементи кабелю від старіння і дозволяє підвішувати кабель в безпосередній близькості від різних проводів з використанням арматури. Таке розташування ВОК створює неможливі умови доступу для зловмисника.

Можливе використання самонесучого ВОК конструкції «8» з використанням несучого металевих троса. Такий кабель підвішується на значній відстані від фазного проводу в зоні з меншою величиною електромагнітних наведень. Використання такого методу прокладки забезпечує доступ до ВОК зловмисникові. У зв'язку з цим для надійного захисту ВОК слід використовувати ВОК без металевих елементів і його підвести якомога ближче до токонесучих проводів ЛЕП.

Високою захищеністю від НДІ володіє прокладка кабелю з кріпленням до фазного проводу або його намотування на фазний провід. У першому випадку ВОК розташовується паралельно фазного проводу і кріпиться до нього за допомогою діелектричних шнурів. У другому випадку діелектричний кабель невеликого діаметра, який намотується з певним кроком на грозотрос або фазний провід; цей метод будівництва застосовують на ЛЕП 110 кВ і вище. Навивка оптичного кабелю на фазний провід практично виключає його обмерзання, яке так само, як і вібрації на прольотах між опорами через вітрові навантаження, є основною причиною обриву повітряних проводів. Досягається це завдяки розігріванню обвитою навколо дротів з вологозахищеною поліетиленовою оболонкою оптичного кабелю під дією електромагнітного поля ЛЕП. Крім того, збільшення турбулентності повітряних потоків, набрякають систему «Оптичний кабель - провід ЛЕП» на 40-60% знижує рівень вібрації. В

даний час розроблено таку технологію навивки ОК на несучий дріт, яка забезпечує збереження оптичного кабелю при обриві несучого. Це досягається навивкою оптичного кабелю до середини прольоту в одну сторону, а потім в іншу. В середині прольоту оптичний кабель закріплюється спеціальним затискачем, який звільняє кабель в разі обриву несучого проводу.

#### Переваги Н-ВОЛП:

- знижує навантаження на опори ПЛ в процесі будівництва і експлуатації ВОЛП за рахунок застосування більш легкого і тонкого навивного ОК, що особливо актуально для ВЛ 6-10 кВ;

- мале збільшення ожеледних і вітрових навантажень на опори проводу ПЛ;

- не зменшується просвіт між лінією і землею, що важливо при переході доріг і водних перешкод.

Так як ВОК знаходиться в безпосередньому контакті з фазним проводом під високою напругою, доступ до нього для здійснення НДІ неможливий. Ще більш захищеним є ВОК вмонтований в фазний провід або грозозахисний трос в зв'язку з неможливістю доступу до фазного проводу та складності проникнення в ВОК, що знаходиться всередині нього.

При підвісці ВОК слід приділити особливу увагу до розташування оптичних муфт, що з'єднують цей кабель. В даному випадку для підвищення захищеності лінії зв'язку доцільно використовувати ВОК не стандартної довжини 2 км, а кабелі за спецзамовленням довжиною 4-6 км. В цьому випадку скорочується кількість оптичних муфт, які можна розташувати в зоні, що охороняється або в недоступних місцях під високою напругою.

#### 3.5.2 Прокладки в ґрунт

Малі габаритно-масові показники ВОК, а також висока протидія до розтягуючих зусиль дозволяє використовувати нові методи прокладки в ґрунт, традиційно в телефонну каналізацію, а також в різні види каналізації,

використовувані в житлово-комунальному комплексі, аж до водопровідної та фекальної каналізації. Прокладка захисних поліетиленових труб (ЗПТ) в трубах фекальної каналізації з подальшим задуванням в них ВОК була успішно здійснена в Венеції, де заборонено, через незахищеність від вологи будинків, виконання будь-яких інженерних робіт. Такий спосіб прокладки майже повністю виключає НДІ до ВОК, що ускладнює його виявлення і проведення НДІ.

Малі габарити ВОК дозволяють легко здійснювати його прокладку в кабельній каналізації в якій кабельний стовбур повністю заповнений проведеними кабелями, що перешкоджають вилученню ВОК.

### 3.5.3 Прокладка ВОК під водою

ВОК, прокладений під водою, має підвищену захищеність від НДІ. Захищеність ВОК забезпечується ускладненням доступу до нього порушника через необхідність подолання наступних рубежів його захисту:

- виявлення ВОК на дні водойми;
- створення умов, що забезпечують можливість доступу до ОВ, захищеному конструкцією ВОК в умовах навколишньої води.

При знаходженні кабелю під водою його неможливо обробляти і проникати до ОВ, тому що вода впливає на оголені волокна, що призводить до виявлення НДІ. Кабель, прокладений через річкові переходи, може бути укладений із заглибленням в даний ґрунт, і відсутність ЕМВ з нього, ускладнює його знаходження, на відміну від кабелів з мідними проводами. Знаходження ВОК, прокладеного по дну морів і океанів вельми проблематично. Якщо навіть кабель знайдений його необхідно підняти з глибини на судно-перехоплювач і тільки після цього його обробити. Товсті шари гуми і обплетення сталевими проводами ускладнюють цю операцію, а штормові умови можуть виключити проведення цих робіт.

Як видно з вищеописаних методів підводної прокладки ВОК, доступ зловмисника до нього досить проблематичний як через виявлення ВОК на значній глибині так і спосіб обробки кабелю в підводних умовах без порушення лінії зв'язку в цілому. Проте знімання інформації з мідного провідного кабелю зв'язку Росії успішно здійснювався в Охотському морі за участю ВМС США, а в даний час надійшов на озброєння серійний підводний човен зі спеціальним відсіком для НДІ з ВОК.

### 3.6 Захист ВОЛЗ на рубежі оптичних муфт

#### 3.6.1 Типи оптичних муфт по призначенню

За способом введення.

За способом введення кабелю в муфту, вони поділяються на тупикові, прохідні і універсальні. У тупикової муфти кабельні вводи знаходяться з одного боку, у прохідної - з протилежних сторін. Універсальна муфта має кабельні вводи з різних сторін, невикористовувані вводи закриваються заглушками. Конструкції муфт містять, як правило, три і більше кабельних введення, що дозволяє їх використовувати в якості сполучних і розгалужувальних муфт. Герметизація кабельних входів в муфтах може виконуватися різними способами: за допомогою гумових або силіконових ущільнювачів; герметизуючих мастик; термоусаджуваних трубок. Корпус муфт виготовляється з ударостійкого пластику або металу. Герметизація з'єднання кришки або кожуха муфти з її корпусом виконується з використанням гумових або силіконових ущільнювачів або термоусаджуваних трубок з ущільненням місця герметизації за допомогою болтів або хомутів.

Конструкція оптичної муфти містить наступні елементи:

- корпус муфти з кришкою;
- деталі для закріплення кабелю і його силових елементів;
- касети для укладання і захисту зварних або механічних з'єднань оптичних волокон;

- гільзи КДЗС (комплект для захисту зварювання) для захисту місць зварювання волокон;
- деталі для заземлення електропровідних елементів кабелю.

Одним з основних елементів оптичної муфти є касета, призначена для укладання і закріплення оптичного волокна, захисту місць зрощування волокон, забезпечення при укладанні волокон радіусів їх вигину не менше 30 мм, зберігання технологічних відрізків волокна, необхідних для монтажу і ремонту. Касети мають різне конструктивне виконання. Для прикладу на рис. 3.17 представлена касета КВ виробництва ЗАТ «Связьстройдеталь». На малюнку волокна 2 оптичного модуля 1 кілька разів укладені по периметру касети для забезпечення технологічного запасу 4. Місця зварювання волокон захищені гільзами КДЗС 3, які складаються з металевого або полімерного стрижня, клейової трубки і термоусаджуваної трубки. При нагріванні клейова трубка розплавляється і герметизує місце зварювання, а термоусаджувана трубка зменшується по зовнішньому діаметру від 3,1 до 2,4 мм, утворюючи оболонку волокон. Стрижень забезпечує жорсткість з'єднання в місці зварювання. Гільзи з з'єднаними між собою волокнами укладаються в прорізи ложементу 5 і закріплюються. Зверху касета закривається прозорою кришкою.

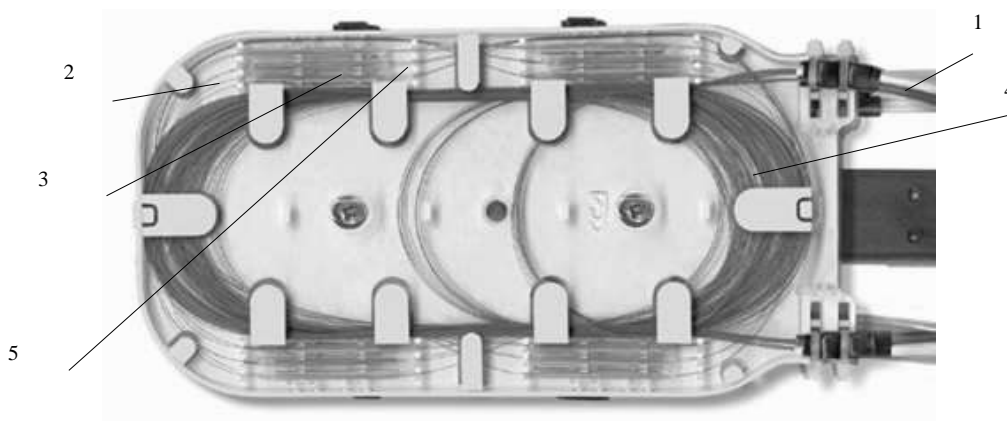


Рисунок 3.15 - Касета оптичної муфти:

- 1 - оптичний модуль, що вводиться;
- 2 - оптичні волокна;
- 3 - гільзи КДЗС;

4 - технологічний запас волокна;

5 - ложемент для укладання і закріплення волокон.

У муфтах може встановлюватися одночасно кілька касет. Касети прикріплюються один до одного, утворюючи стопку касет. Стопка потім закріплюється на кронштейні муфти.

### 3.6.2 Конструкції оптичних муфт

Муфти тупикові оптичні МТОК. Типовий зовнішній вигляд муфт типу МТОК представлений на рис. 3.16:

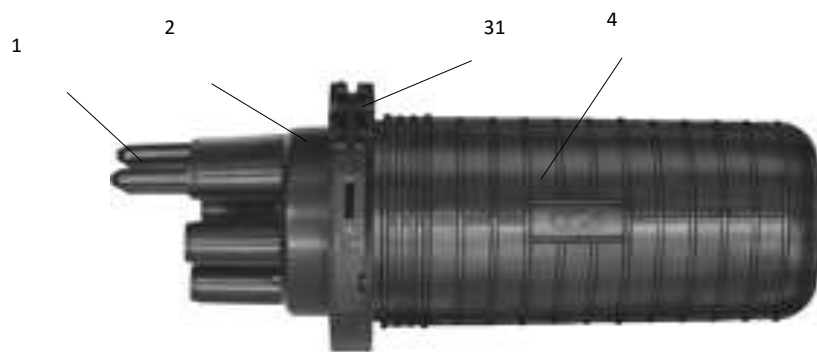


Рисунок 3.16 - Зовнішній вид муфти:

1 – патрубків;

2 – оголовник;

3 – хомути;

4 - кожух.

Для забезпечення герметичності з'єднання оголовника 2 з кожухом 4 застосовуються два способи. Перший спосіб механічний за допомогою пластмасового хомута 3 із засувкою або сталевого хомута під гвинт, другий - за допомогою термоусаджуваної трубки і пластмасових хомутів. Кожух виконується з міцної пластмаси або з нержавіючої сталі. Оголовник 2 містить

патрубки 1. Патрубки мають ступеневий розтин, що дозволяє підібрати місце зрізу під діаметр кабелю. Оголовник може оснащуватися патрубком овальної форми для укладання транзитного кабелю. У конструкціях муфт застосовуються 7 різновидів оголовник типів А, Б, В, Г, К, Л, М. Всередині муфти знаходяться касети, металевий або пластмасовий кронштейн для кріплення касет, деталі для кріплення елементів кабелів. Для прикладу на рис. 3.17 зображена типова внутрішня конструкція муфт МТОК:

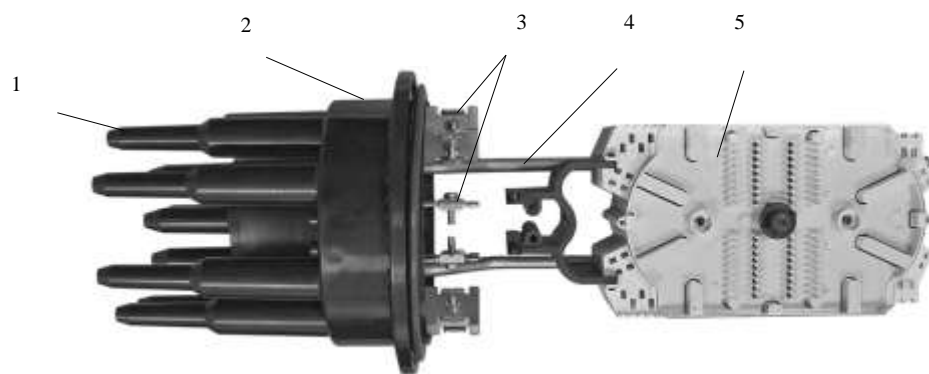


Рисунок 3.17 -Конструкція муфти зі знятим кожухом:

- 1 - патрубки;
- 2 - оголовник;
- 3 -деталі кріплення елементів кабелю;
- 4 - кронштейн для кріплення касет;
- 5 - касета.

Температура експлуатації від  $-60^{\circ}\text{C}$  до  $+70^{\circ}\text{C}$ , відносна вологість 100%, зусилля здавлювання 10 кН/100 мм, ударостійкість 10 Дж.

За призначенням муфти МТОК поділяються на підвісні, універсальні і магістральні.

Підвісні (внутрішньозонові) муфти типу МТОК-Г3, МТОК-Л6 і МТОК-Л7 призначені для зрощування і монтажу підвісних самоутримних ВОК, підвісних ВОК з виносним силовим елементом, а також ВОК, що застосовуються для укладання в кабельну каналізацію і в захисні поліетиленові

труби, включаючи кабель з бронею зі сталеві гофрованої стрічки. Муфти дозволяють вводити кабель діаметром від 5 до 20 мм. Підвісні муфти можуть встановлюватися на опорах всіх видів, а також на дахах і горищах будинків. З додатковим захистом муфти можлива її установка в колодязях кабельної каналізації і в підземних контейнерах. Герметизація кожуха з оголовником механічна з використанням пластмасового хомута. Кожух і кронштейн для установки касет пластмасові. Ступінчасті патрубки мають звужені кінці, призначені для введення.

### 3.6.3 Методи захисту доступу до ОВ в оптичних муфтах

Можливі наступні методи захисту, що перешкоджають доступу до ОВ в оптичних муфтах.

1. Скорочення кількості муфт за рахунок мінімізації зростків збільшенням будівельних довжин ВОК.

Кабельна промисловість, що випускає ВОК має стандартну довжину 2 км. Можливе замовлення кабелю довжиною 4 км. На спецзамовлення можливе виготовлення кабелю будівельної довжиною 6 км. У цьому випадку кількість муфт скорочується в 2 або 3 рази. Однак збільшення будівельної довжини кабелю тягне за собою більш дорогий його вартість в зв'язку з цим необхідно провести економічний розрахунок вигідності цього варіанту.

2. Заливка обсягу касети з волокнами неруйнівним герметиком.

З метою перешкоди доступу до ОВ в касеті можлива заливка простору касети з укладеними в ній ОВ неруйнівного компаунду, наприклад, епоксидної смоли

При необхідності доступу до ОВ для проведення будь-яких робіт рекомендується використовувати додаткове оброблення запасу ВОК при вході в касету. Такий підхід запропонувала компанія «Связьстройдеталь».

Однак цей підхід можливий при захисті від НДІ лінії зв'язку з невеликою кількістю ОВ в кабелі. При великій кількості ОВ в кабелі, який може досягати від 96 до 216 волокон цей підхід неприйнятний.

### 3. Захист муфти металевим захисним кожухом.

Багато муфти комплектуються металевим захисним кожухом. Так муфти типів МТОК 96-01 IV або МТОК 9681-01-IV-7 укладаються в чавунну захисну муфту.

З метою ускладнення доступу до оптичної муфти можливе електрозварювання металевої муфти і її кришки, або загвинчування болтами як руйнуються при затягуванні.

### 4. Використання електросигналізації при розтині муфти.

При наявності броні в ОК або комбінованих кабелів з оптичними і металевими проводами можлива установка розмикачів які розмикаються при розтині муфти. Ланцюг броні або один з проводів кабелю знаходиться під напругою і підключеним до системи сигналізації на крайовому пункті ВОСП. У разі розкриття муфти відбувається розрив ланцюга, на крайовому пункті ВОСП спрацьовує сигналізація, яка відключає лінію зв'язку. Як розривач контакту може бути використаний геркон або інше електроконтактні пристрої.

### 5. Використання оптичної сигналізації при розтині муфти.

При розтині кришки муфти можливе використання пристрою, що вигинає або розриває сигнальне ОВ. Сигнал про розтин передається на крайовий пункт ВОСП в результаті чого зв'язок в захищеному каналі переривається.

### 6. Методи маскуванню при прокладці в ґрунт.

При прокладанні муфти в ґрунт необхідно її заглиблення на глибину більшу ніж передбачено стандартом, а також виключення прокладання над муфтою і ділянці кабелю поблизу муфти сигнальної стрічки про наявність під нею кабелю.

Також рекомендується не встановлювати на поверхні ґрунту сигнального стовпчика контрольно-вимірювального пункту. Ці заходи ускладнюють знаходження траси прокладання ВОЛЗ і знаходження оптичної муфти.

### 7. Розташування в зоні високої напруги при установці на ЛЕП.

У разі прокладання ВОЛЗ з використанням лінії електропередачі рекомендується застосовувати діелектричну захисну оптичну муфту без

металевих елементів в ній і розташовувати її в зоні високої напруги, що перешкоджає доступ до неї.

#### 8. Заповнення газом під тиском.

У системах, в яких кабель міститься під тиском, і муфта повинна бути в змозі витримати робочий тиск в лінії можлива установка датчика тиску, що спрацьовує при падінні тиску при розтині муфти. Датчик тиску впливає на розрив електричного кола при наявності такої в лінії зв'язку або на сигнальне ОВ, які передає сигнал про розтин муфти на крайовий пункт ВОСПП.

### 3.7 Захист ВОЛЗ моніторингом оптичного тракту

#### 3.7.1 Методи контролю оптичного сигналу на виході ОВ

Контроль сигналу на виході ВОЛЗ може здійснюватися двома методами:

- за загасанням сигналу шляхом вимірювання потужності прийнятого сигналу;
- з аналізу стану лінії зв'язку з використанням аналізатора коефіцієнта помилок.

#### 3.7.2 Захист лінії зв'язку з використанням аналізатора потужності прийнятого сигналу

СДС з аналізом сигналу, що пройшов є найбільш простою діагностичною системою.

На приймальній частини ВОЛЗ вимірюється величина прийнятого інформаційного сигналу. При НДІ відбувається зменшення цього сигналу  $P_R$ . Ця зміна його величини фіксується і передається в блок керування ВОЛЗ, після чого відбувається припинення передачі.

При НДІ в ПрОП НДІ відводиться з ВОЛЗ оптична потужність  $P_{RX}$  що призводить до збільшення сумарного загасання  $\alpha + \alpha_X$  і зменшення потужності оптичного сигналу  $P_R$  на вході ПрОП. Підключення на виході ПрОП вимірювача оптичної потужності дозволяє виявити зменшення оптичного сигналу, що відбувається внаслідок НДІ, і передати відповідну команду в блок управління на стороні передавальної станції в ПОП про припинення зв'язку.

Використання аналізатора потужності прийнятого сигналу вимагає застосування вимірювача оптичної потужності підвищеної чутливості тому ПрОП сучасних ВОЛЗ мають енергетичний потенціал до 40 дБ, що ускладнює виявлення незначної величини зменшення сигналу при НДІ.

Так як лінія знаходиться під постійним контролем, то апаратура контролю НДІ призводить наглядання за рівнем сигналу. Якщо ця апаратура виявляє зменшення рівня сигналу, то це означає нелегальне підключення і перехоплювач відбирає малу частину потужності з лінії. Зазвичай займана потужність досить мала, то виявити підключення дуже непросто. Це пояснює, чому перехоплювач інформації не може перехопити досить великі обсяги потужності, тому що апаратурі контролю було б простіше виявити НДІ. У зв'язку з цим чутливість використовуваної апаратури контролю НДІ повинна бути якомога більшою.

### 3.7.3 Захист лінії зв'язку з використанням рефлектометричної системи діагностики ВОЛТ

СДС з аналізом відбитого сигналу (рефлектометрична СДС) дозволяють найбільшою мірою підвищити захищеність ВОЛЗ. Для контролю величини потужності сигналу зворотного розсіювання в ОВ в даний час використовується метод імпульсного зондування, який застосовується в усіх зразках вітчизняних і зарубіжних рефлектометрів (рис. 3.18).

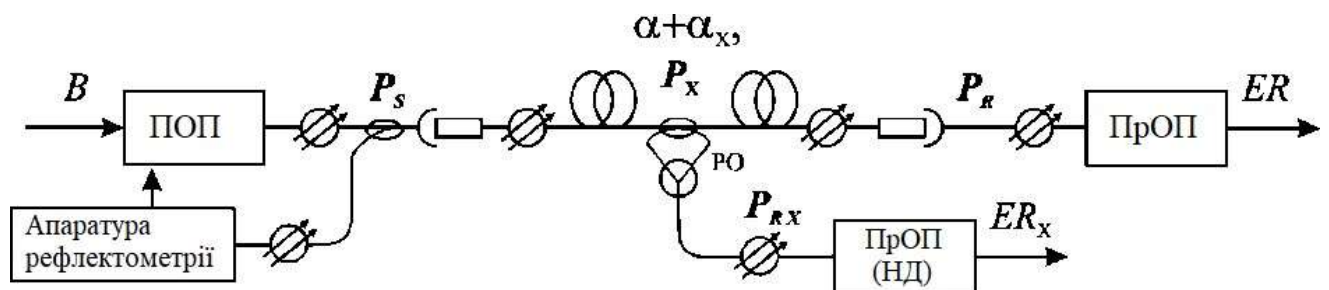


Рисунок 3.18 - ВОЛЗ з рефлектометричними системами діагностики стану ВОЛТ

Дану схему можна пояснити так - в досліджуване ОВ вводиться потужний короткий імпульс, після цього реєструється випромінювання на одному кінці. За інтенсивністю даного випромінювання можна робити висновки про втрати в оптичному волокні, розподілені по його довжині на відстані до 100 - 120 км. В якості такого рефлектометра може бути використаний оптичний рефлектометр Мінського інституту радіоелектроніки, виконаний на базі комп'ютера типу note-book (можливе використання і персонального комп'ютера сімейства IBM) з відповідним програмним забезпеченням. Локальна зміна рефлектограмми більш ніж на 0,1 дБ говорить про ймовірну спробу несанкціонованого доступу до оптичного волокна [9].

### 3.7.4 Оптична рефлектометрія в тимчасовій області (OTDR)

OTDR дає користувачеві візуальне уявлення про характеристики оптичного волокна по його довжині. Він являє графік на екрані, де горизонтальна вісь відповідає відстані по довжині кабелю, а вертикальна вісь - загасанню кабелю. При відповідній настройці, дисплей OTDR може забезпечити користувача такою інформацією:

- місцем розташування аномалій (уздовж волокна);
- втратами в волокні;
- втратами на зростку і втратами в роз'ємі;
- оптичними зворотніми втратами;
- наявність і розташування НЗІ.

Він забезпечує найповніше уявлення про цілісність волокна (кабелю).

Робота OTDR нагадує роботу радара. Він посилає короткі світлові імпульси і вимірює час, необхідний для отримання відбитого сигналу. У разі радара, це може бути імпульс, відбитий від корабля або літака. У нашому випадку OTDR випромінює світловий імпульс, який поширюється вздовж волокна до тих пір, поки не зустрінє якусь перешкоду. Повернений сигнал складається з назад розсіяного світла вздовж волокна (а) і світла, відбитого від

дефектів волокна. Оптичні втрати між двома точками на волокні можуть бути, побічно, визначені шляхом вимірювання різниці в потужності оптичного сигналу, відбитого від цих двох точок. Типова картина відбитого сигналу показана на рис. 3.19.

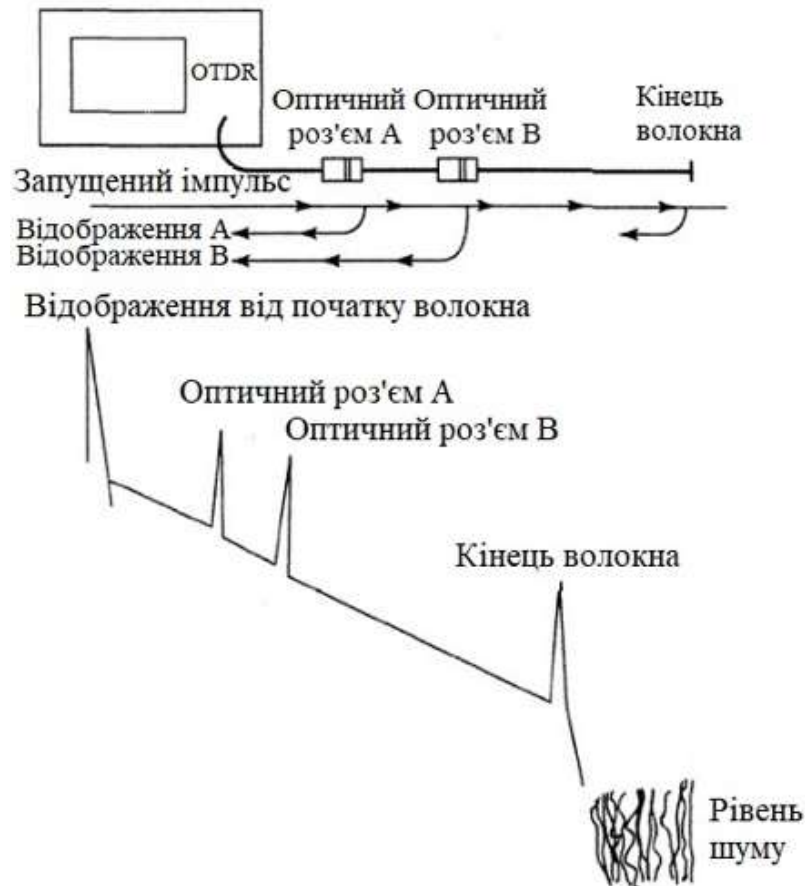


Рисунок 3.19 - Типова схема використання OTDR для вимірювання на зразку волокна з двома кінцевими оптичними роз'ємами

Верхня частина малюнка показує схему підключення OTDR, а нижня - графік загасання відбитого сигналу, відтвореного на екрані OTDR.

Основне завдання OTDR - вимірювати відстань до місць обриву волокна або інших аномалій по довжині кабелю. Знаючи показник заломлення серцевини волокна ( $n$ ) і час, необхідний для повернення відображення ( $T$ ), в секундах, OTDR обчислює відстань  $D$  до дефекту, в метрах, використовуючи такий вираз:

$$D \text{ (метри)} = 3 \times 10^8 \times (T) / 2 \times (n) \quad (3.1)$$

Часто відбитий світловий сигнал дуже слабкий і маскується шумом приймальні частини OTDR. Ось чому OTDR посилає пачку імпульсів. Приймач в цій ситуації приймає пачку імпульсів, обчислює для неї середнє значення, після чого відображає слід на екрані дисплея.

OTDR представляє результати своїх вимірів в формі сліду (графіка) загасання на дисплеї. Відображена інформація представлено похилими слідами логарифма розсіяною потужності, прийнятої OTDR.

Слід зауважити, що нахил сліду приблизно дорівнює загасанню волокна. Там, де є зростки, роз'єми або інші розриви безперервності волокна, їх приблизні втрати можна оцінити за величиною вертикального зсуву похилих слідів по різні боки від стику або розриву безперервності. Акуратніші значення вимірювань зазначених втрат можна отримати, використовуючи середнє двох вимірів OTDR, проведених з різних кінців вимірюваної лінії. Можна переконатися, що OTDR є унікальним інструментом, що дозволяє проводити вимірювання дефектів волокна, як в плані внесених ними змін оптичної потужності, так і з точки зору їх відстані до OTDR. На рис. 3.20 представлений вид графіка відображень сигналу на дисплеї OTDR. Ідентифікуються розриви безперервності загасання.

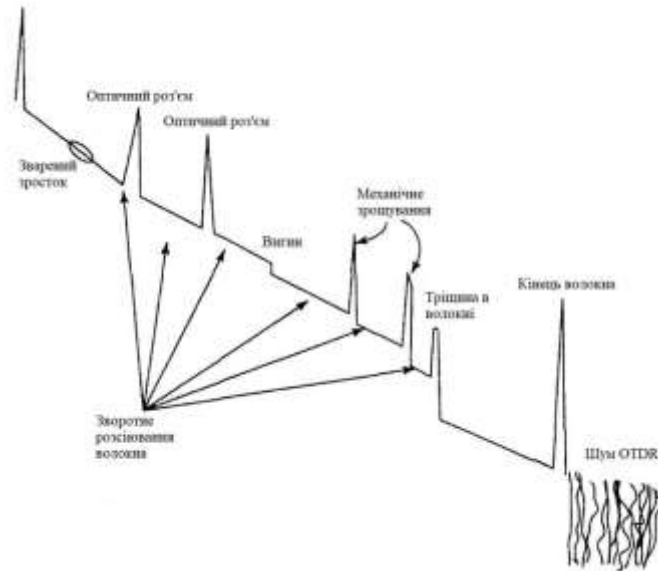


Рисунок 3.20 - Вид графіка відображень сигналу на дисплеї OTDR

В цілому по довжині, волокно, що відбиває світло, залишає враження середовища з відгуком у вигляді прямої лінії з постійним нахилом. Постійний нахил представляє закумуляоване загасання волокна при проходженні по ньому імпульсів. Пряма лінія представляє зворотне розсіювання, що характеризує розсіювання від неоднорідностей волокна. Уздовж сліду спостерігаються сходинки. Сходинка - це миттєва зміна потужності. Більшість, якщо майже не всі, з цих сходинок, видимі вздовж сліду OTDR, представляють зварні зростки. Сходинка також може бути результатом світла, відбитого від мікровигинів волокна. У цій ситуації волокно може бути розплющене або строго зігнуте (макровигин), так що якась кількість світла може бути втрачена, що призводить до втрат (загасання).

На сліді OTDR також видно піки, або гострі виступи. Вони являють собою відображення, викликані переходами через кордон розділу середовищ: скло-повітря, повітря-скло. Можна очікувати появу таких піків в місцях механічних зростків або оптичних роз'ємів. На кінці волокна відбувається повернення світла з шуму. Цей шум в більшості своїй виникає завдяки приймачу, який має кінцеву чутливість. Важливим параметром OTDR є динамічний діапазон. Він може бути визначений, як різниця між потужністю на

початку зворотного розсіювання, показаного у вигляді піку на початку сліду, і потужністю у піку в самому кінці сліду (волокна), біля кордону шуму.

Існує ще одна межа на дисплеї OTDR. Це так звана мертва зона ослаблення, або просто мертва зона. Ця межа описує відстань між початком піку і точкою, де він майже повернувся до рівня зворотного розсіювання. Мертва зона обмежує роздільну здатність вимірювань. Обидва із цих параметрів залежать від поведінки приймача і від імпульсу, запущеного уздовж волокна при вимірюванні. Вони ніби гасять один одного: чим краще динамічний діапазон, тим гірше мертва зона, і навпаки.

Можна очікувати, що OTDR забезпечить отримання такої інформації про типову ВОЛЗ або її сегменті:

- типові характеристики волокна (коефіцієнт загасання, коефіцієнт зворотного розсіювання та ін.);
- втрати, що вносяться;
- відбивну здатність;
- поворотні втрати;
- відстань між дефектами;
- відстань і втрати між термінальними точками.

Наступні два типи аномалій можуть бути показані на екрані дисплея OTDR:

- Помилковий сигнал. Багато спостерігали такого типу сигнали (напр., Двоїння зображення) на екрані ТБ. На екрані дисплея може з'явитися помилковий сигнал, якого фактично немає в наявності. Поява такого сигналу може бути викликано як OTDR, так і волокном. Помилковий сигнал може бути викликаний багаторазовими відображеннями в обох напрямках в волокні. Світло одного з таких відображень, потрапляючи в OTDR з певною затримкою, може викликати появу помилкового сигналу, що розглядається як додатковий дефект. Інтенсивність помилкового сигналу можна знизити шляхом зменшення

відбивної здатності оптичних роз'ємів, або шляхом заміни роз'ємів звареними зростками. Типовий пік від помилкового сигналу показаний на рис. 3.21.



Рисунок 3.21 - Типовий пік від помилкового сигналу

Рекомендації по захисту мониторингом:

- використовувати один з методів контролю величини потужності сигналу, що проходить по каналу, який підлягає захисту;
- використовувати для захисту закритої інформації контроль відбиття сигналу рефлектометричним способом;
- мати бібліотеку рефлектограм для порівняння зміни в часі і виявлення можливого впливу на лінію зв'язку у місці виникнення додаткових втрат;
- прагнути проводити рефлектометричний контроль в лініях зв'язку з розбиттям участків контролю на частини, що підвищить величину сигналу НЗІ на рефлектометрі;
- використовувати метод аналізу коефіцієнта помилок в інформації, що передається по лінії зв'язку.

### 3.8 Захист ВОЛЗ шляхом шифрування з використанням маскування інформації

#### 3.8.1 Принципи оптичного мультиплексування WDM

Оптичне мультиплексування з поділом по довжинах хвиль МПДХ (WDM) - порівняно нова технологія хвильового мультиплексування, дозволила передавати по одному ОВ не одну, а  $n$  несучих, і ознаменувала прихід і розвиток широкосмугових ВОСП, що дозволив різко збільшити їх ємність до 10 Тбіт/с і вище.

WDM-системи називають системами оптичного мультиплексування з частотним поділом (Optical FDM, OFDM). При OFDM несучі генеруються окремими джерелами (лазерами), сигнали яких потім об'єднуються мультиплексором в єдиний багаточастотний сигнал. Його складові можуть передавати потоки цифрових сигналів, сформовані на основі різних синхронних технологій - ATM, SDH, PDH і т. і. Для цього несучі модулюються цифровим сигналом, відповідним переданому трафіку. Для WDM-систем не має значення, які методи використовуються для кодування і формування конкретного цифрового сигналу, так як вони вважаються прозорими для зовнішнього сигналу, на відміну від систем SDH.

Блок-схема WDM-систем.

Основна схема WDM-системи має вигляд, представлений на рис. 3.22, де показаний прямий (симплексний) канал.

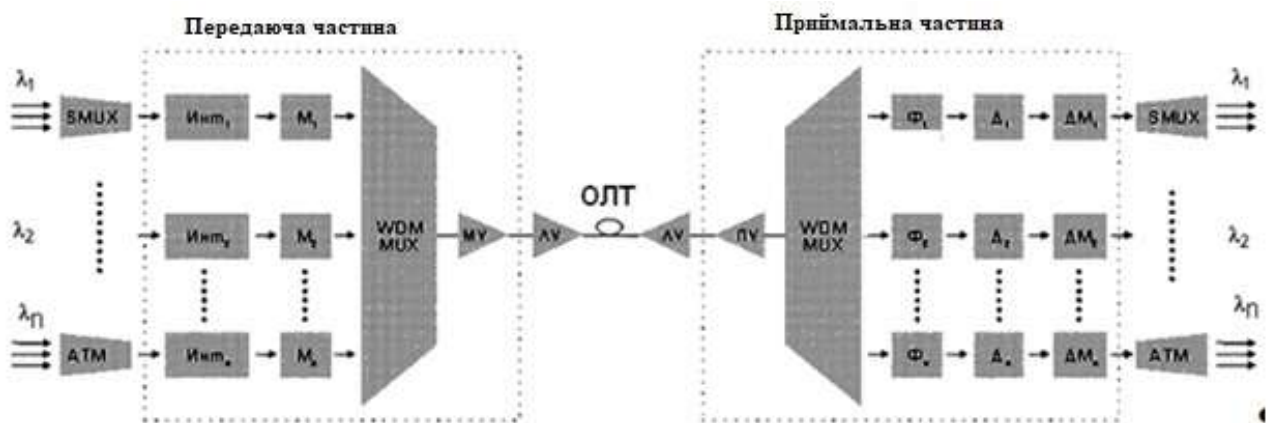


Рисунок 3.22 - Блок-схема система, що використовує WDM 8

Передавальна частина системи спочатку приймає  $n$  вхідних потоків даних (кодованих цифрових імпульсних послідовностей з довжинами хвиль несучих  $\nu_i$  від різних джерел); в якості прикладу на першому каналі показаний SDH-мультиплексор SMUX, на  $n$ -му каналі - АТМ-мультиплексор. Ці потоки обробляються відповідними інтерфейсними блоками  $Int_i$  і модулюються (основною смугою) оптичними модуляторами  $M_i$ . Модульовані оптичні несучі мультиплексуються (об'єднуються) за допомогою WDM-мультиплексора  $M_{\text{чх}}$  в сумарний потік на виході, який після посилення бустером (потужним підсилювачем) МУ подається в волокно.

Приймальна частина системи, посиливши прийнятий потік предпосилювачем ПУ, демультіплексує його, тобто розділяє на компоненти з несучими  $\nu_i$ , які фіксуються за допомогою детекторів  $D_i$ . Для зменшення перехідних перешкод і збільшення завадостійкості детектування перед детекторами можуть встановлюватися смугові фільтри  $\Phi_i$ . Сигнали з виходу детекторів  $D_i$  демодулюються демодуляторами  $DM_i$ . В результаті відновлюються вихідні кодовані цифрові імпульсні послідовності, що подаються потім на вхід демультіплексорів відповідних технологій. Окрім МУ та ПУ в системі можуть буди встановлені також лінійні оптичні підсилювачі ЛУ.

### 3.8.2 Спосіб маскування інформації у ВОЛЗ від несанкціонованого доступу

Спосіб працює наступним чином (рис. 3.23). Наприклад, необхідно безпечно, швидко та якісно передати конфіденційну інформацію від мікрофона, що являє собою сигнал в аналоговій формі. Для цього виконуються наступні перетворювальні дії. Перш за все отримуємо інформацію у вигляді інформаційних сигналів, що являються наслідком перетворення сигналів з аналогової форми в цифрову, а потім в оптичні та представляють собою набір двійкових одиниць і нулів, розподіляємо їх у коді RZ-1/4 на певній довжині

хвилі Л1 (кодограма 1). Наступним кроком отримані у коді RZ-1/4 інформаційні сигнали затримуються на час, що дорівнює половині тактового інтервалу, що для коду RZ-1/4 представляє собою чотири окремих частини, тобто на час, рівний  $T-1/2$  (кодограма 2), та поєднуються з першою його чвертю, що передається за час  $T-1/4$  (кодограма 3), в результаті чого у кожному тактовому інтервалі  $T$  передаються сигнали на довжині хвилі Л1 при передачі двійкової одиниці у часі  $T-1/4$  та  $T-3/4$ , а при передачі двійкових нулів інформаційні сигнали відсутні.

Для забезпечення більш високої захищеності передаваних сигналів переходимо до етапу маскування інформаційних сигналів двійкових нулів, де допоміжний маскований сигнал, що генерується на сусідній довжині хвилі частотного плану WDM, тобто на довжині хвилі Л2 при передачі двійкового нуля, передається на першій чверті тактового інтервалу  $T-1/4$  (кодограма 4), далі затримується на час, рівний  $T-1/2$ , та відображається у третій чверті тактового інтервалу, тобто у часі  $T-3/4$  (кодограма 5), та поєднується з першою його чвертю, що передається за час  $T-1/4$  (кодограма 6).

Отримані сигнали мультиплекуються, в результаті чого у кожному тактовому інтервалі  $T$  передаються сигнали на довжині хвилі Л1 та Л2 при передачі як двійкової одиниці, так і двійкового нуля у часі  $T-1/4$  та  $T-3/4$  рівномірно протягом кожного тактового інтервалу  $T$ , тобто інформаційний та маскований сигнали передаються у вигляді суцільного потоку даних коду RZ-1/4 (кодограма 7), що унеможливорює зрозуміти перехоплювачеві, де нуль, а де одиниця.

На приймальному боці після демультиплексування допоміжні масковані сигнали при передачі двійкового нуля відкидаються і залишаються лише інформаційні сигнали при передачі двійкової одиниці в моменти часу  $T-1/4$  і  $T-3/4$  (кодограма 8), які затримуються у часі на  $1/4$  тактового інтервалу та передаються відповідно у моменти часу  $T-2/4$  і  $T-4/4$  (кодограма 9). Усі отримані чотири інформаційні сигнали у кожній частині тактового інтервалу  $T-1/4$ ,  $T-2/4$ ,  $T-3/4$ ,  $T-4/4$  підсумовуються, в результаті чого виходить сигнал

чітко переданий протягом всього тактового інтервалу  $T$  при отриманні двійкової одиниці. Так як допоміжні масковані сигнали при передачі двійкового нуля відкинуті, то у відповідних чвертях тактового інтервалу відсутні інформаційні сигнали і на приймальному боці потрапляє інформація у чітко розрізняваному форматі коду NRZ (кодограма 10). Таким чином конфіденційна інформація у чіткому форматі швидко знайшла свого адресата, причому введене маскування забезпечило її надійний захист.

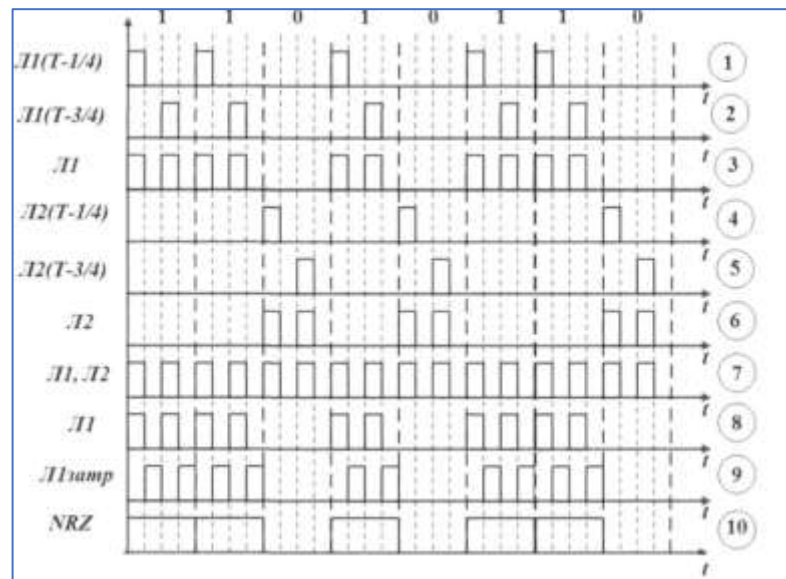


Рисунок 3.23 – Маскування інформації методом перетворення сигналу

Пристрій захисту інформації у волоконно-оптичних лініях зв'язку від несанкціонованого доступу містить передавальний оптоелектронний модуль для передачі інформації, оптично пов'язаний з прийомним оптоелектронним модулем, що приймає інформацію через послідовно встановлені перший оптичний розгалужувач, оптичне волокно та другий оптичний розгалужувач. Передавальний оптоелектронний модуль поділений на два ланцюги, до першого ланцюга надходить інформаційний сигнал, що подається на перший вхід логічного перемикаючого пристрою, перший вихід котрого з'єднаний з першим лазерним перетворювачем електричних сигналів в оптичні, що послідовно з'єднаний з першим транспондером та першою оптичною лінією затримки, що містить в собі перший та другий оптичні розгалужувачі та

входить до першого входу мультиплексора, другий ланцюг передавального оптичного модуля містить синхронізований з інформаційним сигналом генератор маскуючих сигналів, що передає вихідні маскуючі сигнали на другий вхід логічного перемикаючого пристрою, другий вихід якого послідовно з'єднаний з другим лазерним перетворювачем електричних сигналів в оптичні, другим транспондером, другою оптичною лінією затримки, що містить в собі третій та четвертий оптичні розгалужувачі та входить до другого входу мультиплексора, вихід мультиплексора в свою чергу з'єднаний через оптичне волокно з прийомним оптоелектронним модулем, що складається з демультимплексора, перший вихід якого послідовно з'єднаний з оптичним фільтром, третьою оптичною лінією затримки, що містить в собі п'ятий та шостий оптичні розгалужувачі, а другий вихід звільняється від маскуючих сигналів. Робота приладу показана на рис. 3.24.

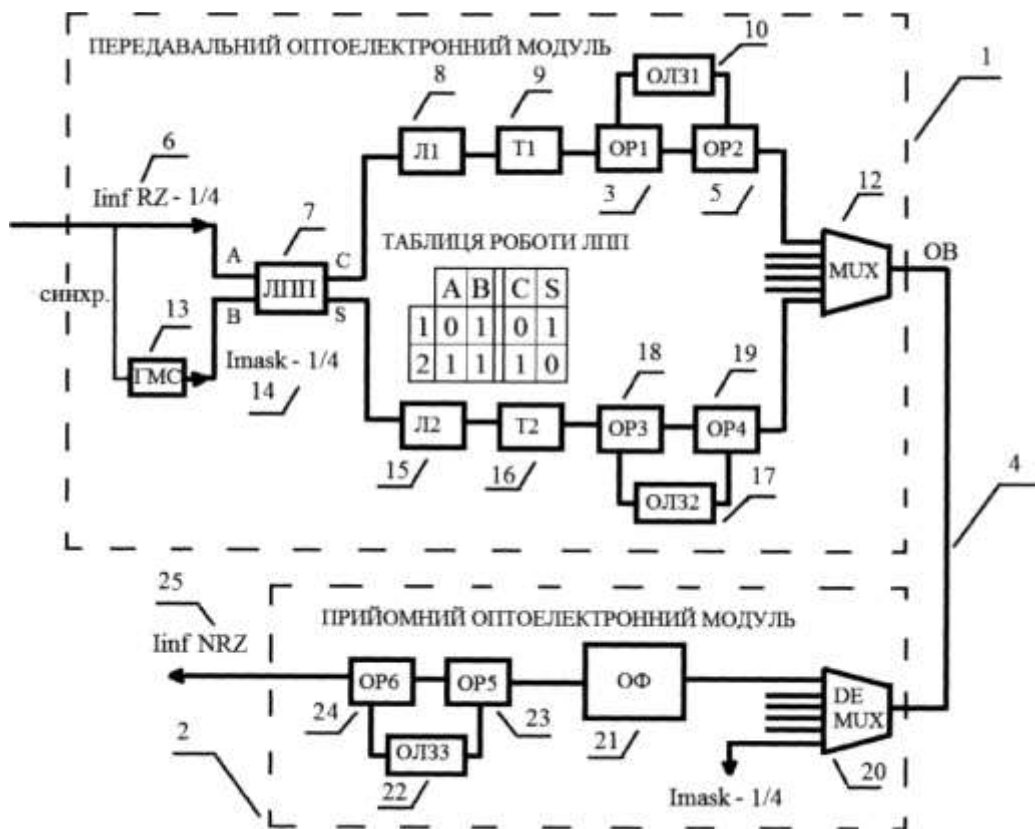


Рисунок 3.24 – Структурна схема приладу маскування інформації методом перетворення сигналу

Корисна модель належить до області передачі інформації у волоконно-оптичних лініях зв'язку та може застосовуватись для захисту конфіденційної інформації від несанкціонованого доступу.

Відомий аналог пристрій захисту інформаційного сигналу від несанкціонованого доступу у волоконно-оптичній лінії зв'язку[1], що містить дві приймально-передавальні станції і волоконно-оптичні лінії зв'язку. Кожна станція має передатчик, приймач, аналізатор несправностей, формувач дозволених рівнів і перетворювач модового складу. Пристрій виявляє підключення до волоконно-оптичної лінії зв'язку шляхом формування обмежених по рівню потужності інформаційного і контрольного оптичних сигналів, введення їх у волоконно-оптичну лінію зв'язку, прийому вказаних сигналів, виділення контрольного сигналу і порівняння рівня його потужності з рівнем потужності опорного сигналу, виявлення підключення до волоконно-оптичної лінії зв'язку і формування сигналу управління передачею інформації.

Недоліком цього пристрою є низька ефективність захисту інформації від несанкціонованого доступу у волоконно-оптичній лінії зв'язку, оскільки залишається можливість несанкціонованого підключення до волоконно-оптичної лінії зв'язку і виведення з неї передаваних інформаційного і

контрольного оптичних сигналів при високій скритності перехоплення через незначну зміну коефіцієнта передачі волокна для досить протяжної (більше 200-300 м) волоконно-оптичній лінії зв'язку.

Відомий аналог пристрій захисту інформаційного сигналу від несанкціонованого доступу у волоконно-оптичній лінії зв'язку [2], що включає: оптичне волокно, що забезпечує двосторонній оптичний зв'язок між двома прокладеними терміналами; кожен з двох терміналів, включаючи перші засоби, приєднані до сусіднього кінця оптичного волокна, означає прийом оптичної енергії, модульованої даними, переданими від іншого з двох терміналів; друге сполучення, приєднане до сусіднього кінця оптичного волокна, для передачі модульованої оптичної енергії на інший з двох терміналів; передана оптична

енергія має дуже велику задану середню оптичну потужність та модульовану на них інформацію з дуже невеликим індексом модуляції.

Недоліком цього пристрою є те, що захист сигналів з обмеженими шумами трохи витончений. Його експлуатація пов'язана з сигнальною схемою, оскільки її ступінь захисту частково залежить від кількості енергії, доступної для вторгнення, перед тим як активізувати сигнал тривоги. Якість отриманої інформації залежить від співвідношення сигнал/шум.

Відомий пристрій захисту інформації від несанкціонованого доступу у лініях зв'язку [3], що містить аналого-цифровий перетворювач, електронні комутатори, перетворювачі електричного сигналу випромінювання, мультиплексор оптичного сигналу, волоконно-оптичну лінію зв'язку, демультимплексор оптичних сигналів, оптичні приймачі, цифро-аналоговий перетворювач та генератор комутаційних імпульсів.

Робота відомого пристрою полягає в перетворюванні аналогової інформації в цифрову, перетворюванні електричних сигналів в оптичні, розділенні інформації, яку треба захистити, на дві або більше частин, кожна з яких, окрім першої, перетворюють на інші довжини хвиль, перша хвиля і всі перероблені хвилі мультиплекуються, передаванні отриманої інформації по волоконно-оптичній лінії зв'язку, а на приймальному кінці з інформацією виконують зворотні перетворювальні дії і передають для подальшої обробки відомими способами.

Недоліком відомого способу є те, що хоча передача інформації виконується частинами на різних довжинах хвиль, але виконується у звичайних кодах NRZ або RZ, в яких відкрито

передаються двійкові одиниці і двійкові нулі, та, в разі передачі повідомлення, легко розшифровуються.

Найбільш близьким аналогом є система зв'язку волоконно-оптичної комунікації [4], що містить інформаційний передавач для генерації інформаційного сигналу; інформаційний приймач для прийому зазначеного інформаційного сигналу; оптичне волокно, яке має розривне скляне покриття,

яке з'єднує зазначений інформаційний передавач і згаданий інформаційний приймач для передачі зазначеного інформаційного сигналу: згадане розрядне скляне покриття складається з скла, що має високі внутрішні напруги; і засоби для відключення зазначеного інформаційного передавача від спроби проникнення вказаного оптичного волокна.

Недоліком цієї системи є те, що інформація передається у відкритому вигляді. Захищеність системи досягається використанням оптичного волокна та звичайного сигналу тривоги, який може обірватися у випадку доступу до волоконно-оптичної комунікації.

В основу корисної моделі поставлено задачу розробки пристрою захисту інформації у волоконно-оптичних лініях зв'язку від несанкціонованого доступу з поліпшеними характеристиками, тобто з підвищеною захищеністю, надійністю та з покращеною якістю інформаційного сигналу на приймальній стороні, які досягаються шляхом технічних удосконалень.

Поставлена задача вирішується тим, що виконується маскуванню інформаційного сигналу перед передачею по волоконно-оптичній лінії зв'язку шляхом додавання в схему генератора маскуючих сигналів, оптичних ліній затримки, мультиплексора та демультіплексора, а на приймальній стороні маскувальний сигнал відкидається та виконуються зворотні перетворювальні дії.

При цьому виконують наступні перетворювальні дії. Перед передаванням інформації вона проходить етап маскуванню, а саме, інформацію, яку треба захистити, розподіляють за кодом RZ-1/4, тобто на чотири частини тактового інтервалу  $T$ , причому двійкова одиниця передається однією чвертю тактового інтервалу  $T$  на його початку, затримується на час рівний  $1/2$  частині тактового інтервалу та передається як на початку тактового інтервалу, так і у третій його чверті разом на протязі кожного тактового інтервалу  $T$ , маскуванню інформації виконується також при передачі двійкового нуля, передавання якого відбувається заміною відсутнього в тактовому інтервалі  $T$  нульового посилення

на посилення імпульсів відповідних двійковій одиниці, та виконуються такі ж перетворювальні дії як для двійкових одиниць, передача замаскованих двійкових одиниць та нуля відбувається на двох обов'язково сусідніх довжинах хвиль стандартного частотного плану WDM, які мультиплексуються і передаються одночасно, на приймальному боці після демультимплексування інформація замаскованих двійкових нулів відкидається, а двійкових одиниць передається для подальшої обробки, в процесі якої інформація на  $1/4$  та  $3/4$  частинах кожного тактового інтервалу  $T$  коду RZ-14 затримується на час, що дорівнює  $1/4$  частині тактового інтервалу, відповідно інформація відображається на  $2/4$  та  $4/4$  частинах у кожному тактовому інтервалі при передаванні двійкової одиниці, а на виході приймача отримується інформація в коді NRZ.

Запропонований пристрій захисту інформаційного сигналу від несанкціонованого доступу у волоконно-оптичних лініях зв'язку дозволяє передавати інформаційні сигнали як двійкових нулів, так і двійкових одиниць в однаковій формі. При цьому досягається позитивний технічний результат - надійне маскування інформації, що передається у волоконно-оптичних лініях зв'язку та чітке її розпізнавання на приймальній стороні.

Таким чином, нові ознаки при взаємодії з відомими ознаками забезпечують виявлення нових властивостей - шляхом технічних удосконалень розроблений пристрій захисту інформації у волоконно-оптичних лініях зв'язку від несанкціонованого доступу з поліпшеними характеристиками, тобто з підвищеною захищеністю, надійністю та з покращеною якістю інформаційного сигналу на приймальній стороні.

Це забезпечує усій заявленій сукупності ознак відповідність критерію "новизна" та приводить до нових технічних результатів.

Аналоги, які містять ознаки, що відрізняються від найближчого аналога, не знайдені, рішення явним чином не впливає з рівня техніки. Виходячи з

вищевикладеного можна зробити висновок, що запропоноване технічне рішення задовольняє критерію "Винахідницький рівень".

На кресленні показано пристрій захисту інформації у волоконно-оптичних лініях зв'язку від несанкціонованого доступу.

## 4 РОЗРОБКА ЗАХИЩЕНОЇ ВІД НДІ ВОЛЗ

На сьогоднішній день ВОЛЗ займає 70% магістралей зв'язку в усьому світі. Величезними темпами йде заміна старих більш вразливих ліній зв'язку, на нові оптоволоконні. Виходячи з цього, перед багатьма фахівцями стоїть завдання щодо захисту цих мереж зв'язку.

Мережа зв'язку повинна складатися з декількох рубежів захисту (рис. 4.1):

- 1 рубіж - апаратний захист;
- 2 рубіж - оптоволоконна лінія;
- 3 рубіж - оптичне волокно;
- 4 рубіж - прокладка ВОЛЗ по ЛЕП;
- 5 рубіж - оптичний кабель «СИП-3»;
- 6 рубіж - захист муфти;
- 7 рубіж - рефлектометричний моніторинг;
- 8 рубіж - маскуванню.

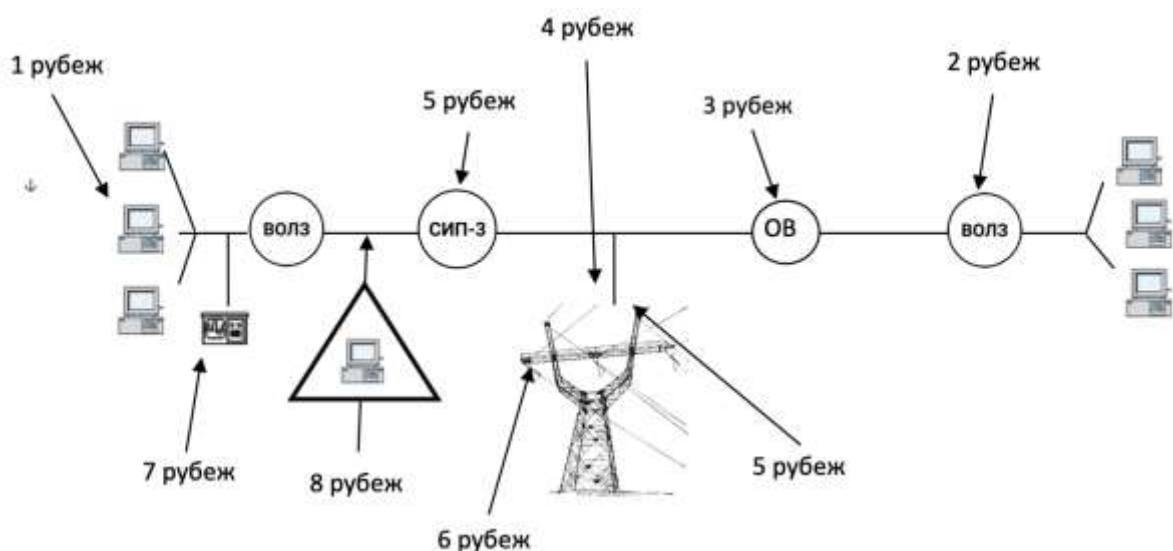


Рисунок 4.1 – Захищена ВОЛЗ

1 рубіж - апаратний захист.

Найбільш простий спосіб апаратного захисту - призначення дозволених MAC-адресів портам концентратора. У стандартному концентраторі Ethernet порти MAC-адресу не мають. Захист полягає в тому, що адміністратор вручну пов'язує з кожним портом концентратора деякий MAC-адрес. Цей MAC-адрес є адресою станції, якій дозволяється підключитися до даного порту. Комп'ютер з MAC-адресою призначеною адміністратором нормально працює з мережею через даний порт. Якщо зловмисник від'єднує цей комп'ютер і приєднує замість нього свій, концентратор помітить, що при старті нового комп'ютера в мережу почали надходити кадри з іншою адресою. Так як ця адреса є неприпустимим для порту, то ці кадри фільтруються, порт відключається, а факт порушення прав доступу може бути зафіксований.

2 рубіж - оптоволоконна лінія.

Вибираємо оптоволоконну лінію. Стрімке впровадження в інформаційні мережі ВОЛЗ є наслідком переваг, що впливають з особливостей поширення сигналу в оптичному волокні. Передача інформації по ВОЛЗ має цілий ряд переваг перед передачею по мідному кабелю:

- широка смуга пропускання;
- мале загасання світлового сигналу у волокні;
- низький рівень шумів;
- висока перешкодозахищеність;
- мала вага і об'єм;
- висока захищеність від несанкціонованого доступу;
- гальванічна розв'язка елементів мережі;
- вибухо- і пожежобезпечність;
- економічність ВОК;
- тривалий термін експлуатації;
- вилучене електроживлення.

Основною перевагою з точки зору захисту від НДІ є відсутність електромагнітного випромінювання в зовнішнє середовище.

3 рубіж - оптичне волокно.

Металева плівка, нанесена на поверхню кварцового волокна, має високу адгезію і міцність до розчавлюючих навантажень, хорошу радіаційну стійкість і хімічну стійкість до агресивних середовищ, температуростійкість визначається властивостями металу і можливо адаптувати волокно до заданих температурних умов.

Металізація волокна дозволяє захистити передану інформацію від несанкціонованого зйому.

Металізоване покриття є відбиваючою оболонкою ОВ і не допускає випромінювання з його поверхні. У разі порушення металізованого покриття істотно зростають втрати, що може бути виявлено відомими методами (контроль НДІ з ВОЛЗ і перервана передача конфіденційної інформації).

Поширення випромінювання відбувається між дзеркальною поверхневою плівкою металу і основною жилою в шарі з підвищеним коефіцієнтом заломлення (рис. 4.2).

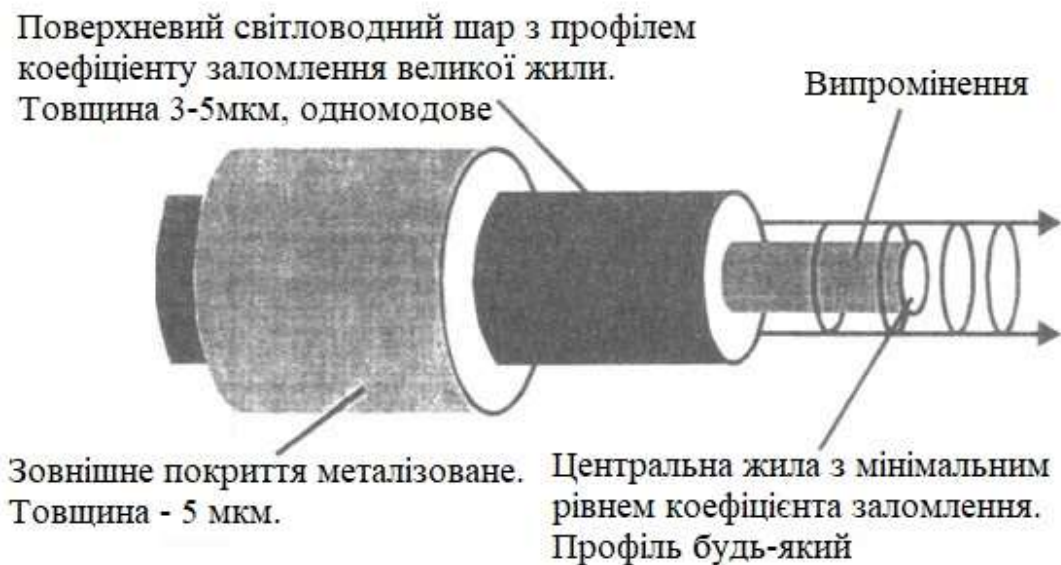


Рисунок 4.2 - Оптичне волокно з поверхневою металізацією

4 рубіж - прокладка ВОЛЗ по ЛЕП.

Розміщення ВОЛЗ по лініях електропередачі, є одним з ефективним способом захисту. ЛЕП мають значну висоту а так само знаходяться постійно

під високою напругою. Від 35кВ до 750 кВ, конструкції виконані з металу. Це не дасть можливості підібратися порушнику до фазного кабелю з оптичним модулем.

5 рубіж - оптичний кабель «СИП-3».

Вибираємо оптичний кабель з підвищеною захищеністю.

В даному випадку фазний провід з волоконно-оптичним модулем на базі самонесучого ізольованого проводу «СИП-3. Він володіє підвищеною захищеністю з точки зору несанкціонованого доступу.

Конструкція кабелю містить:

- центральний силовий елемент, виконаний із сталевого дроту або алюмінієвого сплаву;
- алюмінієві струмопровідні жили;
- оптичний модуль з вільно укладеними оптичними волокнами або пучками волокон і гідрофобним гелем;
- водоблокуюча стрічка;
- зовнішня оболонка із зшитого поліетилену.

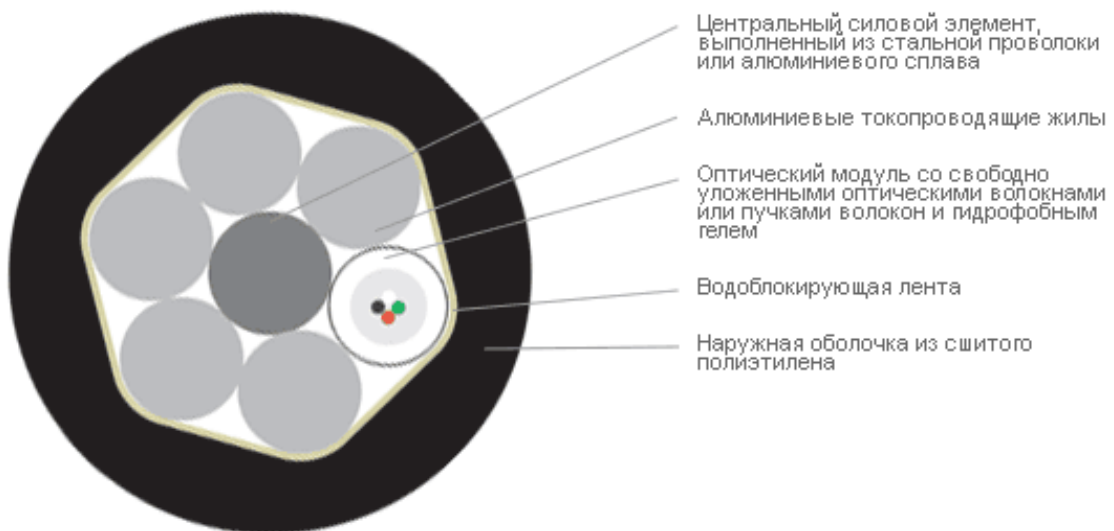


Рис. 4.3 Конструкція «СИП-3»

6 рубіж - захист муфти.

Так як одне з найбільш вразливих місць в ВОЛЗ це волоконно-оптична муфта, виникає завдання в її захисті. Розташування муфти повинно бути на ЛЕП вище фазного проводу. Це не дасть порушнику підібратися до неї через високої напруги.

7 рубіж - рефлектометричний моніторинг.

Метод оптичної рефлектометрії дозволяє ефективно вимірювати всі основні параметри волоконно-оптичного тракту ВОЛЗ. Найважливішою перевагою методу є можливість виявляти і аналізувати неоднорідності волоконно-оптичного тракту, що в умовах експлуатаційного обслуговування дозволяє не тільки виявляти несправності, але і виявляти НДІ з точним визначенням відстані до місця НДІ.

8 рубіж – маскування.

Підвищення захищеності інформації в оптичному тракті методом спектрального розділення можна досягти багаторазовим розподілом переданого повідомлення на частини і передача цих частин на різних довжинах хвиль і маскуванням цих частин на кожній довжині хвилі.

Таким чином, якщо на ділянці прокладання ВОЛЗ порушник намагається зняти інформацію, підключивши пристрій НДІ, то ймовірність того, що він виявить весь потік інформації, що передається на різних довжинах хвиль - дуже низька [12].

## 5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНІЧНОЇ ЧАСТИНИ

### 5.1 Планування розробки захисту ВОЛЗ

При проектуванні системи захисту ВОЛЗ першим етапом повинен бути аналіз економічної доцільності розробки даного засобу захисту. Під час розробки необхідно упевнитися, що обране рішення найбільш оптимально в співвідношенні ціни і якості.

У даній роботі проводиться проектування та впровадження системи захисту ВОЛЗ.

Для визначення трудомісткості і тривалості проведеної розробки були використані дві ймовірні оцінки часу по кожному етапу робіт. Ці оцінки є вихідними для розрахунку очікуваного часу виконання етапу з формули:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{\min} + 2 \cdot t_{\max}}{5}, \quad (5.1)$$

де  $t_{ож}$  – очікувана оптимальна оцінка часу виконання етапу, днів;

$t_{\min}$  - мінімально необхідний час на виконання роботи при найбільш сприятливих умовах, днів;

$t_{\max}$  – максимальні витрати часу на виконання роботи по даному етапу при несприятливих умовах, днів.

Ступінь правильності визначення  $t_{ож}$  перевіряють розрахунком дисперсії (розкидом між мінімальною і максимальною оцінками часу виконання робіт). Дисперсія ( $\sigma^2$ ) являє собою середнє значення квадрата відхилення тривалості роботи від її очікуваного значення і визначається за формулою:

$$\sigma^2 = \left( \frac{t_{\max} - t_{\min}}{5} \right)^2. \quad (5.2)$$

Найбільше значення  $\sigma^2 \leq 1$  говорить про малому ступені невизначеності оцінки часу робіт з даного етапу.

Тривалості етапів проектування та впровадження системи захисту ВОЛЗ наведені в таблиці 5.1

Таблиця 5.1 - Тривалості етапів проектування та впровадження системи захисту ВОЛЗ

Етап	Імовірнісна оцінка часу, днів			Дисперсія $\sigma^2$	Виконавець	
	$t_{\min}$	$t_{\max}$	$t_{\text{оЖ}}$		Спеціальність	Кількість, люд.
1. Уточнення завдання	2	3	3	0,04	спеціаліст	1
2. Дослідження приміщення	2	3	3	0,04	аналітик	1
3. Визначення кількості засобів захисту.	3	5	4	0,16	спеціаліст	1
4. Вибір обладнання.	3	4	4	0,04	аналітик	1
5. Обчислення параметрів обладнання.	5	7	6	0,16	спеціаліст	1
6. Оцінка захищеності системи.	2	3	3	0,04	аналітик	1
7. Установка системи.	4	6	5	0,16	спеціаліст	1
8. Узагальнення отриманих результатів.	4	5	5	0,04	аналітик	1
Всього	25	36	33	-		2

## 5.2 Побудова мережевого графіка

З використанням табл. 5.1 складено перелік робіт і подій, представлений в таблиці 5.2 З цього переліку складено відповідний мережевий графік, представлений на рис. 5.1.

Результати розрахунків параметрів робіт и Шляхів наведені відповідно в таблицях 5.3 и 5.4.

Таблиця 5.2 - Перелік робіт і подій

Номер події	Подія	Код робо-ти і - j	Зміст роботи	Тривалість роботи, днів
	Отримання завдання.	0-1	Уточнення завдання.	3
1	Завершення уточнення завдання.	1-2	Дослідження приміщення	3
		1-3	Визначення кількості засобів захисту.	4
2	Завершення дослідження приміщення.	2-4	Вибір обладнання.	4
3	Завершення визначення кількості засобів захисту банку.	3-5	Обчислення параметрів обладнання.	6
4	Завершення вибору обладнання.	4-5	Оцінка захищеності системи.	3
5	Завершення обчислення параметрів обладнання.	5-6	Установка системи.	5
6	Завершення установки системи.	6-7	Узагальнення отриманих результатів.	5
7	Завершення узагальнення отриманих результатів.	7-8	-	-
Всього	-	-	-	23

У таблицях 5.2 і 5.3 використані такі позначення:

$i$  – номер події, що передує роботі;

$j$  – номер події, завершального роботу;

$t_{ij}$  – тривалість виконання роботи і-j, днів;

$t_{ij}^{p.n.}$   $t_{ij}^{n.n.}$  – ранній і пізній терміни початку роботи і-j;

$t_{ij}^{p.o.}$   $t_{ij}^{n.o.}$  – ранній і пізній термін закінчення роботи і-j;

$R_{ij}^n$   $R_{ij}^{ce}$  – повний і вільний резерв часу роботи і-*j*.

Таблиця 5.3 - Параметри робіт

Код роботи і - j	$t_{ij}$	$t_{ij}^{p.n.}$	$t_{ij}^{n.n.}$	$t_{ij}^{p.o.}$	$t_{ij}^{n.o.}$	$R_{ij}^n$	$R_{ij}^{ce}$
0-1	3	0	0	3	3	0	0
1-2	3	3	3	6	6	0	0
1-3	4	3	3	7	7	0	0
2-4	4	6	6	10	10	0	0
3-5	6	7	7	13	13	0	0
4-5	3	10	10	13	13	0	0
5-6	5	13	13	18	18	0	0
6-7	5	18	18	23	23	0	0

Таблиця 5.4 Параметри шляхів

Номер шляху	Номери подій, через які проходить шлях	Довжина шляху, днів	Коефіцієнт напруженості шляху
1	0 1 2 4 5 6 7	23	1,00
2	0 1 3 5 6 7	23	1,00

Як видно з мережевого графіка, тривалість розробки проекту мережі по мережевому графіку становить 23 днів. При послідовному виконанні цієї ж роботи тривалість склала б 33 днів. Тому доцільно проводити розробку по мережевому графіку.

Для розрахунку коефіцієнта напруженості шляху в таблиці 5.4 використана наступна формула:

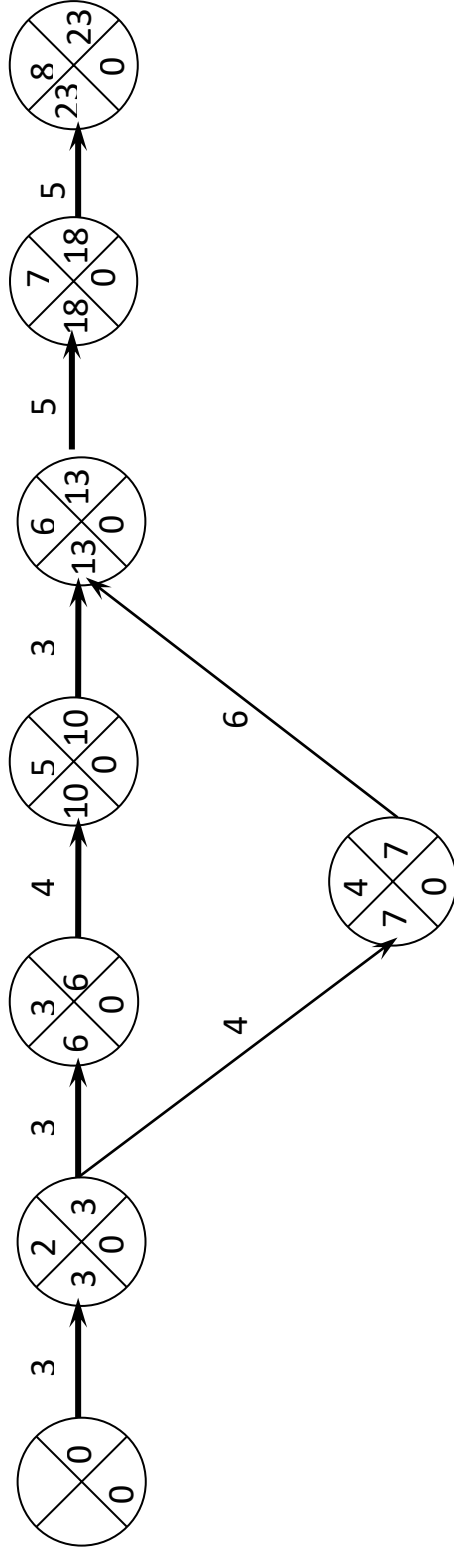


Рисунок 5.1 - Мережевий графік робіт з проектування та впровадження системи контролю доступу банку

$$K_{H_i} = \frac{L_i - L'_{кр.}}{L_{кр.} - L'_{кр.}}, \quad (5.3)$$

де  $L_i$  – довжина  $i$ -го шляху;

$L_{кр.}$  – довжина критичного шляху;

$L'_{кр.}$  – довжина загальної частини  $i$ -го шляху і критичного шляху.

Довжина критичного шляху становить 23 дня.

### 5.3 Визначення витрат на проектування і впровадження системи захисту ВОЛЗ

Для визначення витрат на розробку програми складаємо калькуляцію кошторисної вартості робіт по даній розробці, що включає статті:

- основна заробітна плата;
- додаткова заробітна плата;
- відрахування на соціальне страхування і в інші фонди;
- матеріали і комплектуючі вироби;
- витрати на оплату машинного часу;
- накладні витрати.

#### 5.3.1 Розрахунок заробітної плати

Розрахунок заробітної плати наведено в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 - Розрахунок заробітної плати

Посада виконавця	Кіл-ть, люд	Місячний оклад, грн.	Премії, грн.	Середньоденна зарплата, грн.	Кіл-ть днів роботи	Основна зарплата, грн.	Додат. зарплата, грн.	Загальна сума, грн
Спеціаліст	1	4000	1200	222,22	18	3120	320	4640
Аналітик	1	4000	1200	246,66	18	3120	320	4640
Всього	2	8000	2400	-	36	6240	640	9280

Премія становить 30% місячного окладу. Додаткова заробітна плата визначена в розмірі 8% основної заробітної плати.

Відрахування на соціальне страхування та інші фонди визначені в розмірі 22% від суми основної та додаткової заробітної плати і складають 1513,6 грн.

### 5.3.2 Визначення витрат на матеріали

При розробці програмного продукту використовуються матеріали:

- папір (2 пачки) – 100,00 грн./шт.;
- диск CR-ROM (5 штук) – 2,00 грн./шт.;
- картридж (1 штука) – 300 грн./шт.;
- диск DVD-RW (2 штуки) – 5 грн./шт.;
- ручка (5 штук) – 1,5 грн./шт.

Витрати на матеріали розраховуємо за формулою:

$$M = \sum_{i=1}^n (C_i * N_i * (1 + K_{m.з.}) - C_{io} * N_{io}), \quad (5.4)$$

де M - витрати на матеріали, покупні напівфабрикати і комплектуючі вироби, грн.;  $C_i$  – ціна і-го найменування матеріалу, напівфабрикату і комплектуючого, грн.;  $N_i$  – потреба в і-му матеріалі, напівфабрикаті і комплектуючому;  $K_{т.з.}$  – коефіцієнт, що враховує транспортно-заготівельні

витрати;  $C_{i0}$  – вартість зворотних відходів і-го найменування матеріалу, грн.;  
 $N_{i0}$  – кількість зворотних відходів і-го найменування, грн.;  $n$  – кількість найменувань матеріалів, напівфабрикатів і комплектуючих.

В даному випадку:  $C_{i0} = 0$ ,  $N_{i0} = 0$ ,  $K_{т.з.} = 0,1$ .

Таким чином, витрати на матеріали складають:

$$M = (2 \cdot 100 + 5 \cdot 2 + 1 \cdot 300 + 2 \cdot 5 + 5 \cdot 1,5) \cdot (1 + 0,1) = 527,5 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.6 - Витрати на матеріали

Назва	Кіл-ть, шт	Ціна 1 шт., грн.	Сума, грн.	Сума + тр. расх., грн.
Папір	2	100,00	200,00	220,00
Диск CD-ROM	5	2,00	10,00	11,00
Картридж	1	300,00	300,00	330,00
Диск DVD-RW	2	5,00	10,00	11,00
Ручка	5	1,50	7,50	12,5
Всього			527,5	584,5

### 5.3.3 Витрати на обладнання

Для проектування використовується обладнання наведене в таблиці 5.8.

Таблиця 5.7 - Використовуєме обладнання при проектуванні системи

№	Позначення	Назва	Кіл-ть	Ед.вим	Ціна грн/шт.
1.	MTS-8000	Рефлектометр	1	Шт.	49000,00
2.	PO-SM	Розгалужувач	1	Шт.	12,00
3.	BPW41N	фотоприймач	1	шт.	19,80
9.	ПСВЭВ 4x0,8	Кабель сигнальний	2	м.	2,40
11.	ШВВП 2x0.5	Кабель електроживлення	5	м.	1,33

Таким чином, балансова вартість обладнання, що використовувалося для розробки, становить:

$$\Phi_{\sigma} = 49000 + 12 + 19.80 + 2.40 * 2 + 1.33 * 5 = 49043,25 \text{ грн.} \quad (5.5)$$

Амортизаційні відрахування визначаються за формулою:

$$A = \Phi_{\sigma} * Na / 100 = 49043,25 * 25 / 100 = 12260,81 \text{ грн.} \quad (5.6)$$

де  $\Phi_{\sigma}$  – балансова вартість обладнання, грн.;

$Na$  – норма амортизаційних відрахувань на повне відновлення обладнання даного виду (25%).

Витрати на спожиту електроенергію визначаються за формулою:

$$Ve = Ce * M * \Phi * K_e = 2,62 * (0,06 * 1 + 0,05 * 1 + 0,05 * 1 + 0,04 * 1 + 0,03 * 1 + 0,03 * 1 + 0,03 * 1) * 8760 * 0,8 = 5324,67 \text{ грн} \quad (5.7)$$

де  $Ce$  – вартість 1 кВт·часа електроенергії, грн.;

$M$  – встановлена потужність технічних засобів, кВт;

$\Phi$  – річний фонд часу роботи, ч.;  $K_e$  – коефіцієнт використання потужності (0,8).

Таким чином, сума витрат на експлуатацію обладнання (крім витрат на поточний ремонт) становить:

$$Z_{\text{екс.}} = Ve = 5324,67 \text{ грн} \quad (5.8)$$

Кошторис річних витрат на експлуатацію обладнання показана в табл. 5.8.

Таблиця 5.8 - Кошторис річних витрат на експлуатацію обладнання

Стаття витрат	Сума, грн.
Амортизація обладнання	12260,81
Експлуатація обладнання (крім витрат на поточний ремонт)	5324,67
Поточний ремонт обладнання (3% від балансової вартості)	1471,3
Інші витрати (2% від суми всіх попередніх статей)	527,5
Всього	19584,28

#### 5.3.4 Накладні витрати

До накладних витрат відносяться витрати на загальне управління і загальногосподарські потреби (на заробітну плату апарату управління, канцелярські витрати і т.д.), на утримання і експлуатацію будівель. Накладні витрати включаються до вартості розробки рішення непрямым шляхом - у відсотках до основної заробітної плати розробників.

У нашому випадку, накладні витрати становлять 30% до основної заробітної плати розробників:  $РАС_{\text{накл}} = ЗП_0 \cdot 0,3 = 5122,16 \cdot 0,3 = 1536,65$  (грн.).

Калькуляція кошторисної вартості робіт з розробки системи приведена в таблиці 5.9.

Таблиця 5.9 - Калькуляція кошторисної вартості робіт з розробки системи захисту ВОЛЗ

Найменування статей витрат	Сума, грн.
Основна заробітна плата	44,47
Додаткова заробітна плата	12,46
Відрахування на соціальне страхування та інші фонди	16,72
Витрати на матеріали	5,8
Витрати на спеціальне обладнання	10,42
Накладні витрати	13,34

РАЗОМ	100,00
-------	--------

### 5.3.5 Розрахунок експлуатаційних витрат

Плановий річний експлуатаційний витрата від реалізації системи безпеки становить 25% від вартості робіт по розробці методу захисту. Таким чином, можна розрахувати експлуатаційні витрати протягом року:

$$И = 0,25 \cdot 12747,75 = 3186,93 \text{ грн.}$$

За статистикою на ВОЛЗ щороку відбувається крадіжка або псування майна на суму  $\Pi = 40000$  грн.

Тоді річну економію можна розрахувати так:

$$\mathcal{E} = \Pi - И \quad (5.9)$$

Тоді річна економія дорівнює:

$$\mathcal{E} = 40000 - 3186,93 = 36813,06 \text{ грн.}$$

Річний економічний ефект визначається за формулою:

$$\mathcal{E}_r = \mathcal{E} - E_n \cdot K, \quad (5.10)$$

де  $E_n = 1$ , а капітальні вкладення  $K$  дорівнюють витратам на розробку технічного рішення

Тоді річний економічний ефект дорівнює:

$$\mathcal{E}_r = 36813,06 - 1 \cdot 11519,46 = 25293,60 \text{ грн}$$



## **6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **6.1 Аналіз потенційних небезпек**

В ВОЛЗ використовуються лазерні діоди як передачі інформації на дуже довгі відстані. Використання лазерного випромінювання дуже небезпечно для розробників ВОЛЗ. Якщо випромінювання потрапляє в очі людини яка працює з ВОЛЗ - це може викликати втрату зору. Тому треба приймати цілий ряд заходів які забезпечують безпечну працю з лазерним випромінюванням.

#### **6.1.1 Вплив лазерного випромінювання на органи зору**

Основний елемент зорового апарату людини - сітківка ока - може бути уражена лише випромінюванням видимого (від 0.4 мкм) і ближнього інфрачервоного діапазонів (до 1.4 мкм), що пояснюється спектральними характеристиками людського ока. При цьому кришталік і очне яблуко, діючи як додаткова фокусуються оптика, істотно підвищують концентрацію енергії на сітківці, що, в свою чергу, на кілька порядків знижує максимально допустимий рівень (МДР) опромінення зіниці.

#### **6.1.2 Техніко-гігієнічна оцінка лазерних виробів**

У нашій країні на базі проведених комплексних досліджень і сучасних уявлень про вплив лазерного випромінювання на організм людини розроблений і затверджений ряд нормативних документів, які забезпечують безпечну експлуатацію лазерних виробів. Ці документи встановлюють єдину систему забезпечення лазерної безпеки. У таку систему входять: технічні засоби зниження небезпечних і шкідливих виробничих факторів, організаційні заходи, контроль умов праці на лазерних установках. У сучасній вітчизняній науково-технічній та нормативній літературі дано кілька варіантів класифікації лазерних виробів. З позиції забезпечення лазерної безпеки їх класифікують за основними фізико-технічними параметрами і ступенем небезпеки генерованого випромінювання.

Залежно від конструкції лазера і конкретних умов його експлуатації обслуговуючий його персонал може бути підданий впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Рівні небезпечних і шкідливих виробничих факторів на робочому місці не повинні перевищувати значень, встановлених з електробезпеки, вибухонебезпечності, шуму, рівням іонізуючого випромінювання, концентрації токсичних речовин та ін.

### 6.1.3 Класи безпеки лазерного випромінювання

Ступінь впливу лазерного випромінювання на оператора залежить від фізико-технічних характеристик лазера - щільності потужності (енергії випромінювання), довжини хвилі, часу опромінення, тривалості та періодичності імпульсів, площі опромінюваної поверхні. Біологічний ефект лазерного опромінення залежить як від виду впливу випромінювання на тканини організму (теплове, фотохімічні), так і від біологічних і фізико-хімічних особливостей самих тканин і органів.

Найбільш небезпечно лазерне випромінювання з довжиною хвилі:

- 380÷1400 нм - для сітківки ока;
- 180÷380 нм і вище 1400 нм - для передніх середовищ очі;
- 180÷10<sup>5</sup> нм (тобто у всьому розглянутому діапазоні) - для шкіри.

Гігієністами висунуті вимоги, відповідно до яких, в основу проектування, розробки та експлуатації лазерної техніки повинен бути покладений принцип виключення впливу на людину (крім лікувальних цілей) лазерного випромінювання, як прямого, так і дзеркально або дифузно відбитого.

Лазерні вироби за ступенем безпеки генерованого випромінювання поділяють на 4 класи. При цьому клас безпеки лазерного виробу визначається класом безпеки використовуваного в ньому лазера. Класифікацію лазерів з точки зору безпеки проводить підприємство-виробник шляхом порівняння вихідних характеристик випромінювання з гранично допустимими рівнями (ПДУ) при одноразовому впливі. Визначаючи приналежність лазерного виробу до того чи іншого класу за ступенем безпеки лазерного випромінювання, необхідно враховувати вплив прямого

або відбитого лазерного пучка на очі і шкіру людини і просторові характеристики лазерного випромінювання (при цьому розрізняють колімірованим випромінювання, тобто укладену в обмеженому тілесному куті, і неколімірованне, тобто розсіяне або дифузно відбите). Використання додаткових оптичних систем не входить в поняття "колімація", а обмовляється окремо. Лазерні виробы з точки зору техніки безпеки класифікують в основному за ступенем небезпеки генерованого випромінювання. Встановлено такі 4 класу лазерів:

- повністю безпечні лазери, вихідний випромінювання яких не становить небезпеки для очей і шкіри людини;

- лазери, вихідний випромінювання яких становить небезпеку при опроміненні шкіри або очей людини колімірованим пучком. У той же час дифузно відбите випромінювання лазерів цього класу безпечно як для шкіри, так і для очей;

- лазерні пристрої, що працюють у видимій області спектра і вихідний випромінювання яких становить небезпеку при опроміненні як очей (колімірованим і дифузно відбитим випромінюванням на відстані менше 10 см від поверхні, що відбиває), так і шкіри (тільки колімірованим пучком);

- найбільш небезпечний - до нього відносять лазерні пристрої, навіть дифузно відбите випромінювання яких становить небезпеку для очей та шкіри на відстані менше 10 см.

При визначенні класу небезпеки лазерного випромінювання раховуються три спектральних діапазона за допомогою таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 - Діапазони лазерного випромінювання

Клас небезпеки лазерного випромінювання	180< $\lambda$ ≤380 нм	380< $\lambda$ ≤1400 нм	1400< $\lambda$ ≤10 <sup>5</sup> нм
	Діапазон		
	I	II	III
1	+	+	+
2	+	+	+
3	—	+	—
4	+	+	+

## 6.2 Вимоги безпеки при експлуатації лазерних виробів

### 6.2.1 Вимоги до розміщення лазерних виробів

Розміщення лазерних виробів в кожному конкретному випадку проводиться з урахуванням класу небезпеки виробів, умов і режиму праці персоналу, особливостей технологічного процесу, підводка комунікацій.

Вимоги для класу 3Б:

Відстань між лазерними виробами повинно забезпечувати безпечні умови праці і зручність експлуатації, ремонту і обслуговування. Рекомендується для класу 3Б:

- з боку органів управління: при однорядному розташуванні –1,5 м;
- при двухрядном не менше - 2,0 м;
- з інших сторін не менше – 1,0 м;

- траєкторія проходження лазерного пучка повинна бути укладена в оболонку з вогнетривкого матеріалу або мати огорожу, що знижують рівень лазерного випромінювання до допустимого рівня і виключають потрапляння лазерного пучка на дзеркальну поверхню. Відкриті траєкторії в зоні можливого перебування людини повинні розташовуватися значно вище рівня очей. Мінімальна висота траєкторії 2,2 м;

- робоче місце повинно бути організовано таким чином, щоб виключати можливість впливу на персонал лазерного випромінювання або щоб його величина не перевищувала допустимий рівень для першого класу;

- робоче місце обслуговуючого персоналу, взаємне розташування всіх елементів (органів управління, засобів відображення інформації та ін.) повинна забезпечувати раціональність робочих рухів і максимально враховувати енергетичні, швидкісні, силові і психофізичні можливості людини;

- слід передбачати наявність місць для розміщення знімних деталей, переносний вимірювальної апаратури, зберігання заготовок, готових виробів.

### 6.2.2 Класифікація умов і характеру праці

За ступенем захисту персоналу від впливу лазерного випромінювання умови і характер праці при експлуатації лазерних виробів незалежно від класу виробу поділяються:

- оптимальні - виключають вплив на персонал лазерного випромінювання;
- допустимі - рівень лазерного випромінювання, що впливає на персонал, менше гранично допустимого рівня;
- шкідливі і небезпечні - рівень лазерного випромінювання, що впливає на персонал, перевищує гранично допустимий рівень.

### 6.2.3 Вимоги безпеки при експлуатації та обслуговуванні лазерних виробів

Виконання таких вимог безпеки повинно забезпечувати виключення або максимальне зменшення можливості опромінення персоналу лазерним випромінюванням, а також впливу на нього інших небезпечних факторів:

- до ремонту, налагодження й випробувань лазерних виробів допускаються особи, які мають відповідну кваліфікацію і пройшли інструктаж з техніки безпеки в установленому порядку;

- до роботи з лазерними виробами допускаються особи, які досягли вісімнадцяти років, які не мають медичних протипоказань, пройшли курс спеціального навчання в установленому порядку роботи з конкретними лазерними виробами та атестацію на групу з охорони праці при роботі на електроустановках з відповідною напругою;

- при експлуатації виробів вище класу 2 має призначатися особа, відповідальна за охорону праці при їх експлуатації;

- лазерні вироби, що знаходяться в експлуатації, повинні підлягати регулярній профілактичній перевірці. При проведенні профілактичної перевірки слід звертати особливу увагу на безвідмовність роботи всіх захисних пристроїв, надійність заземлення.

## 6.3 Заходи з виробничої санітарії та гігієни праці

### 6.3.1 Гігієнічне нормування лазерного випромінювання

Для кожного режиму роботи лазера і його спектрального діапазону регламентують гранично допустимий рівень випромінювання. Нормованими

параметрами з точки зору небезпеки лазерного випромінювання є енергія  $W$  і потужність  $P$  випромінювання, що пройшов обмежує апертуру діаметрами  $d_a=1.1$  мм (в спектральних діапазонах I і II) і  $d_a=7$  мм (в діапазоні II); енергетична експозиція  $H$  і опромінення  $E$ , усереднені по яка обмежує апертурі показано на формулі 6.1:

$$H=W/S_a; \quad E=P/S_a, \quad (6.1)$$

де  $S_a$  — площа обмежуваної апертури.

Таблиця 6.2 - Граничні дози при одноразовому впливі на очі колімірованого лазерного випромінювання

Довжина хвилі $\lambda$ , нм	Тривалість дії $t$ , с	$W_{\text{ПДУ}}$ , Дж
$380 < \lambda \leq 600$	$t \leq 2.3 \cdot 10^{-11}$	$\sqrt[3]{t^2}$
	$2.3 \cdot 10^{-11} < t \leq 5 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-8}$
	$5 \cdot 10^{-5} < t \leq 1$	$5.9 \cdot 10^{-5} \sqrt[3]{t^2}$
$600 < \lambda \leq 750$	$t \leq 6.5 \cdot 10^{-11}$	$\sqrt[3]{t^2}$
	$6.5 \cdot 10^{-11} < t \leq 5 \cdot 10^{-5}$	$1.6 \cdot 10^{-7}$
	$5 \cdot 10^{-5} < t \leq 1$	$1.2 \cdot 10^{-4} \sqrt[3]{t^2}$
$750 < \lambda \leq 1000$	$t \leq 2.5 \cdot 10^{-10}$	$\sqrt[3]{t^2}$
	$2.5 \cdot 10^{-10} < t \leq 5 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-7}$
	$5 \cdot 10^{-5} < t \leq 1$	$3 \cdot 10^{-4} \sqrt[3]{t^2}$
$1000 < \lambda \leq 1400$	$t \leq 10^{-9}$	$\sqrt[3]{t^2}$
	$10^{-9} < t \leq 5 \cdot 10^{-5}$	$10^{-6}$
	$5 \cdot 10^{-5} < t \leq 1$	$7.4 \cdot 10^{-4} \sqrt[3]{t^2}$

Примітки:

- тривалість дії менше 1 с;
- обмежує апертура =  $7 \cdot 10^{-3}$  м.

Гранично допустимий рівень лазерного випромінювання встановлюють для двох умов - одноразового і хронічного опромінення. Під хронічним

розуміють "систематично повторюється вплив, якому піддаються люди, професійно пов'язані з лазерним випромінюванням".

Гранично допустимий рівень при цьому визначають як:

- рівні лазерного випромінювання, при яких "існує незначна ймовірність виникнення оборотних відхилень в організмі" людини;
- рівні випромінювання, які "при роботі встановленої тривалості протягом усього трудового стажу не призводять до травми (ушкодження), захворювання або відхилення в стані здоров'я як самого працюючого, так і наступних його поколінь".

Гранично допустимий рівень хронічного впливу розраховують шляхом зменшення в  $5 \div 10$  раз ПДУ одноразової.

### 6.3.2 Небезпечні і шкідливі впливи, викликані процесами пайки

Потенційно небезпечні та шкідливі виробничі фактори при зварюванні:

- запиленість і загазованість повітря робочої зони;
- наявність інфрачервоних випромінювань;
- незадовільна освітленість робочих місць або підвищена яскравість;
- незадовільні метеорологічні умови в робочій зоні;
- впливу бризок і крапель розплавленого припою;
- можливе ураження електричним струмом;
- психофізіологічні перевантаження.

6.3.3 Опис біологічної дії небезпечних і шкідливих речовин, які знаходяться в повітрі робочої зони

Процеси пайки супроводжуються забрудненням повітряного середовища аерозолями припою, флюсу, парами різних рідин, застосовуваних для флюсу, змивки і розчинення лаків.

Перебуваючи в запиленій атмосфері, робітники піддаються впливу пилу і парів. Шкідливі речовини осідають на шкірному покриві, потрапляють на

слизові оболонки порожнини рота, очей, верхніх дихальних шляхів, проковтуються в травний тракт, вдихаються в легені.

Особливо шкідливі при зварюванні олов'яно-свинцевими припоями пари свинцю. Свинець і його сполуки отруйні. Частина надійшов в організм свинцю виводиться з нього через кишечник і нирки, а частина затримується в кістковій речовині, м'язах, печінці. При несприятливих умовах свинець починає циркулювати в крові, викликаючи явища свинцевого отруєння. Для запобігання гострих захворювань і професійних захворювань вміст свинцю не повинен перевищувати гранично допустимих концентрацій. Біологічна дія і гранично допустимі концентрації компонентів входять до складу використовуваних припоїв наведені в табл.6.3.

Застосування флюсів при зварюванні також шкідливо впливає на організм людини. Компоненти що входять до складу флюсу, мають дратівливим, наркотичною дією.

Таблиця 6.3 Біологічна дія, клас небезпеки та ПКД в повітрі робочої зони вихідних компонентів входять до складу припоїв

Компонент	Характер токсичності і дію	Клас небезпеки	ПКД в повітрі робочої зони
Олово	Поразка бронхів, викликає профілактично-креточную реакцію в легенях. При тривалому впливі можливий пневмоконіоз.	3	10мг\m <sup>3</sup>
Свинець	При отруєнні спостерігається ураження нервової системи, крові, шлунково-кишкового тракту, серцево-судинної системи, статевої системи, порушення перебігу вагітності.	1	0.01мг\m <sup>3</sup>
Вісмут	Подібно до дії інших металів викликає пригнічення активності ферментів, надає ембріотропної і гонадотропну дію.	-	-

Досить високу токсичність мають компоненти, що входять до складу флюсу і миючих засобів.

Токсичні дії і гранично допустимі концентрації для компонентів входять до складу флюсів та миючого засобу наведені в таблицях 6.4 і 6.5 відповідно.

Таблиця 6.4 Токсична дія компонентів, що входять до складу флюсу марки ФКСП

Компонент	Токсичність і характер дії	Клас небезпеки	ПДК в повітрі робочої зони, мг\m <sup>3</sup>
Каніфоль соснова	Володіє дратівливою дією. При тривалому впливі на шкіру викликає дерматит.	-	-
Спирт етиловий	Володіє наркотичним і подразнюють. Викликає зміни печінки, серцево-судинної і нервової системи, сухість шкіри при тривалому контакті.	4	1000

Таблиця 6.5 Токсичні властивості миючих засобів, клас небезпеки і ГДК в повітрі робочої зони

Компонент	Токсичність і характер дії	Клас небезпеки	ПДК в повітрі робочої зони, мг\m <sup>3</sup>
Бензин	Володіє дратівливою дією і як наркотик.. Функціональні нервові розлади, супроводжувані м'язовою слабкістю, млявістю, сонливістю або безсонням. Розлади травного тракту, печінки, тремтіння пальців і мови, ураження шкіри. Характерно розвиток судом, знижується кров'яний тиск, пульс сповільнюється.	4	300 (в перерахунку на вуглець)

#### 6.3.4 Біологічна дія інфрачервоного випромінювання на організм людини

За фізичної основи інфрачервоне випромінювання являє собою потік енергії, що володіє хвильовими і корпускулярним властивостями. На людини інфрачервоне випромінювання має в основному тепловий вплив. Ефект дії

інфрачервоних випромінювань залежить від довжини хвилі ІЧ випромінювання і підрозділяється на три області: А, В, С, (таблиця 6.6):

Таблиця 6.6 - Области інфрачервоного випромінювання

Область ІЧ випромінювання	Довжина хвилі, нм
А	760...15000
В	1500...3000
С	3000...10000

Ефект дії залежить від приналежності випромінювання до однієї з областей інфрачервоного випромінювання. Найбільш небезпечним є випромінювання області А, тому що має велику проникність через шкіру. Дія інфрачервоних променів при поглинанні їх в різних шарах шкіри призводить до її перегрівання, що обумовлює переповнення кровоносних судин кров'ю і посилення обміну речовин. Збільшується вміст фосфору і натрію в крові людини, відбувається підвищення максимального тиску, підвищення температури тіла, захворюваність середньо-судинної системи та органів травлення.

### 6.3.5 Визначення інтенсивності ІЧ випромінювання

Інтенсивність опромінення  $E$  від нагрітої поверхні визначаємо за формулою 6.2:

$$E = \frac{0.91 \cdot F \left[ \left( \frac{T}{100} \right)^4 - A \right]}{l^2} \quad (6.2)$$

де  $l$  – відстань до джерела теплового випромінювання (приймаємо

$l = 100\text{мм}$ );

$F$  – площа поверхні, що випромінює ( $F=300\text{ мм}^2$ );

$A=85$  для шкіри людини і бавовняної тканини;

$T$  – температура поверхні, що випромінює, що складається з температури плавлення припою  $T_{пп}=483$  К, надлишкової температури жала паяльника  $T_{ж} = 70$  К, тоді  $T = T_{пп} + T_{ж} = 483 + 70 = 553$  К.

По закону Віна 
$$E = \frac{0.91 \cdot 3 \cdot 10^{-4} \left[ \left( \frac{553}{100} \right)^4 - 85 \right]}{0.1^2} \approx 27 \frac{Вт}{м^2}$$
 знаходимо довжину хвилі

ІЧ випромінювання тіла з температурою 553 К:

$$\lambda_{MAX} = \frac{2.88}{T} = \frac{2.88}{553} \approx 5000_{нм}$$

Дане випромінювання відноситься до області С. Допустима щільність потоку енергії для нашого випадку відповідно до вимог становить  $85 \text{ Вт}/\text{м}^2$ . Приходимо до висновку, що інфрачервоне випромінювання не буде надавати шкідливої дії на організм людини.

#### 6.4 Заходи з пожежної безпеки

Деякі речовини і матеріали, що застосовуються на ділянці монтажу пожежовибухонебезпечних. Ці речовини, деякі їх характеристики і засоби пожежогасіння наведені в таблиці 6.7.

Таблиця 6.7 - вогнестійкість застосовуються при виробництві друкованого вузла

Найменування речовини	Температура займання	Температура самозаймання	Межі вибуховості		Засоби пожежогасіння
			Нижній	Верхній	
Каніфоль	-	$850^{\circ}C$	$12,6 \text{ г}/\text{м}^3$	-	Хімічна та повітряно-механічна піна, розпилена вода

Спирт етиловий бензиновий	18 °C	104 °C	3,6%; 68 г/м <sup>3</sup>	19%; 340 г/м <sup>3</sup>	Хімічна піна, вода, інертні гази
Бензини	17-44 °C	255-474 °C	0,76-1,1%	5,16-8,12%	Піна, водяна пара, інертні гази
Скло- текстоліт	-	-	-	-	Вода, хімічна піна

Для того щоб визначити категорію приміщення з вибухопожежної та пожежної небезпеки відповідно до ОНТП 24-86, необхідно розрахувати надлишковий тиск вибуху в приміщенні. Надмірний тиск вибуху визначимо за формулою 6.3:

$$\Delta P = [P_{MAX} - P_0] \frac{m \cdot Z}{V_{CB} \cdot \rho_{ГП}} \cdot \frac{100}{C_{СТ}} \cdot \frac{1}{K_u}, \quad (6.3)$$

де  $P_{MAX}$  - максимальний тиск вибуху стехіометричної газоповітряної або паро-повітряної суміші в замкнутому обсязі ( $P_{MAX} = 750 \text{кПа}$ );

$P_0$  - початковий тиск,  $P_0 = 101 \text{кПа}$ ;

$m$  – маса горючої речовини, кг;

$Z$  – площа випаровування,  $m^2$ ;

$V_{CB}$  - вільний об'єм приміщення;

$\rho_{ГП}$  - щільність газу і пари ( $\rho_{\text{етилового спирта по воздуху}} = 1.6 \text{кг/м}^3$ )

$C_{СТ}$  – стехіометрична концентрація горючого газу або парів ЛЗР, %;

$K_u$  - коефіцієнт враховує негерметичність приміщення і неіадиабатність процесу горіння,  $K_u = 3$

Вільний об'єм приміщення визначаємо за формулою 6.4:

$$V_{CB} = 0.8 \cdot V_{ПОЛН} \quad (6.4)$$

Стехиометрична концентрація знаходиться за формулою 6.5:

$$C_{CT} = \frac{100}{1 + 4.84 \cdot \beta} \quad (6.5)$$

$\beta$  - стехиометрический коефіцієнт кисню в реакції горіння.

$$\beta = n_e + \frac{n_n + n_x}{4} - \frac{n_o}{2} \quad (6.6)$$

$n_o, n_x, n_n, n_e$  - число атомів С, Н, О і галоїдов в молекулі пального.

$$m = W \cdot S \cdot T \quad (6.7)$$

$W$  - інтенсивність випаровування,  $кг \cdot с^{-1} \cdot м^{-2}$ ;

$S$  - площа випаровування,  $м^2$ ;

$T$  - тривалість випаровування ( $T = 3600с$ ).

Інтенсивність випаровування визначимо за формулою 6.8:

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_H \quad (6.8)$$

$\eta$  - коефіцієнт обраний в залежності від швидкості і температури над поверхнею рідини ( $\eta = 3.5$ );

$M$  - молекулярна маса ( $M = 46г/моль$ );

$P_H$  - тиск насиченості пара  $C_2H_5OH$  ( $P_H = 5.85кПа$ ).

З довідкових даних для  $C_2H_5OH$  :

$$W = 1.38 \cdot 10^{-6} кг \cdot с^{-1} \cdot м^{-2}$$

Тоді:

$$m = 1.38 \cdot 10^{-6} \cdot 0.3 \cdot 3600 = 0.15 \text{ кг}, \quad \beta = 2 + \frac{5}{4} - \frac{1}{2} = 2.75,$$

$$C_{CT} = \frac{100}{1 + 4.84 \cdot 2.75} \approx 7.0\%, \quad V_{CB} = 0.8 \cdot 75 = 60 \text{ м}^3,$$

$$\Delta P = [750 - 101] \frac{0.15 \cdot 0.3}{60 \cdot 1.6} \cdot \frac{100}{7} \cdot \frac{1}{3} = 1.4 \text{ кПа}$$

В результаті розрахунку робимо висновок про належність приміщення до категорії В пожежонебезпечна. Оскільки в приміщенні вибухові суміші горючих газів і парів з повітрям не утворюється, а утворюються вони тільки в результаті аварії або несправності, то приміщення можна віднести до класу В-Іб вибухонебезпечних зон.

Основними причинами виникнення пожежі є:

- порушення встановлених правил пожежної безпеки та необережне поводження з вогнем;
- несправність і перевантаження електричних пристроїв (коротке замикання);
- несправність вентиляційної системи, що викликає самозаймання або вибух пилу;
- халатне і необережне поводження з вогнем;
- самозаймання бавовняної тканини просоченої маслом, бензином або спиртом;
- статичну електрику, що утворюється від тертя пилу або газів в вентиляційних установках;
- грозові розряди при відсутності або несправності блискавковідводів.

У приміщеннях, де проводиться монтаж друкованих плат передбачаємо електричну пожежну сигналізацію (п'ять сповіщувачів типу ПОСТ-1), яка служить для швидкого сповіщення служби пожежогасіння про виникнення пожежі.

Кількість розміщених вогнегасників в робочому приміщенні відповідає вимогам ISO 3941-77.

У робочому приміщенні виконані всі вимоги по пожежній безпеці відповідно до вимог НАПБ А.01.001-95 «Правил пожежної безпеки в Україні».

Вхід в приміщення, проходи між столами і коридори забороняється захищати різними предметами та обладнанням. Для зберігання всіх речовин і матеріалів передбачаємо спеціальні шафи і ємності.

З робітниками й обслуговуючим персоналом передбачаємо проведення протипожежного інструктажу, занять і бесід.

#### 6.5 Заходи по захисту персоналу від лазерного випромінювання

В разі проведення робіт з ВОЛЗ необхідно забезпечити заходи які запобігають попадання лазерного випромінювання на навколишній персонал.

#### 6.6 Заходи по захисту будівлі від блискавки

Будівля по захисту від блискавки можна віднести до категорії 2, як будівля приміщення в яких належать до класу В-1б.

Очікуване число поразок блискавкою в рік будівель і споруд висотою не більше 60м, не обладнаних захистом від блискавки, визначають за формулою 6.9:

$$N = \frac{(S + 6 \cdot h) \cdot (L + 6 \cdot h) \cdot n}{10^6} \quad (6.9)$$

де  $S$  – ширина захищається будівлі, м;

$h$  – висота будівлі по його бічних сторонах, м;

$L$  – довжина будівлі, м;

$n$  – середнє число поразок блискавкою на 1кв.км. земної пов. за рік;

У нашому випадку маємо  $S = 20\text{м}$ ;  $L = 150\text{м}$ ;  $h = 20\text{м}$ ;  $n = 9$ ; (Так як річна тривалість гроз для Києва - 60-80 часів, що відповідає 9-ти поразок на 1кв.км. за рік):

$$N = \frac{(20 + 6 \cdot 20) \cdot (150 + 6 \cdot 20) \cdot 9}{10^6} = 0.34$$

Згідно таблиці 2 тип захисту - зона Б, так як будівля відноситься до категорії 2, а очікуване число поразок блискавкою в рік  $N < 1$ .

Будівля має бути захищене від прямих ударів блискавки електростатичного та електромагнітної індукції та занесення високих потенціалів через наземні і підземні металеві комунікації. Використовуються сітчасті громовідводи. Захист будівель від електростатичного індукції забезпечується приєднанням всього обладнання та апаратів, що знаходяться в будівлі до захисного заземлення обладнання.

## ВИСНОВКИ

В даній магістерській роботі було поставлено завдання, для вирішення яких були вивчені наступні питання:

- обґрунтування необхідності захисту ВОЛЗ;
- принципи створення повного внутрішнього відображення в оптичних волокнах;
- можливі методи формування каналів витоку інформації;
- способи захисту інформації в ВОЛЗ;
- розробка рубежів захисту ВОЛЗ від НДІ.

Проаналізувавши проблеми сучасного інформаційного суспільства був зроблений вибір середовища передачі - ВОСПІ. Були розглянуті їх фізичні особливості для визначення можливих способів нападу по ВОЛЗ і захисту від несанкціонованого доступу. ВОЛЗ мають більш високу ступінь захищеності інформації від несанкціонованого доступу, ніж будь-які інші лінії зв'язку, що пов'язано з фізичними принципами поширення електромагнітної хвилі в світловоді і досягнення повного внутрішнього відображення. Проте, навіть після формування статичного розподілу поля в волокні, невелика частина розсіяного випромінювання все ж проникає за межі відбиває оболонки і може бути каналом витоку інформації, що передається. Проаналізовані методи НДІ з ОВ:

- пасивні;
- активні;
- компенсаційні.

При виконанні магістерської роботи, були розглянуті основні методи захисту волоконно-оптичного тракту. Були обрані рубежі захисту ВОЛЗ з існуючих методів захисту від НДІ - апаратний захист, оптоволоконна лінія, оптичне волокно, оптичний кабель «СИП-3», прокладка ВОЛЗ по ЛЕП, захист муфти, рефлектометричний моніторинг та маскування. Розглянуто технічні рішення використані на рубежах захисту ВОЛЗ, які спрямовані на підвищення

захисту лінії зв'язку. Без значного підвищення надмірності обладнання і збереження швидкості передачі інформації. Використання вищеописаних рубежів захисту з використанням описаний способів захисту значно підвищує передану конфіденційну інформацію.

Використання вищеописаних рубежів захисту надає реальну можливість досягти поставленої мети - значного підвищення захищеності від НДІ переданої в ВОЛЗ інформації, а при використанні в поєднанні з іншими відомими способами захисту практично повністю виключає її перехоплення.

**ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи / пер. с англ. под ред. Н.Н. Слепова / М.: Техносфера, 2003. – 590 с.
2. Щекотихін О.В. Компоненти та пристрої волоконно-оптичних ліній зв'язку навч. посіб / О.В. Щекотихін, Д.М. Піза, Т.П. Бугрова Запоріжжя: ЗНТУ 2015 – 306 с.
3. Румянцев К.Е., Хайров И.Е. Передача конфиденциальной информации по волоконно-оптическим линиям связи, защищенная от несанкционированного доступа. Информационное противодействие угрозам терроризма: Научн.-практ.журн., №1, 2003. С. 72 – 79.
4. Гришачев В.В. Физические принципы формирования каналов утечки информации в ВОЛС / В.В Гришачев, В.Н.Кабашкин, А.Д. Фролов. – Москва: факультет защиты информации МГУ им. Ломоносова, 2005.
5. В.В. Гришачев, В.Н. Кабишина, А.Д. Фролов «Анализ каналов утечки информации в волоконно-оптических каналах связи: нарушение полного внутреннего отражения» Историческое противодействие угрозам терроризма №4 2005г.
6. Манько О.О., Каток В.Б., Задорожній М.Д. «Защита информации на волоконно-оптических линиях связи от несанкционированного доступа.» Науково-технічна конференція «Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні» Україна, Київ, 2001. №2.
7. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети, принципы, технологии, протоколы. Учебник для вузов 4-е издание – СПб: Питер 2011 – 944с.
8. Дж. Джордж (John George), П. Вайнманн (Peter Weimann), О.Шур (Ole Shur), Дж. Стинструп (Jesper Steenstrup) «Характеристики и применение волокон с улучшенными параметрами изгиба» Russian Edition №3 2008.
9. Наний О.Е. Основы технологии спектрального мультиплексирования каналов передачи (wdm) / Lightwave Russian Edition, № 2, 2004, с. 47–49.

10. Пат. 11328 України МПК Н04К1/10 Спосіб захисту інформації у лініях зв'язку / Електронний ресурс / О.В. Щекотихін, Д.П. Піза, В.І. Мисленков 23.08.2005 опубл. 15.12.2005.

11. Патент 45771 України Н041310/12 Спосіб передачі інформації в системах зв'язку. Щекотихін О.В., Сметаник І.Н., Карпуков Л.М. 25.11.2009.

12. Убайдуллаев Р.Р. Волоконно-оптические сети / Убайдуллаев Р.Р - М.: Эко-Трендз 2001. - 267 с.

13. Пат. 132701 України МПК Н04К1/10, Н04В10/25 Пристрій захисту інформації у волоконно-оптичних лініях зв'язку / Електронний ресурс / О.В. Щекотихін, Д., Л.М. Карпуков, Д.К. Савченко, Т.С. Литовка 30.08.2018 опубл. 11.03.2019.

14. Пат. 123836 України МПК Н04К1/10, Н04В10/25 Спосіб захисту інформації у волоконно-оптичних лініях зв'язку від несанкціонованого доступу / Електронний ресурс / Щекотихін, Д., Л.М. Карпуков, Д.К. Савченко, Т.С. Литовка 26.09.2017 опубл. 12.03.2018.

15. Гришачев В.В., Халяпин Д.Б., Шевченко Н.А., Мерзликин В.Г. Новые каналы утечки конфиденциальной речевой информации через волоконно-оптические подсистемы СКС // Специальная техника. - 2009. - №2. - С. 2-9.

16. Гришачев В.В., Халяпин Д.Б., Шевченко Н.А. Угрозы несанкционированного съёма конфиденциальной речевой информации с волоконно-оптических элементов структурированных кабельных систем // Безопасность информационных технологий. 2009. - №2. - С. 88-93.

17. Гришачев В.В., Халяпин Д.Б., Шевченко Н.А. Волоконно-оптический телефон в акусто-оптоволоконном канале утечки конфиденциальной речевой информации // Вопросы защиты информации. - 2009. - №3. - С. 22-30.

18. Гришачев В.В., Халяпин Д.Б., Методы активного противодействия утечке речевой информации по акусто-оптоволоконным каналам акустическим зашумлением // Специальная техника -2010. - №3 –с. 49-62.