

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Інститут електроенергетики
Факультет інформаційних технологій
Кафедра безпеки інформації та телекомунікацій

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеню магістр

студента Бабича Максима Павловича

академічної групи 125м-21-1

спеціальності 125 Кібербезпека

спеціалізації¹

за освітньо-професійною програмою Кібербезпека

на тему Дослідження та обґрунтування засобів захисту від витоку

інформації через волоконно-оптичні канали зв'язку

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	д.ф.-м.н., проф. Кагадій Т.С.			
розділів:				
спеціальний	ст. викл. Начовний І.І.			
економічний	к.е.н., доц. Пілова Д.П.			
Рецензент				
Нормоконтролер	ст. викл. Мешков В.І.			

Дніпро
2022

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри
безпеки інформації та телекомунікацій
_____ д.т.н., проф. Корнієнко В.І.

«_____» _____ 20__ року

**ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеня магістр**

студенту Бабичу Максиму Павловичу академічної групи 125м-21-1
(прізвище ім'я по-батькові) (шифр)

спеціальності 125 Кібербезпека
(код і назва спеціальності)

на тему Дослідження та обґрунтування засобів захисту від витоку інформації
через волоконно-оптичні канали зв'язку

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 31.10.22р. № 1200-с

Розділ	Зміст	Термін виконання
Розділ 1	Провести аналіз методів захисту мовної інформації від витоку волоконно-оптичними лініями зв'язку	20.10.2022
Розділ 2	Дослідити явища втрати випромінювання на вигині волоконного світловода; реалізувати методи протидії зняття мовної інформації з волоконно-оптичних ліній зв'язку; розробити рекомендації з захисту інформації від витоку по акусто-волоконним каналам.	16.11.2022
Розділ 3	Виконати розрахунок вартість мережі, що підлягає захисту, та вартість запропонованого методу детектування атак.	05.12.2022

Завдання видано

_____ (підпис керівника)

_____ (прізвище, ініціали)

Дата видачі: 05.09.2022 р.

Дата подання до екзаменаційної комісії: 12.12.2022 р.

Прийнято до виконання

_____ (підпис студента)

_____ (прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 80 с., 28 рис., 6 табл., 4 додатків, 20 джерел.

Об'єкт дослідження: волоконно-оптичний канал зв'язку.

Предмет досліджень: канали витоку інформації через волоконно-оптичні комунікації.

Мета роботи: розробка способу протидії зняття мовної інформації з волоконно-оптичних ліній зв'язку.

В спеціальній частині досліджені явища втрати випромінювання на вигині волоконного світловода; проаналізовані методи захисту мовної інформації від витоку волоконно-оптичними лініями зв'язку; реалізовані методи протидії зняття мовної інформації з волоконно-оптичних ліній зв'язку; розроблені рекомендації з захисту інформації від витоку по акусто-волоконним каналам.

В економічному розділі розраховані вартість мережі, що підлягає захисту, та вартість запропонованого методу детектування атак.

Новизна результатів полягає в проведенні експерименту дослідження та отриманні залежність втрат від радіуса вигину; сформульовані вимоги до характеристик пристрою виявлення витоку мовної інформації через волоконно-оптичні лінії зв'язку; запропоновані способи виявлення несанкціонованого зняття мовної інформації з волоконно-оптичних ліній зв'язку.

ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИЙ КАНАЛ ЗВ'ЯЗКУ, АКУСТО-ОПТОВОЛОКОННИЙ КАНАЛ ВИТОКУ, ЗАХИСТ АКУСТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ.

ABSTRACT

Explanatory note: 80 pages, 28 pic, 6 tables, 4 appendices, 20 sources.

Object of research: fiber-optic communication line.

Purpose of degree work: information leakage channels via fiber-optic communication.

Purpose of degree work: development of a way to counter the removal of voice data with fiber-optic communication lines.

A special part of the phenomena studied radiation losses at the bend of the fiber; the methods of protection against leakage of the voice information optical fiber communication lines; implemented methods to counter the removal of voice data with fiber-optic communication lines; practical recommendations for the implementation of the method.

In the economic section calculated cost of the network to be protected, and the cost of the proposed method of detecting attacks.

Scientific novelty of the study is to conduct research and experiment getting dependent losses bend radius; stated performance requirements for leak detection devices voice over fiber-optic communication lines; provides methods for detecting unauthorized removal of voice data with fiber-optic communication lines.

FIBER-OPTIC COMMUNICATION LINES, ACOUSTIC-FIBRE CHANNEL LEAKAGE, PROTECTION ACOUSTIC INFORMATION.

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- EDFA – Erbium-Doped Fiber Amplifier – підсилювачі на основі збагачених ербієм волокон;
- OD – Optical density – оптична щільність фільтрів;
- VCSEL – Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser – лазери поверхневого випромінювання з вертикальним резонатором;
- ВОК – волоконно-оптичні комунікації;
- ІзОД – інформація з обмеженим доступом;
- ВОЛЗ – волоконно-оптичні лінії зв'язку;
- НЗІ – несанкціоноване зняття інформації;
- НСД – несанкціонований доступ;
- СКС – структурована кабельна система;
- ТЗР – технічні засоби розвідки.

ЗМІСТ

	С.
ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ	10
1.1 Актуальність проблеми забезпечення безпеки в ВОЛЗ	10
1.1.1 Комунікація за допомогою оптично-волоконного кабелю	11
1.1.2 Вразливість комунікації на базі волоконно-оптичного кабелю	12
1.1.3 Динаміка попиту на кабелі зв'язку	14
1.2 Аналіз технології волоконно-оптичних ліній зв'язку. Сфери застосування волоконно-оптичних технологій	17
1.2.1 Фотонні технології	17
1.2.2 Порівняння можливостей мідного кабелю і оптоволокна	23
1.2.3 Області застосування волоконно-оптичних технологій	24
1.3 Огляд технологій фіксованих мереж доступу	26
1.4 Висновок. Постановка задачі	29
РОЗДІЛ 2. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	31
2.1 Формування каналів витоку в волоконно-оптичних лініях зв'язку	31
2.1.1 Порушення повного внутрішнього відбиття	31
2.1.1.1 Формування каналів витоку при згинанні оптоволокна	31
2.1.1.2 Формування каналів витоку зовнішнім впливом, що викликає зміну відношення показників заломлення	32
2.1.1.3 Формування каналу витоку методом оптичного тунелювання	34
2.1.2 Реєстрація розсіяного випромінювання	35
2.1.3 Параметричні методи реєстрації випромінювання	36
2.2 Способи підключення до оптоволокна	37
2.2.1 Контактний спосіб підключення без розриву оптоволокна	37
2.2.2 Контактний спосіб підключення з розривом оптоволокна і підключенням оптоволоконної вставки	37
2.3 Обладнання для тестування мереж на основі оптоволоконного кабелю ..	39

2.3.1 Використання оптичних рефлектометрів	39
2.3.2 Використання аналізаторів спектра	39
2.4 Дослідження явища втрати випромінювання на вигині волоконного світловода.....	40
2.5 Експериментальне дослідження втрат на вигині.....	44
2.6 Технічні канали витоку акустичної (мовної) інформації через волоконно-оптичні комунікації.....	47
2.6.1 Типи акусто-оптоволоконних каналів витоку.....	49
2.6.2 Артикуляційний метод аналізу каналів витоку мовної інформації.....	52
2.6.3 Аналіз сценаріїв реалізації загрози підслуховування	54
2.7 Методи захисту мовної інформації від витоку через волоконно-оптичні комунікації	55
2.8 Реалізації методів протидії зняття мовної інформації з ВОЛЗ.....	58
2.8.1 Метод детектування каналів витоку	61
2.8.2 Аналіз високочастотної складової акустичного сигналу.....	62
2.9 Практичні рекомендації з реалізації методу детектування каналів витоку	63
2.10 Рекомендації з технічного захисту інформації від витоку по акусто-волоконним каналам	64
2.11 Висновок.....	66
3 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ	67
3.1 Розрахунок капітальних витрат на розробку та налагодження складових детектора атак.....	67
3.1.1 Розрахунок річних експлуатаційних витрат.....	70
3.1.2 Розрахунок заробітної плати інженерно-технічного персоналу	71
3.2 Розрахунок вартості методу	71
3.3 Розрахунок вартості мережі, що захищається.....	72
3.4 Висновок	72
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	75

ДОДАТОК А. Відомість матеріалів кваліфікаційної роботи	77
ДОДАТОК Б. Перелік документів на оптичному носії	78
ДОДАТОК В. Відгуки керівників розділів	79
ДОДАТОК Г. Відгук керівника кваліфікаційної роботи	80

ВСТУП

Високі вимоги, пропоновані до сучасних систем телекомунікацій (висока швидкість передачі інформації, надійність, захищеність від несанкціонованого доступу), призводять до усвідомлення незаперечної переваги волоконно-оптичних ліній зв'язку. У найближчому майбутньому, можна очікувати, що ВОЛЗ замінять всі існуючі магістральні лінії передачі інформації. У зв'язку з можливою широкою поширеністю виникає проблема захисту інформації в ВОЛЗ. Аналіз можливих каналів витоку інформації в результаті несанкціонованого доступу має першорядне значення.

Одним з нових каналів витоку є акусто-оптоволоконний, пов'язаний з несанкціонованим зняттям мовної інформації (підслуховуванням) через штатні волоконно-оптичні комунікації різного призначення. У каналі витоку акустичне поле від носія інформації впливає на оптоволоконно штатних інформаційних систем, побудованих на волоконно-оптичних технологіях, і викликає модуляцію світлового потоку в оптоволоконні або волоконно-оптичному обладнанні на акустичних частотах. Промодульований промовою світловий потік може вийти далеко за межі конфіденційного приміщення по штатними волоконно-оптичним комунікаціям. Після чого в результаті демодуляції зловмисник може отримати доступ до функціонуючої в установі конфіденційної інформації.

РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Актуальність проблеми забезпечення безпеки в ВОЛЗ

Сьогодні на ринку доступні недорогі пристрої для прихованого підключення до оптичних мереж, які можна легально придбати. При цьому виявлення даних пристроїв практично неможливе, так як вони можуть підключатися, не пошкоджуючи кабель. Зловмисник за допомогою даних пристроїв може отримати повний доступ до інформації, залишаючись неспійманим. Виробник волоконно-оптичного обладнання не приділяє достатньо уваги для підвищення захищеності від даного способу підключення і викриття зловмисників: не вбудовують підходящу апаратуру, яка може помітити витік інформації. Внаслідок цього провайдери не можуть гарантувати, чи був витік інформації, а тим більше не можуть це запобігти. Навіть мережі високого рівня, які повинні відповідати стандартам НД ТЗІ та які набагато краще захищені, все одно залишаються уразливими до деяких методів отримання інформації в волоконно-оптичних системах [1].

Волоконно-оптичні технології – технології передачі світлової енергії по діелектричним циліндричним світловодам від джерела до приймача. Більше 90% інтернет-трафіку в світі проходить через підводні оптоволоконні мережі, загальна довжина яких більше 1 млрд. км, у зв'язку з чим, сучасна економіка дуже залежить від безпеки, доступності, впорядкованості даної мережі, тому-що завдяки їй вона може працювати більш ефективно.

З появою волоконно-оптичного кабелю основний наголос робився на те, що передача інформації по ньому має бути безпечною. Однак було доведено, що можливе приховане підключення до даного кабелю, навіть набагато легше ніж до звитої пари. До того ж волоконно-оптичний кабель набагато простіше передає інформацію, при прихованому підключенні до нього, ніж його попередник звита пара.

Перехоплення інформації в волоконно-оптичних системах може бути благополучне, у зв'язку з тим, що світло, яке передає сигнал, дуже легко

перехопити, транслювати і маніпулювати за допомогою відповідного обладнання. На сьогоднішній день приватні та громадські мережі не мають вбудованих методів і засобів виявлення несанкціонованого підключення, тому існує дуже велика частка ймовірності, що зловмисник може отримати інформацію з даної мережі. Так як волоконно-оптичні кабелі передають великі масиви інформації на великих швидкостях, то для зловмисника цей варіант практично безризиковий [1].

Сьогодні ми живемо в суспільстві, де негласне отримання конфіденційної інформації стало міжнародним видом спорту. Мережі, які використовують волоконно-оптичні технології, поширені повсюди, відповідно нелегальний зйом інформації даних видів комунікацій збільшився. Втрати через розкрадання інформації через волоконно-оптичні мережі на сьогоднішній день складають більше 100 мільярдів доларів. Найбільша проблема полягає в тому, що майже всі атаки залишаються непоміченими, тому-що багато підприємств просто не використовують обладнання, яке зможе їх захистити від перехоплення інформації по цих каналах зв'язку. У зв'язку з цим волоконно-оптична мережа завжди буде бажаною метою для атак. Саме тому «професіонали» користуються цим способом, щоб роздобути політичну або економічну інформацію для маніпулювання нею у своїх інтересах [1].

У підсумку можна сказати, що волоконно-оптичний кабель дуже вразливий, і тільки мала кількість користувачів може впевнено сказати, що вони дійсно захищені від витоку інформації по волоконно-оптичному каналу зв'язку.

1.1.1 Комунікація за допомогою оптично-волоконного кабелю

Оптичне волокно – це нитка з оптично прозорого матеріалу (скло, пластик), що використовується для перенесення світла усередині себе за допомогою повного внутрішнього відбиття. Переваги цієї технології:

- велика полоса пропускання і велика пропускна здатність;

- незалежність від електрики;
- мало помилок (інтенсивність бітових помилок $BER = 10^{-9}$);
- найкращий захист від зовнішнього вторгнення;
- найкращий захист проти інтерференції.

Волоконно-оптична технологія застосовується в різних сферах комунікацій. За допомогою цієї технології стало можливо замінити кабелі, які зроблені з міді, і цим способом економити ресурси. Так як даний тип проводу великої ємності, то потрібно набагато менше волоконно-оптичних кабелів. Через ці переваги волоконно-оптичний кабель став найвигіднішим способом при обміні інформацією в мережах [1].

1.1.2 Вразливість комунікації на базі волоконно-оптичного кабелю

Нинішні волоконно-оптичні мережі вже мають загальну довжину понад 1 млрд. км, які прокладені по всьому світу. Ці мережі пропускають інформацію у величезних кількостях, причому легко і дешево. Вони передають конфіденційну та персональну інформацію. Вважалося, що волоконно-оптична технологія дуже надійна, так як не має недоліків електричних сигналів. Але практика показала, що маючи потрібне обладнання можна спотворити сигнал в оптоволокні. Є багато нелегальних способів підключення до волоконно-оптичної мережі, основні такі як:

- подовження кабелю;
- поділ або об'єднання сигналів в кабелі;
- способи, які не порушують фізичної цілісності кабелю.

Найлегший спосіб отримати інформацію – це подовжити кабель і вбудувати туди устаткування, яке не впливатиме на передачу сигналу до одержувача і, в той же час, буде передавати інформацію зловмисникові. Щоб дізнатися, чи був витік інформації з каналу зв'язку, потрібно щоб в кабель була вбудована спеціальна техніка щодо його захисту або ж були задіяні кваліфіковані фахівці, які в змозі знайти місце витіку. Так як затримка при перехопленні дуже коротка багато операторів просто думають, що це

затримки в роботі мережі і продовжують передачу даних. Більшість обладнання не розпізнає витік сигналу і продовжує передачу в канал зв'язку не перериваючись [1].

Метод поділу або об'єднання сигналів в кабелі дозволяє перехоплення інформації не перериваючи сигнал і не ламаючи кварцовий кабель, який передає сигнал. Одне з менш знайомих якостей волоконно-оптичного кабелю так це те, що світло частково втрачається, незважаючи на те, що він ізольований. Особливо сильно можна спостерігати цей феномен при вигині кабелю. Апаратура з перехоплення інформації при цьому способі – звичайний детектор світла, який приймає сигнали, які «видно» крізь кабель. Єдиний критерій, який повинен бути виконаним, це вигин кабелю. Цією якістю користуються ще, щоб перевіряти і визначати напрямок сигналу [1].

Для стандартного варіанту вилучення інформації достатньо лише 0,2дБ оптичної потужності. За допомогою цієї потужності можна визначити присутність сигналу і куди він іде. Після здійснення нелегального підключення за допомогою апаратури, яка аналізує сигнал волоконно-оптичного кабелю можна розшифрувати сигнал і тим самим отримати саму інформацію [1].

Навіть якщо губиться менше ніж 0,1 дБ інформації, то користувач на іншому кінці ніколи не дізнається про просочування інформації, оскільки не будуть помітні зміни в роботі його пристроїв.

Існують і активні методи витоку інформації – впроваджують помилковий сигнал в сам кабель. Цим способом користуються, коли кабель потрібно ремонтувати. Такий метод може бути використаний, щоб впровадити неправдиву інформацію або зіпсувати потік правильної інформації. До цього всього можна ще й додати фізичне вторгнення, наприклад, перерізання кабелю. Пристрої, які функціонують за методом включення в розрив кабелю дуже чутливі, їх важко виявити в комунікаціях, і вони дуже сильно впливають на інфраструктуру мережі.

Розглянемо більш просунутий метод активного відгалуження кабелю: вводиться додатковий сигнал в головний кабель і з ним виводять основний сигнал шляхом накладення введеного сигналу на інформаційний всередині кабелю. Такі методи складно виявити і таким чином, без створення фізичного захисту, інформація перехоплюється так, що це непомітно ні відправнику, ні одержувачу [1].

Враховуючи все вище викладене, можна зробити висновок, що не варто мати хибне уявлення про те, що комунікація на основі оптоволоконного кабелю – це дуже надійно і безпечно, і тому не варто приділяти особливої уваги підвищенню рівня захисту інформації при передачі волоконно-оптичними лініями зв'язку.

1.1.3 Динаміка попиту на кабелі зв'язку

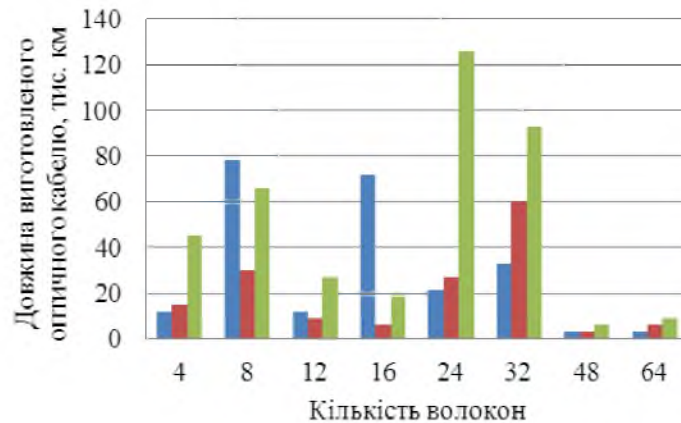
У ХХІ столітті спостерігається істотне зменшення споживання мідних кабелів зв'язку типу ТПП - телефонні кабелі. Особливо помітне зменшення збуту (в середньому на 20-30% на рік) в останні роки спостерігається в багатопарному кабелі ТПП 200-600.

Звичайно, зниженню попиту сприяв істотний стрибок цін на мідь, але основною причиною зменшення використання металевих кабелів зв'язку є припинення будівництва мереж на базі мідних жил. Сьогодні мідні кабелі в основному закупаються для підтримки працездатності старих мереж зв'язку (довжина яких становить близько мільйона кілометрів), а нові в переважній більшості будуються з використанням волоконно-оптичного кабелю.

Як короткострокові, так і довгострокові прогнози аналітиків пророкують, що майбутнє за цифровими широкосмуговими лініями на основі оптичного кабелю. Тому найближчим часом для телекомунікаційної інфраструктури країн СНГ знадобляться мільйони кілометрів оптичного кабелю для прокладки в ґрунт, каналізацію і для підвісу на опори. Ці

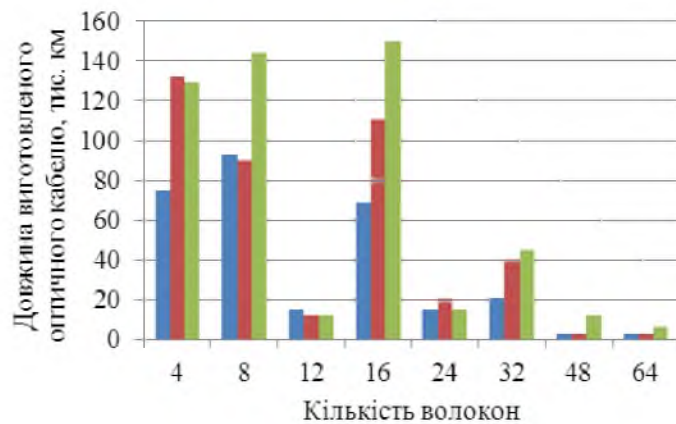
прогнози підтверджуються дійсністю (рисунок 1.1-1.4): виробництво і споживання оптичного кабелю в останні роки зростають експоненційно [4].

Починаючи з 2005 р. практично у всіх країнах СНГ споживання оптичного кабелю перевищило споживання мідно-жильного кабелю і продовжує впевнено рости.



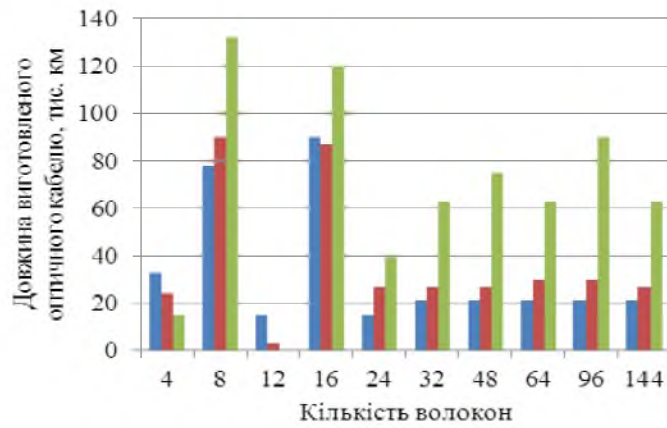
- 2018 -2019 -2020

Рисунок 1.1 – Виробництво оптичного кабелю для прокладки в ґрунт



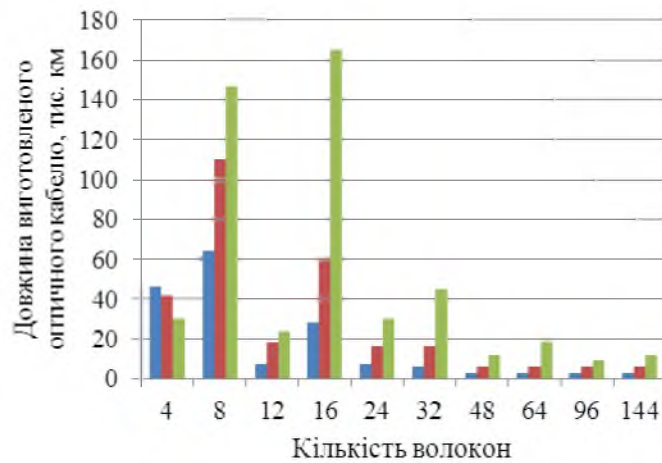
- 2018 -2019 -2020

Рисунок 1.2 – Виробництво оптичного кабелю для підвісу



- 2018 -2019 -2020

Рисунок 1.3 – Виробництво оптичного кабелю для прокладки в каналізацію



- 2018 -2019 -2020

Рисунок 1.4 – Виробництво оптичного кабелю – самонесучий

Тенденція зростання буде продовжуватися і в майбутньому. При цьому, як видно з графіків, зростає і кількість оптичних волокон в застосовуваному кабелі. В 2018 основному проводився 16-волоконний кабель, то в 2019 р. став частіше використовуватися 24 -, 32 -, 48 -, 96-й 144-волоконний. Попит на оптичний кабель з великою кількістю волокон продовжує зростати [4].

На основі вищевказаних даних можна з упевненістю сказати, що інтерес до оптичного кабелю зростає з кожним роком, а за останній рік це зростання стало експоненціальним. Завдяки унікальним властивостям (швидкість передачі – десятки Гбайт/с на відстань сотень кілометрів), сучасний оптичний кабель створює передумови для бурхливого розвитку телекомунікацій. А відпрацьована технологія з'єднання і контролю дає

можливість виготовити оптичний кабель ємністю 4000 оптичних волокон при зовнішньому діаметрі всього 35 мм.

Динаміка виробництва та споживання в країнах СНГ волоконно-оптичних кабелів зв'язку (у одноволоконному обчисленні) наведена на рисунку 1.5 [5].



Рисунок 1.5 – Динаміка попиту на оптоволоконно.

Також за 2019 р. ПАТ «Одескабель» виробило 325,6 тис. км (в одноволоконному обчисленні) волоконно-оптичного кабелю, що на 2,8% більше, ніж за цей же період 2018 р.

1.2 Аналіз технології волоконно-оптичних ліній зв'язку.

Сфери застосування волоконно-оптичних технологій

1.2.1 Фотонні технології

Фотоніка (англ. photonics) – область науки і техніки, яка займається вивченням фундаментальних і прикладних аспектів генерації, передачі, модуляції, посилення, обробки, детектування і розпізнавання оптичних сигналів і полів, а також застосуванням зазначених явищ при розробці та

створенні оптичних, електрооптичних і оптоелектронних пристроїв різного призначення.

Застосування фотонних технологій:

- лазерні технології (лазерний зв'язок, лазерні вимірювальні системи, лазерні системи обробки інформації);
- оптоелектронні технології – пристрої генерації, перетворення і управління оптичним випромінюванням за допомогою електронних технологій – фотоелектронний інтерфейс (джерела і приймачі світла, оптоелектронні перетворювачі);
- волоконно-оптичні та інтегрально-оптичні/нанофотонні технології.

Фотонні пристрої заміщають в інформатиці техніку, яка раніше функціонувала на основі електроніки, тим самим переводить інформаційну техніку на новий більш високий якісний рівень, але формуються нові проблеми в захисті інформації:

- з'являються канали витоку, засновані на фізичних принципах, що раніше не обговорювались;
- нові канали витоку більш ефективні – менш помітні, довговічні, менш енергоємні і т.д.;
- існуючі системи захисту інформації не відповідають новим викликам.

Оптоволокна, що використовується в ВОЛЗ СКС, підрозділяються по діаметру серцевини волокна на два типи: на одномодові волокна і на багатомодові волокна.

Назва одномодове або багатомодове волокно склалося від кількості мод або іншими словами траєкторій поширення світлового імпульсу при проходженні його по оптоволокну.

У одномодовому оптоволокні утворюється невелика кількість мод і умовно вважається, що світло в одномодовому оптоволокні поширюється по одній траєкторії, тому такі оптичні волокна називають одномодовими. У

багатомодовому оптоволокну утворюється велика кількість мод, тому такі волокна називають багатомодовими.



Рисунок 1.6 – Конструкція одномодового и багатомодового волокна

Оптичне волокно складається з невеликої за розміром кварцової трубочки (циліндра). Через додавання різних легуючих домішок оптична щільність у кварцової трубочки змінюється. Утворюються, як би, дві трубочки, що мають різну оптичну щільність. Внутрішня трубочка – це серцевина (ядро) і вона більш темна, а зовнішня – це оболочка і вона світліша (рисунок 1.6).

Світловий імпульс знаходиться практично весь час всередині серцевини і на кордоні двох середовищ серцевини і оболочки відбивається всередину серцевини.

У одномодового оптоволокну СКС діаметр серцевини становить 8-10 мкм. Для ідентифікації оптичного кабелю з одномодовими оптоволокнами на кабелі або в описі оптичного кабелю можна зустріти написи 9/125 або 8-10/125. При позначенні одномодового волокна використовують дві букви SM (англ. від слова Single Mode).

У багатомодових оптоволокон зовнішній діаметр серцевини може бути 50 мкм або 62,5 мкм. При описі оптичного кабелю з багатомодовими волокнами можна зустріти наступні позначення 50/125, 62,5/125, де 50 і 62,5 це діаметр серцевини волокна. Також можна зустріти при позначенні багатомодового волокна дві букви ММ (англ. акронім від слова Multi Mode).

Для того щоб відрізнити багатомодове і одномодове волокно необхідно використовувати спеціальне обладнання, наприклад мікроскопи.

Діаметр зовнішньої оболонки для всіх оптоволокон, має стандартний розмір 125 мкм, що дозволяє використовувати в структурованій кабельній системі (СКС) стандартизовані роз'ємні і нероз'ємні з'єднання.

Щоб захистити кварцові трубочки від вологи та зовнішніх впливів, на зовнішню оболонку кварцовою трубочки наносять шар лаку 2-3 мкм, а потім покривають її первинним захисним буфером, що дозволяє надати еластичність і гнучкість волокну. Зовнішній діаметр оптичного волокна в первинному буфері - 250 мкм.

Деякі оптичні волокна покривають вторинним шаром захисного буфера. Зовнішній діаметр оптоволоконна з вторинним буфером становить 900 мкм.

Оптоволоконна з буфером 900 мкм звичайно входять в конструкцію розподільних оптичних кабелів, які використовуються в основному для прокладки всередині будівель. Оптичні волокна з буфером 900 мкм дозволяють провести монтаж волоконно-оптичних вилок (конекторів) прямо на об'єкті, наприклад, з використанням клейової технології.

Оптоволоконна мають велику полосу пропускання і менше затування (менші вносяться втрати), у відмінності від звитої пари, тому вони знаходять своє широке застосування при створенні ліній зв'язку (волоконно-оптичних ліній зв'язку) на великі відстані або в разі використання високошвидкісних технологій.

Елементами волоконно-оптичної лінії передачі є кабелі внутрішньої і зовнішньої прокладки, пасивні та активні оптичні елементи, монтажне і налагоджувальне обладнання.

Оптичний кабель внутрішньої прокладки – повністю діелектричний оптичний кабель повітряної прокладки на останній милі (технологія FTTH).

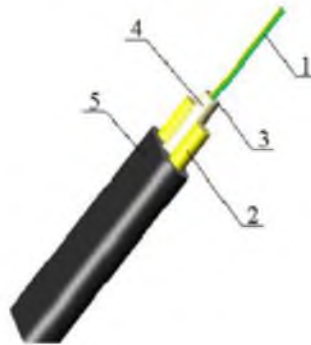


Рисунок 1.7 - Структура волоконно-оптичного кабелю внутрішньої прокладки

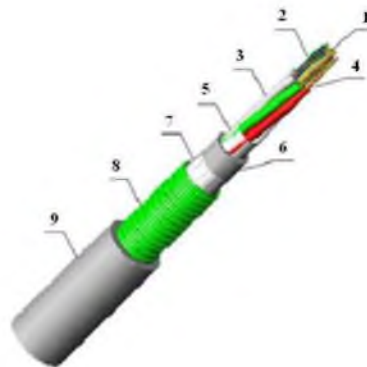


Рисунок 1.8 – Структура волоконно-оптичного кабелю зовнішньої прокладки

Структура волоконно-оптичного кабелю внутрішньої прокладки (рисунок 1.7) [15]:

- 1 Оптичне волокно;
- 2 Периферійні силові елементи – склопластикові прутки;
- 3 Внутримодульний гідрофобний заповнювач – гідроізоляція оптичного модуля;
- 4 Оптичний модуль – центральна трубка;
- 5 Захисна оболонка – поліетилен.

Оптичний кабель зовнішньої прокладки – це оптика для прокладки в ґрунт, оптика для прокладки в спеціальних каналізаціях та оптичні кабелі для підвісу між стовпами на несучому тросі або на кронштейнах уздовж будівель.

Структура волоконно-оптичного кабелю зовнішньої прокладки (рисунок 1.8) [15]:

- 1 Осьовий елемент:
 - сталевий канат в полімерному покритті;
 - склопластиковий пруток в полімерному покритті або без покриття;
- 2 Оптичні волокна;
- 3 Оптичні модулі;
- 4 Внутрішньомодульний гідрофобний заповнювач;
- 5 Гідроізоляція сердечника – гідрофобний заповнювач або водоблокуючі елементи;
- 6 Проміжна оболонка – поліетилен;
- 7 Гідроізоляція бронюючого шару – гідрофобний заповнювач або водоблокуючі елементи;
- 8 Сталева гофрована ламінована стрічка;
- 9 Захисна оболонка – поліетилен або полімер, що не поширює горіння.

Пасивні оптичні елементи дозволяють створювати розгалужену з можливістю масштабування оптичну кабельну мережу, забезпечують можливість з'єднання волокон, розгалуження потоків по потужності і довжині хвилі, фільтрацію по довжині хвилі, ослаблення світлового потоку (з'єднувальні оптичні елементи, направляючі оптичні елементи, узгоджувальні оптичні елементи, розподільчі елементи).

Активні оптичні елементи дозволяють управляти, генерувати, перетворювати, відновлювати і реєструвати оптичні сигнали для систем передачі інформації і виміру (електрооптичні пристрої для генерації,

посилення, реєстрації сигналів, кінцеві пристрої мережі, пристрої узгодження середовищ сигналу і протоколів передачі, пристрої комутації оптичного сигналу).

Монтажне і налагоджувальне обладнання – обладнання, призначене для монтажу, тестування та експлуатації оптичних систем передачі інформації, аналогічне монтажному та налагоджувальному обладнанню мідних ліній зв'язку (пристрої нерозривного з'єднання оптичних волокон, тестове обладнання).

1.2.2 Порівняння можливостей мідного кабелю і оптоволокна

У таблиці 1.1 наведені основні характеристики звитої пари, коаксіального кабелю і оптоволокна.

Таблиця 1.1 — Порівняння характеристик звитої пари, коаксіального кабелю і оптоволокна

Тип кабелю	Діапазон частот	Стандартне затухання	Стандартна затримка	Відстань між репітерами
Звита пара	0-3,5 кГц	0,2 дБ при 1 кГц	50 мс/км	2 км
Коаксіальний кабель	0-500 МГц	7 дБ/км	5 мс/км	1-9 км
Оптоволоконний кабель	180-370 ТГц	0,2-0,5 дБ/км	5 мс/км	40 км

Порівняємо можливості мідного кабелю, коаксіального кабелю і оптоволокна.

1 Ширина полоси пропускання у оптоволокна значно більша, ніж у мідного кабелю, що дозволяє досягти швидкості в сотні Гбіт/сек на відстанях в десятки кілометрів. Коаксіальний кабель дає швидкість максимум у кілька сотень Мбіт/сек приблизно на 1 кілометрі. Звита пара дає кілька Мбіт/сек на 1 кілометр і з неї можна отримати до 1 Гбіт/сек на відстані до 100 м.

2 Оптоволокно компактніше і менше важить. При тій же пропускній здатності коаксіальний кабель і кабель з кручених пар істотно важче оптоволокна. Це істотний фактор, що впливає на вартість і вимоги до опорних конструкцій. Наприклад, 1 км 1000-парника важить 8 тонн, а оптоволокно аналогічної пропускної здатності - 100 кг.

3 Затухання сигналу в оптоволокні істотно менше, ніж у коаксіальному кабелі і звитій парі, і залишається постійним для широкого діапазону частот.

4 Оптоволокно не сприйнятливие до зовнішніх електромагнітних випромінювань. Тому йому не страшні інтерференція, імпульсні шуми і взаємні наведення. Оптоволокно не випромінює енергію, тому не впливає на роботу іншого обладнання.

5 Чим менше репітерів, тим дешевше система і менше джерел помилок. З цієї точки зору оптоволоконні системи досягли більшої досконалості. Для цих систем середня відстань між репітерами - сотні кілометрів. Для коаксіального кабелю або звитої пари той же показник дорівнює кільком кілометрам.

1.2.3 Области застосування волоконно-оптичних технологій

Телекомунікації – системи зв'язку на великі відстані. Розрізняють магістральні, регіональні та місцеві лінії зв'язку.

На сьогоднішній день волоконно-оптичні технології знайшли своє застосування в таких галузях як:

- зв'язок (волоконно-оптичні лінії зв'язку, локальні мережі, кабельне телебачення);
- вимірювання (волоконно-оптичні системи контролю температури, деформацій та інше);
- безпека (волоконно-оптичні системи охорони периметра, доступу, передачі в системах відеоспостереження);
- інтерфейси (волоконно-оптичні подовжувачі інтерфейсів).

В якості першого кроку на шляху до альтернативного інтернету розглядається проєкт BRICS Cable - прокладка оптоволоконного кабелю через Бразилію, Індію, Китай, Південно-Африканську Республіку. Загальна протяжність кабелю повинна скласти 34 тис. км, а роботи з його прокладанні планується завершити в 2015 році (рисунок 1.9) [22].



Рисунок 1.9 - Проєкт BRICS Cable

Структурована кабельна система (СКС) – фізична основа кабельної інфраструктури будівлі, що дозволяє звести в єдину систему безліч мережевих інформаційних сервісів різного призначення: локальні обчислювальні та телефонні мережі, системи безпеки, кабельне ТБ, відеоспостереження і т. д.

Швидкодія Ethernet досягло 100 Гбіт/с, але проблема підключення індивідуальних користувачів до сервіс-провайдеру залишається невирішеною (задача останньої милі).

PON (від англ. Passive optical network, пасивна оптична мережа) – технологія пасивних оптичних мереж.

Розподільча мережа доступу PON базується на деревоподібній волоконно-кабельній архітектурі з пасивними оптичними розгалужувачами на вузлах та представляє економічний спосіб забезпечити широкополосну передачу інформації. При цьому архітектура PON володіє необхідною

ефективністю нарощування вузлів мережі та пропускної здатності, залежно від справжніх і майбутніх потреб абонентів.

Повністю оптичні мережі AON (All-optical Networks) – це клас мереж, головну роль у функціонуванні яких при комутації, мультиплексуванні та ретрансляції грають не оптоелектронні або електрооптичні, а чисто оптичні технології.

Повністю оптичні мережі претендують на роль чільної мережевої технології, здатної забезпечити гігантську смугу пропускання, як для сьогоdnішніх, так і завтрашніх мережевих та інформаційних додатків. Протягом останніх декількох років у цій області ведуться інтенсивні дослідження, створюється нове досконале обладнання (лазери зі змінною довжиною хвилі, оптичні хвильові мультиплексори WDM, широкополосні оптичні підсилювачі EDFA, оптичні комутатори), розробляються нові архітектури та стандарти оптичних мереж.

1.3 Огляд технологій фіксованих мереж доступу

У даному дослідженні основна увага приділена трьом найбільш поширеним групам технологій.

PON (Passive optical network, пасивна оптична мережа) – технологія пасивних оптичних мереж. Розподільна мережа доступу PON заснована на деревовидній волоконно-кабельній архітектурі з пасивними оптичними відгалужувачами на вузлах, представляє економічний спосіб забезпечити широкосмугову передачу інформації. При цьому архітектура PON володіє необхідною ефективністю нарощування вузлів мережі та пропускної здатності, залежно від теперішніх і майбутніх потреб абонентів.

Економічно технологія PON більш пристосована до «килимового» покриття, ніж до точкових інсталяцій. За допомогою технології GPON (GigabitPON) стало можливим забезпечити доступ в Інтернет на швидкості до 50 Гбіт/с і більше. Протяжність оптоволоконного кабелю від мережевого вузла до споживача може досягати 20 км.

FTTx (Fiber To The X, оптичне волокно до точки X) – це загальний термін для будь-якої телекомунікаційної мережі, в якій від вузла зв'язку до певного місця (точка X) доходить волоконно-оптичний кабель, а далі, до абонента, – мідний кабель (можливий і варіант, при якому оптика прокладається безпосередньо до абонентського пристрою). Таким чином, FTTx – це тільки фізичний рівень.

У сімейство FTTx входять різні види архітектур (рисунк 1.10):

- FTTN (волокна до вузла) – волокно до мережевого вузла;
- FTTC (Fiber до Curb) – волокно до мікрорайону, кварталу або групи будинків;
- FTTB (оптика до будівлі) – волокно до будівлі.;
- FTTH (оптоволоконний кабель домашнього) – волокно до житла (квартири або окремого котеджу).

Вони відрізняються головним чином тим, наскільки близько до призначеного для користувача терміналу підходить оптичний кабель.

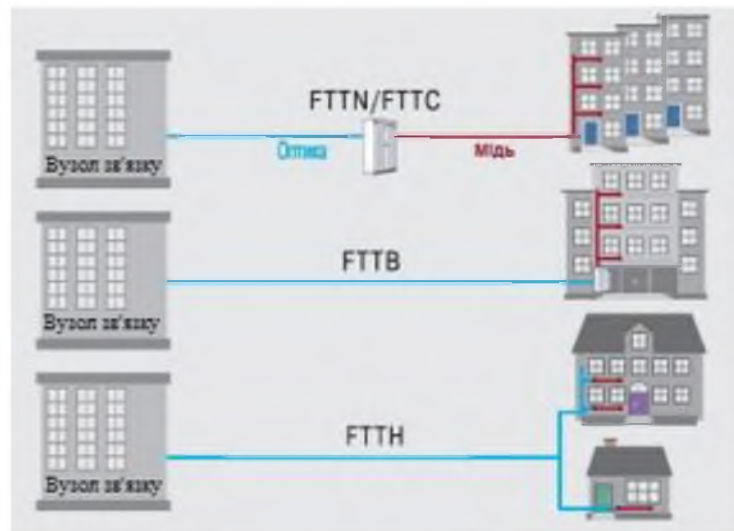


Рисунок 1.10 – Варіанти побудови мереж FTTx

Технологія FTTB забезпечує оптимальне співвідношення за якістю, пропускну здатністю та витратами на будівництво мережі, і на відміну від технології PON більш вигідна при точкових підключеннях.

Згідно з даними J'son & Partners Consulting, домінуючою технологією побудови широкосмугових мереж доступу для традиційних операторів

залишається ADSL 2+. На даний момент мережі, побудовані на ADSL 2+, розгорнуті в багатьох країнах світу, проте, технологія поступово застаріває і найближчим часом вже не зможе задовольняти зростаючі потреби абонентів за швидкістю передачі інформації. Основними перевагами даної технології є низька вартість розгортання мережі, в тому числі низька вартість абонентських пристроїв (в середньому по світу - \$ 40), а також можливість інсталиувати абонентські пристрої у міру отримання заявок.

Найближчим часом аналітики прогнозують бурхливе зростання оптичних інтернет-технологій: частка FTTH і PON збільшуватиметься в середньому на 4% на рік і до 2018 року складе близько 65% від усіх широкопосмугових підключень в країнах СНД (рисунок 1.11).

1.4 Висновок. Постановка задачі

Після проведення аналізу актуальності проблеми забезпечення безпеки у волоконно-оптичних лініях зв'язку можна зробити наступні висновки:

Фотонні пристрої заміщають в інформатиці техніку, яка раніше функціонувала на основі електроніки, тим самим переводить інформаційну техніку на новий більш високий якісний рівень, але формуються нові проблеми в захисті інформації:

- з'являються канали витоку, засновані на фізичних принципах, що раніше не обговорювались;
- нові канали витоку більш ефективні – менш помітні, довговічні, менш енергоємні і т.д.;
- існуючі системи захисту інформації не відповідають новим викликам.

Оптичний кабель замінює мідний кабель в системах передачі інформації та в вимірювальних системах. Це підвищує надійність, безпеку мережі зв'язку, але також створює нові загрози безпеки інформації, які пов'язані, головним чином, з новизною проблеми.

Тому для подальшого розгляду даної теми поставлені наступні задачі:

- проаналізувати принципи формування каналів витоку в волоконно-оптичних лініях зв'язку;
- дослідити явища втрати випромінювання на вигині волоконного світловода;
- проаналізувати методи захисту мовної інформації від витоку волоконно-оптичними лініями зв'язку;

- реалізувати метод протидії зняття мовної інформації з волоконно-оптичних ліній зв'язку;
- розробити рекомендації з технічного захисту інформації від витоку по акусто-волоконним каналам.

РОЗДІЛ 2. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Формування каналів витоку в волоконно-оптичних лініях зв'язку

Основні фізичні принципи формування каналів витоку в ВОЛЗ можна розділити на наступні типи:

- 1 Порушення повного внутрішнього відбиття;
- 2 Реєстрація розсіяного випромінювання;
- 3 Параметричні методи реєстрації випромінювання.

2.1.1 Порушення повного внутрішнього відбиття

2.1.1.1 Формування каналів витоку при згинанні оптоволоконна

Зміна кута падіння може досягатися шляхом механічної дії на оптоволоконно, наприклад, його вигином. При вигині оптичного волокна відбувається зміна кута падіння електромагнітної хвилі на межі серцевина-оболонка. Кут падіння стає менше граничного кута, що означає вихід частини електромагнітного випромінювання із світловода (рисунок 2.1). Вигин оптичного волокна приводить до сильного побічного випромінювання в місці вигину, що створює можливість несанкціонованого зняття інформації в локалізованій області.

Оцінимо максимальний радіус вигину R , при якому спостерігається побічне випромінювання в точці вигину світловода з діаметром серцевини d , пов'язане з порушенням повного внутрішнього відбиття. Максимальний радіус визначається за формулою 2.1:

$$R \leq d \frac{n_2}{n_1 - n_2}, \quad (2.1)$$

де n_1, n_2 – показники заломлення серцевини і оболонки світловоду.

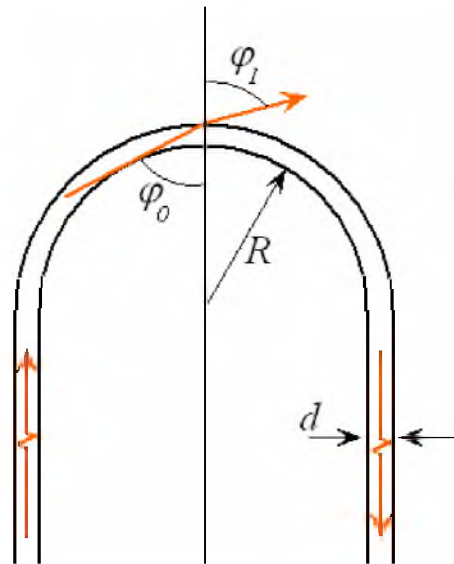


Рисунок 2.1 – Формування каналу витoku при вигині радіусом R оптоволоконна з діаметром серцевини d , φ_0 – кут падіння, φ_1 - кут заломлення

Оцінка радіуса вигину для багатомодового волокна з діаметром серцевини $d = 50$ мкм і оптичної оболонки $D = 125$ мкм ($n_1 = 1,481$, $n_2 = 1,476$) показує, що при $R \leq 3,5$ см починає спостерігатися сильне проходження випромінювання в точці вигину (до 80 % значення інтенсивності основного світлового потоку в оптоволоконі). Треба відзначити, що при оцінці вигину не враховувалася форма світлового потоку, циліндрична форма заломлюючої поверхні і інші ефекти, що змінюють показник заломлення оптоволоконна, наприклад, фотопружний ефект. Їхній внесок значно менший.

Порушення повного внутрішнього відбиття при механічному впливі можливо не тільки при вигині волокна, але і при локальному тиску на оптоволоконно, що викликає неконтрольоване розсіювання (на відміну від вигину) у точці деформації.

2.1.1.2 Формування каналів витoku зовнішнім впливом, що викликає зміну відношення показників заломлення

Акустичний вплив на оптичне волокно також змінює кут падіння. При цьому в серцевині оптоволоконна створюється дифракційна решітка періодичної зміни показника заломлення, яка викликана впливом звукової

хвилі. Електромагнітна хвиля відхиляється від свого первісного напрямку, і частина її виходить за межі каналу розповсюдження. Фізичне явище, за допомогою якого можливо вирішити поставлене завдання, є дифракція Брегга на високочастотному звуці ($f > 10$ МГц), довжина хвилі Λ якого задовольняє умові (формула 2.2):

$$\frac{\lambda L}{\Lambda^2} > 1, \quad (2.2)$$

де λ - довжина хвилі електромагнітного випромінювання, L - ширина області поширення звукової хвилі, Λ - довжина хвилі діючого звукового випромінювання. Деформації, створювані пружною хвилею, формують періодичну зміну показника заломлення всередині оптоволокна, яке для світла є дифракційною решіткою (рисунок 2.2).

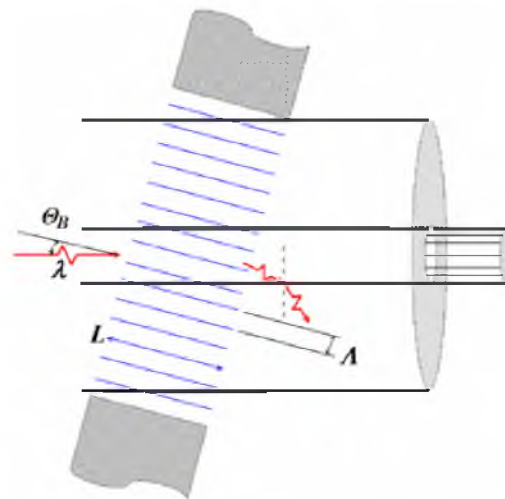


Рисунок 2.2 – Формування дифракційної решітки в серцевині оптоволокна звуковою хвилею

Максимальний кут відхилення єдиного спостережуваного дифракційного максимуму дорівнює двом кутам Брегга ($2\theta_B$). Частота відхиленої електромагнітної хвилі приблизно дорівнює частоті основного інформаційного потоку. Обчислення показують, що для багатомодового оптоволокна з параметрами $(d/D) = (50/125)$ при акустичному впливі з довжиною хвилі звуку $\Lambda = 10$ мкм і довжині взаємодії $L = 10^{-3}$ м

максимальний кут відхилення від первинного напрямку поширення становить 5 градусів.

Навіть при невисоких інтенсивностях звукової хвилі виведене електромагнітне випромінювання достатньо велике для реєстрації його сучасними фотоприймачами. При фіксованій інтенсивності звуку, шляхом зміни області озвучування L можна досягнути максимального значення інтенсивності в дифракційному максимумі, тим самим збільшити інтенсивність світла, яка відводиться в канал витоку.

2.1.1.3 Формування каналу витоку методом оптичного тунелювання

Оптичне тунелювання – захоплення частини випромінювання, що виходить за межі сердцевини основного світловода, допоміжним світловодом з більш високим показником заломлення [7,8]. Явище оптичного тунелювання полягає в проходженні оптичного випромінювання з середовища показником заломлення n_1 через шар з показником заломлення n_2 , який менший n_1 в середу з показником заломлення n_3 при кутах падіння більших кута повного внутрішнього відбиття (рисунок 2.3). На принципах оптичного тунелювання в інтегральній і волоконній оптиці створюються такі пристрої як оптичний відгалуджувач, оптофони, волоконно-оптичні датчики фізичних величин.



n_1, n_2 - показники заломлення сердцевини і оболонки оптоволоконна,

n_3 - показник заломлення додаткового оптоволоконна

Рисунок 2.3 – Формування каналу витоку оптичним тунелюванням

Інтенсивність випромінювання, що переходить у додатковий хвилевід визначається формулою 2.3:

$$I = I_0 \sin^2(k \cdot S), \quad (2.3)$$

де k - коефіцієнт зв'язку оптичних волокон, S - довжина оптичного контакту двох волокон. Максимум значення коефіцієнта зв'язку досягається при нульовій відстані між оболонкою і додатковим оптоволоконном ($d = 0$) і показнику заломлення додаткового волокна $n_3 = n_1$.

Відмінною особливістю оптичного тунелювання є відсутність зворотнього розсіяного випромінювання, що ускладнює детектування несанкціонованого доступу до каналу зв'язку. Цей спосіб зняття інформації найбільш скритний.

Треба відзначити, незважаючи на те, що зміни значення граничного кута, що викликаються як механічним напруженнями, так і електричним полем малі, але комплексний вплив з іншими способами може привести до ефективного способу формування каналу витоку. Розглянуті вище методи мають один недолік, який дозволяє легко фіксувати канали витоку, створений на їх основі. Це визначається значним зворотнім розсіюванням світла в місцях каналів витоку. За допомогою рефлектометрії зворотнього розсіяного світла такі підключення легко детектуються з високим просторовим і тимчасовим дозволом.

2.1.2 Реєстрація розсіяного випромінювання

Розсіяння світла — явище, що полягає у відхиленні світлового пучка, який поширюється в середовищі у всіляких напрямках. Обумовлено неоднорідністю середовища і взаємодією світла з частинками речовини, при якому змінюється напрямок поширення, частота і площа коливань світлової хвилі.

Сучасні приймачі оптичного випромінювання дозволяють реєструвати світлові потоки, які складаються практично з одного фотона з часовим

дозволом менш 1 нс, що відповідає реєстрації оптичної потужності випромінювання менш 10^{-10} Вт.

За допомогою зовнішнього впливу – «обробка» оптоволокна зовнішніми полями (тепловим, електромагнітним, радіаційним) – можна підсилити втрати в світловоді на локальних ділянках формування каналів витоку, що викличе збільшення сигналу витоку.

2.1.3 Параметричні методи реєстрації випромінювання

Оптичне випромінювання, що є носієм інформації, при поширенні по оптоволокну викликає зміни його фізичних властивостей. Модуляцію властивостей оптоволокна в залежності від інтенсивності світлових імпульсів можна реєструвати спеціальними високочутливими пристроями. Зміна властивостей оптоволокна є основою для формування каналу витоку інформації. Серед них можна виділити наступні параметри оптоволокна, модульовані світловим потоком:

- показник заломлення;
- показник поглинання при проходженні світла;
- малі зміни геометричних розмірів (фотопружний ефект);
- реєстрація модуляції властивостей поверхні волокна.

Існуюча техніка вимірювань дозволяє реєструвати дуже малі зміни властивостей волокна. Зокрема, застосування спектроскопії втрат дозволяє реєструвати незначну зміну показника поглинання, який викликається інформаційним потоком світла.

На закінчення треба відзначити, що існує багато інших способів несанкціонованого доступу і способів зняття інформації з оптоволокна. Це спростовує твердження про неможливість формування каналу витоку з оптичного хвилеводу, яке спостерігається в повсякденному житті і в нормативних документах. Особливістю волоконно-оптичних телекомунікацій є необхідність фізичного контакту з лінією зв'язку для формування каналу витоку.

2.2 Способи підключення до оптоволокна

2.2.1 Контактний спосіб підключення без розриву оптоволокна

Одним з контактних способів підключення до оптоволокна без його розриву є спосіб з використанням легального штатного обладнання, наприклад, волоконно-оптичного відгалужувача-прищіпки моделі FOD-5503 (рисунок 2.4) [25].



Рисунок 2.4 – Волоконно-оптичного відгалужувача-прищіпки моделі FOD-5503

Під'єднувальне волокно поміщається в відгалужувач-прищіпку, де воно згинається, викликаючи випромінювання деякої кількості світла, що порушує принцип повного внутрішнього відбиття.

Волоконно-оптичний відгалужувач-прищіпка FOD-5503 забезпечує двонаправлене підключення до одномодового волокна в 250-мікронному покритті без пошкодження волокна. Спільно з іншим волоконно-оптичним контрольним устаткуванням відгалужувач-прищіпка використовується для технічного обслуговування, ідентифікації волокон і звукового зв'язку. Технічні характеристики відгалужувача представлені в таблиці 2.1.

2.2.2 Контактний спосіб підключення з розривом оптоволокна і підключенням оптоволоконної вставки

Оптоволоконна вставка – пристрій відводу оптичного випромінювання з оптоволокна з мінімальними зворотніми і прямими втратами, що включається в штатну оптичну лінію шляхом її розриву і замиканням оптичного каналу через вставку (рисунок 2.5).

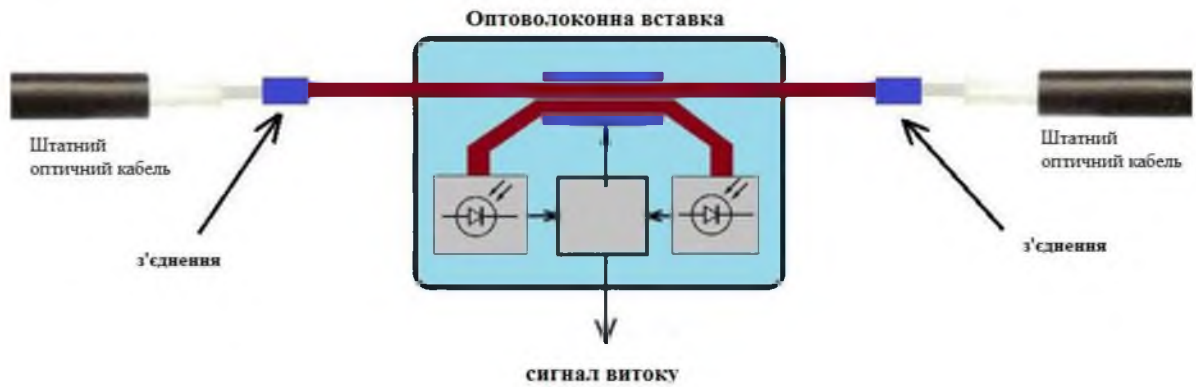


Рисунок 2.5 – Контактний спосіб підключення з розривом оптоволокна і підключенням оптоволоконної вставки

Установка оптоволоконної вставки відбувається шляхом розриву оптоволокна і замиканням оптичного каналу через оптоволоконну вставку сполученням волокон. Основні варіанти технологій з'єднання волокон розглянуті в таблиці 2.1[26].

Таблиця 2.1 – Технологія з'єднання оптичних волокон

Технології з'єднання волокон	Час операції без урахування часу підготовки волокон	Типові втрати	
		Прямі	Оборотні
Зварювання оптичних волокон	близько 100 с	від 0.02 до 0.15 дБ	-60 дБ
З'єднання оптичних волокон методом склеювання	близько 30 с	від 0.1 до 0.3 дБ	-50 дБ
Механічні з'єднувачі оптичних волокон	близько 30 с	від 0.1 до 0.3 дБ	-50 дБ

Так як затримка при підключенні, згідно з таблицею 2.1, дуже коротка багато операторів просто думають, що це затримки в роботі мережі і продовжують передачу даних.

2.3 Обладнання для тестування мереж на основі оптоволоконного кабелю

2.3.1 Використання оптичних рефлектометрів

Принцип роботи приладу заснований на аналізі відбитих оптичних імпульсів (пілотних тонів), випромінюваних рефлектометром в оптичне волокно. Вимірювання за допомогою оптичного рефлектометра засноване на явищі зворотного розсіювання світла у волокні і на відбитті світла від стрибків показника заломлення. Імпульси світла, поширюючись по лінії, відчувають відбиття і загасання на неоднорідностях лінії і внаслідок поглинання в середовищі.



Рисунок 2.6 – Пошук підключення на оптичній трасі за допомогою оптичного рефлектометра

Оскільки під'єднання до волокна забирає частину оптичного сигналу, для виявлення підключень можуть використовуватися оптичні рефлектометри. З їх допомогою можна встановити відстань по трасі, на якій виявляється падіння рівня сигналу (рисунок 2.6) [8].

2.3.2 Використання аналізаторів спектра

Дані пристрої вимірюють спектр оптичного сигналу. Вони здатні виявити зміни у формі спектра, навіть якщо ця зміна форми не тягне за

собою зміну потужності по всьому каналу. У волокні здійснюється моніторинг форми спектра і якщо він відрізняється від встановленого значення, спрацьовує сигнал тривоги.

2.4 Дослідження явища втрати випромінювання на вигині волоконного світловода

Відомо, що втрати оптичного волокна на макроізгибі виникають з двох різних причин.

По-перше, це втрати, обумовлені різкою зміною радіуса вигину і як наслідок – незгодженістю модових полів. Такі втрати називають перехідними, вони виникають в місці з'єднання прямого і вигнутого волокна. У вигнутому волокні центр модового поля зміщений щодо осі волокна на якусь величину d , що залежить від радіуса вигину волокна. В результаті модові поля (діаметри модових полів W) прямого і вигнутого волокон в місці їх з'єднання виявляються зміщеними один щодо одного також на величину d . Тому тільки частина потужності моди «прямого» волокна передається моді вигнутого волокна, а інша ж потужність перетвориться в оболонкові моди і втрачається (рисунок 2.7).

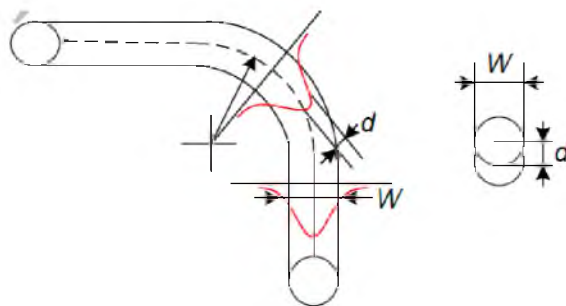


Рисунок 2.7 – Схема виникнення перехідних втрат в вигнутому волокні

Інший вид втрат виникає безпосередньо на вигині оптичного волокна і називається втратами на випромінювання на вигнутій ділянці оптичного волокна. У даному випадку потужність втрачається безпосередньо в вигнутому волокні через те, що на вигині периферійна частина моди поширюється зі швидкістю, більшою за швидкість світла в середовищі (в оболонці). Ця частина моди випромінюється в оболонку волокна і

втрачається. Величина цих втрат тим більша, чим більше число витків волокна і чим менше радіус вигину оптичного волокна.

Таким чином, втрати в вигнутому волокні виникають через два різних механізми і розраховуються за формулою 2.4, як сума двох складових:

$$\alpha = \alpha_{\text{неп}} + \alpha_u, \text{ дБ}. \quad (2.4)$$

Зігнутий волоконний світловод можна зобразити як сегмент кільця або тора. У такому світловоді за рахунок вигину порушується повне внутрішнє відбиття, і це є основною причиною того, що моди проникають в оболонку, а потім виходять з волокна.

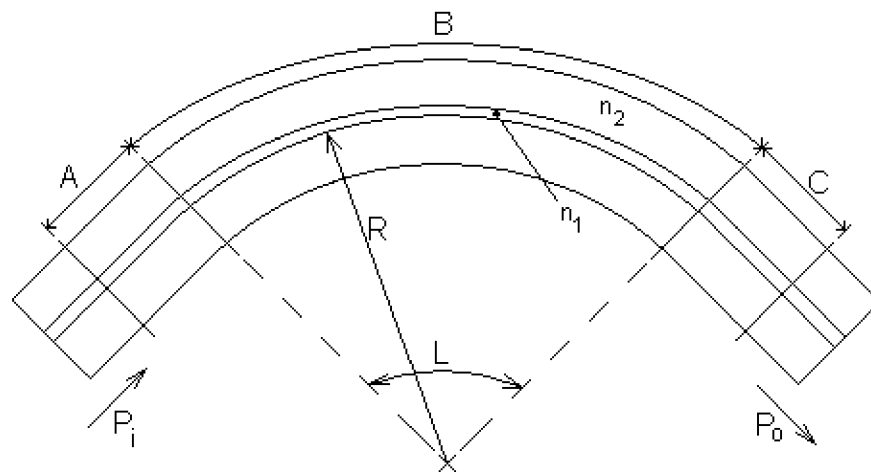


Рисунок 2.8 – Зображення вигину оптичного волокна

На вигнутому таким чином світловоді можна виділити три ділянки (рисунок 2.8). Ділянки А і С – це місця, де відбувається перехід з прямої ділянки волокна на вигнуту. А ділянка В – це ділянка з постійним радіусом вигину R. Вхідну в світловод потужність позначимо P_i , а вихідну – P_o . З рисунка видно, що відношення вихідної потужності до вхідної для всього вигнутого ділянки буде дорівнює добутку відносин вихідної і вхідної потужностей для кожної з ділянок (формула 2.5):

$$\frac{P_o}{P_i} = \frac{P_o}{P_i} \Big|_A \cdot \frac{P_o}{P_i} \Big|_B \cdot \frac{P_o}{P_i} \Big|_C. \quad (2.5)$$

Вихідна потужність ділянки А є вхідною для ділянки В, а його вихідна потужність є, в свою чергу, вхідною для ділянки С.

Враховуючи цю обставину, а також те, що ділянки А і С симетричні, можна записати формулу 2.6:

$$\frac{P_o}{P_i} = \frac{P_o}{P_i} \left| B \cdot \left(\frac{P_o}{P_i} \middle| A \right)^2 \right. . \quad (2.6)$$

Відомо, що потужність, що втрачається на деякій довжині світловода, експериментально залежить від довжини і пов'язана з нею коефіцієнтом втрат α (формула 2.7):

$$\frac{P_o}{P_i} \left| B = e^{-2\alpha L} \right. . \quad (2.7)$$

Тепер, підставивши цей вираз в попередній і прологорифмувавши його, отримаємо формулу 2.8:

$$\ln \frac{P_o}{P_i} = -2\alpha L + 2 \ln \left(\frac{P_o}{P_i} \middle| A \right) . \quad (2.8)$$

Знаходження коефіцієнта для зігнутої ділянки є найважчим завданням при визначенні втрат на вигині. Завдання це вирішується на основі хвильових рівнянь Максвелла, що описують поширення кожної з мод випромінювання. Такі розрахунки були пророблені Д. Маркусом в одній з його робіт. Він отримав вираз 2.9 для коефіцієнта α :

$$\alpha = \frac{\sqrt{\pi} k^2}{4\gamma^{3/2} V^2 \sqrt{R} \cdot K_{+1}(\gamma a)} e^{-\frac{2}{3} \frac{\gamma^3}{\beta^2} R} , \quad (2.9)$$

де $K_{+1}(\gamma a)$ – функція Ханкеля;

$$k = \sqrt{n_1^2 k_a^2 - \beta^2} , \quad (2.10)$$

$$k_a = \frac{2\pi}{\lambda} , \quad (2.11)$$

λ – довжина хвилі (розрахуємо для $\lambda=1550$ нм);

β – поздовжній коефіцієнт поширення хвилі (формула 2.12):

$$\beta = n_2 k_a (1 + b\Delta) , \quad (2.12)$$

Δ – відносна різниця показників заломлення серцевини і оболонки оптичного волокна (формула 2.13):

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2}, \quad (2.13)$$

n_1 і n_2 – показники заломлення серцевини і оболонки оптичного волокна (для $\lambda = 1310$ нм, $n_1 = 1,481$ і $n_2 = 1,476$);

b – коефіцієнт поширення в світловоді (формула 2.14);

$$b = k * n_2, \quad (2.14)$$

V – нормована частота (формула 2.15):

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}; \quad (2.15)$$

$$\gamma = \sqrt{\beta^2 - n_2^2 k_a^2}, \quad (2.16)$$

a – радіус серцевини оптичного волокна ($a = d/2 = 25$ мкм);

Слід зазначити, що лінійна залежність втрат від довжини дуги є лінійною не на всьому своєму протязі. Справа в тому, що ті моди, для яких відбулося порушення повного внутрішнього відбиття, виходять з волокна відразу після початку вигину. Деякі з них загасають в оболонці, а деякі виходять назовні. У волокні залишаються тільки такі моди, для яких порушення повного внутрішнього відбиття не відбулося. Вони продовжують поширюватися по вигнутому світловоді і далі, і, навіть якщо світловод буде зігнутий у кілька витків, додаткових втрат на випромінювання це не викличе.

Наведемо графік теоретично розрахованої залежності (рисунок 2.9).

Теоретичне дослідження залежностей втрат на вигині волокна є предметом серйозних наукових суперечок, а пророблені в цій галузі роботи не враховують повною мірою впливу всіх ефектів, що виникають при вигині.

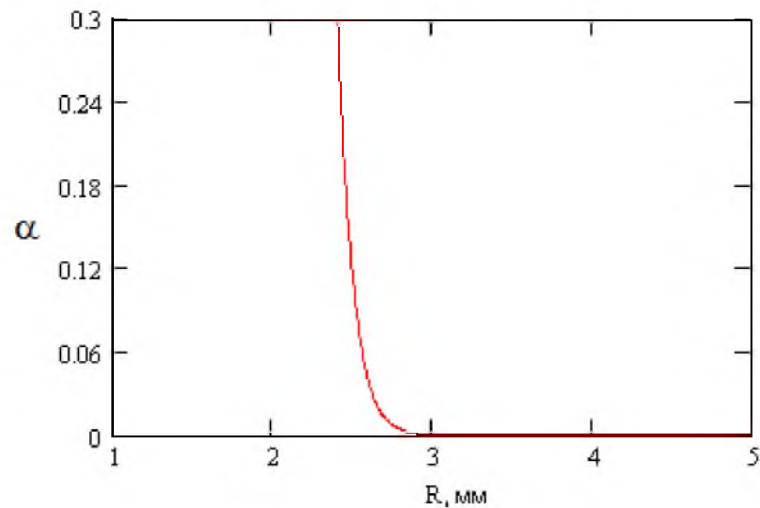


Рисунок 2.9 – Теоретична залежність втрат від радіуса вигину

2.5 Експериментальне дослідження втрат на вигині

Для більш глибокого вивчення процесів відводу потужності і втрат на вигині волоконного світловода на виробничій практиці був проведений експеримент, присвячений дослідженню цих явищ і знаходженню відповідних залежностей. Дослідження проводилися за допомогою установки, схема якої показана на рисунку 2.10.

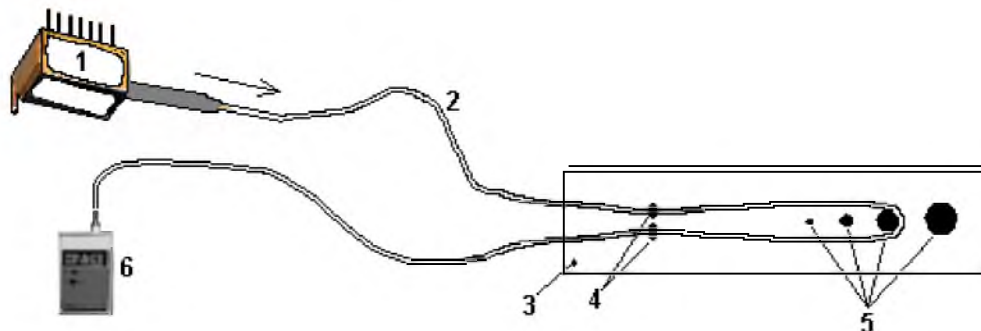


Рисунок 2.10– Схема експериментальної установки

Для початку було вибрано підходяще для досліджень оптичне волокно (2), що має діаметр серцевини 50 мкм, діаметр оболонки 125 мкм, а також діаметр захисного покриття 600 мкм. Все це було укладено в ще одну, гумову зовнішню оболонку, яка була попередньо видалена. Довжина світловода становила 10 м. На обох кінцях світловода були оптичні роз'єми. Світлова потужність подавалася за допомогою передавального оптичного модуля (1)

на основі лазерного діода, що має довжину хвилі 1.55 мкм, а потужність випромінювання змінювалася від 500 до 1000 мкВт. Також цей модуль мав пристрій введення випромінювання в волокно.

Для контролю вихідної потужності був використаний вимірювач потужності (6) «FOtest'R M712A» виробництва компанії FOTEC, що має паспортну похибку вимірювань 0.1%. У приладі використовується германієвий фотодетектор, завдяки чому він може вимірювати світлову потужність в діапазоні довжин хвиль як 1.3 мкм, так і 1.55 мкм. Показання можуть бути представлені в мікرواتах і в дБм (міра потужності).

Коли волоконно-оптичний тракт, що складається з вищеописаного джерела, волоконного світловода і вимірювача потужності, був зібраний, середина волокна була заведена на спеціально підготовлений штатив (3) з утримувачами (4), на якому закріплювалися еталони радіусів (5) – відрізки металевих циліндрів. За допомогою утримувачів волокно в зігнутому навколо еталона стані закріплювалося на штативі. Вимірювання значення потужності проводилося два рази: спершу до вигину, в незакріпленому стані, а потім вже в закріпленому, коли волокно вже було зігнуто. Дослідження проводилися при восьми різних значеннях радіусів, причому їх значення були взяті нерівномірно. Необхідно враховувати той факт, що внаслідок наявності захисної оболонки реальний радіус вигину волокна не дорівнює радіусу еталонного циліндра, а більше його на величину, рівну половині товщини оболонки (в нашому випадку це 0,3 мм). Теоретичні дослідження показують, що в області значень радіуса вигину 2,5-3 мм спостерігається різка зміна характеру залежностей, тому в цій області були проведені додаткові виміри. Для кожного значення радіуса зроблено десять вимірювань. Кінцевий результат отриманий за допомогою методу середньоквадратичного наближення. Результати вимірювань наведені в таблиці 2.2 (P_i/P_0 , мкВт).

Таблиця 2.2 – Результати експерименту

R=2.1мм		R=2.3мм		R=3.0мм		R=3.3мм		R=3.8мм		R=4.0мм		R=5.0мм		R=6.0мм	
890	637	900	736	562	483	897	770	905	815	551	526	578	551	551	526
891	674	908	752	576	487	891	743	894	784	511	500	594	580	511	500
880	641	890	722	546	437	894	775	890	795	518	498	570	564	518	498
894	661	900	784	506	420	892	750	893	805	558	523	566	551	558	523
891	648	910	770	480	431	896	784	896	816	560	528	566	562	560	528
889	667	905	785	483	431	900	774	892	763	561	538	530	500	561	538
894	614	893	707	502	435	895	767	894	813	562	523	535	531	562	523
886	604	902	720	471	422	892	775	897	816	551	516	522	515	551	516
882	622	890	702	486	424	900	785	894	786	546	507	549	545	546	507
892	580	894	714	509	415	892	791	891	788	571	514	547	536	571	514

Після переробки цих даних було знайдено середнє відносне значення втрат для кожного з радіусів:

$$\alpha = \frac{P_i - P_o}{P_i} \quad (2.17)$$

Таблиця 2.3 – Результати обробки експериментальних даних

Радіус R, мм	Коефіцієнт втрат α	Середньоквадратичне відхилення
2,1	0,286	0,01587
2,3	0,178	0,05488
3,0	0,142	0,0344
3,3	0,138	0,02709
3,8	0,108	0,03146
4,0	0,057	0,0899
5,0	0,022	0,0943
6,0	0,017	0,0203

За результатами експерименту був побудований графік залежності коефіцієнта втрат від радіуса вигину (рисунок 2.11).

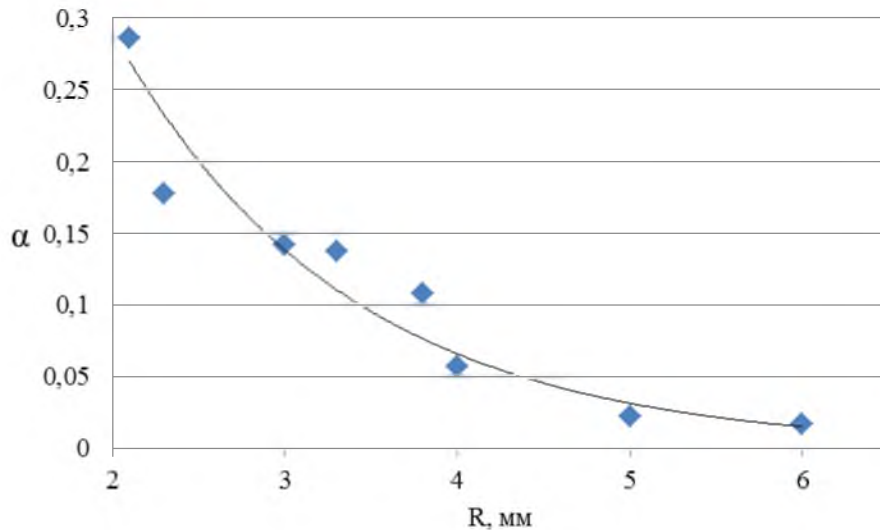


Рисунок 2.11 – Експериментальна залежність втрат від радіуса вигину

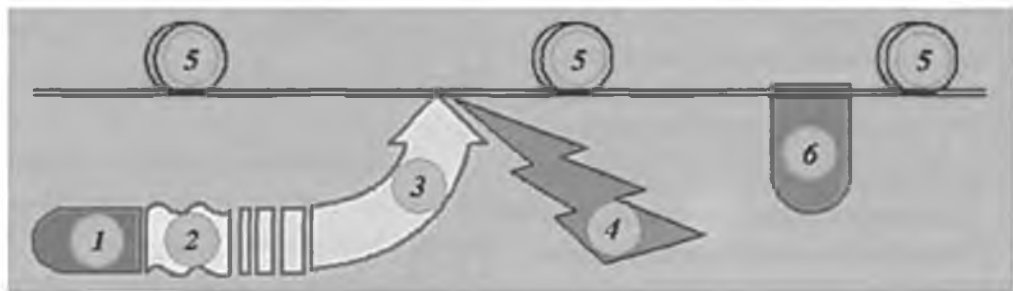
2.6 Технічні канали витоку акустичної (мовної) інформації через волоконно-оптичні комунікації

Основою каналу витоку є світлові потоки в оптичному кабелі ліній зв'язку. Всі світлові потоки можна розділити на штатні, пов'язані з фізичною реалізацією протоколу передачі даних, і нештатні, спеціально сформовані порушником для несанкціонованого зняття мовної інформації. Штатні світлові потоки, що формуються, наприклад, при цифрових методах передачі інформації, дозволяють створити канал витоку без порушення роботи всієї системи, так як рівень акустичного впливу на штатний світловий потік незначно зменшує відношення сигнал / шум. Також для зняття мовної інформації можуть бути використані змінні за інтенсивністю світлові потоки, застосовувані для синхронізації на фізичному рівні роботи прийомо-передаючого активного обладнання, яке діє між передачею даних. До нештатних потоків відносяться будь-які випромінювання, що формуються джерелами світла, несанкціоновано підключеними до волоконно-оптичних комунікацій.

У структурі будь-якого каналу витоку конфіденційної мовної інформації присутні наступні елементи [7-11]:

- джерело інформаційних акустичних хвиль, наприклад, мова людини, акустичні хвилі від працюючих технічних пристроїв;
- технічні засоби модуляції фізичного поля, що переносять інформацію за межі приміщення, що охороняється, наприклад, модуляція звуком коефіцієнта відбиття лазерного випромінювання, ПЕМВН;
- середа передачі інформації, через яку поширюється фізичне поле, носій витоку;
- технічні засоби демодуляції конфіденційної інформації з фізичного поля;
- порушник, зловмисник, несанкціонований одержувач інформації.

Якщо в будь-якому каналі витоку перший і останній елемент може бути одним і тим же, то технічні засоби розвідки (ТЗР) і середовище передачі інформації є особливими, що відрізняють один від іншого канал витоку.



- 1 – акустичне джерело конфіденційної інформації, 2 – повітряна середа, 3 – акусто-вібраційний вплив, 4 – акустичні завади, 5 – волоконно-оптичний кабель, 6 – технічні засоби розвідки конфіденційної інформації

Рисунок 2.12 – Структура акусто-оптоволоконного каналу витоку конфіденційної мовної інформації

У разі використання оптоволоконна для несанкціонованого зняття конфіденційної мовної інформації ТЗР включають опис фізичних принципів звукової модуляції оптичного потоку в світловоді і подальшої демодуляції (рисунок 2.12) [28]. Поширювальний в повітряному середовищі інформативний звуковий сигнал впливає на оптичне волокно з переданим оптичним сигналом даних. Акустична хвиля, як хвиля механічна, впливає на

всі елементи технічних конструкцій, розташованих на її шляху, в тому числі і на елементи волоконно-оптичних комунікацій, що призводить до модуляції інтенсивності оптичного випромінювання в каналі зв'язку звуковим сигналом [12,13]. Промодульоване звуком світлове випромінювання в оптоволоконні виходить за межі контрольованої зони і може бути прийнято порушником. Описаний спосіб зняття інформації можна назвати акусто-оптоволоконним каналом витоку.

Можливість реалізації акусто-оптоволоконного каналу витоку пов'язана з створенням світлових потоків в кабельній системі і його модуляції звуком. Ефективність модуляції залежить від типу елемента волоконно-оптичної структурованої кабельної системи, що піддається акустичному впливу. З'єднувальні елементи, оптичні неоднорідності оптоволоконна, конструктивні особливості монтажу різним чином відгукуються на акустичний вплив, але всі вони є місцями взаємодії акустичного поля і оптичного потоку, аналіз яких дозволяє визначити ступінь небезпеки мовної інформації.

2.6.1 Типи акусто-оптоволоконних каналів витоку

Проведемо аналіз і виділимо найбільш небезпечні ділянки волоконно-оптичних комунікацій на можливість модуляції потоку світла акустичними коливаннями (промовою). За типом пасивного волоконно-оптичного устаткування і конструктивним особливостям прокладки кабелю в приміщеннях всі канали витоку можна розділити на три типи, які позначимо буквами: А, В, С (рисунок 2.13).

2.6.1.1 Формування каналу витоку акустичної інформації в місцях механічних контактів і з'єднань оптичного волокна

Сучасне пасивне волоконно-оптичне обладнання включає великий набір різного виду конекторів, розеток, перехідників, розгалужувачів, аттенюаторів, муфт, шнурів, патч-кордів, зборок і інших елементів, які

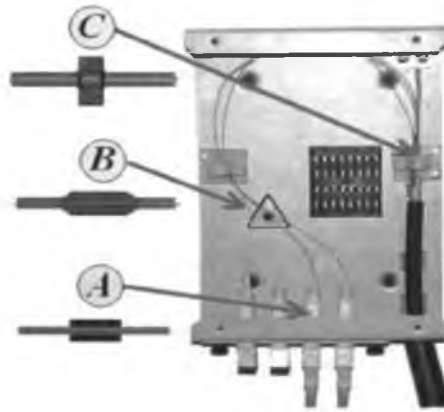


Рисунок 2.13 – Загрози формування каналу витоку мовної інформації типів А, В, С на прикладі окремих волоконно-оптичних елементів СКС

забезпечують зручну прокладку і монтаж локальних волоконно-оптичних мереж. Одним з важливих елементів є конектори, за допомогою яких здійснюється механічне з'єднання оптичних волокон з високою ефективністю без їх зварювання. Залежно від типу конектора забезпечується більш 1000 з'єднань при внесених втратах близько 0,2 дБ. Величину внесених втрат в межах, що не перевищують максимальних значень, модулюють пружні впливи на оптичний контакт волокон (рисунок 2.13А). Конструкція конектора включає втулку за розміром волокна, в яку вставляються волокна з обробленими кінцями. Механічне зіткнення фіксується різними типами кріплень - ST, FC, SC та інші. У будь-якому випадку при впливі звуку на з'єднання відбуваються різного типу коливання, що впливають на проходження світла через з'єднання і формують канал витоку. Зловмисник може збільшити глибину модуляції світлового потоку звуком, якщо внести в конструкцію з'єднання еластичні елементи. Наприклад, помістити між волокнами тонку еластичну прокладку; змістити контакт по осі або поперек волокон; спеціально обробити кінці з'єднуваних волокон і провести інші дії, що збільшують пружні властивості з'єднання.

2.6.1.2 Формування каналу витоку акустичної інформації у вільних ділянках волоконно-оптичного кабелю з елементами ущільнювачів

Оптоволокно має високу чутливість до механічних впливів, навіть невеликі коливання викликають зміну умов проходження світла і, відповідно, інтенсивність оптичного потоку. У волоконно-оптичних локальних мережах для з'єднання комп'ютерів використовують оптичні кабелі, що містять від одного або двох волокон і більше в збірках залежно від вирішуваних завдань. Оптичні волокна в кабелі захищають від зовнішнього впливу спеціальні наповнювачі та кожух (зовнішня оболонка), які значно зменшують вплив вібрацій, звуку. Зловмисник може підвищити чутливість волокна до звукових коливань шляхом внесення під зовнішню оболонку кабелю спеціальних твердих включень, а також спеціальних затискачів кабелю, волокна та інших пристосувань, що забезпечують акустичний контакт оптичного волокна з навколишнім повітряним середовищем (рисунок 2.13В). Причому формування акустичного контакту може бути здійснено в будь-якому місці оптичного кабелю, а розмір області контакту може не перевищувати кількох міліметрів. Виявлення подібних змін в кабелі утруднене, так як воно може виглядати як природний стан кабелю.

2.6.1.3 Формування каналу витоку акустичної інформації в місцях кріплення волоконно-оптичного кабелю до елементів несучих конструкцій будівлі

Ще одним місцем, потенційно небезпечним для формування каналу витоку, є будь-які фіксовані контакти оптичного шнура з конструкцією будівлі, коробками для з'єднання волокон, кабельними лотками (рисунок 2.13С). Наприклад, спеціальні затиски, що фіксують проходяще всередині комутаційної панелі волокно, а також інші особливості проводки кабелю. Особливу увагу необхідно звернути на кабельні коробки для прокладки оптичних шнурів – в них легко забезпечити потайний акустичний контакт з поверхнею коробки. Вони є мембраною з великою поверхнею і забезпечують хороший акустичний контакт, як з волокном, так і з навколишнім повітрям.

Представлений аналіз показує високу небезпеку формування витоку мовної інформації через волоконно-оптичний кабель практично по всій його довжині в лінії зв'язку.

2.6.2 Артикуляційний метод аналізу каналів витоку мовної інформації

Експериментальне та теоретичне вимірювання ефективності η функціонування каналу витоку можна визначити за формулою 2.17 як відношення кількості інформації (J_0), що надходить від її носія, до кількості інформації (J_1), отриманої на виході ТЗР (рисунок 2.12)

$$\eta = \frac{J_0}{J_1} * 100\%. \quad (2.17)$$

Практична оцінка ефективності реалізації каналу витоку пов'язана з багатьма параметрами і залежить від її виду. Зокрема, для каналу витоку мовної інформації можна використовувати метод артикуляційних досліджень, суть якого полягає у визначенні розбірливості мови, отриманої за допомогою ТЗР з даного каналу витоку [14, 15]. В якості тестового сигналу передбачається використовувати спеціально підібраний набір слів з текстів Покровського [14].

Метод артикуляції заснований на оцінці ступеня виконання головної вимоги, що пред'являється до розмовних трактів, – забезпечення розбірливої передачі мови через канал витоку акустичної інформації. Мірою розбірливості є величина W (формула 2.18), що визначається як відношення числа N_0 правильно прийнятих по досліджуваному тракту елементів мовлення (звуків, складів, слів або фраз) до досить великому загальному числу N_1 переданих елементів мовлення, що виражається у відсотках або в частках одиниці. Таким чином, розбірливість мови називають:

$$W = \frac{N_0}{N_1} * 100\%. \quad (2.18)$$

Залежно від отриманої величини W забезпечується якість акустичного захисту елементів приміщення або приміщення в цілому [7]. Наприклад, як показує практичний досвід, при словесній чіткості:

- менше 60-70 % – складання докладної довідки про зміст перехоплених переговорів неможливе, але при більшій розбірливості кількість правильно зрозумілих слів забезпечує складання докладної довідки (доповіді) про зміст переговорів;

- менше 40-50 % – перехоплене повідомлення дозволяє скласти коротку довідку, яка відображатиме предмет, проблему і загальний зміст перехопленої розмови; окремі слова не сприймаються;

- менше 20-30 % – перехоплене мовне повідомлення містить окремі правильно зрозумілі слова, дозволяють встановити предмет розмови;

- менше 20% – голос мовця не ідентифікується, тема розмови не визначається, аналіз перехопленого повідомлення дозволяє визначити тільки факт наявності мови (проведення переговорів).

Таблиця 2.4 – Оцінки ефективності каналів витоку мовної інформації через ВОК за методом артикуляційних досліджень

Типи каналів витоку	Умова експерименту	Розбірливість мови, W , %
А	– рівень звукового тиску в області волоконно-оптичного кабелю	не більше 50
В (вільний кабель)		не більше 30
С		не більше 80

Оцінка словесної розбірливості W варіюється від 30 до 80 %, залежно від типу каналу витоку за відсутності спеціальної обробки кабелю або конекторів і при однакових інших умовах (таблиця 2.4). Це дозволяє говорити про високу небезпеку витоку конфіденційної мовної інформації. Особливо високе значення розбірливості мови спостерігалось при затиску

оптичного кабелю між твердими поверхнями, що пов'язано з великою площиною взаємодії акустичної хвилі і ділянки волокна.

2.6.3 Аналіз сценаріїв реалізації загрози підслуховування

Формування акусто-оптоволоконного каналу витоку інформації практично неможливо без фізичного доступу до оптичному кабелю, що проходить через виділені приміщення. Кабельна мережа повинна бути вільна від активного волоконно-оптичного устаткування на ділянці між порушником і джерелом акустичної інформації, що пов'язано з відновленням форми штатних сигналів і придушенням шумових складових випромінювання в активному обладнанні. Між порушником і джерелом акустичної інформації повинен розташовуватися оптичний кабель з пасивними оптичними елементами, які не змінюють істотно модуляцію світлового потоку. До пасивних оптичних елементів, крім оптичного кабелю, відносяться розетки, адаптери, подільники, відгалуджувачі, атенюатори. Треба відзначити, що подібна структура оптичної кабельної мережі є найбільш перспективною для абонентського доступу і активно розвивається у вигляді технології пасивних оптичних мереж (рисунок 2.14).

Реалізація каналу витоку вимагає застосування технічних засобів підключення до кабелю та реєстрацію оптичного випромінювання. Підключення здійснюється через штатні роз'ємні з'єднання, які використовуються для з'єднання окремих частин мережі між собою, для приєднання до стаціонарних і мережевих терміналів. З'єднання роз'єднується і в нього вставляється вставка з введенням зондуючого випромінювання і відведенням частини випромінювання. Інший спосіб приєднання полягає в застосуванні відгалуджувача випромінювання на макрозгибі оптичного кабелю. Всі запропоновані способи не вимагають застосування спеціальних технічних засобів, розповсюдження яких регламентовано нормативними документами – такі пристосування використовуються при монтажі оптичної

мережі. Ще один спосіб використовує нештатний розрив кабелю з вставкою відгалуджувача шляхом зварювання волокон.



I – виділене приміщення, II – допоміжні приміщення, 1 – місце конфіденційних переговорів; 2 – робоча станція (комп'ютер) з волоконно-оптичними комунікаціями, 3 – волоконно-оптичні комунікації, 4 – штатний активне волоконно-оптичне обладнання, 5 – місце можливого розташування каналів витoku типу А, В, С, 6 – технічний засіб акустичної розвідки: а (джерело) і b (приймач) у разі каналу витoku на проходження; а або b (джерело і приймач в одному місці) у разі каналу витoku на відображення

Рисунок 2.14 – Узагальнений сценарій витoku акустичної (мовної) інформації через волоконно-оптичні комунікації (модель акусто-оптоволоконного каналу витoku)

2.7 Методи захисту мовної інформації від витoku через волоконно-оптичні комунікації

В даний час існує багато методів і технічних рішень захисту мовної інформації від витoku по побічним електромагнітним випромінюванням і

наведень, віброакустичними і акустичним каналам [1]. Використання злоумисниками нового виду каналу витоку мовної інформації – акусто-оптоволоконного – може створити серйозні проблеми системам захисту, що пов'язано з широким поширенням нових технологій передачі інформації на основі волоконно-оптичного кабелю, а також з нестандартними фізичними принципами формування каналу, технічної протидії яким на даний момент у повному обсязі не існує.

Всі основні способи протидії витоку мовної інформації через хвильові канали шляхом впливу на середовище каналу умовно можна розділити на такі види:

- звукоізоляція середовища каналу передачі – пасивний спосіб, що полягає у зменшенні впливу акустичного впливу на середовище каналу передачі;
- фільтрація носія інформації в каналі передачі – спосіб, що полягає в непропусканні через канал сигналу з конфіденційною мовною інформацією;
- маскування носія інформації в каналі передачі – спосіб, що полягає в її приховуванні за допомогою додавання спеціального маскуючого сигналу;
- зашумлення середовища каналу передачі – активний спосіб, що полягає в створенні штучних перешкод і шумів на акустичних частотах.

Звукоізоляція – запобігання паразитних акустичних наведень в оптичному каналі правильним монтажем:

- використання елементів оптичної мережі перевірених на паразитні акустичні наводки;
- топологія оптичної мережі обходить ділянки об'єкта інформаційної діяльності з можливими джерелами конфіденційної мовної інформацією;
- інсталяція оптичної мережі з мінімальним акустичним контактом з навколишнім кабельну інфраструктуру середовищем;
- неможливість швидкої зміни параметрів оптичної мережі з метою підвищення акустичного контакту.

Можна зробити висновок, що це найменш витратний і ефективний спосіб захисту від витоку вимагає розробки спеціальних методик та рекомендацій по монтажу.

Фільтрація – відновлення форми сигналу в спеціальному пристрої. Вона полягає в перетворенні оптичного сигналу в електричний і назад в оптичний сигнал в активному обладнанні з екрануванням всього пристрою від ПЕМВН. Найпростіше фільтрація реалізована на основі медіаконвертора (рисунок 2.15). Медіаконвертер – це пристрій, який працює як сполучна ланка між двома середовищами – оптичним і мідним кабелями [28].



Рисунок 2.15 – Форма відфільтрованого акустичного сигналу за допомогою медіаконвертора

Зашумлення – додавання до корисного сигналу шумового сигналу, з метою зашумлення паразитних наведень на корисний сигнал (рисунок 2.16).



Рисунок 2.16 – Форма зашумленого акустичного сигналу

Сутність зашумлення полягає в тому, що для нейтралізації акусто-оптоволоконного каналу витоку в штатний волоконно-оптичний канал передачі інформації вводиться оптичне випромінювання на акустичних частотах з шумовим або іншим спеціальним спектром, яке зашумлює/маскує інформаційний світловий потік в мережі. Таким чином, відбувається зашумлення/маскування будь-якої акустичної (мовної) інформації, яка може несанкціоновано передаватися по волоконно-оптичним комунікаціям разом з

трафіком інформаційної мережі або замість нього за допомогою зовнішнього джерела світла [29].

2.8 Реалізації методів протидії зняття мовної інформації з ВОЛЗ

Суть пропонованого технічного рішення полягає в тому, що для виявлення акусто-оптоволоконного каналу витоку конфіденційної мовної інформації в волоконно-оптичних комунікаціях реєструються всі світлові потоки, в результаті аналізу яких встановлюється факт підслуховування. Рівень небезпеки витоку акустичної (мовної) інформації визначається за такими ознаками:

- нештатний світловий потік виявляється в каналі передачі інформації;
- штатний світловий потік має акустичну модуляцію по одному з параметрів оптичного випромінювання (амплітуді, фазі, поляризації, частоті) та / або одночасно за кількома параметрами;
- нештатні світлові потоки, розділені по оптичному спектру, мають акустичну модуляцію на даній оптичній довжині хвилі по одному з параметрів оптичного випромінювання (амплітуді, фазі, поляризації, частоті) та / або одночасно за кількома параметрами.

Виконання хоча б однієї з цих умов достатньо для формування каналу витоку акустичної (мовної) інформації і може бути використана для оцінки загроз інформаційної безпеки. Завдання виявлення можливості витоку мовної інформації через штатні волоконно-оптичні комунікації вирішується шляхом установки спеціальних технічних засобів, що реєструють світлові потоки в волоконно-оптичному каналі передачі інформації [29].

Будь-яка атака на систему безпеки через волоконно-оптичний канал для отримання доступу до акустичної (мовної) інформації пов'язана з оптичними потоками в ньому. Контроль параметрів світлових потоків в каналі дозволяє виявити будь-яку можливість несанкціонованого зняття. Для цього потрібно реєструвати проходяще по волоконно-оптичним елементам

випромінювання, виділяти санкціоновані носії інформації (штатне випромінювання) і виявляти несанкціоновані потоки (нештатне випромінювання) і модуляції на акустичних частотах. Позаштатне випромінювання (від зовнішніх джерел) може мати спектральний склад, яке перетинається зі штатним випромінюванням, так і не перетинається з ним, яке модулюється зовнішнім акустичним сигналом з конфіденційною інформацією.

Пристрій виявлення атаки може бути виконаний у вигляді окремого блоку і/або вбудований в штатне мережеве волоконно-оптичне обладнання і повинен бути здатним детектувати всі види атак по акусто-оптоволоконному каналу витоку відповідно до зазначених вище ознаками.

Реалізація запропонованих способів може бути здійснена на основі стандартних або спеціально створених елементів, до числа яких входить фотоприймальний пристрій, що підключається до волоконно-оптичному каналу; оптичний, електронний та оптико-електронний аналітичний елемент для виділення акустичних коливань параметрів реєстрованого оптичного випромінювання. Обговоримо особливості призначення окремих елементів.

У фотоприймальному пристрої можливе застосування стандартних фотодіодів, які зазвичай використовуються в активному обладнанні для реєстрації штатних світлових потоків. Реєстрація світлових потоків спектрального оптичного діапазону поза штатних спектральних смуг може проводитися фотоприймачами з максимальною спектральною чутливістю в області видимого діапазону, наприклад, кремнієвими р-і-n-фотодіодами. У разі слабких оптичних сигналів можливе використання фотоелектронного помножувача, лавинного фотодіода та інших високочутливих фотоелектронних перетворювачів.

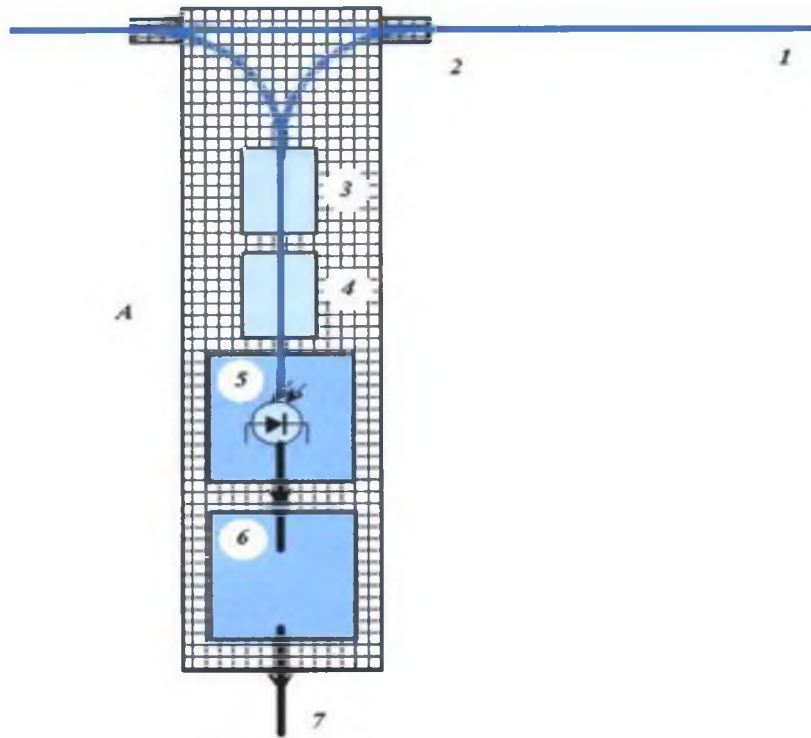
Підключення до волоконно-оптичному каналу може бути здійснено безпосередньо через роз'ємне з'єднання або через нероз'ємне з'єднання на основі механічного зрощування або зварювання волокон. Також детектор

атак можна підключити через пристрій вводу / виводу випромінювання на вигині волокна таким чином, щоб світлове випромінювання проходило через пристрій з мінімальними оптичними втратами, відповідними звичайним з'єднанням. Крім цього, детектор може розташовуватися в кінці оптичного каналу в місці перетворення в електричний сигнал (ресивер / трансивер) і бути вбудованим в існуюче активне волоконно-оптичне обладнання. У випадку підключення з вільним проходженням потоків світла необхідно відводити випромінювання, як в прямому, так і в зворотному напрямку для контролю каналів витоку у всіх (двох) напрямках. У випадку підключення до ресивера / трансивер потрібно контроль, як по прийомному, так і по передавальному тракту, що пов'язано з можливістю використання злоумисником кожного з них в обох напрямках.

Аналітичний елемент потрібен для попереднього аналізу оптичного випромінювання, наприклад, з метою виділення спектрального діапазону [13,14], в якому канал витоку максимально чутливий до зовнішнього акустичного впливу. Підвищена чутливість може бути пов'язана з конструктивними особливостями волокна, його нелінійно-оптичними властивостями і інтерференційними процесами при виведенні сигналу. Спектральне виділення також необхідно через можливість застосування злоумисником оптичних джерел з вузькою смугою випромінювання, що працюють в області довжин хвиль поза межами штатних випромінювачів. Попередньо оброблений оптичний сигнал можливого каналу витоку надходить на фотоприймач, а потім в електронну систему обробки. Наприклад, після оцифровки сигнал надходить в комп'ютер зі спеціальним програмним забезпеченням аналізу звукових сигналів, в якому контролюється рівень акустичного сигналу витоку і визначається його спектральний склад. Також сигнал може надходити в систему аналогової обробки – селективний підсилювач – для виділення акустичного сигналу на частотах, характерних для мови й інших звуків.

2.8.1 Метод детектування каналів витоку

Загальний опис функціонування способу виявлення загроз витоку представлений на рисунку 2.17.



A – детектор атаки, 1 – штатна оптоволоконна лінія, 2 – роз'ємні або нероз'ємні волоконно-оптичні приєднання до детектора атак, 3 – оптичний фільтр що пропускає штатні або позаштатні світлові потоки, 4 – аналізатор спектру оптичного випромінювання, 5 – лінійка фотоприймачів на виділені спектри випромінювання, 6 – аналогово-цифровий перетворювач на кожен виділений оптичний канал, 7 – вихідний електричний цифровий сигнал, що надходить в комп'ютер для обробки і визначення ступеня небезпеки

Рисунок 2.17 – Принципова оптико-електронна схема способу детектування каналів витоку

У оптичну лінію (1) за допомогою стандартних роз'ємів або з'єднань (2) підключається пристрій (детектор атаки – А). Світлові потоки, що проходять через лінію в обох напрямках, виводяться в систему оптичної обробки (3, 4). За допомогою оптичного фільтра (3) відбувається поділ на

штатні та позаштатні світлові потоки, що дозволяє спростити аналіз. Наприклад, поява нештатних світлових потоків вже є підставою для сигналізації про атаку на систему безпеки. У цьому випадку відбувається спектральне розкладання оптичного сигналу на складові, кожна з яких досліджується на акустичну модуляцію окремо. Це пов'язано з можливістю застосування зловмисником вузькосмугових джерел світла в області, не застосовуваної для передачі даних. Складний спектральний аналіз в акустичній області модуляції можна робити звичайними методами обчислювальної техніки, для чого сигнал на акустичних частотах оцифровується (6) і з системи фотоприймачів (5) надходить в комп'ютер. На основі програмної обробки акустичного сигналу приймається рішення про рівень небезпеки витоку мовної інформації. У найпростіших випадках аналіз може проводитися за такими параметрами, як середня амплітуда акустичного сигналу, поява спектральних складових, характерних для голосу людини, та інше. Зокрема, середня амплітуда акустичного сигналу дає загальне уявлення про ефективність каналу витоку: чим вище її значення, тим вище небезпека.

2.8.2 Аналіз високочастотної складової акустичного сигналу

Для підвищення відношення сигнал / шум при демодуляції світла в оптичному волокні порушником може бути застосована високочастотна модуляція зонduючого оптичного випромінювання на ультразвукових частотах для реєстрації акустичного сигналу мовного діапазону. Наприклад, зонduюче оптичне випромінювання модулюється на частоті 100 МГц по одному з параметрів випромінювання – амплітуді, фазі, поляризації або частоті, – тоді при демодуляції сигналів акустичного діапазону застосування в реєструючій апаратурі вузькосмугового фільтра на цій частоті може значно збільшити відношення сигнал / шум. Тому за наявності високочастотної модуляції проходящего випромінювання створюється підвищена небезпека підслуховування. Отже, в детектор атаки потрібно включити аналіз високочастотної складової акустичного сигналу на наявність конфіденційної

інформації, для чого не обмежуються тільки звуковим спектром реєстрованого акустичного сигналу, але і проводять аналіз ультразвукових складових.

2.9 Практичні рекомендації з реалізації методу детектування каналів витоку

Захист виділеного приміщення від прослуховування через волоконно-оптичні комунікації можна представити в наступному вигляді (рисунок 2.18).



I – виділене приміщення, II – допоміжне приміщення, 1 – місце конфіденційних переговорів, 2 – робоче місце, 3 – волоконно-оптичний кабель, 4 – активне волоконно-оптичне мережеве обладнання, 5 – детектора атаки

Рисунок 2.18 – Принципова схема побудови системи захисту від витоку мовної інформації через волоконно-оптичні комунікації на основі детектора атак

Оптичний кабель проходить через контрольовану зону, границі якої обмежені периметром виділеного приміщення, і під'єднується до комп'ютера

на робочому місці. Весь кабель разом із сполучними елементами всередині приміщення виступає як система, що піддається акустичному впливу, формованому мовою носіїв конфіденційної інформації. Світловий потік модулюється промовою, виходить за межі виділеного приміщення і може бути зареєстрований зловмисником. Небезпечними для під'єднання технічних засобів розвідки зловмисники є всі ділянки мережі у виділеному приміщенні від одного активного обладнання до іншого. Цифрове устаткування, виконане на мікроелектронній базі, перетворює світлову модуляцію в електричну і назад, що відновлює параметри світлового потоку і знімає наведену акустичну модуляцію. За певних умов таке зняття акустичної модуляції може не відбуватися, якщо обладнання працює на аналогових принципах, але цей випадок виходить за рамки цієї роботи.

Визначивши небезпечну ділянку, ставимо пристрій детектування атаки у виділеному приміщенні. У найпростішому випадку системи захисту у вигляді аналогового волоконно-оптичного телефону робимо волоконно-оптичну петлю, як показано на рисунку 2.17, і включаємо в лінію зв'язку. Світлові потоки, що течуть як справа наліво, так і у зворотний бік, діляться в петлі порівну – одна частина іде по лінії і переносить корисну інформацію, а інша частина відводиться на волоконно-оптичний телефон (наш детектор атаки). Подальший аналіз можна проводити шляхом спектрального аналізу на комп'ютері, спостерігаючи за зміною спектрального складу акустичного сигналу [30].

2.10 Рекомендації з технічного захисту інформації від витіку по акусто-волоконним каналам

2.10.1 Інженерно-технічні заходи

1 На етапі проєктування топології волоконно-кабельної мережі:

- обходити ділянки об'єкта інформаційної діяльності з можливими джерелами конфіденційної мовної інформацією;

– інсталювати оптичну мережу з мінімальним акустичним контактом з навколишнім кабельну інфраструктуру середовищем.

2 Якщо діяльність підприємства на якому обробляється конфіденційна мовна інформація вимагає наявності у виділеному приміщенні комп'ютерів, які з'єднані між собою волоконно-оптичними комунікаціями, тоді для виключення або ускладнення доступу до волоконно-оптичних комунікацій волоконно-оптичний кабель прокладати у металевих трубах.

2.10.2 Підготовчі технічні заходи

З метою виключення можливості витоку конфіденційної мовної інформації здійснюється відключення активного оптичного обладнання на час проведення конфіденційних переговорів для виключення можливості модуляції акустичними коливаннями світлового потоку в волоконно-оптичному кабелі.

2.10.3 Технічні заходи

Технічні заходи є основним етапом робіт з технічного захисту ІзОД і полягають в установці технічних засобів та методів протидії зняття мовної конфіденційної інформації.

До засобів технічного захисту відносяться:

- оптичні фільтри, які спрямовані на не пропускання через канал сигналу з конфіденційною мовною інформацією;
- генератори шуму, дія яких полягає в створенні штучних перешкод і шумів на акустичних частотах.

Для здійснення контролю стану оптичної кабельної системи на можливість витоку інформації та оперативного реагування на їх виникнення, рекомендується використовувати метод моніторингу оптичних випромінювань в оптичному кабелі.

2.11 Висновок

Існуючі системи захисту мовної інформації дозволяють забезпечити безпеку шляхом звукоізоляції виділених приміщень і фільтрації світлових потоків в оптичних каналах зв'язку.

Застосування активних методів захисту дозволяє оперативно захистити конфіденційні переговори в кімнатах без спеціальних засобів захисту на час їх проведення.

Використання методу моніторингу оптичних випромінювань в оптичному кабелі дозволяє вести постійний контроль стану оптичної кабельної системи на можливість витоку інформації та оперативно реагувати на їх виникнення.

3 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

У даній роботі запропоновано використання методу детектування каналів витоку, який забезпечує захист виділеного приміщення від прослуховування через волоконно-оптичні комунікації. Метою економічного розділу роботи є економічне обґрунтування доцільності впровадження запропонованого метода.

Для досягнення цієї мети необхідно:

- розрахувати капітальні витрати на побудування мережі з 3 ПК та 10 м оптоволоконного кабелю на впровадження методу детектування каналів;
- розрахувати річні експлуатаційні витрати на функціонування методу детектування каналів.

3.1 Розрахунок капітальних витрат на розробку та налагодження складових детектора атак

У даному підрозділі будуть розраховані капітальні витрати на розробку та впровадження методу детектування, який підвищує рівень безпеки конфіденційної мовної інформації при передачі волоконно-оптичним каналами зв'язку.

Визначення трудомісткості створення методу детектування атак.

Трудомісткість створення методу визначається тривалістю кожної робочої операції, починаючи з складання технічного завдання і закінчуючи оформленням документації (за умови роботи одного фахівця), розраховується за формулою (3.1).

$$t = t_{mз} + t_в + t_a + t_{np} + t_{опр} + t_o, \text{ годин,} \quad (3.1)$$

де $t_{mз}$ – тривалість складання технічного завдання на розробку ПЗ;

$t_в$ – тривалість вивчення ТЗ, літературних джерел за темою тощо;

t_a – тривалість розробки блок-схеми алгоритму;

t_{np} – тривалість програмування за готовою блок-схемою;

$t_{опр}$ – тривалість опрацювання метода;

t_d – тривалість підготовки технічної документації.

Умовна кількість операторів визначається за формулою (3.2):

$$Q = q \cdot c (1 + p), \text{ штук,} \quad (3.2)$$

де $q=100$ – очікувана кількість операторів;

$c=1,6$ – коефіцієнт складності програми;

$p = 0,07$ – коефіцієнт корекції методу в процесі його опрацювання,

тобто:

$$Q = 100 \cdot 1,6 (1 + 0,07) = 171 \text{ штук.}$$

На підставі експертної оцінки було розраховано, що на розроблення технічного завдання потрібно $t_{ТЗ} = 6$ годин.

Тривалість вивчення технічного завдання, опрацювання довідкової літератури з урахуванням уточнення ТЗ і кваліфікації фахівця можливо оцінити за формулою (3.3):

$$t_e = \frac{Q \cdot B}{(75 \dots 85) \cdot k}, \text{ годин,} \quad (3.3)$$

$$t_e = \frac{171 \cdot 1,2}{75 \cdot 1,1} = 2,5 \text{ годин.}$$

Тривалість розробки блок-схеми алгоритму оцінюється за формулою (3.4):

$$t_a = \frac{Q}{(20 \dots 25) \cdot k} \text{ годин,} \quad (3.4)$$

$$t_a = \frac{171}{20 \cdot 1,1} = 7,77 \text{ години.}$$

Тривалість складання програми за готовою блок-схемою (тривалість програмування) визначається за формулою (3.5):

$$t_{np} = \frac{1,5Q}{(4 \dots 5) \cdot k}, \text{ годин,} \quad (3.5)$$

$$t_{np} = \frac{1,5 \cdot 171}{5 \cdot 1,1} = 46,63 \text{ години.}$$

Тривалість опрацювання метода (виявлення помилок та коректування) розраховується за формулою (3.6):

$$t_{onp} = \frac{Q}{(20 \dots 25) \cdot k}, \text{ годин,} \quad (3.6)$$

$$t_{onp} = \frac{171}{20 \cdot 1,1} = 7,77 \text{ години.}$$

Тривалість підготовки технічної документації, формула (3.7):

$$t_d = \frac{Q}{(15 \dots 20) \cdot k} + \frac{Q}{(15 \dots 20)}, \text{ годин,} \quad (3.7)$$

$$t_d = \frac{171}{20 \cdot 1,1} + \frac{171}{20} = 16,32 \text{ годин.}$$

Таким чином, загальна трудомісткість складає

$$t = t_{мз} + t_a + t_a + t_{np} + t_{onp} + t_d = 6 + 2,5 + 7,77 + 46,63 + 7,77 + 16,32 = 87 \text{ годин.}$$

Вартість монтажних і налагоджувальних робіт приймаються на рівні 8% від вартості устаткування.

Витрати на апаратне забезпечення, для реалізації методу детектування каналів витоку, наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Вартість апаратного забезпечення для моделювання методу детектування каналів витоку

Назва апаратних засобів	Вартість апаратних засобів, грн
Оптичний фільтр	2800
Оптичний аналізатор спектру	47328
Лінійка фотоприймачів	3965
Аналогово-цифровий перетворювач	13804
Комп'ютер	24050
Сумарна вартість	91947

Загальні витрати на апаратне забезпечення:

$$K_{\text{обл}} = 91947 \text{ грн.}$$

Фактичні затрати на апаратне забезпечення для моделювання складатимуть:

$$\Phi_{\text{ал}} = K_{\text{обл}} + K_{\text{монт}} = 91947 + 91947 \cdot 8\% = 99302,76 \text{ грн.}$$

3.1.1 Розрахунок річних експлуатаційних витрат

Річні експлуатаційні витрати на функціонування запропонованого методу детектування атак обчислюються за формулою (3.8):

$$C_1 = C_{\text{ал}}, \quad (3.8)$$

де C_a – витрати на амортизаційні відрахування від вартості обладнання, грн.

Для обчислення амортизаційних відрахувань буде використовуватися прямолінійний метод розрахунку. Строк експлуатації методу – 5 років.

Залишкова вартість для даного обладнання к кінцю терміну експлуатації становитиме 0 грн.

Амортизаційні відрахування на апаратне забезпечення обчислюються за формулою (3.4):

$$C_a = \frac{\Phi \cdot H_a}{100} = \frac{\Phi \cdot 1}{T \cdot 100} \cdot 100 = \frac{\Phi}{T}. \quad (3.9)$$

$$C_{\text{ал}} = \frac{\Phi_{\text{ал}}}{T} = \frac{99302,76}{5} = 19860,55 \text{ грн.}$$

Річні експлуатаційні витрати на функціонування методу детектування атак:

$$C_1 = 19860,55 \text{ грн.}$$

Річні експлуатаційні витрати на функціонування апаратного забезпечення обчислюються за формулою (3.10):

$$C_2 = C_{\text{а2}} + C_{\text{еє}}, \quad (3.10)$$

де C_a – витрати на амортизаційні відрахування від вартості обладнання, грн.;

$C_{\text{еє}}$ – витрати на електроенергію, грн.

Вартість електроенергії, що споживається апаратурою протягом року, визначається за формулою (3.11):

$$C_{ee} = P \cdot F_p \cdot C_e, \quad (3.11)$$

де P – встановлена потужність апаратури, кВт;

F_p – річний фонд робочого часу апаратури, годин;

C_e – тариф на електроенергію, грн / кВт·годин.

Вартість електроенергії, що споживається впроваджуваною системою:

$$C_{ee} = P \cdot F_p \cdot C_e = 0,8 \cdot 1920 \cdot 1,44 = 2211,84 \text{ грн.}$$

Річні експлуатаційні витрати на функціонування апаратного забезпечення:

$$C_2 = C_{al} + C_{ee} = 19860,55 + 2211,84 = 22072,39 \text{ грн.}$$

Загальні річні експлуатаційні витрати складуть:

$$C = C_1 + C_2 = 19860,55 + 22072,39 = 41932,94 \text{ грн.}$$

Вартість 1 години машинного часу складає:

$$C_{мч} = C / t_{рік} = 41932,94 / 8640 = 4,86 \text{ грн/год.}$$

3.1.2 Розрахунок заробітної плати інженерно-технічного персоналу

Розмір мінімальної заробітної плати в 2022 р. складає 6700 грн/місяць. Розмір єдиного внеску становить 22% заробітної плати. Отже заробітна плата фахівця складає $6700 + 6700 \cdot 0,22 = 8174$ грн. Тобто за годину він отримує $Z_m = 40,46$ грн/год.

3.2 Розрахунок вартості методу

Вартість запропонованого методу детектування каналів зв'язку розраховується за формулою 3.12:

$$Z_n = (Z_m + C_{мч}) \cdot t, \text{ грн} \quad (3.12)$$

$$Z_n = (40,46 + 4,86) \cdot 87 = 3942,84 \text{ грн.}$$

3.3 Розрахунок вартості мережі, що захищається

Розрахуємо витрати для виділеного приміщення побудованого на базі волоконно-оптичних комунікацій. За основу візьмемо принципову схему офісу, що зображений на рисунку 2.18.

Для побудови оптичної кабельної мережі застосуємо обладнання, яке наведене в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Обладнання для побудови оптичної кабельної мережі

Назва обладнання	Кількість, шт	Вартість апаратних засобів, грн
Робоча станція (комп'ютер)	3	$24050 \cdot 3 = 72150$
Волоконно-оптичний кабель	10 м	$27 \cdot 10 = 270$
Активне волоконно-оптичне обладнання – комутатор	1	6900
З'єднувальні оптичні елементи	6	$190 \cdot 6 = 1140$
Сумарна вартість		80460

Для побудови найпростішої оптичної кабельної мережі необхідно витратити 80460 грн.

Фактичні витрати на побудову волоконно-оптичної кабельної мережі складатимуть:

$$\Phi_{a2} = K_{об2} + K_{монт} = 80460 + 80460 \cdot 8\% = 86896,80 \text{ грн.}$$

3.4 Висновок

Запропонований метод захисту, вартістю 3942,84 грн, може собі дозволити підприємство волоконно-оптична мережа якого складається з 3 комп'ютерів, з'єднаних між собою волоконно-оптичними комунікаціями довжиною 10 м. Фактичні витрати на запропоновану мережу складають 86896,80 грн. Доцільно використовувати даний метод на підприємстві на

якому обробляється акустична (мовна) конфіденційна інформація, збитки від витоку якої перевищують 86896,80 грн.

ВИСНОВКИ

В роботі запропоновані методи підвищення ефективності захисту інформації від витоку волоконно-оптичними каналами зв'язку та розроблені рекомендації з технічного захисту інформації від витоку по акусто-волоконним каналам.

В економічному розділі роботи були виконані розрахунки вартості методу моніторингу оптичних випромінювань в оптичному кабелі, вартістю 3942,84 грн. та визначені параметри підприємства, на якому доцільно використовувати запропонований метод.

Новизна результатів полягає в проведенні експерименту дослідження та отриманні залежність втрат від радіуса вигину; сформульовані вимоги до характеристик пристрою виявлення витоку мовної інформації через волоконно-оптичні лінії зв'язку; запропоновані способи виявлення несанкціонованого зняття мовної інформації з волоконно-оптичних ліній зв'язку.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- 1 Securing Fiber Optic Communications against Optical Tapping Methods, Oyster Optics, Inc., 2003.
- 2 All Optical Networks (AON), National Communication System, NCS TIB 00-7, August 2000.
- 3 Optical Fiber Design for Secure Tap Proof transmission, US Patent No. 6801700 B2, Oct. 5, 2004.
- 4 DrakaElite, BendBright-Elite Fiber for Patch Cord, Draka Communications, July, 2010.
- 5 Гришачев В.В., Халяпин Д.Б., Шевченко Н.А. Внешнее оптическое зашумление волоконно-оптического канала СКС для предотвращения подслушивания по акусто-оптоволоконному каналу утечки речевой информации // Специальная техника, №3, с. 2-8 (2009).
- 6 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.
- 7 Железняк В.К. Защита информации от утечки по техническим каналам: Учеб. пос. // 2006. - 188 с.
- 8 Калинин В.А., Пресленев Л.Н. Оптические волокна и пассивные компоненты волоконно-оптических линий связи, 2008. - 80 с.
- 9 Семёнов А.Б. Волоконно-оптические подсистемы современных СКС, 2007. - 631 с.
- 10 Убайдуллаев Р.Р. Волоконно-оптические сети., 2001. - 268 с.
- 11 Бударрагин Р.В., Майстренко В.К., Назаров А.В., Раевский С.Б. Интегральная оптика., 2008. - 105 с.
- 12 Кульчин Ю.Н. Распределённые волоконно-оптические измерительные системы. 2001. - 272 с.
- 13 Окоси Т. и др. Волоконно-оптические датчики, 1990. - 256 с.

14 Денисов В.И., Гришачев В.В., Косенко О.А. Волоконно-оптические технологии в системах безопасности и защиты информации // Специальная техника, №4, с.47-61 (2010).

15 Шаньгин В. Ф. Защита компьютерной информации. Эффективные методы и средства, 2008. – 544 с.

16 Щербаков А. Ю. Современная компьютерная безопасность. Теоретические основы. Практические аспекты, 2009. – 352 с.

17 W. Ford, «Computer Communications Security», Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 1994.

18 D. R. Stinson, «Cryptography», Boca Raton, FL: CRC, 1995.

19 N. Ferguson and Schneier, «Practical Cryptography», Indianapolis, IN: Wiley, 2003.

20 Гришачев В.В. Выявление угроз утечки речевой информации через волоконно-оптические коммуникации. // Фотоника, №4, с.32-39 (2011).

ДОДАТОК А. Відомість матеріалів кваліфікаційної роботи

№	Формат	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4	Реферат	2	
2	A4	Список умовних скорочень	1	
3	A4	Зміст	3	
4	A4	Вступ	2	
5	A4	1 Розділ	20	
6	A4	2 Розділ	36	
7	A4	3 Розділ	7	
8	A4	Висновки	1	
9	A4	Перелік посилань	2	
10	A4	Додаток А	1	
11	A4	Додаток Б	1	
12	A4	Додаток В	1	
13	A4	Додаток Г	1	

ДОДАТОК Б. Перелік документів на оптичному носії

- 1 Титульна сторінка.doc
 - 2 Завдання.doc
 - 3 Реферат.doc
 - 4 Список умовних скорочень.doc
 - 5 Зміст.doc
 - 6 Вступ.doc
 - 7 Розділ 1.doc
 - 8 Розділ 2.doc
 - 9 Розділ 3.doc
 - 10 Висновки.doc
 - 11 Перелік посилань.doc
 - 12 Додаток А.doc
 - 13 Додаток Б.doc
 - 14 Додаток В.doc
 - 15 Додаток Г.doc
- Презентація.pptx

ДОДАТОК Г. Відгук керівника кваліфікаційної роботи
на кваліфікаційну роботу магістра на тему:
Дослідження та обґрунтування засобів захисту від витоку
інформації через волоконно-оптичні канали зв'язку
Бабича Максима Павловича

Пояснювальна записка складається з титульного аркуша, завдання, реферату, списку умовних скорочень, змісту, вступу, трьох розділів, висновків, переліку посилань та додатків, розташованих на 80 сторінках та містить 28 рисунків, 6 таблиць, 20 джерел та 4 додатка.

Об'єкт дослідження: волоконно-оптичний канал зв'язку.

Предмет досліджень: канали витоку інформації через волоконно-оптичні комунікації.

Мета роботи: розробка способу протидії зняття мовної інформації з волоконно-оптичних ліній зв'язку.

В спеціальній частині досліджені явища втрати випромінювання на вигині волоконного світловода; проаналізовані методи захисту мовної інформації від витоку волоконно-оптичними лініями зв'язку; реалізовані методи протидії зняття мовної інформації з волоконно-оптичних ліній зв'язку; розроблені рекомендації з захисту інформації від витоку по акусто-волоконним каналам.

В економічному розділі розраховані вартість мережі, що підлягає захисту, та вартість запропонованого методу детектування атак.

Студент показав достатній рівень володіння теоретичними положеннями з обраної теми, показав здатність формувати власну точку зору (теоретичну позицію).

Робота оформлена та написана грамотною мовою. Містить необхідний ілюстрований матеріал. Автор добре знає проблему, уміє формулювати наукові та практичні завдання і знаходить адекватні засоби для їх вирішення.

В цілому робота задовольняє усім вимогам і може бути допущена до захисту, а його автор заслуговує на оцінку «_____».

Керівник