

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

Інститут електроенергетики
Факультет інформаційних технологій
Кафедра безпеки інформації та телекомунікацій

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеня бакалавра

студента Харченко Антон Сергійович

академічної групи 125-17-1

спеціальності 125 Кібербезпека

спеціалізації¹

за освітньо-професійною програмою Кібербезпека

на тему Забезпечення конфіденційності при передачі даних в волоконно-
оптичній лінії зв'язку з використанням активних методів захисту

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	к.т.н., доц. Герасіна О.В.			
розділів:				
спеціальний	ст викл. Начовний І.І.			
економічний	к.е.н., доц. Пілова Д.П.			
Рецензент				
Нормоконтролер	ст. викл. Мєшков В.І.			

Дніпро
2021

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

« _____ » _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеня бакалавра

студенту _____ *Харченко Антон Сергійович* _____ академічної групи _____ *125-17-1* _____
(прізвище ім'я по-батькові) (шифр)

спеціальності _____ *125 Кібербезпека* _____

за освітньо-професійною програмою _____ *Кібербезпека* _____

на тему _____ *Забезпечення конфіденційності при передачі даних в волоконно-оптичній лінії зв'язку з використанням активних методів захисту* _____

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від _____ № _____

Розділ	Зміст	Термін виконання
Розділ 1	Аналіз особливостей волоконно-оптичних систем передачі і перехоплення інформації в них, а також існуючих підходів до забезпечення конфіденційності при передачі даних в волоконно-оптичних лініях зв'язку.	25.02.2021 – 31.03.2021
Розділ 2	Розробка підходу до захисту інформації від несанкціонованого доступу в волоконно-оптичних лініях зв'язку на основі оптичного зашумлення та оцінка його ефективності.	01.04.2021 – 12.05.2021
Розділ 3	Розрахунки капітальних витрат, витрат на експлуатацію системи безпеки та термін окупності інвестицій застосування запропонованого підходу.	13.05.2021 – 09.06.2021

Завдання видано _____

(підпис керівника)

Герасіна О.В.
(прізвище, ініціали)

Дата видачі: _____

Дата подання до екзаменаційної комісії: _____

Прийнято до виконання _____

(підпис студента)

Харченко А.С.
(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 79 с., 18 рис., 4 додатки, 42 джерела.

Об'єкт розробки – волоконно-оптичні лінії зв'язку.

Предмет розробки – підхід до захисту інформації від несанкціонованого доступу в волоконно-оптичних лініях зв'язку.

Мета кваліфікаційної роботи – забезпечення конфіденційності при передачі даних в волоконно-оптичній лінії зв'язку з використанням оптичного зашумлення.

Наукова новизна результатів полягає у тому, що до формування сумарного сигналу на приймальній стороні формується шумовий сигнал, який передається до передавальної сторони ВОЛЗ для змішування з інформаційним сигналом; на приймальній стороні в процесі зміщення з сумарним сигналом затриманого інверсного шумового сигналу відбувається повний фазовий збіг шумового і його інверсного сигналу, в результаті чого шумовий сигнал повністю компенсується і виділяється інформаційний сигнал.

У першому розділі проаналізовано особливості волоконно-оптичних систем передачі і перехоплення інформації в них, а також існуючі підходи до забезпечення конфіденційності при передачі даних в ВОЛЗ.

У спеціальній частині роботи запропоновано підхід до захисту інформації від несанкціонованого доступу в волоконно-оптичних лініях зв'язку на основі оптичного зашумлення та оцінено його ефективність. За наслідками досліджень зроблено висновки щодо рішення поставленої задачі.

У економічному розділі виконані розрахунки капітальних витрат, витрат на експлуатацію системи безпеки та термін окупності інвестицій застосування запропонованого підходу.

ОПТИЧНЕ ЗАШУМЛЕННЯ, ІНВЕРСНИЙ СИГНАЛ, ФАЗОВИЙ ЗБІГ,
ВОЛОКОННО-ОПТИЧНА ЛІНІЯ ЗВ'ЯЗКУ, АСИНХРОННИЙ РЕЖИМ,
НЕСАНКЦІОНОВАНИЙ ДОСТУП, ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка: 79 с., 18 рис., 4 приложения, 42 источника.

Объект разработки – волоконно-оптические линии связи.

Предмет разработки – подход к защите информации от несанкционированного доступа в волоконно-оптических линиях связи.

Цель квалификационной работы – обеспечение конфиденциальности при передаче данных в волоконно-оптической линии связи с использованием оптического зашумления.

Научная новизна заключается в том, что к формированию суммарного сигнала на приемной стороне формируется шумовой сигнал, который передается к передающей стороне ВОЛС для смешивания с информационным сигналом; на приемной стороне в процессе смещения с суммарным сигналом задержанного инверсного шумового сигнала происходит полное фазовое совпадение шумового и его инверсного сигнала, в результате чего шумовой сигнал полностью компенсируется и выделяется информационный сигнал.

В первой главе проанализированы волоконно-оптические системы передачи и перехват информации в них, а также существующие подходы к обеспечению конфиденциальности при передаче данных в ВОЛС.

В специальной части работы предложен подход к защите информации от несанкционированного доступа в волоконно-оптических линиях связи на основе оптического зашумления и оценена его эффективность. По результатам исследований сделаны выводы относительно решения поставленной задачи.

В экономическом разделе выполнены расчеты капитальных затрат, затрат на эксплуатацию системы безопасности и срок окупаемости инвестиций применения предложенного подхода.

ОПТИЧЕСКОЕ ЗАШУМЛЕНИЕ, ИНВЕРСНЫЙ СИГНАЛ, ФАЗОВОЕ СОВПАДЕНИЕ, ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКАЯ ЛИНИЯ СВЯЗИ, АСИНХРОННЫЙ РЕЖИМ, НЕСАНКЦИОНИРОВАННЫЙ ДОСТУП, ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

ABSTRACT

Explanatory note: p. 79, fig. 18, 4 additions, 42 sources.

The object of development is fiber-optic communication lines.

The subject of development – an approach to protecting information from unauthorized access in fiber-optic communication lines.

The purpose of the qualification work is to ensure confidentiality in data transmission in the fiber-optic communication line using optical noise.

The scientific novelty of the results is that before the formation of the total signal on the receiving side, a noise signal is formed, which is transmitted to the transmitting side of the fiber optic for mixing with the information signal; on the receiving side in the process of displacement with the total signal of the delayed inverse noise signal is a complete phase coincidence of the noise and its inverse signal, resulting in the noise signal is fully compensated and the information signal is allocated.

The first section analyzes the fiber-optic systems for transmission and interception of information in them, as well as existing approaches to ensuring confidentiality in data transmission to fiber optics.

In a special part of the work the approach to protection of information from unauthorized access in fiber-optic communication lines on the basis of optical noise is offered and its efficiency is estimated. Based on the results of research, conclusions were made regarding the solution of the problem.

In the economic section, calculations of capital costs, costs of operating the security system and the payback period of the application of the proposed approach.

OPTICAL NOISE, INVERSE SIGNAL, PHASE MATCH, FIBER-OPTICAL COMMUNICATION LINE, ASYNCHRONOUS MODE, UNAUTHORIZED ACCESS, SIMULATION MODELING

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- АСП – Аналогові системи передачі;
- ВОЛЗ – Волоконно-оптична лінія зв'язку;
- ВОСП – Волоконно-оптична система передачі;
- ДВ – Джерело випромінювання;
- ЕО – Електрооптичне;
- ІКМ – Імпульсно-кодова модуляція;
- НД – Несанкціонований доступ;
- ОВ – Оптичне волокно;
- ТЗР – Технічні засоби розвідки;
- ЦСП – Цифрові системи передачі;
- В6ZS – Bipolar with 6 Zero Substitution – Біполярний з 6 замінними нулями;
- DSV – Digital Sum Variation – Коливання цифрової суми;
- RDS – Running Digital Sum – Поточна цифрова сума;
- WDM – Wavelength Division Multiplexing – Спектральне ущільнення каналів.

ЗМІСТ

	с.
ВСТУП.....	9
1 СТАН ПИТАННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.....	11
1.1 Мережі волоконно-оптичних систем передачі інформації.....	11
1.1.1 Класифікація оптичних систем.....	11
1.1.2 Принципи побудови й основні властивості мереж волоконно-оптичних систем передачі інформації.....	12
1.1.3 Структура волоконно-оптичної системи передачі.....	15
1.1.4 Сигнали передачі.....	17
1.1.4.1. Алгоритми формування сигналів.....	20
1.1.4.2. Формування спектру.....	28
1.2 Канали перехоплення (зняття) інформації з волоконно-оптичних ліній зв'язку.....	32
1.3 Лінійне та просторове зашумлення.....	35
1.4 Існуючі підходи до забезпечення конфіденційності при передачі даних в волоконно-оптичних лініях зв'язку.....	39
1.5 Висновок. Постановка задачі.....	44
2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	46
2.1 Підхід до захисту інформації від несанкціонованого доступу в волоконно-оптичних лініях зв'язку на основі оптичного зашумлення.....	46
2.2 Оцінка ефективності запропонованого підходу до захисту інформації від несанкціонованого доступу в волоконно-оптичних лініях зв'язку на основі оптичного зашумлення.....	50
2.3 Висновок.....	58
3 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	60
3.1 Розрахунок (фіксованих) капітальних витрат.....	60
3.1.1 Розрахунок поточних витрат.....	63
3.2 Оцінка можливого збитку.....	65

3.2.1 Загальний ефект від впровадження системи інформаційної безпеки.....	66
3.3 Визначення та аналіз показників економічної ефективності системи інформаційної безпеки.....	66
3.4 Висновок	67
ВИСНОВКИ.....	69
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	71
ДОДАТОК А. Відомість матеріалів кваліфікаційної роботи	76
ДОДАТОК Б. Перелік документів на оптичному носії.....	77
ДОДАТОК В. Відгук керівника економічного розділу.....	78
ДОДАТОК Г. Відгук керівника кваліфікаційної роботи	79

ВСТУП

Останнім часом одним з найперспективніших напрямків побудови мережі зв'язку в світі є волоконно-оптичні лінії зв'язку (ВОЛЗ).

Широке застосування волоконно-оптичних телекомунікаційних систем в мережах зв'язку обумовлено рядом їх переваг у порівнянні з електрично кабельними мережами зв'язку.

На основі цього можна виділити наступні основні переваги волоконно-оптичної лінії у порівнянні з електричними кабельними системами зв'язку:

1. Величезна смуга пропускання зі швидкостями передачі до 40 Гбіт / с, що діють вже сьогодні, і понад 100 Гбіт / с, що очікуються в найближчому майбутньому. Факторами, що обмежують зростання швидкостей передачі, наразі є інерційні властивості приймачів і джерел випромінювання. Однак застосування методу спектрального ущільнення каналів (WDM – Wavelength Division Multiplexing) збільшує загальну швидкість передачі по одному волокну до декількох сотен Гбіт / с.

2. На волоконно-оптичні кабелі абсолютно не впливають електромагнітні завади, блискавки і скачки високої напруги; вони не створюють ніяких електромагнітних або радіочастотних завад.

3. Забезпечення повної гальванічної розв'язки між приймачем і передавачем інформації, а також відсутність короткого замикання в лінії передачі.

4. Відстань передачі інформації для не дорогих волоконно-оптичних кабелів між повторювачами до 5 км. Для високоякісних комерційних систем відстані між повторювачами до 300 км. У лабораторних умовах досягнуті відстані, близькі до 1000 км.

5. Розмір і вага волоконно-оптичних кабелів у порівнянні з усіма іншими кабелями для передачі даних, дуже малі в діаметрі і надзвичайно легкі. Чотирьохжильний волоконно-оптичний кабель важить приблизно 240 кг / км, а 36-основний оптоволоконний кабель важить лише на 3 кг більше.

Волоконно-оптичні системи зв'язку знаходять широке застосування для передачі великих обсягів інформації на значні відстані. Одним з основних вимог, що пред'являються до сучасних волоконно-оптичних систем передачі інформації, є забезпечення їх захищеності від несанкціонованого доступу [1-3].

Отже, зі зростанням застосування волоконно-оптичних ліній передачі інформації в телекомунікаційних системах та їх розвитком, так само розвиваються технічні системи інформаційної розвідки, за допомогою яких проводиться негласний зйом інформації з ВОЛЗ. Тому розробка ефективних методів і технічних засобів для захисту інформації в ВОЛЗ є одним із актуальних завдань.

Таким чином, вдосконалення підходів до забезпечення конфіденційності при передачі даних по волоконно-оптичній лінії зв'язку наразі є актуальною задачею.

Метою роботи є забезпечення конфіденційності при передачі даних в волоконно-оптичній лінії зв'язку з використанням оптичного зашумлення.

Постановка задачі:

- проаналізувати особливості волоконно-оптичних систем передачі, а також перехоплення інформації в них;
- провести аналіз існуючих підходів до забезпечення конфіденційності при передачі даних в волоконно-оптичних лініях зв'язку;
- запропонувати підхід до захисту інформації від несанкціонованого доступу в волоконно-оптичних лініях зв'язку на основі оптичного зашумлення;
- оцінити ефективність запропонованого підходу.

1 СТАН ПИТАННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Мережі волоконно-оптичних систем передачі інформації

1.1.1 Класифікація оптичних систем

Оптичним кабелем називається кабельний виріб, який містить кілька оптичних волокон, оптичних модулів або оптичних джгутів, які мають спільну оболонку, поверх якої в залежності від умов експлуатації може бути використаний захисний шар [4-19].

Оптичні кабелі повинні забезпечувати стабільність характеристик оптичного волокна при експлуатації та зберіганні, захист волокна від механічних, кліматичних та інших видів зовнішніх дій, зручність використання, монтажу та ремонту.

Існуючі волоконно-оптичні системи передачі та кабелі за своїм призначенням можуть бути розділені на чотири групи: міжміські, міські, об'єктові, та підводні. В окрему групу виділяють монтажні та оптичні кабелі.

Міжміські системи призначені для передачі інформації на великі відстані і розраховані на велике число каналів. Вони повинні мати мале затухання і дисперсію, велику інформаційно-пропускну здатність.

Оптичні системи міського зв'язку використовуються в якості з'єднувальних між міськими АТС і вузлами зв'язку. Вони розраховані на короткі відстані від 5 до 10 км та велике число каналів. Такі лінії, як правило, працюють без проміжних лінійних регенераторів.

Об'єктові системи служать для передачі інформації всередині об'єкта. Сюди відносяться: внутрішній установчий зв'язок, відеотелефонний зв'язок, внутрішня мережа кабельного телебачення, а також бортові інформаційні системи рухомих об'єктів (літака, корабля і т. д.) .

Підводні системи передачі призначені для здійснення зв'язку через великі водні завади. Оптичні кабелі, які застосовуються для цієї мети повинні мати

високу механічну стійкість на розрив і мати надійні вологостійкі покриття. Для підводного зв'язку також важливо мати мале послаблення і великі довжини регенераційних ділянок.

Монтажні оптичні кабелі призначені для внутрішнього та між блокового монтажу апаратури.

1.1.2 Принципи побудови й основні властивості мереж волоконно-оптичних систем передачі інформації

Мережі волоконно-оптичних систем передачі інформації складаються з активних та пасивних компонентів і пристроїв (модулів), за допомогою яких здійснюється передача інформації. Остання має вигляд електричного групового (багатоканального) сигналу у цифрових або аналогових системах передачі. Цим електричним сигналом модулюється один з параметрів (амплітуда, частота, фаза, поляризація, інтенсивність) оптичного несучого коливання, що здатне поширюватися у оптичному волокні з малими згасанням і спотворенням форми.

Під компонентом волоконно-оптичної системи передачі будемо розуміти виріб оптики або оптоелектроніки, призначений для виконання одної або декількох функцій щодо формування, передавання, розподілу, перетворення та оброблення оптичного сигналу (рис. 1.1) [4].

Насамперед компоненти за принципом дії можна поділити на активні та пасивні. Активні компоненти (модулі) потребують для своєї роботи зовнішнього джерела енергії (живлення), а пасивні – ні.

Прикладами активних компонентів є джерела та приймачі випромінювання, передавальні та приймальні пристрої, оптичні підсилювачі тощо. Пасивними є такі компоненти, як оптичні волокна, з'єднувачі, фільтри, хвильові мульти- та демультимплексори і конвертори, розгалужувачі, вентилі, атенуатори, рефлектори та інші.



Рисунок 1.1 – Класифікація основних компонентів волоконно-оптичних систем та мереж

Формування оптичного сигналу (рис. 1.1.) здійснюється за допомогою джерела випромінювання (ДВ), що виконує електрооптичне (ЕО) перетворення. Модулятор – це пристрій, що змінює один з параметрів несучого коливання, створене ДВ. Модулятор може бути зовнішнім (встановлюватися на виході ДВ) або внутрішнім (входити до схеми керування джерелом). В останньому випадку електронний модулятор, ДВ і пристрій введення виконують у вигляді функціонально закінченого пристрою – передавального оптоелектронного модуля. За його допомогою можлива модуляція тільки інтенсивності (потужності) випромінювання, що використовується в сучасних некогерентних системах передачі. Зовнішні (електро- або акусто-оптичні) модулятори можуть модулювати, крім інтенсивності, також амплітуду, частоту, фазу та поляризацію випромінювання. Зовнішні модулятори більш складні і використовуються в когерентних системах передачі, які в майбутньому замінять більшість некогерентних.

Сформований джерелом випромінювання і модулятором оптичний сигнал поширюється по оптичному волокну, що є компонентом оптичного кабелю. Останній може розглядатися як модуль (пристрій), що має крім оптичних волокон захисні оболонки, зміцнювальні торси (стрижні) та інші компоненти. Оптичні волокна з'єднуються одне з одним (у довгій лінії) та з термінальним обладнанням за допомогою роз'ємних та нероз'ємних з'єднань. Основними параметрами оптичного волокна з точки зору передавання інформації є згасання потужності світла і спотворення форми оптичного сигналу.

В деяких випадках, насамперед у системах зі спектральним мультиплексуванням, необхідно перетворити довжину хвилі випромінювання в іншу. Для цих цілей використовують такий компонент, як хвильовий конвертор. Компенсацію згасання у оптичному волокну можна здійснити за допомогою оптичного підсилювача (ОП). Він може входити або до складу передавального (підсилювач потужності), або приймального (попередній підсилювач) модулів, або встановлюватися в лінійному тракті (лінійний підсилювач). Ці компоненти можна розглядати як пристрої оброблення оптичного сигналу.

В певних випадках, особливо в волоконно-оптичних мережах виникає необхідність розподілу оптичного сигналу по волокнах на декілька напрямків або об'єднання в одне волокно сигналів, що надходять від багатьох терміналів. Цю функцію виконують такі компоненти, як оптичні розгалужувачі. В інших випадках необхідна комутація (переключення) оптичних сигналів з одного напрямку (пристрою) на інший, яка здійснюється за допомогою оптичних перемикачів (комутаторів). В системах зі спектральним мультиплексуванням виникає необхідність у фільтрації, спектральному мульти- та демультимплексуванні оптичних сигналів. Ці операції виконуються у відповідних компонентах оптичного тракту. Для захисту лазера від відбитих оптичних сигналів застосовується оптичний вентиль, а для цілей вимірювань - оптичний рефлектор.

На приймальному боці за допомогою приймача випромінювання здійснюється ОЕ перетворення. Оскільки при поширенні потужність оптичного сигналу зменшується і спотворюється його форма, то на виході ПВ має місце слабкий і, в додаток, спотворений електричний сигнал. Сигнальний процесор підсилює (з малими шумами), коригує форму, відновлює рівень цього сигналу, перед тим як направити його до абонента. Пристрій виведення світла з волокна, приймач випромінювання та електронний процесор виконують у вигляді функціонально закінченого пристрою приймального оптоелектронного модуля. До складу когерентного приймального пристрою також входить місцевий (гетеродинний) лазер і оптичний суматор для додавання полів сигналу та місцевого лазера перед ОЕ перетворенням.

1.1.3 Структура волоконно-оптичної системи передачі

По суті, волоконно-оптичні системи передачі (ВОСП) містять функціональні вузли, властиві будь-яким радіотехнічним системам зв'язку. Більш того, при формуванні сигналів, в принципі, можливе використання тих же різноманітних способів кодування і видів модуляції, які відомі в радіотехнічному діапазоні [4-18]. Однак ряд особливостей оптичного діапазону і використовуваного в ньому елементного базису накладають свої обмеження на реалізаційні можливості ВОСП або призводять до технічних рішень, відмінних від традиційних в техніці зв'язку.

Волоконно-оптичною системою передачі називається сукупність активних і пасивних пристроїв, призначених для передачі інформації на відстань по оптичних волокнах (ОВ) за допомогою оптичних хвиль і сигналів. Іншими словами, ВОСП – це сукупність оптичних пристроїв і оптичних ліній передачі для створення, обробки і передачі оптичних сигналів. При цьому оптичним сигналом служить модульоване оптичне випромінювання лазера або світлодіода.

На рис. 1.2 представлені основні компоненти такої системи.

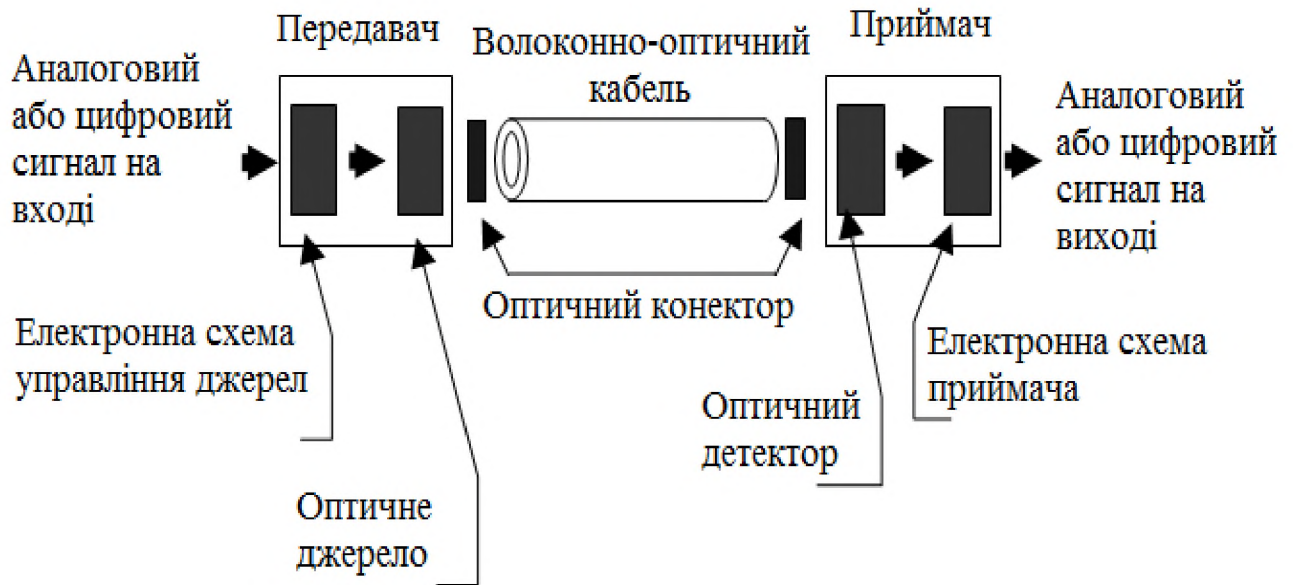


Рисунок 1.2 – Структурна схема волоконно-оптичної системи передачі

Передавач перетворює електричні сигнали в світлові. Дане перетворення виконує джерело, що представляє собою або світло випромінюваний, або лазерний діод. Електронна схема управління перетворює вхідний сигнал в сигнал певної форми, необхідної для управління джерелом.

Волоконно-оптичний кабель – середовище, через яке поширюється світловий сигнал. Кабель складається з оптичного волокна і захисних оболонок.

Приймач призначений для прийому світлового сигналу і його зворотного перетворення в електричні сигнали. Його основними частинами є оптичний детектор, який безпосередньо виконує функцію перетворення сигналу.

З'єднувачі (конектори) призначені для підключення волокна до джерела, оптичного детектора і для з'єднання волокон між собою.

В даний час при організації зв'язку по волоконно-оптичних ліній зв'язку перевага віддається цифровим системам передачі (ЦСП) з імпульсно-кодовою модуляцією (ІКМ), що обумовлено крім загальних переваг ЦСП у порівнянні з аналоговими системами передачі (АСП) особливістю роботи і побудови ВОСП. Це пов'язано з високим рівнем шумів фотодіодів, які використовуються в якості приймачів оптичного випромінювання. Для отримання необхідної якості передачі інформації за допомогою АСП потрібні спеціальні методи прийому і

обробки аналогових оптичних сигналів. ЦСП забезпечує необхідну якість передачі інформації при відношенні сигнал-завада на 30 ... 40 дБм менше, ніж АСП. Тому реалізація ВОСП з використанням ЦСП набагато простіше у порівнянні з АСП.

У ВОСП використовується прикордонний до інфрачервоного діапазон довжин хвиль від 800 до 1600 нм, при цьому перевагу надають довжинам хвиль 850, 1300 і 1550 нм.

1.1.4 Сигнали передачі

При проектуванні волоконно-оптичних систем передачі необхідно враховувати цілий ряд особливостей, зв'язаних з фізичними властивостями як середовища передачі, так і кінцевих пристроїв – оптичного передавача і приймача оптичних сигналів. Одна з таких особливостей – вибір типу сигналу передачі (так званого лінійного канального коду) [9].

Вибір сигналу складна і надзвичайно важлива проблема, від правильного рішення якої залежать техніко-економічні показники приймально-передавальної апаратури і проекрованої системи в цілому.

До сигналів ВОЛЗ пред'являються наступні вимоги:

1. Усереднений енергетичний спектр сигналу в лінії повинний мати мінімальний зміст низькочастотних і високочастотних компонентів. Обмеження спектра в області нижніх частот викликано вимогою неспотвореної передачі в підсилювачі перемінного струму фотоприймача прийнятого сигналу. У протилежному випадку для реалізації оптимальних умов прийому перед вирішальним пристроєм регенератора необхідно вводити пристрій відновлення низькочастотної складової. Це ускладнює устаткування лінійного тракту і збільшує його вартість. Крім цього, оптична потужність, що випромінюється напівпровідниковим лазерним діодом, залежить від навколишньої температури, але її можна стабілізувати введенням негативного зворотного зв'язку за середнім значенням випромінюваної потужності. Однак, зробити це можна

тільки в тому випадку, коли відсутня низькочастотна частина спектра, що змінюється в часі в залежності від переданої інформації. У протилежному випадку в ланцюзі зворотного зв'язку повинний бути передбачений m пристрій компенсації цих змін. Усе це приводить до ускладнення схеми оптичного передавача.

2. Сигнал не повинний накладати які-небудь обмеження на передане повідомлення і забезпечувати однозначну передачу будь-якої послідовності одиниць і нулів.

3. Сигнал у лінії повинний мати властивість самосинхронізації, тобто містити інформацію про тактову частоту. У приймачі ця інформація використовується для відновлення фази і частоти синхронізуючого коливання, необхідного для керування процесом ухвалення рішення граничними пристроями регенераторів. Тактова частота виділяється тим простіше, ніж більше число переходів рівня містить сигнал. У найкращому випадку в усередненому енергетичному спектрі сигналу повинна бути дискретна складова на тактовій частоті. Якщо ця умова не виконується, то необхідно виконувати нелінійну обробку інформаційної послідовності.

4. Статистичні характеристики самосинхронізуємих сигналів не повинні бути довільними для забезпечення стійкої роботи регенераторів. Зокрема, повинне бути обмежене максимальне число символів однакової амплітуди або одного рівня.

5. Структура сигналу в лінії повинна дозволяти виконувати контроль помилок у регенераторах – для автоматичної експлуатації магістральних ліній.

6. Кодери і декодери лінійного тракту, а також пристрою контролю помилок повинні бути схемно простими і мати мале енергоспоживання.

7. Сигнал повинний мати обмежене число рівнів. В основному застосовуються двох і трьохрівневі сигнали, що викликано нелінійністю модуляційних характеристик і температурною залежністю випромінюваної оптичної потужності лазерних діодів.

8. Сигнал повинний забезпечувати одночасну передачу сервісних сигналів.

Для поліпшення статистичних властивостей сигналів у ВОЛЗ часто використовується скремблювання. Узгодження спектра сигналу з передатною характеристикою лінії передачі здійснюється введенням у сигнал контрольованої надмірності. Надмірність R розраховується по формулі

$$R = (f_n \log_2 L - f_T \log_2 N) / f_n \log_2 L, \quad (1.1)$$

де f_T – тактова частота інформаційного сигналу на вході кодера лінійного тракту (або на виході декодера), f_{T1} – тактова частота сигналу на виході кодера лінійного тракту (або на вході декодера), тобто в лінії передачі, N – число дозволених рівнів вхідного сигналу, L – число дозволених рівнів вихідного сигналу.

Для характеристики сигналів у лініях використовується також параметр, який називають поточною цифровою сумою RDS (Running Digital Sum):

$$RDS(k) = \sum_{n=1}^{n=k} c_n + RDS(0), \quad (1.2)$$

де $c_n = 1, -1$ для дворівневих сигналів, $c_n = 1, 0, -1$ для трьохрівневих сигналів, і таке інше, а $RDS(0)$ – довільно обрана константа. З її допомогою зручно визначати збалансованість сигналу – величину коливань базової лінії.

Різниця максимального і мінімального значень поточної цифрової суми називають коливанням цифрової суми DSV (Digital Sum Variation)

$$DSV = RDS_{\max} - RDS_{\min}. \quad (1.3)$$

DSV відображає максимальну довжину послідовностей, що складаються з однакових імпульсів і приблизно пропорційно амплітуді низькочастотних перекручувань сигналу.

Надмірність у сигнал може бути введена підвищенням частоти повторення імпульсів і/або збільшенням числа рівнів для представлення інформації. Другий шлях у системах зв'язку використовується частіше. Однак, неоднорідності в лініях і підвищення складності регенераторів обмежують

число застосовуваних рівнів трьома. Це ж відноситься і до довжини кодових слів, з яких формується сигнал передачі.

У табл. 1.1 приведені значення ефективностей $E=(\log_2 N/\log_2 L)\cdot 100\%$ деяких збалансованих кодів, на базі яких формуються сигнали передачі.

Таблиця 1.1 – Ефективність збалансованих кодів

Код	1В/1Т	2В/2Т	4В/3Т	5В/4Т	7В/5Т	8В/6Т
Ефективність, %	63,09	63,09	84,12	78,87	88,33	84,12

1.1.4.1. Алгоритми формування сигналів.

Розглянемо більш детально деякі характерні сигнали передачі.

Сигнали, засновані на 1В/1Т кодах. Цей клас сигналів базується на кодах, для яких один двійковий символ перетворюється в один трійковий символ. Найбільш відомим представником цього класу сигналів є АМІ (Alternate Mark Inversion) сигнал. Деякі загальні властивості цієї групи сигналів такі:

- простота схемної реалізації кодування і декодування;
- невисока ефективність (63%);
- надійність передачі і висока завадостійкість, унаслідок великої надмірності.

Наприклад, для АМІ сигналу алгоритм формування дуже простий: відсутність імпульсів у тактових інтервалах при передачі інформаційних нулів і позитивні і негативні імпульси, що чергуються при передачі інформаційних одиниць.

АМІ сигнали володіють деякими привабливими властивостями:

- усереднений енергетичний спектр має малий зміст низькочастотних компонентів ($DSV=1$) і нульову постійну складову;
- у зв'язку з відсутністю необхідності вирівнювання довжини кодових слів схеми кодування-декодування дуже прості, що дає перевагу в системах передачі на короткі відстані;

- легко виявляти помилки передачі шляхом аналізу порушень алгоритму передачі.

Однак, АМІ сигнали не врятовані від ряду істотних недоліків, основними з яких є:

- наявність необмежених довгих проміжків сигналу без зміни рівня ("непрозорість каналу" – відсутність передачі енергії), що дуже ускладнює відновлення часових співвідношень;

- ефективність сигналу тільки 63%.

Усунути «непрозорість каналу» дозволяють сигнали, засновані на модифікованих АМІ кодах. У таких сигналах послідовності, що складаються з *n* нулів замінюються послідовностями, що порушують алгоритм формування АМІ сигналів. Ці порушення дозволяють ідентифікувати такі послідовності на прийомній стороні і відновити нулі.

Модифіковані АМІ сигнали можна розділити на дві великі групи за принципом ідентифікації порушень алгоритму формування коду. До першої групи відносяться сигнали, у яких заміна кодова послідовність залежить тільки від полярності імпульсу, що передуює цієї послідовності. До другої групи відносяться сигнали, у яких заміна послідовність визначається як полярністю попереднього імпульсу, так і видом попередньої послідовності.

Сигнали, що відносяться до першої групи, по визначенню, повинні бути балансовими. У протилежному випадку постійна і крайні низькочастотні складові повинні бути додані в сигнал передачі. Тому змінений сигнал повинен містити, принаймні, два порушення алгоритму формування протилежної полярності. Це може бути здійснено вставкою непарного числа імпульсів між порушеннями алгоритму. Таким чином, найкоротша послідовність заміни містить три символи і позначається VBV (символ V порушує АМІ алгоритм, символ B відповідає АМІ алгоритмові).

На практиці із сигналів першої групи найбільше поширення одержав сигнал B6ZS (Bipolar with 6 Zero Substitution – біполярний з 6 замінними нулями). У цьому сигналі кожен кодовий блок, що складається з 6 послідовних

нулів замінюється послідовностями виду $0VB0VB$. Достоїнство цього алгоритму в тім, що імпульси однакової полярності завжди розділені нулем.

Незважаючи на те, що для B6ZS сигналу значення DSV дорівнює 3, сумарні перекручування цього сигналу при проходженні по лінії передачі менше, ніж в АМІ.

Для другої групи сигналів усередині послідовності заміни баланс може бути відсутній, однак він може бути досягнутий за рахунок іншої послідовності. Найкоротша послідовність заміни містить одне порушення алгоритму формування, полярність якого змінюється в залежності від попереднього порушення алгоритму. Реалізується це вставкою біполярного імпульсу перед порушенням алгоритму. Тому найкоротша послідовність заміни містить два символи BV або 0V. На цій основі формуються сигнали HDB (High Density Bipolar – високої щільності біполярні) і CHDB (Compatible HDB – сумісний HDB).

У HDB_n сигналах кожен блок з n+1 послідовних нулів замінюється блоком такої ж довжини виду B...V або 0...V. У цьому позначенні n вказує порядок коду, тобто максимально можливе число послідовних нулів у кодованій послідовності. При цьому імпульси V завжди чергуються по полярності. Якщо вибрати іншу послідовність заміни, тобто, ...B0V або ...00V, одержимо сигнали типу CHDB_n. Їх називають сумісними в зв'язку з тим, що декодування може бути виконане безвідносно до порядку коду. Слід зазначити, що сигнали HDB₂ і CHDB₂ ідентичні.

Із сигналів другої групи широке розповсюдження одержав сигнал HDB₃, що був рекомендований CCITT для використання в первинних ІКМ системах. Алгоритм формування HDB₃ сигналу полягає в тім, що кожен блок з 4 послідовних нулів замінюється блоком B00V або 000V. Вибір того або іншого блоку заміни здійснюється так, щоб їхня полярність чергувалася.

Сигнали, засновані на 4B/3T кодах. Цей клас сигналів має значно більшу ефективність (табл. 1.1). Сигнали цього класу формуються шляхом перетворення 4-х символних двійкових слів у 3-х символні трійкові слова.

При цьому необхідно відібрати з 27 трійкових слів такі 16 слів, щоб забезпечити однозначність перетворення і збалансованість коду. Звичайно відбирають 6 трійкових слів з нульовою постійною складовою, за винятком комбінації 000, і 10 пар незбалансованих слів. Вибір наступного трійкового слова здійснюється безупинно на підставі обчислення поточної цифрової суми (RDS), значення якої повинно бути мінімальним.

Практично використовуються кілька сигналів цього класу, з яких найпростішим є 4В-3Т сигнал. У ньому незбалансовані трійкові слова є попарно інверсними одне іншому. RDS може приймати 8 значень: від 0 до 7 (DSV=7). Число можливих станів, у яких може знаходитися сигнал, дорівнює 6 (рис. 1.3).

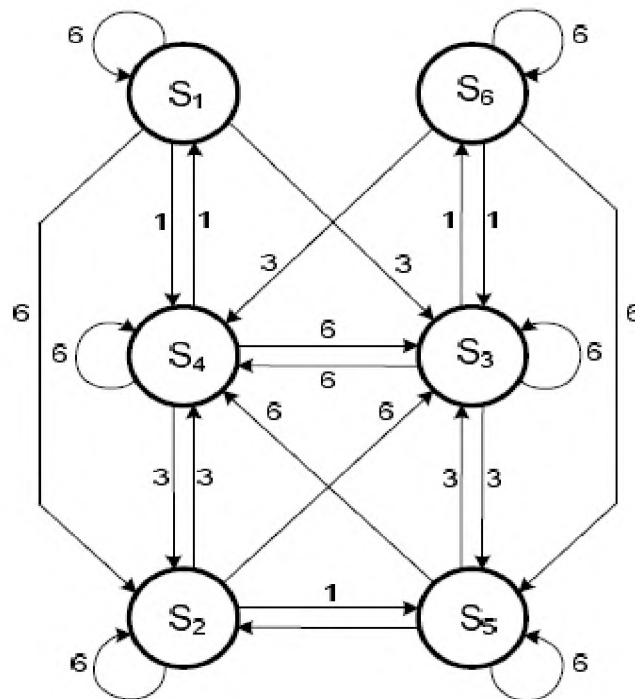


Рисунок 1.3 – Орграф станів сигналу 4В-3Т

Тут використовуються два алфавіти: позитивний, що містить слова з нульовою і позитивною постійною складовою (для станів 1, 2, 3) і негативний, що містить слова з нульовою і негативною постійною складовою (для станів 4, 5, 6).

Трохи кращою збалансованістю і часовими властивостями володіє MS 43 сигнал. У нього RDS може приймати 6 значень: від 0 до 5 ($DSV=5$), а число можливих станів дорівнює 4 (рис. 1.4).

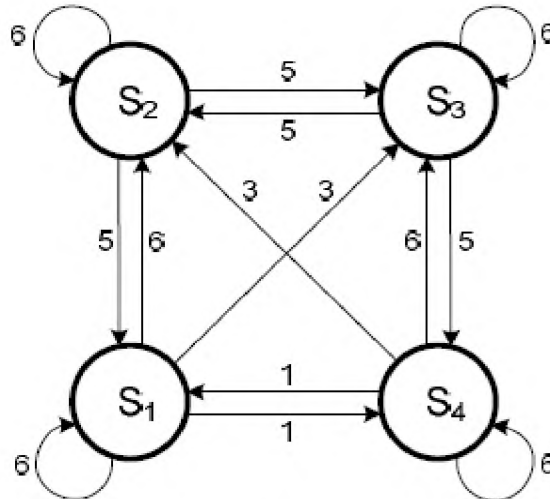


Рисунок 1.4 – Орграф станів сигналу MS 43

При формуванні MS 43 використовується три алфавіти: позитивний, що відповідає станіві 1, негативний, що відповідає станіві 4 і змішаний, який містить слова з нульовими постійними складовими і значеннями ± 1 , що відповідає станам 2, 3.

Ще одним різновидом 4B/3T сигналів є сигнал FOMOT (FOur MOde Ternary). У цьому сигналі RDS може приймати 6 значень: від 0 до 5 ($DSV=5$), а число станів дорівнює 4 (рис. 1.5).

FOMOT використовує чотири алфавіти – кожний для свого стану. При цьому імовірність перебування сигналу в кожному з чотирьох станів дорівнює 0,25.

Швидкість передачі даних може бути збільшена і при збереженні дворівневості сигналів, якщо формувати сигнали на основі кодів обмеженої довжини або (d, k) -кодів. dk -обмежена з основою L послідовність одночасно задовольняє умовам: d -обмеження – два суміжних ненульових символи відділені послідовністю нулів довжиною не менш d ; k -обмеження – будь-яка послідовність нулів має довжину не більш k .

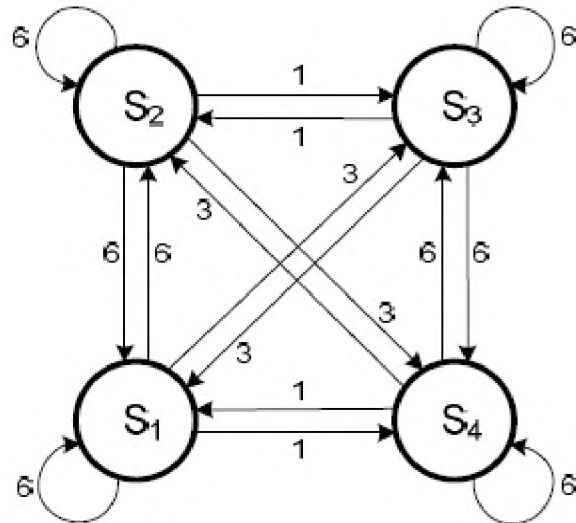


Рисунок 1.5 – Орграф станів сигналу FOMOT

Будь-які сигнали передачі можуть бути представлені в рамках dk обмежень. Найбільше поширення в даний час одержали такі дворівневі сигнали.

(1, 3)-сигнал (код Міллера, затримана модуляція, УФМ – удосконалена фазова модуляція, та ін.) утворюється за правилом: інформаційній одиниці відповідає перехід рівня сигналу в середині тактового інтервалу, а інформаційному нулеві – перехід рівня сигналу на границі тактового інтервалу, або відсутність такого переходу (рис. 1.6).

(2, 7)-сигнал (HDM-2, High Density Modulation (високощільна модуляція).

(2, 8)-сигнал (HDM-1, High Density Modulation (високощільна модуляція).

Для оптичних ліній варто застосовувати трьохрівневий сигнал HDB3 або сигнал АМІ (для невисоких швидкостей передачі, наприклад, 2048 Кбіт/с). На відміну від електричного кабелю, по якому можна передавати імпульси струму як позитивної, так і негативної полярності, по оптичному волокну можна передавати імпульси тільки позитивної полярності. Тому при передачі по оптичній лінії двополярних сигналів HDB3 або АМІ на одній довжині хвилі, ці сигнали перетворюються в однополярні з постійною складовою (рис. 1.7).

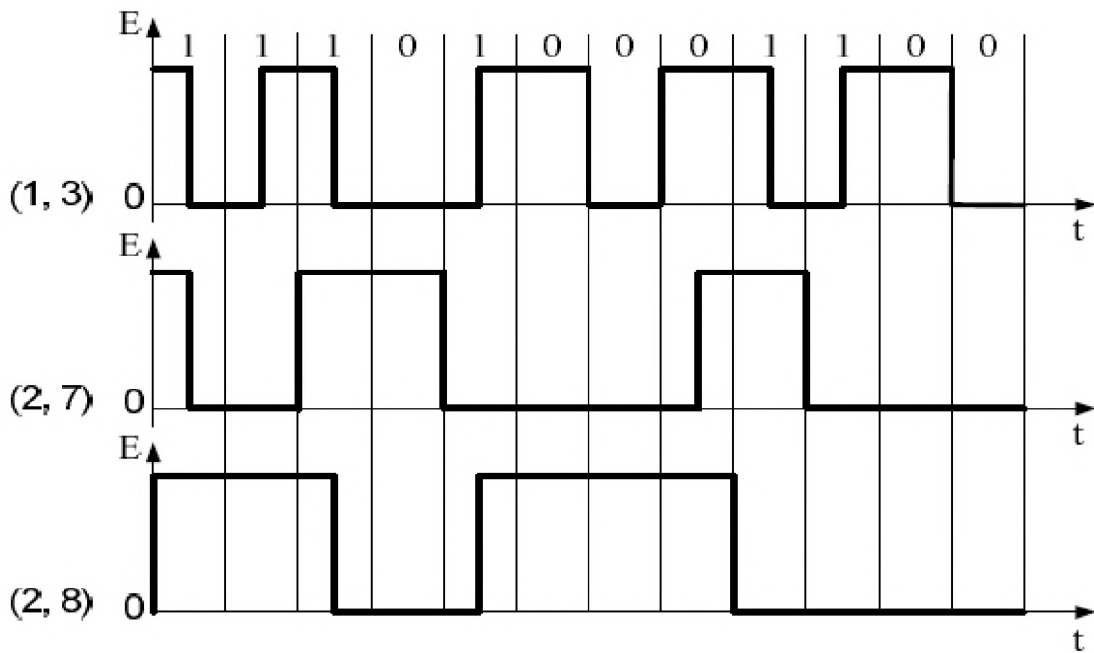


Рисунок 1.6 – Часові діаграми дворівневих сигналів передачі

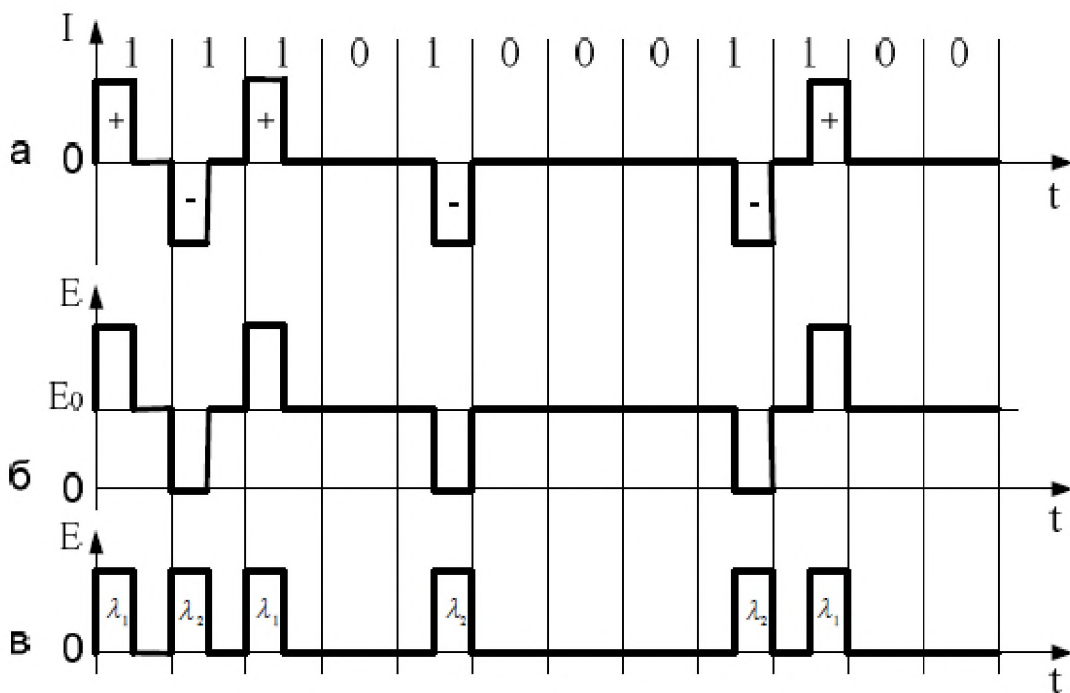


Рисунок 1.7 – Часові діаграми сигналу HDB3

На рис. 1.7,а показаний сигнал HDB3 при передачі по електричному кабелю, а на рис. 1.7,б – при передачі по оптичному волокну. Незавжди побачити, що у випадку передачі по оптичному волокну сигнал містить постійну складову E_0 , величина якої залежить від виду переданих кодових комбінацій. У цілому при використанні у ВОЛЗ сигнал HDB3 має такі недоліки:

- потужність суміжних символів (наприклад, двох одиниць) у два рази менше (на 3 дБ) у порівнянні з максимальною потужністю, випромінюваною оптичним передавачем;

- наявність постійної складової вимагає стабілізації робочої точки на ватт-амперній характеристиці лазера, що ускладнює схему передавального оптичного модуля;

- залежність величини E_0 від статистики кодових комбінацій приводить до коливань базової лінії сигналу, що знижує завадостійкість системи передачі.

Слід зазначити, що наявність постійної складової в оптичному сигналі є еквівалентним фоновій засвітці. Через це в процесі ухвалення рішення про переданий символ необхідно враховувати дробовий шум, що виникає внаслідок фону і зменшує відношення сигнал/шум.

Зазначені недоліки сигналу HDB3 у ВОЛЗ характерні для передачі на одній довжині хвилі. У тому випадку, коли позитивні імпульси сигналу HDB3 передаються на одній довжині хвилі випромінювання, наприклад, 11, а негативні імпульси – на іншій довжині хвилі, наприклад, 12, те ці недоліки відсутні (рис. 1.7,в). Такий спосіб передачі називають хвильовою передачею (кодуванням).

На рис. 1.8 показана узагальнена структурна схема однопрогонової ВОЛЗ.

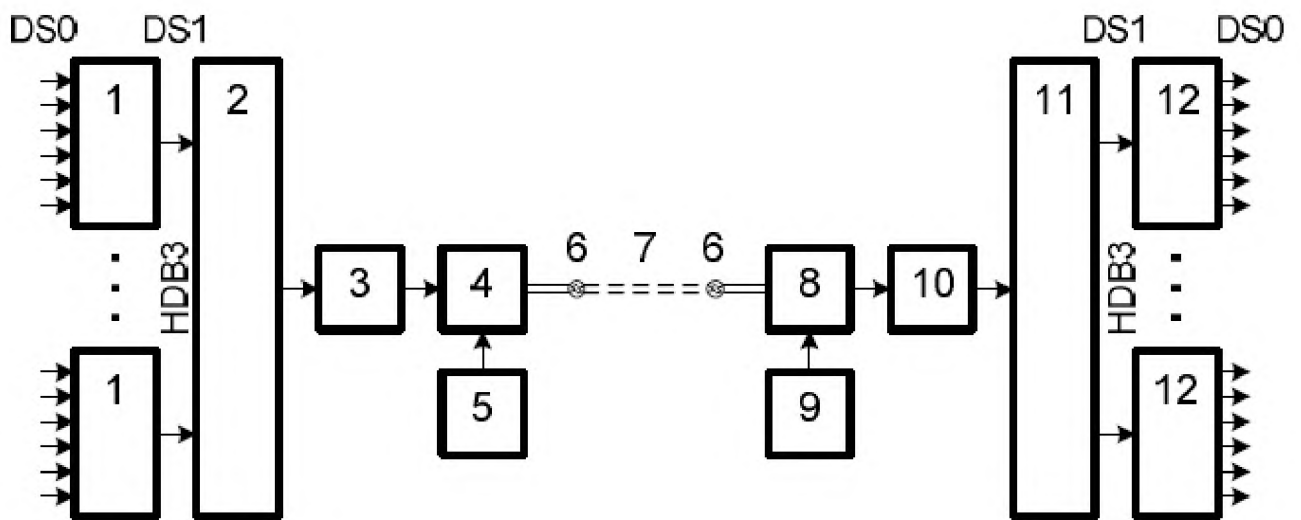


Рисунок 1.8 – Узагальнена структурна схема однопрогонової ВОЛЗ

На рис. 1.8 основні інформаційні потоки рівня DS0 за допомогою мультиплексорів 1 перетворюються в інформаційні потоки рівня DS1, що використовують сигнал HDB3. Мультиплексор 2 перетворює стиковий сигнал HDB3 у лінійний сигнал. Лінійний сигнал надходить у блок 3 узгодження (накачування) випромінювача 4 оптичного сигналу (лазера або світловипромінюючого діода). Стабілізація вихідної оптичної потужності випромінювача 4 і його температури здійснюється блоком 5. Оптичні рознімачі 6 приєднані до оптичного кабелю 7. На прийомній стороні сигнал попадає на фотодетектор 8, до якого підключене джерело 9 електричної напруги зсуву робочої точки характеристики, підсилюється широкосмуговим підсилювачем 10 і надходить на перетворювач 11. Перетворювач 11 являє собою демультимплексор, що знову формує потоки рівня DS1, які далі за допомогою демультимплексорів 12 перетворюються в сигнали рівня DS0. Таку структурну схему мають практично всі однопрогонові (без проміжних пунктів) ВОЛЗ.

1.1.4.2. Формування спектру.

Необхідність у формуванні спектрів сигналів пояснюється, принаймні, двома причинами [9].

Першою з них є необхідність узгодження характеристик сигналу з характеристиками середовища поширення. Більшість трактів передачі лінійні, тому їх найбільш зручно описувати частотними характеристиками. Ці характеристики майже завжди обмежені по частоті зверху й знизу, причому за межами верхньої і нижньої граничних частот ефективна передача сигналу практично неможлива. Усереднений енергетичний спектр сигналу може бути визначений, наприклад, за допомогою автокореляційної функції. Передача спектра сигналу в обмеженій смузі частот еквівалентна вирахуванню загублених частотних складових із прийнятого сигналу й, отже, приводить до виникнення перекручувань. Якщо величина загубленої енергії мала, то й результуючі перекручування будуть невеликі.

Відомо, що мінімальна ширина смуги частот, що потрібна для передачі сигналу із припустимою величиною перекручувань, визначається за допомогою критеріїв Найквіста. Однак, ряд специфічних питань не були розглянуті Найквістом. Наприклад, він не враховував вигляд енергетичного спектра сигналу, тобто яким чином розподіляється енергія усередині смуги переданих частот. Отже, можна використати сигнали, енергія яких дорівнює нулю на частотах, що обмежують смугу передачі, мала або дорівнює нулю поза даною смугою, а також мала або дорівнює нулю усередині області переданих частот. Найквіст також не встановлював, що сигнали повинні бути дискретизовані з певною частотою й не досліджував особливості передачі багаторівневих сигналів. Він розглядав передачу тільки певних елементів сигналу, не беручи до уваги обмеження, що накладають способами передачі інформації. Шеннон показав, що смуга частот, необхідна для передачі інформації з певною тактовою частотою, може бути довільно вузькою, якщо забезпечується рівень шуму, що прагне до нуля.

Друга причина, що вимагає створення енергетичного спектра особливої форми, полягає в необхідності зменшення перехідного впливу між каналами передачі. Рівень перехідного впливу майже завжди визначається рівнем енергії високочастотних складових спектра сигналу. Прикладом може служити передача імпульсної послідовності по парах симетричного кабелю. У радіорелейних системах і при передачі по хвилеводах, де використовується модуляція несучої, величина перехідного впливу між стволами визначається високочастотною частиною спектра модульованого сигналу.

Зі сказаного вище ясно, що знаходження усереднених енергетичних спектрів сигналів передачі має велике значення для підвищення ефективності систем зв'язку. Питанням знаходження енергетичних спектрів цифрових сигналів присвячено чимало робіт. Найбільш вдалим є підхід, заснований на використанні апарата кінцевих ланцюгів Маркова.

Розглянемо випадковий процес $\xi(\tau)$, що функціонує в дискретному часі $\tau=0,1,2,\dots,n$. Можливі стани процесу утворюють кінцеву множину станів

$\{s_1, s_2, \dots, s_q\}$. Повний імовірнісний опис кінцевого ланцюга Маркова складається із завдання стартового розподілу ймовірностей $\vec{\pi} = \{\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_q\}$, де $\pi_q = p[\xi(0) = s_q]$ – ймовірність того, що в початковий момент часу $\xi(\tau)$ виявиться в стані s_q , і матриці перехідних ймовірностей

$$P = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1q} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2q} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ P_{q1} & P_{q2} & \dots & P_{qq} \end{pmatrix}. \quad (1.4)$$

Тут $P_{if} = p[\xi(1) = s_f | \xi(0) = s_i]$ – умовна ймовірність того, що процес, що стартував у момент $\tau=0$ зі стану s_i , виявився в момент $\tau=1$ у стані s_f . Ланцюг Маркова передбачається однорідним, тобто для будь-яких τ

$$p[\xi(\tau+1) = s_j | \xi(\tau) = s_i] = P_{ij}. \quad (1.5)$$

Елементи ступеня матриці P^n дають ймовірності переходів через n кроків функціонування ланцюга. З урахуванням цього ймовірнісний вектор $\vec{p}(n)$, координати якого визначають ймовірності станів через n кроків, визначається формулою

$$\vec{p}(n) = \pi P^n. \quad (1.6)$$

Ланцюг Маркова називається регулярним, якщо існує таке ціле позитивне число w , при якому всі елементи матриці P^w позитивні. Це означає, що за час, більший або рівний w , можна перейти з будь-якого стану ланцюга Маркова в будь-який інший її стан з позитивною ймовірністю.

Для регулярних ланцюгів Маркова справедливо таке фундаментальне положення:

$$\exists \lim_{n \rightarrow \infty} P^n = A = \begin{pmatrix} A_1 & A_2 & \dots & A_q \\ A_1 & A_2 & \dots & A_q \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ A_1 & A_2 & \dots & A_q \end{pmatrix}, \quad (1.7)$$

де $\vec{A} = \{A_1, A_2, \dots, A_q\}$ – вектор фінальних ймовірностей ланцюга Маркова. Вектор \vec{A} може бути знайдений як єдине ймовірнісне рішення системи алгебраїчних рівнянь

$$\vec{A}P = \vec{A} \quad (1.8)$$

Відзначимо рівності, що встановлюються безпосередньо: $AP=PA=A$ і $\vec{\pi}A = \vec{A}$ для будь-якого ймовірнісного вектора $\vec{\pi}$. З вищевикладеного випливає, що для будь-якого вектора стартових ймовірностей $\vec{\pi}$

$$\exists \lim_{n \rightarrow \infty} \vec{p}(n) = \lim_{n \rightarrow \infty} \vec{\pi}P^n = \vec{\pi}A = \vec{A} \quad (1.9)$$

Рівність (1.9) означає, що як би не стартував ланцюг Маркова, через досить великий час ймовірності перебування в станах s_1, s_2, \dots, s_q будуть дорівнювати A_1, A_2, \dots, A_q , відповідно.

Результати розрахунків усереднених енергетичних спектрів деяких характерних сигналів передачі показані у вигляді графіків на рис. 1.9.

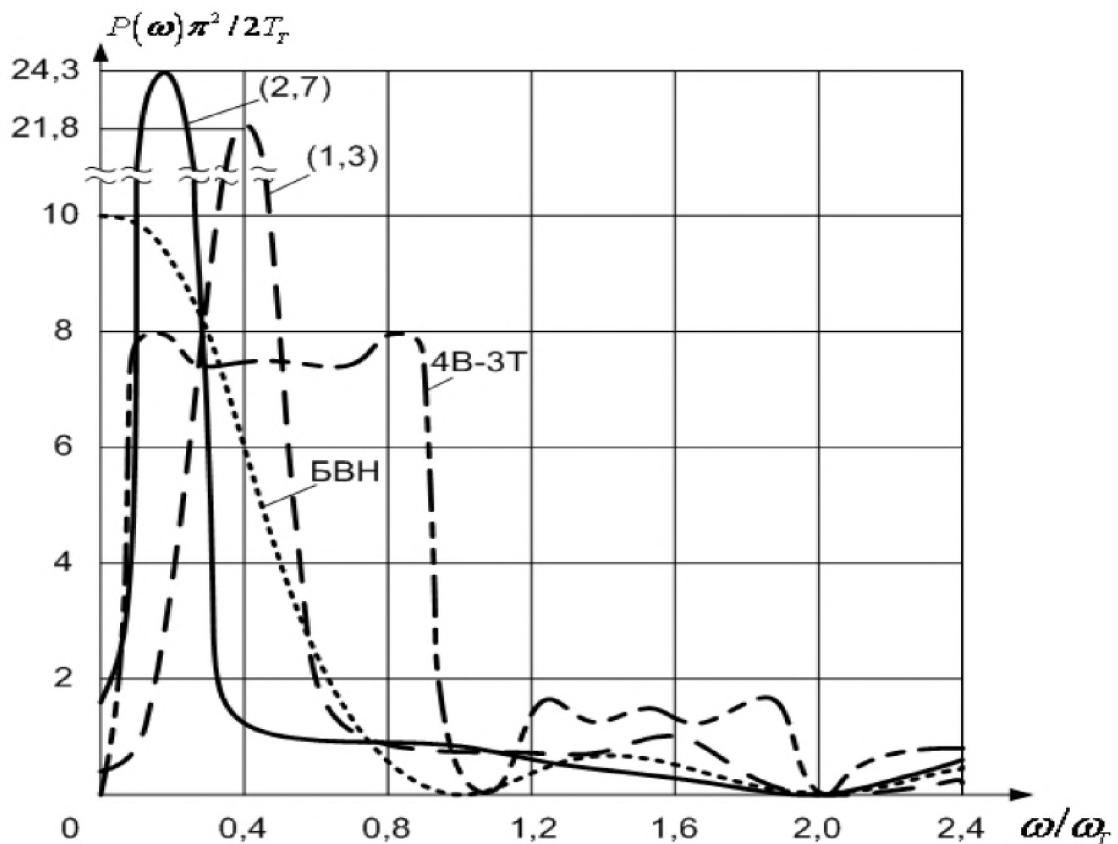


Рисунок 1.9 – Енергетичні спектри сигналів передачі

На рис. 1.9 по осі ординат відкладені значення $P(w)$, помножені на коефіцієнт $\frac{\pi^2}{2T_T}$, що нормує, а по осі абсцис – значення нормалізованої частоти $\frac{\omega}{\omega_T}$, де $\omega_T = \frac{2\pi}{T_T}$ – кругова тактова частота.

1.2 Канали перехоплення (зняття) інформації з волоконно-оптичних ліній зв'язку

Функціонування сучасних інформаційно-телекомунікаційних систем пов'язано з передаванням великих об'ємів інформації на великі відстані з використанням різноманітних каналів зв'язку та середовищ розповсюдження носіїв інформації [20-28]. Самі середовища розповсюдження байдужі до інформації, яка передається, і підпорядковуються лише законам фізики, у відповідності з якими хто має доступ до середовища, той має змогу отримати сигнал.

На теперішній час існує багато методів, а саме криптографічних методів шифрування, які дозволяють гарантовано захистити відкритий канал для передачі інформації. Тому поняття витоку інформації в каналах зв'язку, як зазвичай, не використовується і вважається, що для передачі секретної інформації використовуються лише захищені канали. Однак, якщо канали (лінії) не захищені, або недостатньо захищені, то користування ними може призвести до витоку інформації, що передається. Розглянемо, які процеси цьому сприяють.

За середовищем розповсюдження носіїв інформації розрізняють наступні типи (канали, лінії) зв'язку:

- безпровідний зв'язок (радіо, радіорелейний, тропосферний, космічний, тощо), який для передачі сигналів використовує ефір – навколишнє середовище;

- провідний зв'язок, який для передачі інформації використовує спеціально створені середовища для носія – провідні лінії; в залежності від

фізичної природи ліній та носіїв, що в них використовуються, останні поділяють на електропровідні лінії та волоконно-оптичні лінії зв'язку.

Аналогічно як і для електропровідного зв'язку для ВОЛЗ характерні контактний та безконтактний способи перехоплення інформації.

Контактний спосіб перехоплення реалізується шляхом очищення ізоляції, як правило, хімічним способом щоб не порушити поверхню світловоду, та відкачуванням енергії світла, як показано на рис. 1.10,а. Така відкачка енергії може бути виявлена і передача інформації припинена.

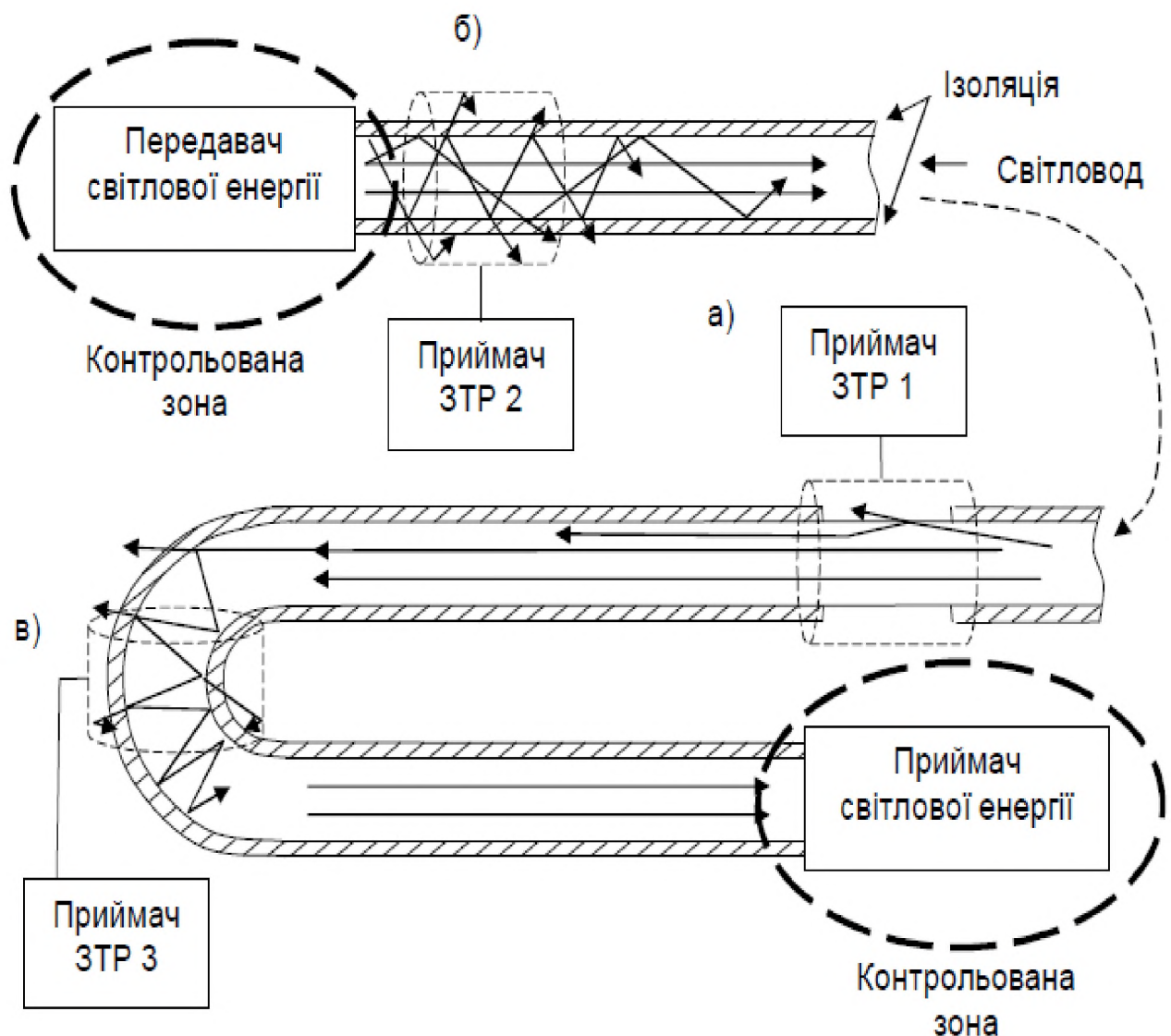


Рисунок 1.10 – Схема перехоплення інформації в ВОЛЗ: а – контактним способом; б – безконтактним способом на ділянках просторово-неустановленого режиму; в – безконтактним способом на інших ділянках ВОЛЗ

Безконтактний спосіб перехоплення використовує просочування світла через ізоляцію: на ділянках просторово-неустановленого режиму, шляхом перегинання кабелю та на стиках світловодів.

Сутність перехоплення на ділянках просторово-невстановленого режиму полягає в тому, що світловий потік на початку ВОЛЗ є досить інтенсивним. Його промені, що мають хаотичний напрямок, нагрівають ізоляцію та, переважно в тепловому діапазоні, просочуються через неї. Енергія світла, що просочилась, може бути перехоплена технічними засобами розвідки (ТЗР) противника.

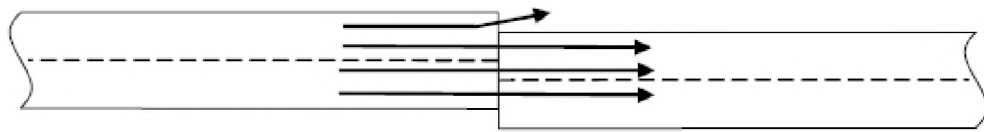
Перегинання кабелю ВОЛЗ приводить до тих же ефектів, що і на ділянках просторово-невстановленого режиму, як показано на рис. 1.10,в. Промені світла, які були направлені вздовж лінії при перегині стають під кутом до стінок світловоду і інтенсивно діють на ізоляцію. В результаті частина енергії просочується за межі ізоляції та може стати причиною перехоплення інформації, що передається.

Значна частина енергії світла в волоконно-оптичних системах зв'язку може витікати на роз'ємних стиках волокон світловодів за ряду причин (рис. 1.11), а саме: радіальна неузгодженість волокон світловодів; кутлова неузгодженість осей волокон світловодів; наявність зазору поміж торцями волокон світловодів; непаралельність торців волокон світловодів; різниця радіусів волокон світловодів.

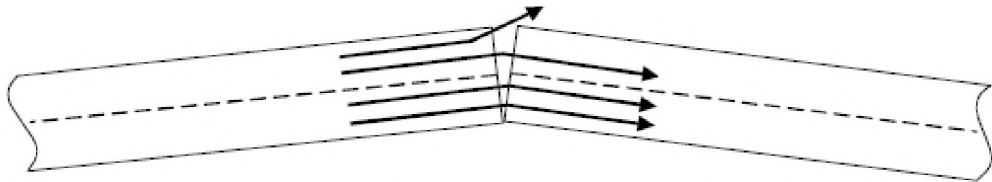
Запобігання витоку інформації досягається шляхом:

- використання засобів криптографічного захисту інформації;
- створення навколо лінії контрольованої зони не меншої за Зону 2 (зона 2 – територія навколо технічних засобів обробки інформації, за межами якої вважається неможливим перехоплення небезпечного сигналу з метою відтворення інформації);
- організація режиму доступу в контрольовану зону, на об'єкті інформаційної діяльності;

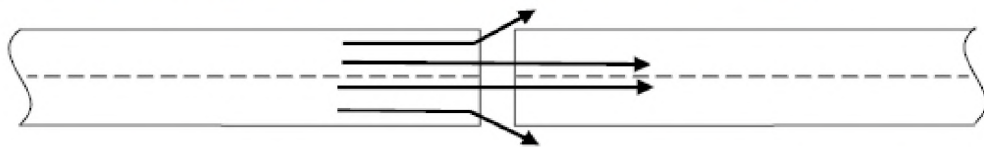
- екранування, бронювання ліній;
- лінійного та просторового зашумлення.



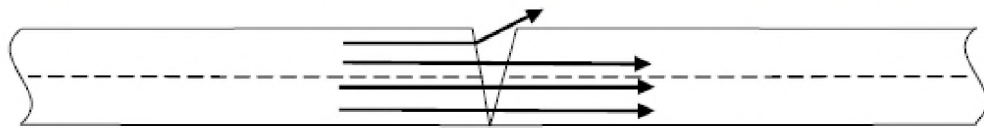
а) радіальна неузгодженість волокон світловодів



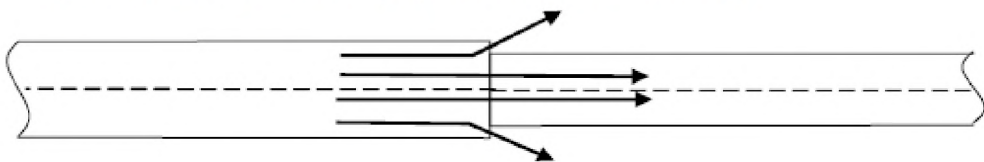
б) кутова неузгодженість осей волокон світловодів



в) наявність зазору поміж торцями волокон світловодів



г) непаралельність торців волокон світловодів



д) різниця радіусів волокон світловодів

Рисунок 1.11 – Причини витоку інформації на стиках волокон світловодів

1.3 Лінійне та просторове зашумлення

Взагалі методи захисту інформації на основі технічних засобів захисту інформації пов'язані з інформативним сигналом і включають заходи / дії спрямовані на:

- зашумлення інформативного сигналу до рівня при якому неможливо його реєстрація / виявлення (зашумлення, фізична маскування);
- ослаблення інформативного сигналу до рівня фону, тобто природних шумів (фільтрація, селекція, екранування);
- обмеження доступу до інформативного сигналу шляхом виявлення загрози / порушника (моніторинг, контроль, виявлення);
- приховування інформаційного сигналу від технічних засобів розвідки порушника (стеганографія, кодування, шифрування);

Фільтрація відноситься до пасивних методів захисту. Коли фільтрація недостатня по ефективності на кордоні контрольованої зони, то вдаються до активних методів захисту, заснованих на створенні завад технічними засобами, що знижує відношення сигнал / шум.

Система просторового зашумлення повинна забезпечувати:

- електромагнітні завади в діапазоні частот можливих побічних випромінювань технічних засобів прийому, обробки та зберігання інформації;
- нерегулярну структуру завад;
- рівень створюваних завад на електричний струм і по магнітній складовій повинен забезпечувати мінімальне значення сигнал / шум;
- за рахунок вибору типу антени завади повинні мати горизонтальну і вертикальну поляризацію.

У системах просторового зашумлення в основному використовуються завади типу «білого шуму» або «синфазні завади».

«Синфазні завади» з основному застосовуються для захисту ЕОМ. У них в якості завадового сигналу використовуються імпульси випадкової амплітуди, що збігаються за формою і часу існування з імпульсами корисного сигналу. Внаслідок цього за своїм спектральним складом завадовий сигнал аналогічний спектру побічних електромагнітних випромінювань персональних ЕОМ. Тобто, сигнал зашумлення генерує «імітаційну заваду», яка по спектральному складу відповідна спектральному сигналу.

Широкопasmовий сигнал завади «білий шум» має рівномірно розподілений енергетичний спектр у всьому робочому діапазоні, істотно перевищує рівні побічних випромінювань. Такі системи застосовуються для захисту ЕОМ, систем звукопідсилення і звукового супроводу, систем внутрішнього телебачення тощо.

Генератори шуму виконуються у вигляді окремого блоку з живленням від мережі або у вигляді окремої плати, що вставляється у вільний слот комп'ютера.

Системи лінійного зашумлення застосовуються для маскування наведених небезпечних сигналів в сторонніх провідниках і сполучних лініях ВТСС, що виходять за межі контрольованої зони.

У найпростішому випадку система лінійного зашумлення є генератором шумового сигналу, що формує шумову маскуючу напругу із заданими спектральними, часовими і енергетичними характеристиками, який гальванічно підключається в лінію, яку потрібно зашумляти (сторонній провідник). На практиці найбільш часто подібні системи використовуються для зашумлення ліній електроживлення (освітлювальної та розеточної мережі).

У системах лінійного зашумлення в основному використовуються завади типу «білого шуму» з рівномірно розподіленим енергетичним спектром у всьому робочому діапазоні частот.

Для аналізу радіотехнічних кіл та сигналів велику практичну цінність має специфічний випадковий процес, який теоретично має рівномірний спектр потужності по усій смузі частот:

$$W_x(\omega) = W_0, \quad -\infty < \omega < \infty. \quad (1.10)$$

Такий ідеалізований випадковий процес був названий білим шумом за аналогією з білим світлом, яке у видимій частині має практично рівномірний суцільний спектр.

Визначимо функцію кореляції білого шуму:

$$R_x(\tau) = \frac{W_0}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{j\omega\tau} d\omega = \frac{W_0}{2\pi} \delta(\tau). \quad (1.11)$$

Функція кореляції дорівнює нулю усюди, крім $t=0$, де вона нескінченна. Отож, миттєві значення напруги (чи потужності) білого шуму в будь-які два як завгодно близькі моменти часу некорельовані, і тому інтервал кореляції $\tau_k=0$. Тому білий шум часто називають дельта Т-корельованим.

Проведемо аналітичне тлумачення поняття «білого шуму». Якщо за рівністю Парсеваля визначити його дисперсію, то отримаємо значення $\sigma_x^2 = \infty$, що є абсурдним з фізичної точки зору. Цей результат є наслідком абстрактного уявлення про нескінченність протяжності спектра потужності по осі частот. Однак використання поняття «білого шуму» дуже зручне для аналізу характеристик випадкового процесу на виході радіотехнічних пристроїв, коли смуга пропускання радіотехнічного кола порівнянна з шириною спектра реального шуму.

При обробці в приймачі оптимальним фільтром ширина спектра білого шуму обмежується. Як наслідок шум на виході оптимального фільтра стає уже корельованим (рис. 1.12).

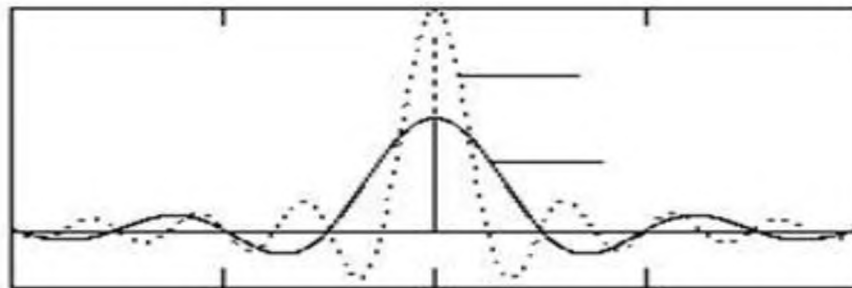


Рисунок 1.12 – Функції кореляції білого шуму

Середня потужність (дисперсія) білого шуму безмежно велика. Часова реалізація білого шуму має голчату структуру з нескінченно тонкими сплесками обох знаків. Зазвичай розглядають білий шум, якщо ширина частот завади перевищує смугу частот пропускання апаратури, а амплітуди частот приблизно сталі. До таких завад відносять флуктуаційні шуми, завади в багатоканальних системах зв'язку.

1.4 Існуючі підходи до забезпечення конфіденційності при передачі даних в волоконно-оптичних лініях зв'язку

Спроби несанкціонованого доступу до інформації, що передається по оптичному кабелю, виявити вкрай важко, оскільки сучасним вимірювальним пристроям достатньо витягти з волокна всього 1-5% переданої потужності для отримання потрібної зловмисникам інформації. Цьому сприяє також і те, що приймально-передавальне обладнання волоконно-оптичних систем передачі (ВОСП) має запас по потужності, що передається і систему автоматичного регулювання посилення в аналоговій частині станційного устаткування.

Для захисту інформації в ВОЛЗ зазвичай використовується конструкційні, механічні та електричні технічні засоби. Одні з видів засобів захисту цієї групи побудовані так, щоб утруднити механічне оброблення кабелю і завадити доступу до оптичного волокна (ОВ) [1]. Подібні засоби захисту широко використовуються і в традиційних провідних мережах спеціального зв'язку. Також перспективним видається використання пари поздовжніх силових елементів оптичного кабелю, які представляють собою дві сталеві дроти, розміщені симетрично в поліетиленовій оболонці, і використовуються для дистанційного живлення і контролю датчиків, встановлених в муфтах, і контролю несанкціонованого доступу (НД). Доцільно також застосування комплексу для захисту місця зварювання, який заповнює місце зварювання спеціальним гелем.

Одним із відомих підходів до захисту є використання багатошарового оптичного волокна зі спеціальною структурою відображаючих і захисних оболонок [29]. Конструкція такого волокна є багатошаровою структурою із одномодовою серцевиною. Підібране співвідношення коефіцієнтів заломлення шарів дозволяє передавати по кільцевому направляючому шару багатомодовий контрольний шумовий оптичний сигнал. Зв'язок між контрольним і інформаційним оптичними сигналами в нормальному стані відсутній. Кільцевий захист дозволяє також знизити рівень випромінювання

інформаційного оптичного сигналу через бокову поверхню оптичного волокна (за допомогою мод витоків, що виникають на вигинах волокна різних ділянок лінії зв'язку). Спроби проникнути до серцевини виявляються за зміною рівня контрольного (шумового) сигналу або по змішуванню його з інформаційним сигналом. Місце НД визначається з високою точністю за допомогою рефлектометра.

Більшість відомих технічних рішень по виявленню спроб несанкціонованого доступу і змін загасання в кабелі при впливі на нього механічних навантажень і іонізуючого випромінювання засновані на вимірюванні за допомогою рефлектометрів релеєвського розсіювання – розсіювання оптичного випромінювання на оптичних неоднорідностях уздовж оптичного волокна і мікроскопічних змінах щільності волокна [29-31].

Засновані на цих явищах методи вимірювання дозволяють визначити вже те, що сталася зміна загасання, поява відображення від неоднорідностей, що утворилися в результаті спроби відведення частини оптичної потужності, тобто це все виявлення факту, що вже стався.

Відомі підходи до оптичної рефлектометрії [29-31] поряд з незаперечними перевагами має й ряд недоліків, які в певних умовах можуть унеможливити їх використання. Наприклад, зондувальні сигнали рефлектометра можуть бути джерелами завад для інформаційного сигналу. При роботі рефлектометра на довжині хвилі, відмінної від довжини хвилі інформаційного сигналу, можливо невиявлення зовнішніх впливів при їх цілеспрямованому впливі тільки на довжині хвилі інформаційного сигналу. Відомі підходи до оптичної рефлектометрії не застосовують в розгалужених мережах і лініях зв'язку, що використовують односпрямовані оптичні підсилювачі. Крім того, рефлектометр є прецизійним дорогим приладом, який не призначений для постійного безперервного використання, що дуже важливо для відомих систем зв'язку, особливо таких, що розгортаються в надзвичайних умовах.

Методам і засобам захисту інформації в ВОЛЗ присвячені багато робіт, в тому числі в роботах [32-34] для захисту інформації контролюють величину неоднорідності поширення по кабелю електромагнітного випромінювання радіохвиль, який вводять в хвильовий канал з постійним по довжині хвильовим опором, що виконаний в вигляді електропровідної оболонки, яка охоплює принаймні один електронний провідник, розташований уздовж волокон. Про наявність несанкціонованого доступу до інформації, що передається по волокнах, судять по зміні величини неоднорідності поширення електромагнітного випромінювання радіохвиль. Система захисту містить комбінований кабель і фіксатор зміни параметрів поширення електромагнітного випромінювання радіочастотного діапазону, підключений до електронного провідника.

Так, в роботах [32-34] запропоновано та розглянуто підхід до застосування волоконно-оптичного рефлектометра для визначення каналів витoku інформації в волоконно-оптичних лініях зв'язку, як показано на рис. 1.13.

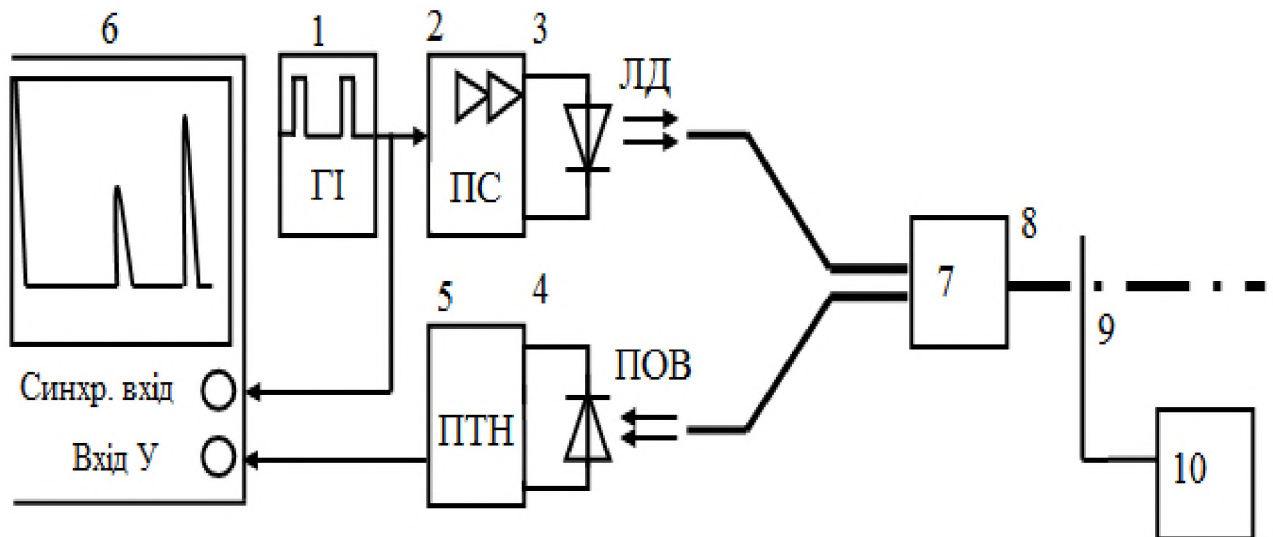


Рисунок 1.13 – Приклад застосування волоконно-оптичного рефлектометра для визначення каналів витoku інформації в волоконно-оптичних лініях зв'язку згідно відомого підходу [33]

На рис. 1.13 введено такі позначення:

- 1 – генератор імпульсів (ГІ);
- 2 – підсилювач струму (ПС);
- 3 – лазерний діод (ЛД);
- 4 – приймач оптичного випромінювання (ПОВ);
- 5 – перетворювач струму;
- 6 – осцилограф;
- 7 – Y-подібний розгалужувач;
- 8 – оптичний кабель;
- 9 – механічний, оптичний або спеціальний вплив на оптоволокно;
- 10 – пристрій для прослуховування.

В залежності від особливостей поширення світла в ВОЛЗ розрізняють три типи формування каналів витоку інформації:

1. Використовують порушення повного внутрішнього відображення.
2. Використовують реєстрацію розсіяного випромінювання.
3. Використовують параметричні методи реєстрації випромінювання, що проходить.

У першому випадку для вимірювання високих рівнів відображення необхідно підключати рефлектометр до лінії за допомогою атенюатора, який дозволяє зменшити рівень сигналу з тим, щоб відбитий сигнал не впливав на точність вимірювань.

У випадках, що використовують реєстрацію розсіяного випромінювання для контролю величини потужності сигналу зворотного розсіювання в ОВ використовується метод імпульсного зондування, який застосовується в усіх зразках рефлектометрів (рис. 1.11).

Пристрій, зображений на рис. 1.11 працює наступним чином. У досліджуваній ОВ вводиться через ЛД потужний короткий імпульс, який виробляє ГІ і підсилює ПС. Потім на цьому ж кінці реєструється випромінювання, розсіяне в зворотному напрямку на різних неоднорідностях. За інтенсивністю цього випромінювання можна судити про втрати в ОВ,

розподілених по його довжині на відстані до 100-120 км. Початкові рефлектограми контрольованої лінії фіксуються при різних динамічних параметрах зонduючого сигналу в осцилографі і пам'яті комп'ютера і порівнюються з відповідними поточними рефлектограмами. Локальне відхилення рефлектограм більш ніж на 0,1 дБ свідчить про ймовірність спроби несанкціонованого доступу до ОВ в даній точці тракту.

Основними недоліками волоконно-оптичного рефлектометра з аналізом відбитого сигналу на основі методу імпульсної рефлектометрії, побудованого згідно відомого підходу [33] є:

1. Значне зниження динамічного діапазону рефлектометрів і зменшення контрольованої ділянки ВОЛЗ при високій роздільній здатності сигналу по довжині оптичного тракту (що має важливе значення для виявлення локальних неоднорідностей при фіксації НД).

2. Утруднене проведення контролю оптичного тракту під час передачі інформації, яка містить потужні імпульси, що знижує можливості волоконно-оптичного рефлектометра, або ускладнює і здорожує систему діагностики.

3. Обмежений ресурс джерел потужних зонduючих імпульсів недостатній для тривалого безперервного контролю ВОЛЗ.

4. Значне подорожчання вартості волоконно-оптичного рефлектометра через використання спеціалізованих джерел зонduючого оптичного випромінювання, широкосмугової і швидкодіючої апаратури приймального блоку рефлектометрів.

Ефективність систем захисту визначається як відкриттям нових, так і вдосконаленням технологій волоконно-оптичного рефлектометра, що використовують вже відомі фізичні явища.

З плином часу можуть з'явитися нові методи перехоплення. Виникне необхідність доповнювати захист. Це не може бути застосовано для криптографічних методів захисту, які розраховуються на досить тривалий термін.

Слід також зауважити, що відомі підходи [32-34] мають загальний недолік вони не вирішують задачі третього типу формування каналів витоку інформації, які виникають при використанні параметричних методів реєстрації випромінювання, що проходить.

1.5 Висновок. Постановка задачі

В розділі проаналізовано особливості волоконно-оптичних ліній зв'язку, а також перехоплення інформації в них. Встановлено, що волоконно-оптичні лінії з точки зору надійності та захищеності посідають провідне місце серед безпечних мереж передачі інформації. При цьому одним з актуальних методів запобігання витоку інформації в волоконно-оптичних лініях зв'язку є активні методи захисту, до яких відносять зашумлення.

В розділі проаналізовано існуючі підходи до забезпечення конфіденційності при передачі даних в волоконно-оптичних лініях зв'язку. Встановлено, що недоліки відомих підходів до оптичної рефлектометрії [29-31], у тому числі підходу до використання багат шарового оптичного волокна зі спеціальною структурою відображаючих і захисних оболонок є такі, що в певних умовах можуть унеможливити їх використання:

- зондувальні сигнали рефлектометра можуть бути джерелами завад для інформаційного сигналу;
- при роботі рефлектометра на довжині хвилі, відмінної від довжини хвилі інформаційного сигналу, можливо невиявлення зовнішніх впливів при їх цілеспрямованому впливі тільки на довжині хвилі інформаційного сигналу;
- підходи не застосовують в розгалужених мережах і лініях зв'язку, що використовують односпрямовані оптичні підсилювачі;
- рефлектометр є прецизійним дорогим приладом, який не призначений для постійного безперервного використання, що дуже важливо для відомих систем зв'язку, особливо таких, що розгортаються в надзвичайних умовах.

Встановлено, що недоліками відомого підходу та волоконно-оптичного рефлектометра з аналізом відбитого сигналу на основі методу імпульсної рефлектометрії [33] є наступні:

- значне зниження динамічного діапазону рефлектометрів і зменшення контрольованої ділянки ВОЛЗ при високій роздільній здатності сигналу по довжині оптичного тракту (що має важливе значення для виявлення локальних неоднорідностей при фіксації несанкціонованого доступу);

- утруднене проведення контролю оптичного тракту під час передачі інформації, яка містить потужні імпульси, що знижує можливості волоконно-оптичного рефлектометра, або ускладнює і здорожує систему діагностики;

- обмежений ресурс джерел потужних зондуючих імпульсів недостатній для тривалого безперервного контролю ВОЛЗ;

- значне подорожчання вартості волоконно-оптичного рефлектометра через використання спеціалізованих джерел зондуючого оптичного випромінювання, широкосмугової і швидкодіючої апаратури приймального блоку рефлектометрів.

Таким чином, для усунення недоліків існуючих підходів необхідно:

- запропонувати підхід до захисту інформації від несанкціонованого доступу в волоконно-оптичних лініях зв'язку на основі оптичного зашумлення;
- оцінити ефективність запропонованого підходу.

2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Підхід до захисту інформації від несанкціонованого доступу в волоконно-оптичних лініях зв'язку на основі оптичного зашумлення

Запропонований підхід до захисту інформації від несанкціонованого доступу в волоконно-оптичних лініях зв'язку на основі оптичного зашумлення може бути використаний в волоконно-оптичних системах передачі конфіденційної інформації.

На рис 2.1 показана схема пристрою, що реалізує запропонований підхід до захисту інформації від несанкціонованого доступу в волоконно-оптичних лініях зв'язку на основі оптичного зашумлення.

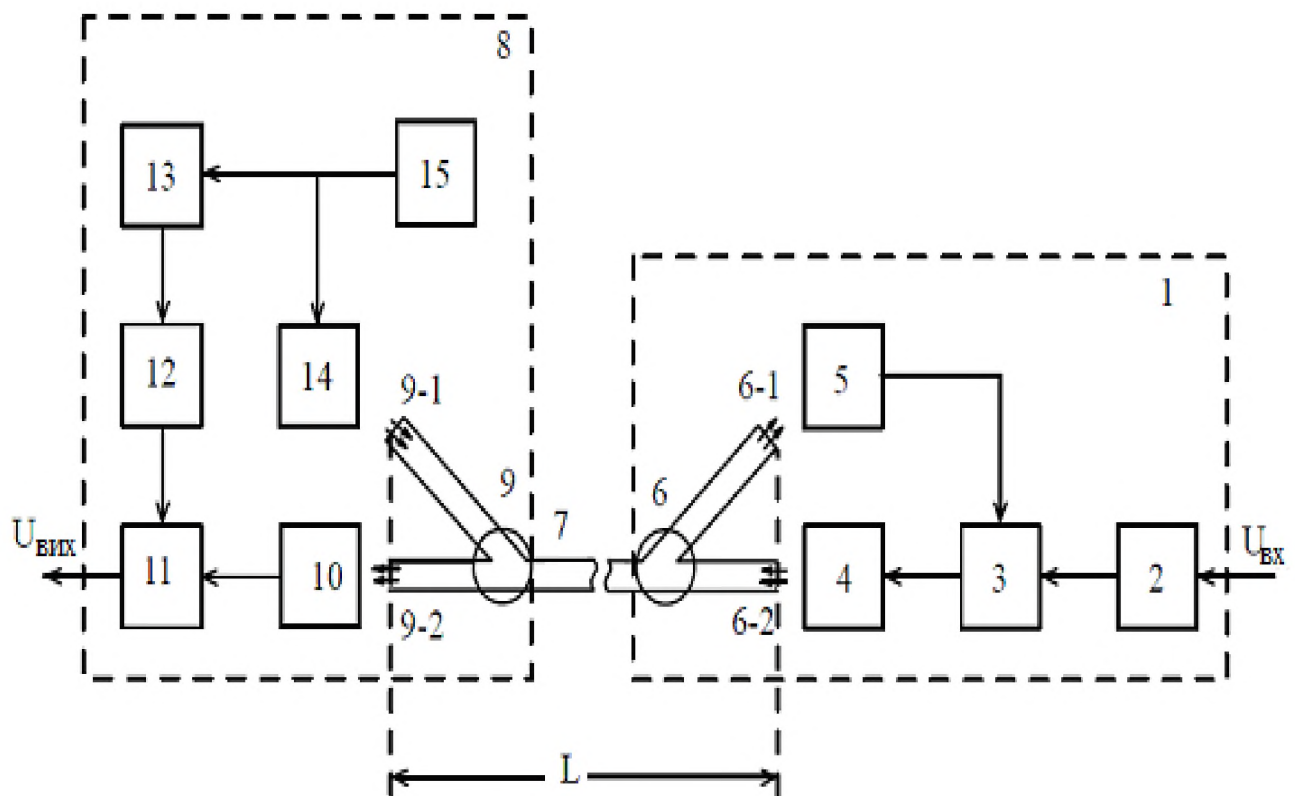


Рисунок 2.1 – Схема пристрою, що реалізує запропонований підхід до захисту інформації від несанкціонованого доступу в волоконно-оптичних лініях зв'язку на основі оптичного зашумлення

На рис. 2.1 введено такі позначення:

- 1 – передавач;
- 2 – формувач інформаційного сигналу;
- 3 – змішувач;
- 4 – джерело переданого оптичного випромінювання;
- 5 – фотодетектор шумового сигналу;
- 6 – спрямований відгалужувач з входами 6-2 і виходом 6-1;
- 7 – волоконно-оптична лінія зв'язку;
- 8 – приймач;
- 9 – направлений відгалужувач з входами 9-1 і виходом 9-2;
- 10 – фотодетектор сумарного сигналу;
- 11 – змішувач;
- 12 – лінії затримки;
- 13 – формувач інверсного шумового сигналу;
- 14 – джерело шумового оптичного випромінювання;
- 15 – генератор шумового сигналу.

Пристрій, що реалізовує запропонований підхід до захисту інформації від несанкціонованого доступу в волоконно-оптичних лініях зв'язку на основі оптичного зашумлення, містить: на передавальній стороні формувач інформаційного сигналу, змішувач, джерело переданого оптичного випромінювання, фотодетектор шумового сигналу, спрямований відгалужувач, волоконно-оптичної лінії зв'язку. На приймальній стороні пристрій містить направлений відгалужувач, фотодетектор сумарного сигналу, змішувач, лінії затримки, формувач інверсного шумового сигналу, джерело шумового оптичного випромінювання і генератор шумового сигналу.

При здійсненні запропонованого підходу до захисту інформаційного сигналу від несанкціонованого доступу в волоконно-оптичній лінії зв'язку виконують наступні операції.

1. На приймальній стороні 8 волоконно-оптичної лінії 7 зв'язку:
 - формують за допомогою генератора 15 шумовий сигнал;

- формують за допомогою інвертора 13 інверсний шумовий сигнал;
- за допомогою лінії затримки 12 виробляють затримки інверсного шумового сигналу на час $t_{\text{зад}}=2L/v$;
- модулюють шумовим сигналом передане шумове оптичне випромінювання в джерелі 14 оптичного випромінювання;
- вводять через вхід 9-1 спрямованого відгалужувачі 9, в волоконно-оптичну лінію 7 зв'язку передаване шумове оптичне випромінювання.

2. На передавальній стороні 1 волоконно-оптичної лінії 7 зв'язку:

- формують за допомогою формувача 2 передаваний інформаційний сигнал;
- виводять через вихід 6-1 спрямованого відгалужувачі 6, з волоконно-оптичної лінії 7 зв'язку прийнятого шумового оптичного випромінювання;
- з прийнятого шумового оптичного випромінювання за допомогою фотодетектора 5 формують шумовий сигнал;
- формують сумарний сигнал шляхом змішування за допомогою змішувача 3 інформаційного та шумового сигналу;
- модулюють сумарним сигналом передаване оптичне випромінювання в джерелі 4 переданого оптичного випромінювання;
- вводять через вхід 6-2 спрямованого відгалужувачі 6, в волоконно-оптичну лінію 7 зв'язку передаване оптичне випромінювання.

3 На приймальній стороні 8 волоконно-оптичної лінії 7 зв'язку:

- виводять через вихід 9-2 спрямованого відгалужувача 9 з волоконно-оптичної лінії 7 зв'язку прийняте оптичне випромінювання;
- з прийнятого оптичного випромінювання за допомогою фотодетектора 10 формують сумарний сигнал;
- змішувачем 11 шляхом зсуву з сумарним сигналом затриманого інверсного шумового сигналу виділяють інформаційний сигнал.

При використанні запропонованого підходу до захисту інформаційного сигналу від несанкціонованого доступу в волоконно-оптичній лінії зв'язку, в якому до формування сумарного сигналу на приймальній стороні формується

шумовий сигнал, який передається до передавальної сторони волоконно-оптичної лінії зв'язку для змішування до інформаційного сигналу.

На приймальній стороні в процесі зміщення з сумарним сигналом затриманого інверсного шумового сигналу відбувається повний фазовий збіг шумового і його інверсного сигналу. В результаті цього шумовий сигнал повністю компенсується, виділяється інформаційний сигнал і забезпечується захист інформації в волоконно-оптичній лінії зв'язку від несанкціонованого доступу.

Отже, запропонований підхід до захисту інформаційного сигналу від несанкціонованого доступу в волоконно-оптичній лінії зв'язку полягає в тому, що на передавальній стороні ВОЛЗ формують інформаційний сигнал, формують сумарний сигнал шляхом змішування шумового і інформаційного сигналу, формують шляхом модуляції сумарним сигналом оптичне випромінювання, що підлягає передачі, і вводять в ВОЛЗ.

На приймальній стороні ВОЛЗ виводять з неї прийняте оптичне випромінювання, з прийнятого оптичного випромінювання формують сумарний сигнал з якого виділяють інформаційний сигнал, який відрізняється тим, що до формування сумарного сигналу на приймальній стороні формують початковий і інверсний шумовий сигнал, модулюють початковим шумовим сигналом оптичного випромінювання і вводять в волоконно-оптичну лінію зв'язку.

На передавальній стороні ВОЛЗ виводять з неї прийняте оптичне випромінювання, з прийнятого оптичного випромінювання формують шумовий сигнал який підлягає до зміщенню інформаційного сигналу, а виділення інформаційного сигналу на приймальній стороні виробляють шляхом змішування затриманого інверсного шумового сигналу до сумарних сигналів, причому час затримки інверсного шумового сигналу визначається виразом $t_{\text{зад}}=2L/v$, де: L – довжина оптичного волокна; v – швидкість оптичного випромінювання в оптичному волокні.

2.2 Оцінка ефективності запропонованого підходу до захисту інформації від несанкціонованого доступу в волоконно-оптичних лініях зв'язку на основі оптичного зашумлення

Оцінка ефективності запропонованого підходу до захисту інформації від несанкціонованого доступу в волоконно-оптичних лініях зв'язку на основі оптичного зашумлення проводилась в середовищі Matlab / Simulink за допомогою стандартних і розроблених програм шляхом дослідження інформаційних і шумових сигналів в оптичному волокні [35-42]. Структура розробленої імітаційної моделі для оцінки ефективності запропонованого підходу у середовищі Simulink представлена на рис. 2.2.

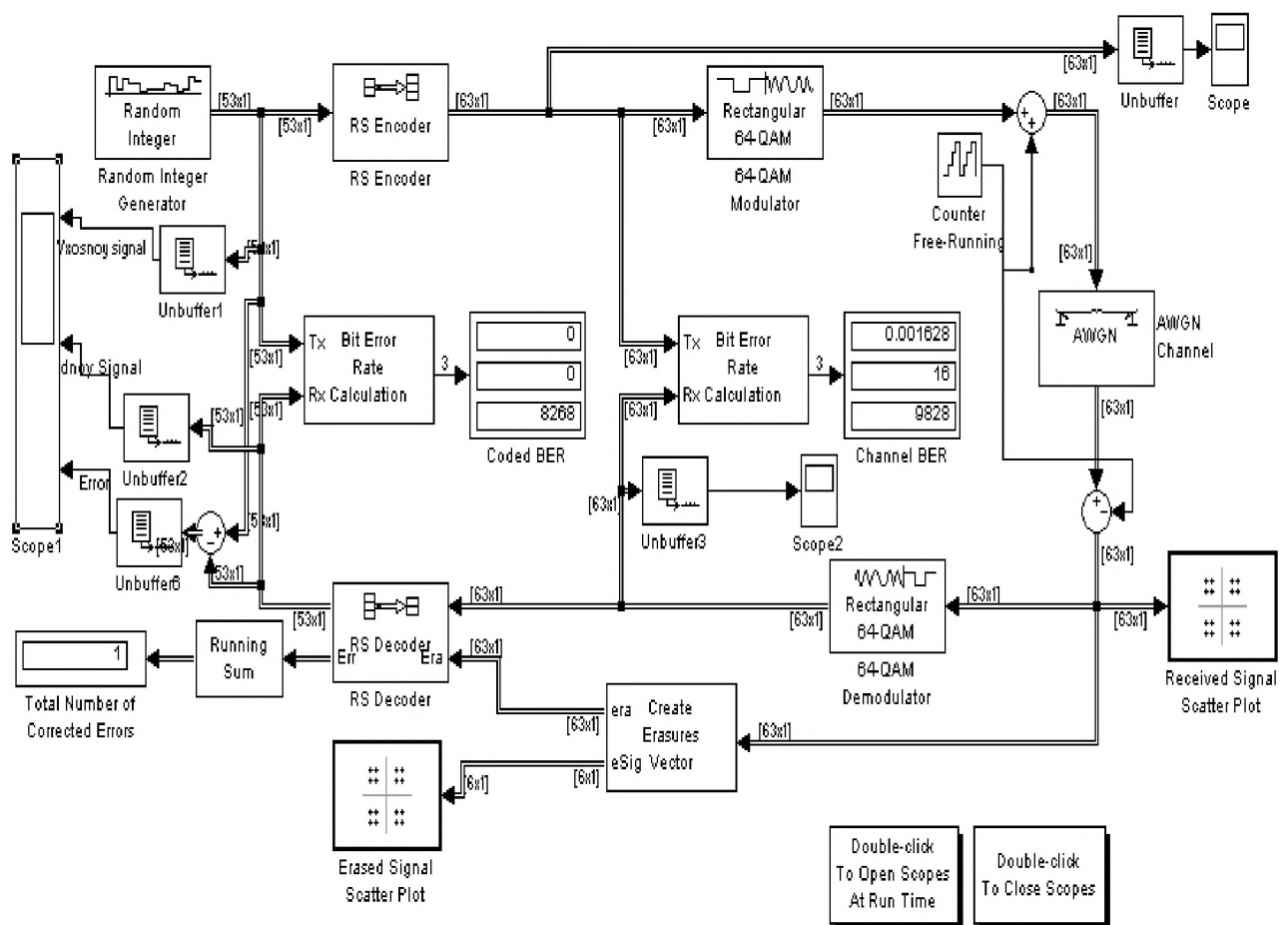


Рисунок 2.2 – Імітаційна модель у середовищі Matlab / Simulink для оцінки ефективності запропонованого підходу

Імітаційна модель (див. рис. 2.2) складається з наступних основних елементів:

1. Джерело даних, генератор випадкових цілих чисел – Random-Integer (Communications Blockset / Random Data Sources), що виробляє числа в інтервалі від 0 до N-1. Вихід генератора потрібно зробити у вигляді кадру з K чисел.

2. Кодер Ріда-Соломона – RS encoder (Communications Blockset / Block), який за повідомленням K формує передавальний код з N символів.

3. Декодер Ріда-Соломона – RS decoder (Communications Blockset / Block), що має два виходи. На верхньому виході з прийнятого коду R формується декодоване повідомлення, на нижній вихід виводиться кратність виправлених помилок.

4. Суматор Sum (Simulink / Math Operation), у якому здійснюється змішування шумового і інформаційного сигналу і виділення інформаційного сигналу.

5. Блоки Unbuffer (Signal Processing Blockset / Buffers), які перетворюють кадри в лінійні послідовності, що направляються до віртуального двухвходового осцилографу Scope, що відображає сигнали, згенеровані в процесі моделювання.

6. Осцилограф Scope (Simulink / Sinks) дозволяє в загальному масштабі часу спостерігати сигнали від блоків Buffer.

Передача інформаційних і шумових імпульсних сигналів в оптичному волокні може бути здійснена двома режимами – асинхронному і синхронному. Крім того, передача інформаційного і шумового сигналу через оптичне волокно може бути односпрямованою і двоспрямованою. При односпрямованій передачі інформаційний і шумовий оптичні сигнали вводяться через один і той же кінець оптичного волокна, в якому обидва сигнали мають однаковий напрямок поширення в оптичному волокні, як показано на рис. 2.3.

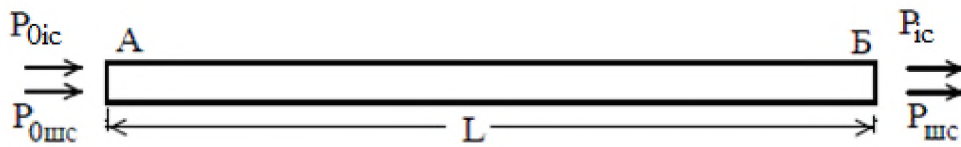


Рисунок 2.3 – Односпрямований режим роботи інформаційного та шумового сигналу в оптичному волокні

При двоспрямованій передачі інформаційний і шумовий оптичні сигнали вводяться з протилежних кінців оптичного волокна, в якому сигнали мають протилежний напрям поширення в оптичному волокні, як показано на рис 2.4.

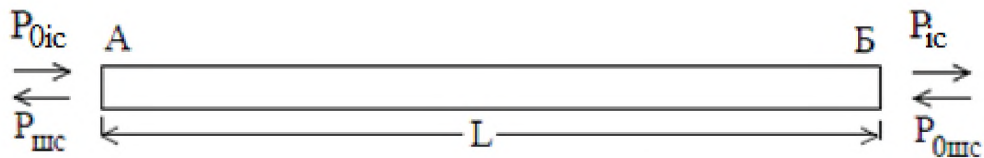
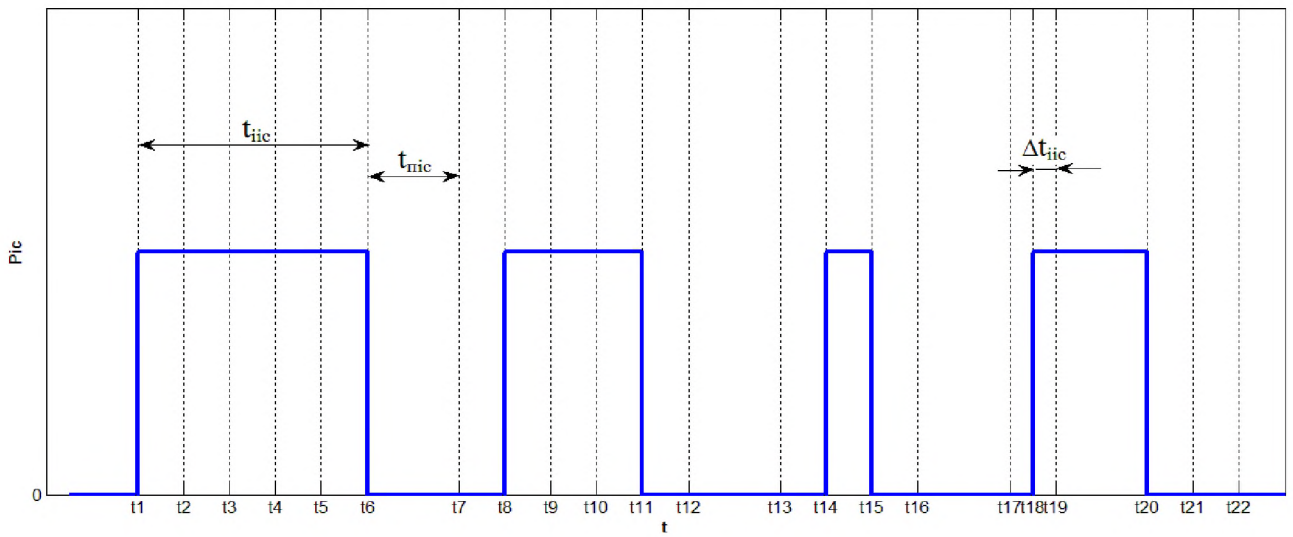


Рисунок 2.4 – Двоспрямований режим роботи інформаційного та шумового сигналу в оптичному волокні

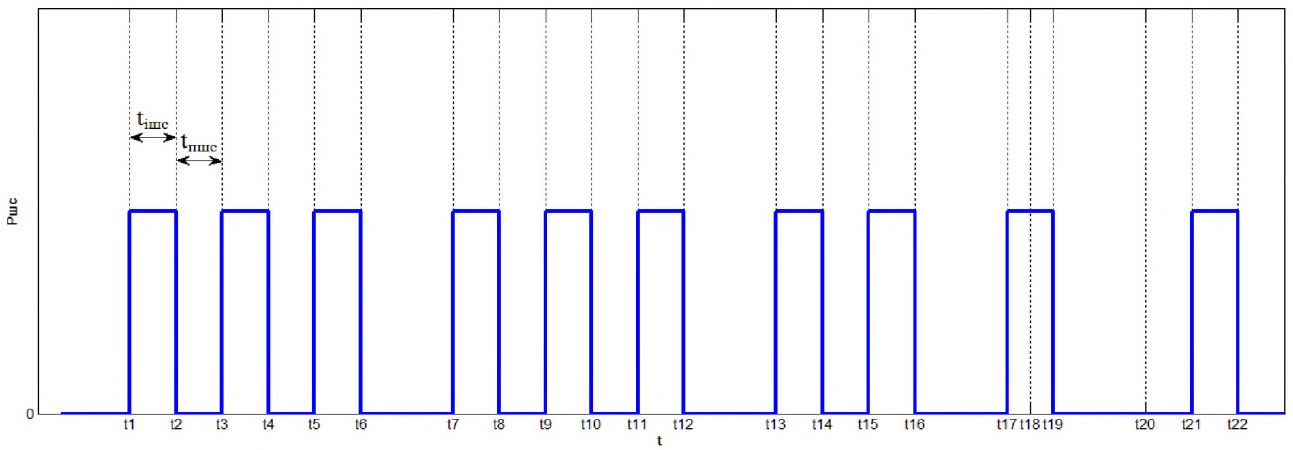
При односпрямованому асинхронному режимі передачі в оптичному волокні інформаційний і шумовий оптичні сигнали між собою не синхронізовані. Тому розташування по часу імпульсів інформаційного та шумового сигналів відносно один одного є змінним, і змінюється випадковим чином.

На рис. 2.5 представлені часові діаграми поширення інформаційного та шумового оптичних імпульсів в оптичному волокні при асинхронному режимі отримані в результаті основних випадків моделювання запропонованого підходу.

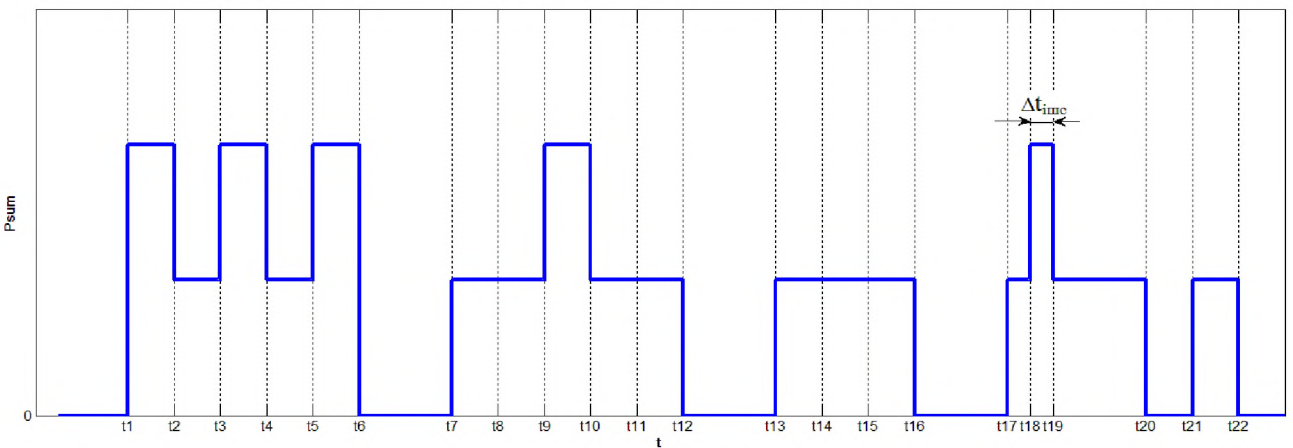
При моделюванні запропонованого підходу було розглянуто наступні основні випадки:



а



б



в

Рисунок 2.5 – Часові діаграми поширення інформаційного та шумового оптичних імпульсів в оптичному волокні при асинхронному режимі: а – оптична потужність інформаційного сигналу; б – шумового сигналу; в – сумарна потужність оптичних випромінювань на виході оптичного волокна

1. Випадок коли тривалість імпульсу інформаційного сигналу набагато більше у порівнянні з тривалістю імпульсу шумового сигналу тобто $t_{ic} \gg t_{шс}$ причому передній фронт першого імпульсу шумового сигналу відповідає передньому фронту імпульсу інформаційного сигналу, а задній фронт останнього імпульсу шумового сигналу відповідає задньому фронту імпульсу інформаційного сигналу (рис.5 – проміжок часу t_1-t_6).

При цьому в проміжку часу t_1-t_2 , t_3-t_4 , t_5-t_6 , де тривалість імпульсу шумового сигналу лежить в межах тривалості імпульсу інформаційного сигналу, інтенсивність випромінювань інформаційного та шумового сигналів в оптичному волокні підсумовується по амплітуді. Тому сумарна потужність потоків випромінювань на вході оптичного волокна в проміжку часу t_1-t_2 , t_3-t_4 , t_5-t_6 , визначається як:

$$P_{0\Sigma} = P_{0ic} + P_{0шс}, \quad (2.1)$$

де P_{0ic} – оптична потужність інформаційного сигналу на вході оптичного волокна; $P_{0шс}$ – оптична потужність шумового сигналу на вході оптичного волокна.

Тоді сумарна потужність оптичних випромінювань на виході оптичного волокна:

$$P_{\Sigma} = P_{ic} + P_{шс}, \quad (2.2)$$

де P_{ic} – оптична потужність інформаційного сигналу на виході оптичного волокна; $P_{шс}$ – оптична потужність шумового сигналу на виході оптичного волокна.

Потужність оптичних випромінювань на виході оптичного волокна для кожних складових в виразі (2.2) відповідно до закону Бугера-Бера визначається як:

$$P_{ic} = P_{0ic} \cdot e^{-\alpha L}, \quad (2.3)$$

$$P_{шс} = P_{0шс} \cdot e^{-\alpha L}, \quad (2.4)$$

де α – коефіцієнт загасання оптичного волокна; L – довжина оптичного волокна.

Тоді сумарна потужність оптичних випромінювань на виході оптичного волокна визначається як:

$$P_{\Sigma} = P_{0ic} \cdot e^{-\alpha L} + P_{0шс} \cdot e^{-\alpha L}. \quad (2.5)$$

Якщо інтенсивності оптичних випромінювань інформаційного та шумового сигналів на виході оптичного волокна однакові ($P_{ic} = P_{шс}$), то вираз (2.2) має вигляд:

$$P_{\Sigma} = 2P_{ic} = 2P_{шс} \quad (2.6)$$

або

$$P_{\Sigma} = 2P_{0ic} \cdot e^{-\alpha L} = 2P_{0шс} \cdot e^{-\alpha L}. \quad (2.7)$$

Треба відзначити, що через $t_{ic} \gg t_{шс}$ в проміжках часу t_2-t_3 , t_4-t_5 , де відсутній імпульс шумового сигналу, через оптичне волокно поширюється тільки оптичне випромінювання інформаційного сигналу. Тоді потужність оптичного випромінювання на виході оптичного волокна

$$P_{\Sigma} = P_{ic}, \quad (2.8)$$

або

$$P_{\Sigma} = P_{0ic} \cdot e^{-\alpha L}. \quad (2.9)$$

Таким чином в межах де повністю відповідають за часом тривалості імпульсів інформаційного та шумового сигналів (в проміжках часу t_1-t_2 , t_3-t_4 , t_5-t_6), через оптичне волокно поширюється оптичний сигнал з подвоєною потужністю, а в межах де відсутній імпульс шумового сигналу (в проміжках часу t_2-t_3 , t_4-t_5) через оптичне волокно поширюється оптичне випромінювання з потужністю рівною потужності оптичного випромінювання інформаційного сигналу. Форма сумарного оптичного сигналу в оптичному волокні показана на рис. 2.5 (проміжок часу t_1-t_6).

2. Випадок коли тривалість імпульсу інформаційного сигналу набагато більше у порівнянні з тривалістю імпульсу шумового сигналу тобто $t_{ic} \gg t_{шс}$ і передній фронт імпульсу інформаційного сигналу відповідає задньому фронту одного з імпульсів шумового сигналу, а задній фронт – відповідає передньому фронту одного з наступних імпульсів шумового сигналу.

При цьому тривалість імпульсу шумового сигналу лежить в межах тривалості імпульсу інформаційного сигналу, інтенсивність оптичних випромінювань підсумовується по амплітуді, а сумарна потужність оптичного випромінювання на виході оптичного волокна може бути визначена за допомогою формули (2.5).

Коли тривалість імпульсу шумового сигналу лежить за межами тривалості імпульсу інформаційного сигналу, передній фронт імпульсу інформаційного сигналу відповідає задньому фронту одного з імпульсів шумового сигналу, а задній фронт – відповідає передньому фронту одного з наступних імпульсів шумового сигналу, оптичні імпульси в волокні підсумовуються не за амплітудою, а за часом тобто

$$t_{\Sigma} = t_{ic} + t_{шс}. \quad (2.10)$$

Таким чином в цьому випадку сумарний оптичний сигнал в оптичному волокні має вигляд показаний на рис 2.5 (проміжок часу t_7-t_{12}).

3. Випадок коли тривалість імпульсу інформаційного сигналу дорівнює тривалості паузи імпульсу шумового сигналу тобто $t_{ic} = t_{шс}$ і тривалість імпульсу інформаційного сигналу відповідає за часом тривалості паузи імпульсу шумового сигналу.

У цьому випадку тривалість імпульсу інформаційного сигналу відповідає по фазі з тривалістю паузи імпульсу шумового сигналу. Тому в оптичному волокні сигнали підсумовуються тільки за часом в результаті якого тривалість сумарного оптичного сигналу розширюється. Максимально можлива тривалість сумарного оптичного імпульсного сигналу в оптичному волокні може бути визначена як:

$$t_{\Sigma} = t_{ic} + 2t_{шс} \quad (2.11)$$

або

$$t_{\Sigma} = t_{шс} + 2t_{шс}. \quad (2.12)$$

Таким чином у цьому випадку в оптичному волокні поширюються оптичні імпульси інформаційного та шумового сигналів з однаковими потужностями і з розширеною тривалістю сумарного оптичного імпульсу.

4. Випадок коли тривалість імпульсу інформаційного сигналу набагато більше у порівнянні з тривалістю імпульсу шумового сигналу тобто $t_{iic} \gg t_{iinc}$ і частина тривалості імпульсу шумового сигналу збігається за часом з деякою частиною тривалості імпульсу інформаційного сигналу (див. рис 2.5. проміжок часу $t_{17}-t_{19}$).

При цьому імпульсні сигнали частково збігаються за тривалістю (проміжок часу $t_{18}-t_{19}$) і підсумовуються по амплітуді, а потужність сумарного оптичного випромінювання на виході оптичного волокна може бути визначена за допомогою формули (2.5).

Імпульсні сигнали, які не співпадають за тривалістю (проміжок часу $t_{17}-t_{18}$) підсумовуються за часом. При цьому сумарна тривалість оптичного імпульсного сигналу в оптичному волокні визначається наступним виразом:

$$t_{\Sigma} = t_{iic} + t_{iinc} - \Delta t_{iic} \quad (2.13)$$

або

$$t_{\Sigma} = t_{iic} + t_{iinc} - \Delta t_{iinc}, \quad (2.14)$$

де Δt_{iic} – проміжок часу, в якому частина тривалості імпульсу інформаційного сигналу збігається за часом з деякою частиною тривалості імпульсу шумового сигналу; Δt_{iinc} – проміжок часу в якому частина тривалості імпульсу шумового сигналу збігається за часом з деякою частиною тривалості імпульсу інформаційного сигналу.

Треба відзначити, що через асинхронний режим поширення інформаційного та шумового сигналів в оптичному волокні, відносне положення імпульсів інформаційного та шумового сигналів за часом змінюється випадковим чином, що призводить до випадкової зміни значення проміжків часу Δt_{iic} і Δt_{iinc} . Таким чином виходить, що $\Delta t_{iic} = \text{var}$ і $\Delta t_{iinc} = \text{var}$.

Таким чином, дослідження поширення інформаційних і шумових оптичних імпульсів в оптичному волокні показали, що використання шумових оптичних сигналів для захисту інформації згідно запропонованого підходу не знижує якості прийнятої інформації в волоконно-оптичних лініях зв'язку.

2.3 Висновки

Запропонований підхід до захисту інформації від несанкціонованого доступу в волоконно-оптичних лініях зв'язку на основі оптичного зашумлення може бути використаний в волоконно-оптичних системах передачі конфіденційної інформації. Метою розробки підходу є забезпечення конфіденційності при передачі даних в волоконно-оптичній лінії зв'язку з використанням оптичного зашумлення.

Запропонований підхід до захисту інформації від несанкціонованого доступу в волоконно-оптичних лініях зв'язку на основі оптичного зашумлення полягає в тому, що на передавальній стороні ВОЛЗ формують інформаційний сигнал, формують сумарний сигнал шляхом змішування шумового і інформаційного сигналу, формують шляхом модуляції сумарним сигналом оптичне випромінювання, що підлягає передачі, і вводять в ВОЛЗ. На приймальній стороні ВОЛЗ виводять з неї прийняте оптичне випромінювання, з прийнятого оптичного випромінювання формують сумарний сигнал з якого виділяють інформаційний сигнал, який відрізняється тим, що до формування сумарного сигналу на приймальній стороні формують початковий і інверсний шумовий сигнал, модулюють початковим шумовим сигналом оптичного випромінювання і вводять в волоконно-оптичну лінію зв'язку. На передавальній стороні ВОЛЗ виводять з неї прийняте оптичне випромінювання, з прийнятого оптичного випромінювання формують шумовий сигнал який підлягає до зміщенню інформаційного сигналу, а виділення інформаційного сигналу на приймальній стороні виробляють шляхом змішування затриманого інверсного шумового сигналу до сумарних сигналів, причому час затримки інверсного шумового сигналу визначається виразом $t_{\text{зад}}=2L/v$, де: L – довжина оптичного волокна; v – швидкість оптичного випромінювання в оптичному волокні.

Оцінка ефективності запропонованого підходу до захисту інформації від несанкціонованого доступу в волоконно-оптичних лініях зв'язку на основі

оптичного зашумлення була проведена шляхом моделювання в середовищі Matlab / Simulink.

В результаті дослідження поширення інформаційних і шумових оптичних імпульсів в оптичному волокні було встановлено, що використання шумових оптичних сигналів для захисту інформації згідно запропонованого підходу не знижує якості прийнятої інформації в волоконно-оптичних лініях зв'язку.

3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Метою даного розділу є обґрунтування економічної доцільності забезпечення конфіденційності при передачі даних в волоконно-оптичній лінії зв'язку з використанням активних методів захисту. Для цього необхідно здійснити визначення капітальних витрат на придбання і налагодження складових системи інформаційної безпеки або витрат, що пов'язані з виготовленням апаратури, приладів, програмного забезпечення; річних експлуатаційних витрат на утримання і обслуговування об'єкта проектування; річного економічного ефекту від впровадження запропонованих заходів; показників економічної ефективності впровадження системи захисту на підприємстві.

3.1 Розрахунок (фіксованих) капітальних витрат

Капітальні інвестиції – це кошти, призначені для створення і придбання основних фондів і нематеріальних активів, що підлягають амортизації.

Витрати на впровадження системи захисту інформації на підприємстві визначаються, виходячи з трудомісткості кожної операції, та належать до капітальних витрат.

Визначення трудомісткості розробки підходу із забезпечення конфіденційності при передачі даних в волоконно-оптичній лінії зв'язку з використанням активних методів захисту

Трудомісткість забезпечення конфіденційності при передачі даних в волоконно-оптичній лінії зв'язку з використанням активних методів захисту визначається тривалістю кожної робочої операції, до яких належать наступні:

де $t_{тз}$ – тривалість складання технічного завдання на розробку підходу із забезпечення конфіденційності при передачі даних в волоконно-оптичній лінії зв'язку з використанням активних методів захисту, $t_{тз}=20$;

t_e – тривалість аналізу існуючих інформаційних потоків організації, вивчення ТЗ, літературних джерел за темою тощо, $t_e=30$;

t_a – тривалість аналізу існуючих загроз безпеки інформації, $t_a=36$;

t_p – тривалість розробки підходу із забезпечення конфіденційності при передачі даних в волоконно-оптичній лінії зв'язку з використанням активних методів захисту, $t_m=40$;

t_a – тривалість апробації підходу щодо забезпечення конфіденційності при передачі даних в волоконно-оптичній лінії зв'язку з використанням активних методів захисту, $t_m=18$;

t_d – тривалість підготовки технічної документації, $t_d=11$.

Отже,

$$t = t_{ТЗ} + t_{В} + t_{а} + t_{р} + t_{р} + t_{д} = 20 + 30 + 36 + 40 + 18 + 11 = 155 \text{ годин.}$$

Витрати на розробку системи захисту інформації на підприємстві K_{pn} складаються з витрат на заробітну плату спеціаліста з інформаційної безпеки Z_{zn} і вартості витрат машинного часу, що необхідний для розробки політики безпеки інформації $Z_{мч}$.

$$K_{pn} = Z_{zn} + Z_{мч} .$$

$$K_{pn} = Z_{zn} + Z_{мч} = 24180 + 1195,05 = 25375,05 \text{ грн.}$$

$$Z_{zn} = t * Z_{гр} = 155 * 156 = 24180 \text{ грн.}$$

де t – загальна тривалість розробки політики безпеки, годин;

$Z_{іб}$ – середньогодинна заробітна плата спеціаліста з інформаційної безпеки з нарахуваннями, грн./годину.

Вартість машинного часу для розробки політики безпеки інформації на ПК визначається за формулою:

$$Z_{мч} = t * C_{мч} = 155 * 7,71 = 1195,05 \text{ грн.}$$

де t_d – трудомісткість підготовки документації на ПК, годин;

$C_{мч}$ – вартість 1 години машинного часу ПК, грн./година.

Вартість 1 години машинного часу ПК визначається за формулою:

$$C_{мч} = 1,15 \cdot 3 \cdot 1,68 + \frac{6600 \cdot 0,3}{1920} + \frac{8500 \cdot 0,2}{1920} = 7,71 \text{ грн.}$$

Відповідно до запропонованого підходу щодо забезпечення конфіденційності при передачі даних в волоконно-оптичній лінії зв'язку з використанням активних методів захисту планується використання наступного апаратного забезпечення, яке представлено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Вартість апаратного забезпечення для забезпечення конфіденційності при передачі даних в ВОЛЗ з використанням активних методів захисту

№ п/п	Вид програмно-апаратного забезпечення	Кількість, од.	Ціна, грн.	Вартість, грн.
1	Формувач інформаційного сигналу	1	15300,00	15300,00
2	Змішувач	1	360,00	360,00
3	Джерело переданого оптичного випромінювання	1	5 930,09	5 930,09
4	Фотодетектор шумового сигналу	1	893,00	893,00
5	Спрямований відгалужувач	1	980,00	980,00
6	Оптоволоконний кабель, м	1200	6	7200,00
	Разом:			30663,00

Оцінка ефективності запропонованого підходу до захисту інформації від несанкціонованого доступу в волоконно-оптичних лініях зв'язку на основі оптичного зашумлення проводилась в середовищі Matlab / Simulink. Це програмне забезпечення вже є в наявності, тому в цьому випадку капітальні витрати не виникають.

Витрати на встановлення обладнання та налагодження системи інформаційної безпеки становитимуть 12000 грн.

Таким чином, капітальні (фіксовані) витрати на розробку засобів підвищення рівня інформаційної безпеки складуть:

$$K = K_{\text{рп}} + K_{\text{зпз}} + K_{\text{пз}} + K_{\text{аз}} + K_{\text{навч}} + K_{\text{н}} = \\ = 25375,05 + 30663,00 + 12000 = 68038,05 \text{ грн.}$$

де $K_{\text{рп}}$ – вартість розробки політики інформаційної безпеки та залучення для цього зовнішніх консультантів, тис. грн;

$K_{\text{зпз}}$ – вартість закупівель ліцензійного основного й додаткового програмного забезпечення (ПЗ), тис. грн;

$K_{пз}$ – вартість створення основного й додаткового програмного забезпечення, тис. грн;

$K_{аз}$ – вартість закупівлі апаратного забезпечення та допоміжних матеріалів, тис. грн;

$K_{навч}$ – витрати на навчання технічних фахівців і обслуговуючого персоналу,

$K_{н}$ – витрати на встановлення обладнання та налагодження системи інформаційної безпеки.

3.1.1 Розрахунок поточних витрат

Річні поточні витрати на функціонування системи інформаційної безпеки складають:

$$C = C_{в} + C_{к} + C_{ак}, \text{ грн.}$$

де $C_{в}$ - вартість відновлення й модернізації системи ($C_{в} = 0$);

$C_{к}$ - витрати на керування системою в цілому;

$C_{ак}$ - витрати, викликані активністю користувачів системи інформаційної безпеки ($C_{ак} = 0$ грн.).

Середовище Matlab/Simulink, яке застосовується для оцінки ефективності запропонованого підходу до захисту інформації від несанкціонованого доступу в волоконно-оптичних лініях зв'язку на основі оптичного зашумлення, вже є наявним, тому додаткові витрати щодо відновлення й модернізації системи не виникають.

Витрати на керування системою інформаційної безпеки ($C_{к}$) складають:

$$C_{к} = C_{н} + C_{а} + C_{з} + C_{ел} + C_{о} + C_{тос}, \text{ грн.}$$

Розробка підходу щодо забезпечення конфіденційності при передачі даних в волоконно-оптичній лінії зв'язку з використанням активних методів захисту передбачає придбання апаратного забезпечення, яке підлягає амортизації, відповідно до чинних вимог законодавства України. Амортизаційні

відрахування визначатимуться прямолінійним методом. Строк корисного використання та річні амортизаційні відрахування наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Розрахунок річних амортизаційних відрахувань

№ п/п	Об'єкт основних засобів	Вартість, грн.	Строк корисного використання, років	Сума амортизаційних відрахувань на рік, грн.
1	Формувач інформаційного сигналу	15300,00	10	$C_{a1} = 15300,00/10 = 1530,00$
2	Джерело переданого оптичного випромінювання	5 930,09	8	$C_{a2} = 5 930,09/9 = 741,26$
Сукупні річні амортизаційні відрахування (C_a):				2271,26

Річний фонд заробітної плати інженерно-технічного персоналу, що обслуговує систему інформаційної безпеки (C_3), складає:

$$C_3 = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{дод}}, \text{ грн.}$$

Основна заробітна плата визначається, виходячи з місячного посадового окладу, а додаткова заробітна плата – в розмірі 8-10% від основної заробітної плати.

Основна заробітна плата одного спеціаліста з інформаційної безпеки на місяць складає 15600 грн. Додаткова заробітна плата – 10% від основної заробітної плати. Виконання роботи щодо впровадження системи захисту інформації на підприємстві потребує залучення спеціаліста інформаційної безпеки на 0,25 ставки. Отже,

$$C_3 = (15600 \cdot 12 + 15600 \cdot 12 \cdot 0,1) \cdot 0,25 = 51480 \text{ грн.}$$

Ставка ЄСВ для всіх категорій платників з 01.01.2021 р. складає 22%.

$$C_{\text{ев}} = 51480 \cdot 0,22 = 11325,6 \text{ грн.}$$

Вартість електроенергії, що споживається апаратурою системою інформаційної безпеки протягом року ($C_{\text{ел}}$), визначається за формулою:

$$C_{\text{ел}} = P \cdot F_p \cdot C_e, \text{ грн.},$$

де P – встановлена потужність апаратури інформаційної безпеки, ($P=1,15$ кВт);

F_p – річний фонд робочого часу системи інформаційної безпеки ($F_p = 1920$ год.);

C_e – тариф на електроенергію, ($C_e = 1,68$ грн./кВт за годину).

Вартість електроенергії, що споживається апаратурою системою інформаційної безпеки протягом року:

$$C_{ел} = 1,15 * 2 * 1920 * 1,68 = 7418,88 \text{ грн.}$$

Витрати на технічне й організаційне адміністрування та сервіс системи інформаційної безпеки визначаються у відсотках від вартості капітальних витрат – 2% ($C_{тос} = 68038,05 * 0,02 = 1360,76$ грн.).

Витрати на керування системою інформаційної безпеки (C_k) визначаються:

$$C_k = 2271,26 + 51480 + 11325,6 + 7418,88 + 1360,76 = 73856,5 \text{ грн.}$$

Отже, річні експлуатаційні витрати системи інформаційної безпеки складають:

$$C = 73856,5 \text{ грн.}$$

3.2 Оцінка можливого збитку

Запропонований підхід до захисту інформації від несанкціонованого доступу в волоконно-оптичних лініях зв'язку на основі оптичного зашумлення може бути використаний в волоконно-оптичних системах передачі конфіденційної інформації. Метою розробки підходу є забезпечення конфіденційності при передачі даних в ВОЛЗ з використанням оптичного зашумлення.

Такий до захисту інформації від несанкціонованого доступу в волоконно-оптичних лініях зв'язку на основі оптичного зашумлення полягає в тому, що на передавальній стороні ВОЛЗ формують інформаційний сигнал, формують сумарний сигнал шляхом змішування шумового і інформаційного сигналу, формують шляхом модуляції сумарним сигналом оптичне випромінювання, що підлягає передачі, і вводять в ВОЛЗ.

Заходи з інформаційної безпеки передбачають відвернення загроз щодо порушення конфіденційності інформації при передачі даних в волоконно-оптичній лінії зв'язку. Для підприємств середнього та малого бізнесу вартість контракту може складати біля 600 000 грн. Якщо підприємство заключає біля 18 контрактів на рік, то можлива величина збитку (В) на рік від загроз щодо порушення конфіденційності інформації, вірогідність реалізації яких складає 45% ($R=0,45$), становитиме:

$$B = 600000 * 18 * 0,45 = 486000 \text{ грн.}$$

3.2.1 Загальний ефект від впровадження системи інформаційної безпеки

Загальний ефект від впровадження системи інформаційної безпеки визначається з урахуванням ризиків порушення інформаційної:

$$E = B \cdot R - C \text{ грн.,}$$

де B – загальний збиток від атаки у разі перехоплення інформації, тис. грн.;

R – вірогідність успішної реалізації атаки на сегмент мережі, частки одиниці (45%);

C – щорічні витрати на експлуатацію системи інформаційної безпеки.

Загальний ефект від впровадження системи інформаційної безпеки визначається з урахуванням ризиків порушення інформаційної безпеки:

$$E = 486000 * 0,45 - 73856,5 = 144843,5 \text{ грн.}$$

3.3 Визначення та аналіз показників економічної ефективності системи інформаційної безпеки

Для встановлення економічної ефективності визначають такі показники як: коефіцієнт повернення інвестицій (ROSI) та термін окупності капітальних інвестицій (T_0).

Коефіцієнт повернення інвестицій ROSI показує, скільки гривень додаткового прибутку приносить одна гривня капітальних інвестицій на впровадження системи інформаційної безпеки:

$$ROSI = \frac{E}{K}, \quad \text{частки одиниці,}$$

де E – загальний ефект від впровадження системи інформаційної безпеки грн.;

K – капітальні інвестиції за варіантами, що забезпечили цей ефект, грн.

Коефіцієнт повернення інвестицій ROSI:

$$ROSI = \frac{144843,5}{68038,05} = 2,13, \quad \text{частки одиниці,}$$

Проект визнається економічно доцільним, якщо розрахункове значення коефіцієнта повернення інвестицій перевищує величину річної депозитної ставки з урахуванням інфляції:

$$ROSI > (N_{\text{деп}} - N_{\text{інф}})/100),$$

де $N_{\text{деп}}$ – річна депозитна ставка, (6%);

$N_{\text{інф}}$ – річний рівень інфляції, (5%).

Розрахункове значення коефіцієнта повернення інвестицій:

$$2,13 > (6 - 5)/100 = 2,13 > 0,01.$$

Термін окупності капітальних інвестицій T_o показує, за скільки років капітальні інвестиції окупляться за рахунок загального ефекту від впровадження системи інформаційної безпеки:

$$T_o = \frac{K}{E} = \frac{1}{ROSI} = \frac{1}{2,13} = 0,47 \text{ років (5,6 місяців).}$$

3.4 Висновок

Отже, наведені розрахунки свідчать про те, що розробка підходу щодо забезпечення конфіденційності при передачі даних в волоконно-оптичній лінії зв'язку з використанням активних методів захисту є економічно доцільною, оскільки коефіцієнт повернення інвестицій складає 2,13 (ROSI=2,13), що

вищим доходності альтернативного вкладення коштів та дозволяє окупити первісні витрати майже за півроку. Капітальні інвестиції складуть 68038,05 грн., експлуатаційні витрати – 73856,5 грн. Економічний ефект – 144843,5 грн.

ВИСНОВКИ

1. В результаті аналізу особливостей волоконно-оптичних ліній зв'язку, а також перехоплення інформації в них встановлено, що волоконно-оптичні лінії з точки зору надійності та захищеності посідають провідне місце серед безпечних мереж передачі інформації. При цьому одним з актуальних методів запобігання витоку інформації в волоконно-оптичних лініях зв'язку є активні методи захисту, до яких відносять зашумлення.

2. В результаті аналізу існуючих підходів до забезпечення конфіденційності при передачі даних в волоконно-оптичних лініях зв'язку було встановлено їх недоліки. Недоліками відомих підходів до оптичної рефлектометрії [29-31] є такі, що в певних умовах можуть унеможливити їх використання: зондувальні сигнали рефлектометра можуть бути джерелами завад для інформаційного сигналу; при роботі рефлектометра на довжині хвилі, відмінної від довжини хвилі інформаційного сигналу, можливо невиявлення зовнішніх впливів при їх цілеспрямованому впливі тільки на довжині хвилі інформаційного сигналу; підходи не застосовують в розгалужених мережах і лініях зв'язку, що використовують односпрямовані оптичні підсилювачі; рефлектометр є прецизійним дорогим приладом, який не призначений для постійного безперервного використання, що дуже важливо для відомих систем зв'язку, особливо таких, що розгортаються в надзвичайних умовах. Недоліками відомого підходу та волоконно-оптичного рефлектометра з аналізом відбитого сигналу на основі методу імпульсної рефлектометрії [33] є наступні: значне зниження динамічного діапазону рефлектометрів і зменшення контрольованої ділянки ВОЛЗ при високій роздільній здатності сигналу по довжині оптичного тракту (що має важливе значення для виявлення локальних неоднорідностей при фіксації несанкціонованого доступу); утруднене проведення контролю оптичного тракту під час передачі інформації, яка містить потужні імпульси, що знижує можливості волоконно-оптичного рефлектометра, або ускладнює і здорожує систему діагностики; обмежений ресурс джерел потужних зондуючих

імпульсів недостатній для тривалого безперервного контролю ВОЛЗ; значне подорожчання вартості волоконно-оптичного рефлектометра через використання спеціалізованих джерел зондуючого оптичного випромінювання, широкосмугової і швидкодіючої апаратури приймального блоку рефлектометрів.

3. Запропонований підхід до захисту інформації від несанкціонованого доступу в волоконно-оптичних лініях зв'язку на основі оптичного зашумлення полягає в тому, що на передавальній стороні ВОЛЗ формують інформаційний сигнал, формують сумарний сигнал шляхом змішування шумового і інформаційного сигналу, формують шляхом модуляції сумарним сигналом оптичне випромінювання, що підлягає передачі, і вводять в ВОЛЗ. На приймальній стороні ВОЛЗ виводять з неї прийняте оптичне випромінювання, з прийнятого оптичного випромінювання формують сумарний сигнал з якого виділяють інформаційний сигнал, який відрізняється тим, що до формування сумарного сигналу на приймальній стороні формують початковий і інверсний шумовий сигнал, модулюють початковим шумовим сигналом оптичного випромінювання і вводять в волоконно-оптичну лінію зв'язку. На передавальній стороні ВОЛЗ виводять з неї прийняте оптичне випромінювання, з прийнятого оптичного випромінювання формують шумовий сигнал який підлягає до зміщенню інформаційного сигналу, а виділення інформаційного сигналу на приймальній стороні виробляють шляхом змішування затриманого інверсного шумового сигналу до сумарних сигналів.

4. В результаті оцінки ефективності запропонованого підходу до захисту інформації від несанкціонованого доступу в волоконно-оптичних лініях зв'язку на основі оптичного зашумлення, яка була проведена шляхом моделювання в середовищі Matlab шляхом дослідження поширення інформаційних і шумових оптичних імпульсів в оптичному волокні, було встановлено, що використання шумових оптичних сигналів для захисту інформації згідно запропонованого підходу не знижує якості прийнятої інформації в волоконно-оптичних лініях зв'язку.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Jensen T., Skjoldstrup B., 1 OGb/s. Optical Transmission Technology. Teleteknik, 1995, 39, N. 2, p. 65-78.
2. Корольков А.В., Кращенко И.А., Матюхин В.Г., Синев С.Г. Проблемы защиты информации, передаваемой по волоконно-оптическим линиям связи, от несанкционированного доступа. // Информационное общество, 1997. – Вып. 1. – С. 74-77.
3. Малюк А.А. Информационная безопасность: Концептуальные и методологические основы защиты информации. – М.: Горячая линия Телеком, 2004. – 2766 с.
4. Осадчук В.С., Осадчук О.В. Волоконно-оптичні системи передачі. Навчальний посібник – Вінниця: ВНТУ, 2005. – 225 с.
5. Семенов А.Б. Волоконно-оптические подсистемы современных СКС. – М.: Академия АйТи: ДМКПресс, 2007. – 632 с.
6. Бейли Д., Райт Э. Волоконная оптика: теория и практика. Пер. с англ. – М.: КУДИЦ-ПРЕСС, 2008. – 320 с.
7. Халяпин Д.Б. Защита информации. Вас подслушивают? Защищайтесь. – М.: НОУ ШО „БАЯРД”, 2004. – 431 с.
8. Гришачев В.В., Халяпин Д.Б., Шевченко Н.А. Опасности возникновения каналов утечки конфиденциальной речевой информации по волоконно-оптическим структурированным кабельным системам // Материалы X Международной научно-практической конференции „Информационная безопасность”. Ч. 2. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2008. – 103 – 105 с.
9. Розорінов Г.М. Високошвидкісні волоконно-оптичні лінії зв'язку: навч. посіб. / Г.М. Розорінов, Д.О. Соловйов. – 2-е вид., перероб. і допов. – К.: Кафедра, 2012. – 344 с.
10. Поповский В. В. Защита информации в телекоммуникационных системах: Учебник / В. В. Поповский, А. В. Периков – Харьков: ООО "Компания СМИТ", 2006. – 238 с.

11. Хорошко В. А. Методы и средства защиты информации / В. А. Хорошко, А. А. Чекатов. – К. : Юниор, 2003. – 478 с.
12. Портнов Э. Л. Оптические кабели связи / Портнов Э. Л. – М. : Информсвязь, 2000. – 112 с.
13. Виноградов В. В. Волоконно-оптические линии связи : учебное пособие для техникумов и колледжей ж.-д. трансп. / Виноградов В. В., Котов В. К., Нуприк В. Н. – М. : ИПК „Желдориздат”, 2002. – 278 с.
14. Шарварко В. Г. Волоконно-оптические линии связи : учебное пособие / Шарварко В. Г. – Таганрог : Изд-во ТРТУ, 2006. – 170 с.
15. Фриман Р. Л. Волоконно-оптические системы связи : 3-е дополненное издание / Фриман Р. Л. – М. : Техносфера, 2006. – 496 с.
16. Дональд Дж. Стерлинг. Техническое руководство по волоконной оптике / Дональд Дж. Стерлинг ;[пер. з англ. А. Московченко]. – М. : Издательство ”Лори”, 1998. – 195 с.
17. Натрошвили О. Г., Кожемяко В. П., Прангишвили А. И. Применение методов временного мультиплексирования оптических сигналов в системах волоконно-оптической связи компьютерных сетей // Волоконно-оптичні технології в інформаційних (internet, intranet тощо) та енергетичних мережах. – 2009. – С. 195-200.
18. Mode Division Multiplexing of Spiral-Phased Donut Modes in Multimode Fiber Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering (Impact Factor: 0.2). – 04/2015. – 1286.
19. Манько А.П, Каток В.А., Задорожний М.В. Защита информации на волоконно-оптических линиях связи от несанкционированного доступа // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні. – Вип. 2, – 2001.
20. Технічні канали витоку інформації. Порядок створення комплексів технічних каналів витоку інформації. Навчальний посібник / С.О. Іванченко, О.В. Гавриленко, О.А. Липський, А.С. Шевцов. – К.: ІСЗЗІ НТУУ «КПІ», 2016. – 104 с.

21. Комплексні системи захисту інформації в інформаційно-телекомунікаційних системах: Навчальний посібник / В.Д. Козюра, В.О. Хорошко, М.Є. Шелест, Ю.М. Ткач, Я.Ю. Усов. – Ніжин: ФОП Лук'яненко В.В., ТПК «Орхідея», 2019. – 144 с.
22. Конахович Г.Ф. Защита информации в телекоммуникационных системах / Г.Ф. Конахович, В.П. Климчук, С.М.Паук, В.Г.Потапов. – К.: «МК-Пресс», 2005. – 288 с.
23. Ластівка Г.І. Технічний захист інформації в інформаційних та телекомунікаційних системах. / Г.І. Ластівка, П.М. Шпатар. – Чернівці: Чернівецький національний університет, 2018. – 252 с.
24. Ярочкин В.И. Информационная безопасность: Учебник для вузов. 2-е издание. / В.И. Ярочкин. – М.: Академический Проект, Гаудеамус, 2004. – 544 с.
25. Бузов Г.А. Защита от утечки информации по техническим каналам: Учебное пособие. / Г.А. Бузов, С.В. Калинин, А.В. Кондратьев. – М.: Горячая линия - Телеком, 2005. – 416 с.
26. Термінологічний довідник з питань технічного захисту інформації. / С.Р. Коженевський, Г.В. Кузнецов, В.О. Хорошко, Д.В. Чирков; за ред. В.О. Хорошка. – 4-е вид., доп. і перероб. – К. : ДУІКТ, 2007. – 365 с.
27. Грайворонський М.В. Безпека інформаційно-комунікаційних систем. / М.В. Грайворонський, О.М. Новіков – К.: Видавнича група ВНУ, 2009. – 608 с.
28. Андрєєв В.І., Хорошко В.О., Чередниченко В.С., Шелест М.Є. Основи інформаційної безпеки: Підручник / за ред. проф. В.О. Хорошка – К.: Вид. ДУІКТ, 2009. – 292 с.
29. Боос А.В., Шухардин О.Н. Анализ проблем обеспечения безопасности информации, передаваемой по оптическим каналам связи, и путей их решения. Информационное противодействие угрозам терроризма: научн-практ. ФГПУ НТЦ, Москва. –2005, №5. – С. 172-180.
30. Бакланов И.Г. Тестирование и диагностика систем связи. // ЭКО-ТРЕНДЗ. – Москва, 2001 г. – С. 38-49.

31. Манько А., Каток В., Задорожний М. Защита информации на волоконно-оптических линиях связи от несанкционированного доступа. // Правовое, нормативное и метрологическое обеспечение защиты информации. – Выпуск 2. – 2001 г. – С. 27-32.
32. Румянцев К.Е., Хайров И.Е. Защита информации, передаваемой по светодиодным линиям связи. // Информационное противодействие угрозам терроризма: научн-практ. ФГПУ НТЦ, Москва. – 2004, №2. – С. 27-32.
33. Рахимов Н.Р. Рефлектометрический метод определения каналов утечки информации в волоконно-оптических линиях связи. // Сборник материалов VII Международного научного конгресса ГЕО-СИБИРЬ-2011. – Т.4. – С. 27.
34. Рахимов Н.Р., Трушинин В.А., Бакушин Д.И., Кнутов В.А. Современные методы разработки информационной безопасности ВОЛС. // Автоматика и программная инженерия. – 2015. – №2. – С. 85-88.
35. Балашов В.О. Системи передавання ширококутовими сигналами: навч. посіб. / В.О. Балашов, П.П. Воробієнко, Л.М. Ляховецький, В.В. Педяш. – Одеса: Вид. центр ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2012. – 336 с.
36. Корнейчук В.И., Панфилов И.П. Проектирование цифровых волоконно-оптических систем передачи. Ч.1: Расчет характеристик subsystem ВОСП. Методическое руководство по дипломному и курсовому проектированию. – Одесса, 1987. – 53 с.
37. Розорінов Г.М., Соловійов Д.О. Високошвидкісні волоконно-оптичні лінії зв'язку. – К.: Ліра-К, 2007. – 198 с.
38. Mahlke G., Gossing P. Fiber optic cables: fundamentals, cable engineering, systems planning. – Berlin; Munchen: Siemens-Aktienges., 1993. – 244 p.
39. Фриман Р.М. Волоконно-оптические системы связи: Пер. с англ. – М.: Техносфера, 2003. – 447 с.
40. Стерлинг Д. Дж. (мл.) Волоконная оптика. Техническое руководство. Пер. с англ. – Изд. 2-е. - М.: Лори, 2001. – 304 с.

41. Янг М. Оптика и лазеры, включая волоконную оптику и оптические волноводы/ Пер. с англ. – М.: Мир, 2005. – 541 с.

42. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційних робіт бакалаврів спеціальності 125 Кібербезпека/ Упоряд.: О.В. Герасіна, Д.С. Тимофєєв, О.В. Кручинін, Ю.А. Мілінчук – Дніпро: НТУ «ДП», 2020. – 47 с.

ДОДАТОК А. Відомість матеріалів кваліфікаційної роботи

№	Формат	Найменування	Кількість листів	Примітки
<i>Документація</i>				
1	A4	Реферат	3	
2	A4	Список умовних скорочень	1	
3	A4	Зміст	2	
4	A4	Вступ	2	
5	A4	Стан питання. Постановка задачі	35	
6	A4	Спеціальна частина	14	
7	A4	Економічний розділ	9	
8	A4	Висновки	2	
9	A4	Перелік посилань	5	
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 Презентація Харченко.ppt

2 Диплом Харченко.doc

ДОДАТОК В. Відгук керівника економічного розділу

Керівник розділу

(підпис)

Пілова Д.П.

(прізвище, ініціали)

ДОДАТОК Г. Відгук керівника кваліфікаційної роботи

ВІДГУК

на кваліфікаційну роботу студента групи 125-17-1 Харченко А.С.

на тему: «Забезпечення конфіденційності при передачі даних в волоконно-оптичній лінії зв'язку з використанням активних методів захисту»

Пояснювальна записка складається зі вступу, трьох розділів і висновків, розташованих на 79 сторінках.

Мета роботи є актуальною, оскільки вона спрямована на забезпечення конфіденційності при передачі даних в волоконно-оптичній лінії зв'язку з використанням оптичного зашумлення.

При виконанні роботи автор продемонстрував добрий рівень теоретичних знань і практичних навичок. На основі аналізу особливостей волоконно-оптичних систем передачі і перехоплення інформації в них, а також існуючих підходів до забезпечення конфіденційності при передачі даних в волоконно-оптичних лініях зв'язку в ній сформульовано задачі, вирішенню яких присвячений спеціальний розділ. У ньому було запропоновано підхід до захисту інформації від несанкціонованого доступу в волоконно-оптичних лініях зв'язку на основі оптичного зашумлення та оцінено його ефективність.

Практична цінність роботи полягає у тому, що запропонований підхід може бути використаний в волоконно-оптичних системах передачі конфіденційної інформації.

До недоліків роботи слід віднести недостатню проробку окремих питань.

Рівень запозичень у кваліфікаційній роботі не перевищує вимог «Положення про систему виявлення та запобігання плагіату».

В цілому робота задовольняє усім вимогам, а її автор Харченко А.С. заслуговує на оцінку «» та присвоєння кваліфікації «Бакалавр з кібербезпеки» за спеціальністю 125 Кібербезпека.

Керівник роботи,

к.т.н., доцент

О.В. Герасіна