

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій

(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки

(повна назва)

АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

Автоматизація ТП роз'ємних з'єднань оптоволоконних кабелів

(тема)

Виконав: студент 2 курсу, гр. КІТПВм-19-1

Бабічев О. О.

(прізвище, ініціали)

Спеціальність 151 Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології

освітньої програми Комп'ютерно-інтегровані
технологічні процеси і виробництва

(код і повна назва напрямку)

Тип програми освітньо-професійна

(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. Косенко В.В.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту
зав. кафедри

(підпис)

Невлюдов І.Ш.

(прізвище, ініціали)

2020 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет	Автоматики і комп'ютеризованих технологій
Кафедра	Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Спеціальність	151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Тип програми	освітньо-професійна
Освітня програма	Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва
	(код і повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

«_____» _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові _____ Бабічеву Олександрю Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Автоматизація ТП роз'ємних з'єднань оптоволоконних кабелів

затверджена наказом по університету від _____ 02.11. 2020 р. № _____ Ст _____

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії _____ 07.12. 2020 р.

3. Вихідні дані до роботи _____

3.1 Тип оптичного волокна – одномодове

3.2 З'єднання ОВ кабелів – роз'ємне

3.3 Втрати на з'єднанні – не більше 1 дБ

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі

4.1 Провести аналіз технічного завдання;

4.2 Провести дослідження факторів, що впливають на точність позиціонування

4.3 Розробити ТП роз'ємного з'єднання ОВ

4.4 Провести експериментальні дослідження

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) Демонстраційний матеріал представлений у форматі презентації PowerPoint (*.ppt) – 12 с. формату А4

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Керівник (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технічного завдання	10.11.2020 р.	
2	Аналіз з'єднань оптичних волокон	15.11.2020 р.	
3	Дослідження факторів, що впливають на втрати в оптоволоконних роз'ємах	17.11.2020 р.	
4	Розробка алгоритму ТП роз'ємного з'єднання ОВ кабелів	20.11.2020 р.	
5	Планування та проведення експерименту	25.11.2020 р.	
6	Оформлення пояснювальної записки	03.12.2020 р.	
7	Подання роботи до ЕК	07.12.2020 р.	

Дата видачі завдання

Студент

Керівник роботи

(підпис)

(підпис)

Бабічев О.О.

(прізвище, ініціали)

Косенко В.В.

(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 87 с., 2 табл., 54 рис., 3 дод., 22 джерела.

ОПТИЧНЕ ВОЛОКНО, ОПТИЧНИЙ РОЗ'ЄМ, ВОЛЗ, ВТРАТИ ОПТИЧНОЇ ПОТУЖНОСТІ, ПОЗИЦІОНУВАННЯ, МОДОВЕ ПОЛЕ

Об'єктом дослідження є автоматизовані технологічні процеси виробництва роз'ємних з'єднань оптичних волокон.

Предметом дослідження – оптико-геометричні параметри роз'ємних з'єднань оптоволоконних кабелів.

Методи дослідження – цифрові методи обробки сигналу, теорія перетворення Фур'є і лінійної фільтрації.

Метою атестаційної роботи є зменшення оптичних втрат у роз'ємі, які обумовлені різницею модових полів волокон, що з'єднуються шляхом розробки методу визначення аксіального положення модового поля оптичного волокна за його формою.

У роботі запропоновано автоматизований технологічний процес з'єднання оптичних волокон, що базується на позиціонуванні за положенням максимального діаметру модового поля. Удосконалено технологічний процес виготовлення пігтейл-роз'ємів за рахунок введення нових автоматизованих операцій контролю позиціонування ОВ за формою модового поля. Даний метод позиціонування дозволяє виконувати роз'ємні з'єднання оптоволоконних кабелів без використання додаткових пристроїв для контролю внесених втрат, що робить швидшим та більш економічним процес з'єднання, а також знижує трудові витрати персоналу.

ABSTRACT

Explanatory note contains: 87 pages, 3 applications, 53 figures, 22 sources of links.

OPTICAL FIBER, OPTICAL CONNECTOR, VOLZ, LOSS OF OPTICAL POWER, POSITIONING, FASHION FIELD

The object of research is the automated technological processes of production of detachable connections of optical fibers.

The subject of research is the optical-geometrical parameters of detachable connections of fiber optic cables.

Research methods - digital signal processing methods, Fourier transform theory and linear filtering.

The purpose of certification is to reduce optical losses in connectors, which are caused by the difference fields modal fibers, connected by developing the method for determining the axial position of mode field optical fiber for its shape.

The paper proposes an automated technological process of connecting optical fibers, based on positioning by the position of the maximum diameter of the mode field. The technological process of manufacturing pigtail connectors has been improved due to the introduction of new automated operations to control the positioning of the OF according to the shape of the mode field. This method of positioning allows you to make detachable connections of fiber optic cables without the use of additional devices to control the losses, which makes the connection process faster and more economical, as well as reduces labor costs.

ЗМІСТ

Перелік скорочень	8
Вступ.....	9
1 Аналіз сучасного стану за темою дослідження	12
1.1 Принцип дії та типи оптичних з'єднувачів	12
1.1.1 Циліндричний наконечник.....	13
1.1.2 Конічний наконечник	14
1.1.3 З'єднувач з розширеним випромінюванням	15
1.1.4 Механічний з'єднувач для стрічки з волокнами	16
1.1.5 Роз'ємні з'єднувачі.....	17
1.2 Типи конекторів з циліндричним наконечником	20
1.3 Висновки по 1 розділу	28
2 Визначення параметрів з'єднань оптичних волокон	30
2.1 Втрати сигналу у з'єднаннях оптоволоконних роз'ємів ...	30
2.2 Вплив конструктивних параметрів наконечників оптоволоконних роз'ємів на втрати сигналу.....	35
2.3 Висновки по 2 розділу	43
3 Розробка автоматизованого технологічного процесу роз'ємного з'єднання оптоволоконних кабелів	44
3.1 Типовий технологічний процес з'єднання ОВ	44
3.2 Модифікація технології виготовлення пігтейл-роз'ємів ...	47
3.3 Проектування автоматизованої системи позиціонування оптичних волокон в роз'ємних з'єднаннях	49
3.3.1 Розробка функціональної схеми системи	49
3.3.2 Розрахунок передавальних функцій та розробка структурної схеми.....	50

3.3.3 Розрахунок передавальних функцій розімкнутої та замкнутої САУ	53
3.3.4 Побудова області стійкості методом D-розбивки.....	54
3.3.5 Аналіз стійкості розімкнутої та замкнутої САУ.....	55
3.3.6 Визначення запасу стійкості за амплітудою і фазою..	60
3.3.7 Моделювання перехідних процесів САУ.....	
3.4 Висновки по 3 розділу	63
4 Експериментальні дослідження позиціонування роз'ємного з'єднання оптичних волокон	65
4.1 Розробка моделей оптичних волокон	65
4.2 Вибір параметрів фільтру для усунення шумів на зображеннях оптичних волокон	67
4.3 Визначення аксіального положення модового поля оптичного волокна для позиціонування роз'ємного з'єднання	71
4.4 Охорона праці	79
4.5 Висновки по 4 розділу	82
Висновки	83
Перелік джерел посилання	85
ДОДАТОК А Лістинг програми	88
ДОДАТОК Б Результати апроксимації	97
ДОДАТОК В Демонстраційний матеріал	100

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ВОЛЗ – волоконно-оптичні лінії зв'язку.

МП – модове поле.

ОВ – оптичне волокно.

APC – angled physical contact.

NA – числова апертура.

OTDR – optical time domain reflectometer.

PC роз'єм – physical contact.

SC конектор – subscriber connector.

SMA конектор – sub-miniature version A.

ST конектор - straight tip.

ВСТУП

Інтенсивний розвиток оптоволоконної техніки обумовлений її істотними перевагами. Перевагами оптичних систем зв'язку і передачі інформації є: висока перешкодозахищеність від електромагнітних полів, низький рівень перехресних наведень; відносно мала вартість матеріалів, необхідних для створення скловолокна і кабелю на його основі, повна електрична ізоляція вхідних і вихідних пристроїв; порівняно малий розмір і об'єм оптоволоконного кабелю; значно більша відстань між ретрансляторами.

Основним елементом волоконно-оптичних систем зв'язку є оптоволоконний кабель, який слугує для захисту волокна під час виробництва, монтажу та експлуатації. Волокно є чутливим матеріалом до розтягнення та згинання. Під сильним зовнішнім впливом можуть постраждати критичні параметри волокна, такі як експлуатаційний строк служби та параметри затухання. Тому для кабелю важливими характеристиками є межа його міцності на розрив, стійкість до стискуючих та згинаючих зусиль, гнучкість, захищеність від зовнішніх впливів, діапазон робочих температур, строк служби тощо.

Під час монтажу довгих ліній зв'язку з відстанню між ретрансляторами порядку десятків кілометрів необхідно окремі волоконні світловоди з'єднувати між собою. Це пов'язано з тим, що будівельна довжина волокна (тобто довжина відрізка волокна, яку отримано витягуванням з однієї прес-форми) зазвичай не перевищує кількох кілометрів. У цих і в багатьох інших випадках при монтажі різних волоконних систем часто виникає необхідність в здійсненні роз'ємних з'єднань світловодів. Якість такого з'єднання визначає втрати оптичної потужності і смугу пропускання. Тому до роз'ємів висувуються підвищені вимоги щодо забезпечення необхідних параметрів

волокон у місцях стику. При цьому через велику довжину світловодів важко використовувати традиційні методи контролю з'єднань оптичних волокон (ОВ), які засновані на введенні з одного кінця і аналізу сигналу на вихідному кінці. Тому актуальним завданням є розробка автоматизованого технологічного процесу роз'ємного з'єднання, який дозволить контролювати оптико-геометричні параметри роз'ємного з'єднання оптоволоконного кабелю та визначати очікуваний рівень втрат.

Об'єктом дослідження є автоматизовані технологічні процеси виробництва роз'ємних з'єднань оптичних волокон.

Предметом дослідження – оптико-геометричні параметри роз'ємних з'єднань оптоволоконних кабелів.

Методи дослідження – цифрові методи обробки сигналу, теорія перетворення Фур'є і лінійної фільтрації.

Метою атестаційної роботи є зменшення оптичних втрат у роз'ємі, які обумовлені різницею модових полів волокон, що з'єднуються шляхом розробки методу визначення аксіального положення модового поля оптичного волокна за його формою.

Дана мета досягається вирішенням наступних завдань:

- проаналізувати чинники, які обумовлюють втрати в з'єднаннях оптоволоконних кабелів;
- проаналізувати існуючі методи визначення оптико-геометричних параметрів ОВ;
- розробити метод визначення неузгоджень модових полів оптичних волокон, що з'єднуються;
- вдосконалити технологію роз'ємного з'єднання ОВ;
- спроектувати автоматизовану систему позиціонування оптичних волокон в роз'ємних з'єднаннях;

- провести експериментальні дослідження запропонованого методу;
- оформити пояснювальну записку керуючись методичними вказівками з підготовки випускної кваліфікаційної роботи магістра [1] та згідно ДСТУ 3008-2015 [2].

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Принцип дії та типи оптичних з'єднувачів

Для виконання зв'язку частин оптичних систем необхідно з'єднувати й встановлювати кабель на кінцевих пунктах і з'єднувати передатчики з приймачами. З тієї причини, що кабелі виготовляють стандартної довжини 2, 4, 6 км, завжди існує необхідність з'єднувати будівельні довжини між собою. Лише на короткий ділянках 2...6 км можливо використовувати одну будівельну довжину кабелю, яка покриватиме повністю усю відстань. Волоконно-оптичні лінії зв'язку (ВОЛЗ) більшої довжини складаються з деякої кількості будівельних довжин по 2...6 км кожна, які можуть поєднуватися між собою різними способами.

В методах з'єднань виділяють дві групи з'єднувачів:

- постійні з'єднувачі (зварні та механічні з'єднання);
- напівпостійні з'єднання.

Зварні з'єднання використовуються у мережах великої протяжності, а механічні – у мережах локальної інсталяції.

Напівпостійні з'єднання використовуються в мережах, де абоненти переміщують обладнання, або де уся мережа постійно перебудовується, тобто в локальних мережах LAN, а також під час встановлення тимчасових з'єднань при організації кабельних вставок під час аварій на магістральних ВОЛЗ.

Напівпостійні з'єднувачі повинні мати можливість з'єднуватися і роз'єднуватися багато разів без збільшення затухання. Це означає, що до них пред'являються вимоги на механічну міцність і довговічність, і це практично може бути застосовано до конекторів, які застосовуються для з'єднання одномодових волокон.

Можна сформулювати додаткові вимоги до напівпостійних з'єднувачів:

- точна концентричність;
- ефективний захист проти пилу і вологи;
- з'єднання повинно витримати розтягувальне навантаження без збільшення затухання;
- з'єднувач повинен легко з'єднуватися з кабелем (навіть в польових умовах);
- з'єднувач повинен легко з'єднуватися і роз'єднуватися;
- з'єднання повинно бути довговічним.

Сьогодні на ринку багато різних видів механічних з'єднувачів, які можна розділити на чотири категорії:

- циліндричний наконечник;
- конічний наконечник;
- з'єднувач з розширеним випромінюванням;
- конектор для стрічки з волокнами.

1.1.1 Циліндричний наконечник

Найбільш простим і недорогим видом механічного з'єднувача є сталевий або керамічний наконечник. Наконечник одноволоконного оптичного кабелю центрується напроти наконечника ОВ кабелю в циліндричній втулці (рис. 1.1).

Виконання цього виду механічного з'єднання (деякі з них можуть бути придатні в польових умовах) залежить у великій мірі від концентричності отвору в наконечнику і з'єднувальної втулці. Середнє значення втрат складає 0,2...1 дБ, в залежності від форми і кінцевої поверхні (плоска або напівсферична).

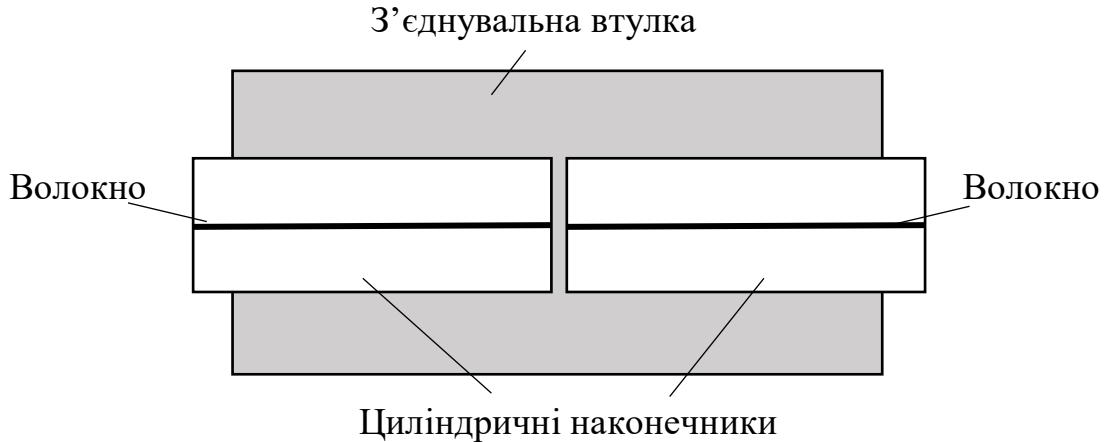


Рисунок 1.1 – Два з'єднувача з циліндричним наконечником, вмонтованим в з'єднувальну муфту

1.1.2 Конічний наконечник

Механічний з'єднувач більш складної конструкції має конічний наконечник. Кінці з'єднувальних наконечників відшліфовані в конічній формі для зручності центрування (рис. 1.2). З'єднувальна втулка, в яку вони вставляються, має біконічну форму отвору.

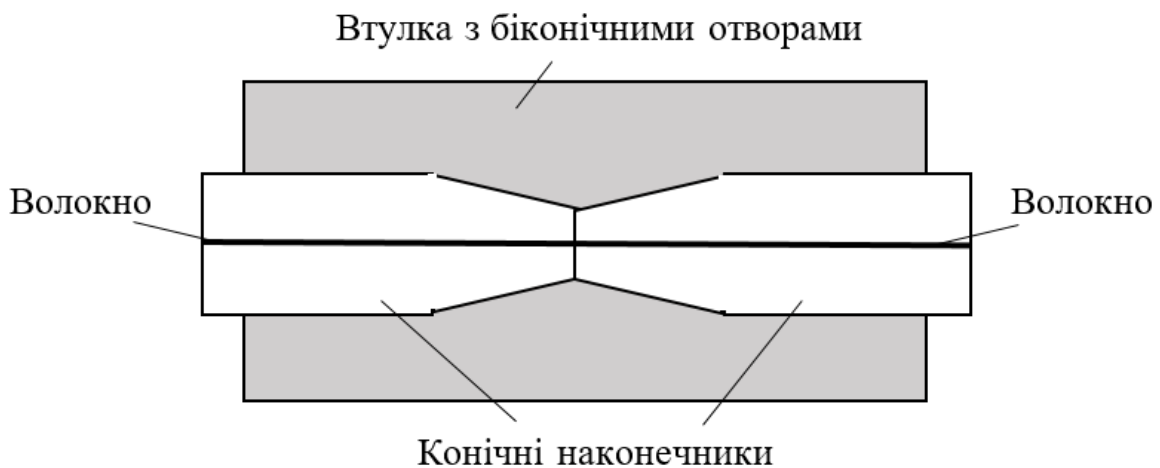


Рисунок 1.2 – Схема біконічного з'єднувача

Якість з'єднання повністю залежить від якості шліфування кінців наконечників. З'єднувачі з таким видом наконечників виготовляються в заводських умовах. Середнє значення втрат становить 0,3 дБ.

1.1.3 З'єднувач з розширеним випромінюванням

З'єднувач, який піддається впливу пилу, бруду і вологи, є більш дорогим. В такому з'єднувачі світло з передавального волокна розширюється через лінзу, створює потік паралельних променів світла, який має великий діаметр (в порівнянні з волокном). Після з'єднання промені направляються знову через лінзу в приймальному волокні (рис. 1.3).

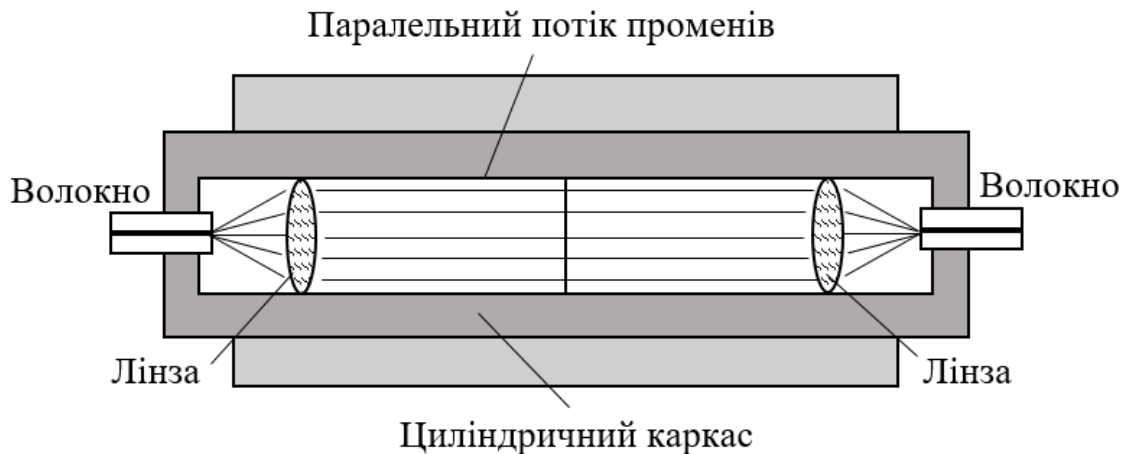


Рисунок 1.3 – З'єднувач з розширеним потоком променів

Цей метод використовується для з'єднання військових кабелів в польових умовах. Перевага цього методу в тому, що кінці, які з'єднуються не піддаються забрудненню, як у випадку інших видів механічних з'єднувачів. Зазвичай декілька волокон з'єднуються в одному з'єднувачі.

1.1.4 Механічний з'єднувач для стрічки з волокнами

Механічний з'єднувач стрічки з волокнами має не циліндричну конструкцію. Стрічка з волокнами може мати 1, 4, 8 або більше паралельних волокон в первинному покритті, зафіксованих разом у вигляді стрічки. Тому з'єднувач повинен мати певну кількість отворів діаметром 125 мкм, розташованих в ряд. Відстань між отворами повинна відповідати відстані між волокнами в стрічці. На рис. 1.4 показано основну конструкцію з'єднувача для стрічкового укладання волокон.

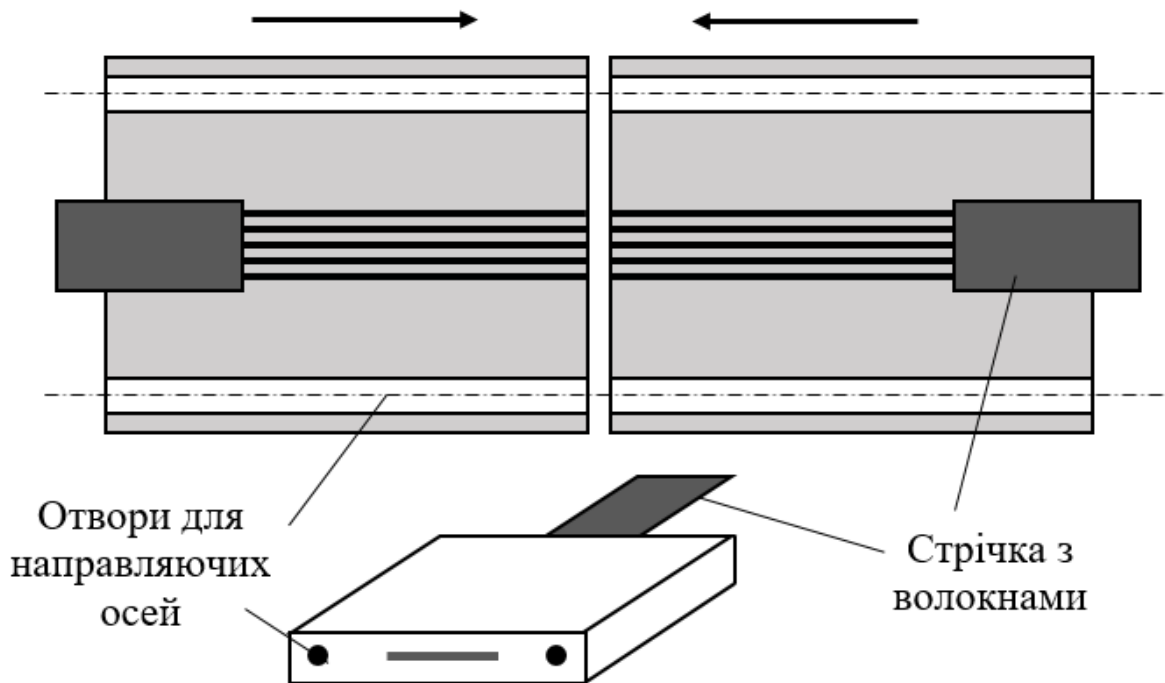


Рисунок 1.4 – Схематичне зображення з'єднувача для стрічки з волокнами

1.1.5 Роз'ємні з'єднувачі

Роз'ємний з'єднувач (роз'єм, конектор) – пристрій, який слугує для підключення волокна до джерела, детектора або іншого волокна. В його конструкції, на відмінну від зварного з'єднання, закладена можливість багаторазового підключення та відключення волокна.

Основні функції конектора полягають у фіксації волокна в системі, що центрує, і захист волокна від механічних і кліматичних впливів.

Основні вимоги до конекторів наступні:

- внесення мінімального затухання і зворотного відбиття сигналу;
- мінімальні габарити і маса за високою міцністю;
- довгострокова робота без погіршення параметрів;
- простота установки на кабель (волокно);
- простота підключення і відключення.

На сьогодні відомо кілька десятків типів роз'ємів, і немає того єдиного, на який було б стратегічно зорієнтований розвиток галузі в цілому. Але основна ідея всіх варіантів конструкцій проста і досить очевидна. Необхідно точно поєднати осі волокон, і щільно притиснути їх торці один до одного (створити контакт).

Більшість роз'ємів випускається за симетричною схемою, коли для з'єднання роз'ємів використовується спеціальний елемент – з'єднувач (coupler). Тобто спочатку волокно закріплюється і центрується в наконечнику роз'єму, а потім вже самі наконечники центруються в з'єднувачі.

Волоконно-оптичний з'єднувач повинен виконувати кілька функцій:

- закріплювати волокно уздовж оптичної осі;
- захищати волокно;

– пов'язувати волокно з кабелем. Під цим мається на увазі, що кабель, який зазвичай має силові елементи, також захищає волокно від прикладеного натягу.

На рис. 1.5 показано перетин двох частин окінцovanого з'єднувача.

Частини з'єднувача зв'язуються один з одним з'єднувальним патроном з просвердленим з високою точністю отвором і мають зовнішній пристрій для швидкого закріплення частин пристрою. Висвердлена частина буває металевою, або містить пластикову вставку, що забезпечує еластичне ущільнення з'єднувача.

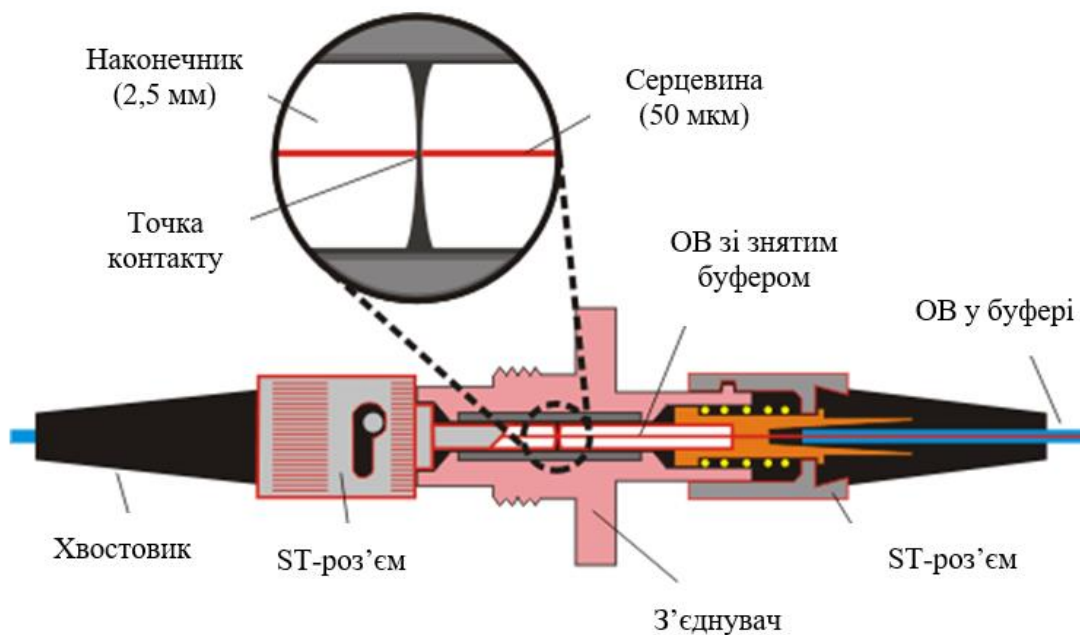


Рисунок 1.5 – Принцип дії оптоволоконного роз'єму контактного типу

У більшості з'єднувачів для підтримування волокна уздовж оптичної осі використовуються спеціальні наконечники. В якомусь сенсі багато з'єднувачів відрізняються тільки корпусами, які містять в собі наконечники.

Керамічні наконечники дозволяють досягти кращої якості з'єднання, ніж металеві та пластикові, крім того, вони є найкращими для одномодових волокон. Кераміка є міцним матеріалом, що дозволяє висвердлювати отвір під волокно з високою точністю. Крім того, вона має прекрасні температури і механічні властивості, які практично залишаються колишніми при змінній температурних та інших зовнішніх умов.

Пластикові наконечники знижують вартість з'єднувача, але забезпечують менш якісне з'єднання.

Наконечники з нержавіючої сталі мають проміжні характеристики. Їх популярність пояснюється міцністю і меншою крихкістю в порівнянні з керамікою. Для наконечників використовується два види кераміки: окис алюмінію і окис цирконію. Спочатку застосовували окис алюмінію – твердий, нееластичний матеріал, що дозволяє виробникам дуже точно витримувати допуски. Коефіцієнт теплового розширення окису алюмінію, тобто ступінь збільшення або зменшення лінійних розмірів зразка при зміні температури, дуже близький до аналогічного коефіцієнту для скла. Недоліком даного матеріалу є його крихкість і руйнування при незначних тисках. Крім того, полірування окисі алюмінію досить складне, особливо в польових умовах.

Окис цирконію м'якший вид кераміки і більш стійкий по відношенню до механічних ударів. Він до того ж досить міцний дозволяє витримувати допуски подібно окису алюмінію, але, на відмінну від неї, легше полірується.

Найбільш популярний розмір наконечника дорівнює 2,5 мм в діаметрі що фактично є стандартом. Далі розглянемо популярні у світі типи конекторів.

1.2 Типи конекторів з циліндричним наконечником

LME конектор призначений для використання з багатомодовими волокнами, розроблений фірмою «Ericsson». Під час розробки цього конектора не існувало стандарту на багатомодові конектори. LME конектор може бути розглянутий як попередник SMA конектора. На відміну від SMA (на який існує світовий стандарт) LME конектор має направляючий з'єднувач, який утримує нерухомо наконечники для їх з'єднання.

SMA конектор є одним з перших стандартизованих конекторів для волоконно-оптичного кабелю, прийнятий до експлуатації в багатьох країнах світу. Конектор призначений для з'єднання тільки багатомодового волокна. Він є циліндричним з не пружинним наконечником, діаметр якого становить 3,174 мм (рис. 1.6). Тому наконечник не є пружно навантаженим. У ньому існує повітряний прошарок між двома частинами конекторів, які скручені в з'єднувальній втулці. Тому завжди існує ризик пошкодження при з'єднанні цих частин конектора.



Рисунок 1.6 – SMA конектор

Волокна приклеюються в наконечнику, а потім поліруються і шліфуються. Після полірування наконечник повинен мати довжину 9,808 мм. При шліфуванні наконечника отримують три ступені точності. Силкові елементи кабелю затискаються за допомогою пластикового рукава на іншому кінці конектора. SMA конектор добре підходить для з'єднання або роз'єднання в польових умовах.

SMA конектор використовується зазвичай для з'єднань в мережах передачі даних, структурованих мережах, датчиках і іншому обладнанні, що використовують багатомодові волокна.

Спочатку розроблений японською фірмою NIT. На відміну від конекторів, описаних вище, FC конектор має пружинний наконечник циліндричної форми (рис. 1.7), діаметр якого 2,499 мм, що трохи менше діаметра наконечника SMA конектора.



Рисунок 1.7 – FC конектор

Наконечник має відшліфовану поверхню, недоліком якої є відбиття світла в зворотному напрямку до передавача. Тому FC конектор рекомендується тільки для використання з передавачем, який має лазерне джерело випромінювання.

Перевага пружинного наконечника в тому, що кінцеві поверхні конекторів можуть лежати один проти одного і немає строгих норм довжини наконечника.

Надалі розроблений FC конектор зі зменшеним відбиттям від кінцевої поверхні. Кінцева поверхня відшліфована в напівсферичній формі. Кінець спочатку відшліфовувався з радіусом кривизни 60 мм, але для більшого зменшення відбиття зараз радіус становить 20 мм. Сьогодні обидва значення радіуса кривизни кінцевої поверхні цього типу конектора все ще мають місце. У разі використання в якості передавача лазерного діоду рекомендується використовувати PC конектор (PC – Physical Contact), тому що у нього маленький коефіцієнт відбиття. PC конектор також рекомендується використовувати в тих випадках, коли в майбутньому планується змінити світлодіодне джерело випромінювання на лазерне.

Наконечники в FC і FC/PC конекторах зроблені з нержавіючої сталі з керамічними капілярами або є повністю керамічними. Останній вид виконання дає певні переваги:

- низьку вартість;
- довговічність (кераміка – це жорсткий матеріал, і тому він не зношується від частого використання);
- кращий фізичний контакт, тому що керамічний матеріал має більш низький модуль Юнга, ніж сталь.

FC/PC конектор переважно використовують в телефонних розподільних панелях, повторювачах і на лініях великої протяжності для з'єднання активних елементів або в високошвидкісних передатчиках (лазери або там, де потрібний низький коефіцієнт відбиття).

Коли наконечникам FC/PC конекторів надається сферична форма, цей процес повинен здійснюватися кваліфікованим персоналом і спеціальним обладнанням. Конектори монтуються на одно- або двоволоконні кабелі (пігтейл), які потім з'єднуються (механічно або методом зварювання) з

волокнами волоконно-оптичного кабелю. Патчкорди використовують для з'єднання і роз'єднання передаючого чи вимірювального обладнання.

FC/PC і FC конектори монтуються за допомогою різьбового сполучення.

SC конектор (від англійського subscriber connector (абонентський роз'єм), а іноді використовується неофіційна назва Stick-and-Click (встав і замкніть)) – це новий стандартний конектор, який розроблений японською фірмою NTT (рис. 1.8).



Рисунок 1.8 – SC конектор

Корпус конектора представляє собою пластикову прямокутну коробочку з заглушкою, що фіксується. Наконечник фіксується пружиною і є керамічним. Діаметр наконечника такий же, як і у FC і FC/PC конекторів. Він має в основному такі ж самі оптичні характеристики, що й PC конектор, але його пакувальна щільність збільшена в 8 разів. Всі частини, які не впливають на оптичні характеристики конектора, виготовлені з пластику. Область його використання та ж, що і конекторів, описаних них вище.

ST конектори (від англійського straight tip connector (прямий роз'єм) або, неофіційно Stick-and-Twist (встав і поверни)). випускаються як для одномодового так і для багатомодового волокна. ST конектор розроблений насамперед для полегшення його монтажу і тому з'єднується і роз'єднується

методом штикового з'єднання. Це схоже на BNC конектор для коаксіальних кабелів. Наконечники обох конекторів випускаються металокерамічними або повністю керамічними (рис. 1.9). До основних недоліків даного типу конектора можна віднести складність маркування, трудомісткість підключення, і неможливість створення дуплексної вилки.



Рисунок 1.9 – ST конектор

Первинний інтерфейс розроблений для передачі даних і названий «волоконно-оптичний інтерфейс передачі даних». Як видно з назви, він призначений переважно для високошвидкісних мереж передачі даних, що вимагало передачі сигналів на великі відстані (понад два кілометри між пунктами). FDDI конектор має конструкцію здвоєного волоконного кільця (рис. 1.10).



Рисунок 1.10 – FDDI конектор

Спеціальний тип конектора розроблений для використання в особливо жорстких умовах експлуатації. Волокно забезпечено лінзами на кінцях конектора. Лінзи розширюють промінь, що виходить з волокна, потім він передається через конектор на інший кінець, де схожа лінза виробляє зворотний процес. Оскільки промінь є розширеним, він менш чутливий до забруднень.

Конектор з лінзовим розширенням проміння буває декількох видів. Він може бути використаний для окінцовування від одного до чотирьох волокон. Такі конектори використовуються в основному у воєнних цілях.

MT конектори використовуються для з'єднання 1, 4, 8 волоконних оптичних стрічкових кабелів (рис. 1.11). MT конектор має виключно маленькі розміри 3x7x10 мм. Як направляючі для юстування оптичних волокон в його конструкції використовуються два металевих стрижня. Поверхні конектора зашліфовані паралельно, і він тримається разом з пружиною. Втрати в MT конекторі не повинні перевищувати 1дБ.

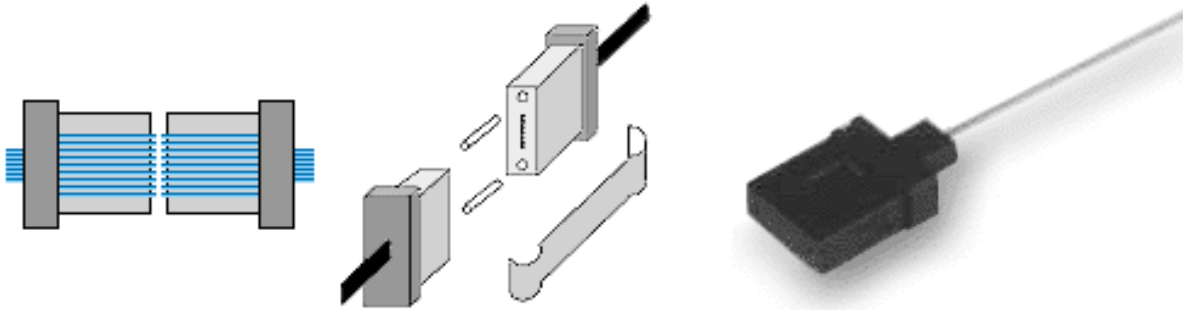


Рисунок 1.11 – МТ конектор

У загальному випадку, всі конектори можна поділити наступним чином (рис. 1.12).

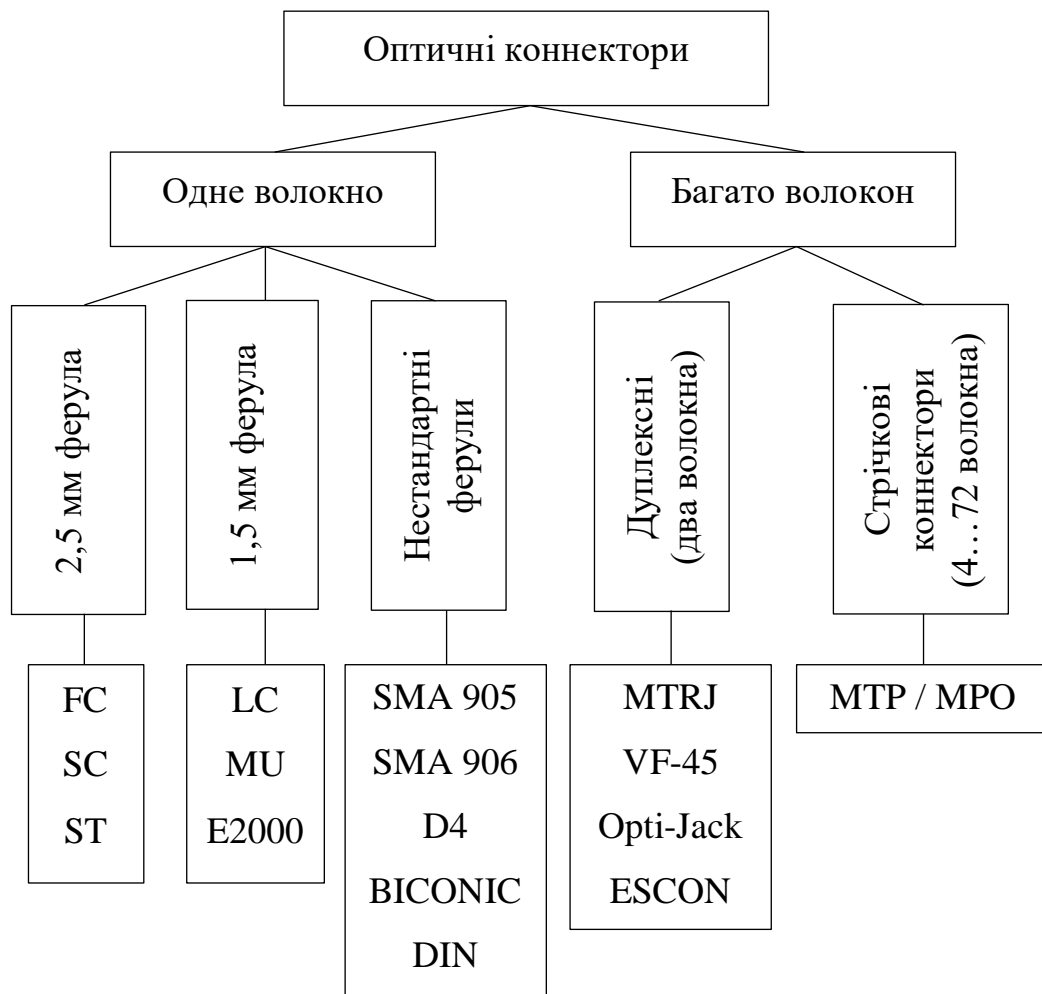


Рисунок 1.12 – Класифікація оптичних конекторів

Таким чином, розглянувши конструкції з'єднувачів ОВ, можна відмітити наступне. Оптичні волокна можуть бути з'єднані за допомогою постійного або напівпостійного з'єднання. Існує велика кількість різних конекторів. Для структурованих мереж та низькошвидкісних оптичних мереж конектори можуть бути підготовлені, відшліфовані і відполіровані саме на місці установки з використанням спеціального обладнання, індивідуального для кожного виду монтажу. В деяких випадках окінцювання кабелів великих телекомунікаційних мереж завжди здійснюється конекторами, відшліфованими заводським способом. Існують конектори для багатомодових і одномодових волокон. Також розроблені спеціальні види конекторів, наприклад FDDI конектори, розроблені для з'єднання мереж з високими вимогами.

Ключовим моментом волоконно-оптичного з'єднання є точне розміщення серцевин ОВ для забезпечення максимально повної передачі світла від одного волокна до іншого. При цьому не обов'язковий безпосередній контакт між волокнами. Умова точного розміщення тонких волокон (один відносно одного) ставить перед виробниками з'єднувачів складну задачу.

Наприклад, при з'єднанні двох ОВ з діаметром оболонки 125 мкм їх юстування в процесі з'єднання виконують з точністю до декілька тисячних міліметра і навіть краще.

Тому вимоги, що пред'являються до з'єднувачів і конекторів, можуть бути сформульовані так:

- низькі втрати: установка з'єднувачів повинна приводити до невеликих втрат оптичної потужності на з'єднанні;
- простота установки: з'єднувачі повинні легко і швидко встановлюватися, не вимагаючи дорогого устаткування або тривалого навчання персоналу;

- надійність: роз'єм повинен гарантувати багаторазове підключення і відключення без будь-яких змін рівня втрат;
- регламентованість характеристик: втрати повинні бути регламентовані незалежно від часу встановлення з'єднувача;
- економічність: ціна з'єднувачів і обладнання для їх установки повинна бути невисокою.

Виходячи з цих факторів, техніка з'єднання методом зварювання використовується в основному на мережах великої протяжності, де вимоги до якості з'єднання і його затування особливо високі. Механічні з'єднувачі використовуються, як правило, при прокладці оптичного кабелю всередині приміщень. Безумовно, втрати, що вносяться звареним з'єднанням, значно менші, ніж при механічному з'єднанні, а дорогий конектор має менше затування, ніж дешевий.

Вимоги до втрат на з'єднаннях наступні:

- 0,2 дБ і менше для телекомунікаційних систем або для далеких ліній зв'язку;
- 0,3...1 дБ для з'єднувачів, що використовуються в контурі всередині будівлі: для локальних мереж або ліній управління виробництвом;
- 1...3 дБ для з'єднувачів в системах, де такого роду втрати прийнятні і основним критерієм виступає низька вартість. В таких системах, як правило, використовується пластикове волокно.

1.3 Висновки по 1 розділу

В даному розділі проведено аналіз технічного завдання, розглянуто найрозповсюджені типи оптичних роз'ємів та принцип їх дії. Проаналізовано функції волоконно-оптичних з'єднувачів. Висунуто вимоги до втрат

оптичного сигналу для різних систем оптоволоконного зв'язку. Для зменшення втрат на з'єднаннях ОВ необхідно використовувати нові підходи до позиціонування за аксіальним положенням оптичних волокон.

В наступних розділах пропонується розробка методу позиціонування оптичних волокон, що з'єднуються, за формою та розміром модових полів, а також експериментальні дослідження пропонованого методу.

2 ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ З'ЄДНАНЬ ОПТИЧНИХ ВОЛОКОН

2.1 Втрати сигналу у з'єднаннях оптоволоконних роз'ємів

З'єднання ОВ повинно бути стійким до зовнішніх впливів (ударам, вібраціям, перепадам температур), надійним, та вносити якомога менше ослаблення сигналу у лінії передачі інформації. В залежності від типу ВОЛЗ припустимі втрати сигналу на з'єднанні складають 0,1...4 дБ. Метод з'єднання повинен характеризуватися високою повторюваністю результатів, низькою собівартістю, легкістю інсталяції як у стаціонарних так і в польових умовах, а також зберігати свої параметри протягом тривалого часу.

Ретельний контроль повинні проходити полімери, резини, імерсійні рідини, клеї, які використовуються для створення з'єднувачів.

На якість сигналу, що передається впливають наступні чинники:

- внутрішні втрати – викликані допусками на геометричні розміри ОВ. Це ексцентриситет і еліптичність серцевини, різниця діаметрів (особливо при з'єднанні волокон різного типу);
- зовнішні втрати, які залежать від якості виготовлення роз'ємів. Виникають через радіальне, кутове зміщення наконечників, непаралельності торцевих поверхонь волокон, повітряного проміжку між ними (Френелівські втрати);
- зворотне відбиття. Виникає через наявність повітряного проміжку (Френелівське відбиття світлового потоку в зворотному напрямку на кордоні скло-повітря-скло). Згідно стандарту TIA / EIA-568A, нормується коефіцієнт зворотного відображення (відношення потужності відбитого світлового потоку до потужності падаючого). Він повинен бути не гірше -26 дБ для одномодових роз'ємів, і не гірше -20 дБ для багатомодових;

– забруднення, яке, в свою чергу, може викликати як зовнішні втрати, так і зворотне відбиття.

Для одномодових волокон питання зрощування представляє більшу проблему, ніж для багатомодових, так як діаметр серцевини одномодового волокна становить всього кілька мікрометрів. При з'єднанні багатомодових волокон необхідна точність суміщення торців на порядок нижче, ніж в разі з'єднання одномодових волокон.

Якісне з'єднання оптичних волокон вимагає надзвичайно високої точності юстирування. Навіть невеликий поперечний зсув торцевих поверхонь волокна може привести до значного приросту загасання. Ще більш серйозні проблеми виникають, коли торцеві поверхні не рівні і не паралельні. Якість з'єднання характеризується втратами оптичної потужності, які визначаються за формулою

$$A = 10 \lg \frac{P_2}{P_1}, \text{ дБ}, \quad (2.1)$$

де P_1 – потужність випромінювання, введеного в світловод;

P_2 – потужність випромінювання на виході світловоду.

Як вже відмічалось, внесені втрати поділяються на зовнішні і внутрішні. Зовнішні втрати виникають внаслідок недосконалості самого процесу з'єднання. Вони складаються з осьового, кутового відхилення, забруднення торців волокон. Найбільш суттєвою причиною зовнішніх втрат є радіальна неузгодженість волокон, що з'єднуються (рис. 2.1). Наприклад, неузгодженість осей двох волокон, що мають діаметр поперечного перерізу серцевини 50 мкм, у 5 мкм, призведе до втрат, що дорівнює 0,6 дБ.

Втрати при радіальному зміщенні визначаються

$$a_L = -10 \lg \left(1 - \frac{4}{\pi} \cdot \frac{L}{D} \right), \text{ дБ}, \quad (2.2)$$

де D – діаметр серцевини волокна;

L – радіальне зміщення.

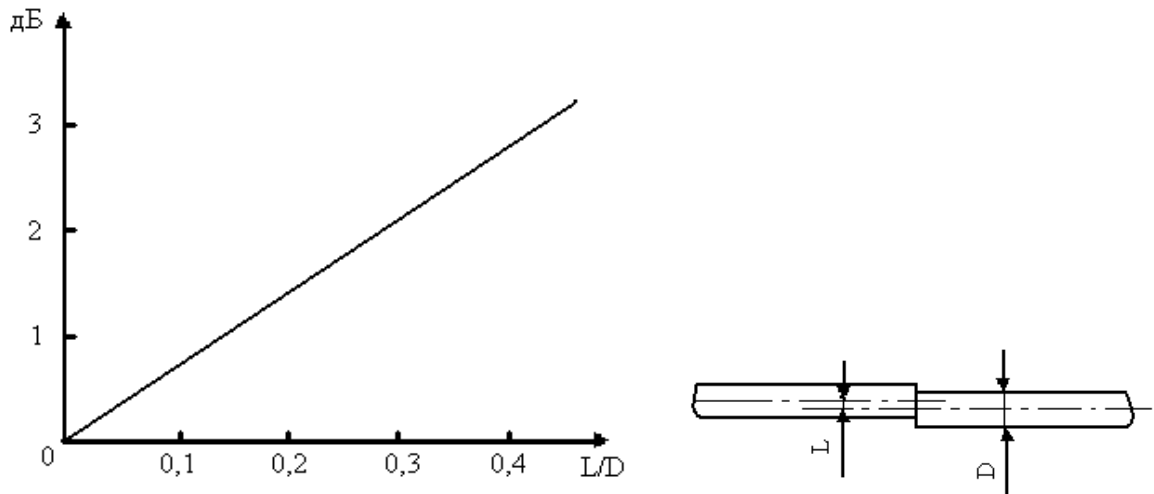


Рисунок 2.1 – Залежність втрат від радіальної неузгодженості ОВ

Зі зменшенням діаметра перетину волокон при переході від багатомодових до одномодових ОВ потрібне більш точніше проведення юстування ОВ.

Юстування волокон, що з'єднуються, повинне забезпечувати мінімальну кутову неузгодженість осей волокон, що не перевищує, наприклад, 1° для волокон з великою числовою апертурою ($NA \geq 0,4$) і десятих часток градуса для волокон з середніми ($NA = 0,2 \dots 0,25$) і малими ($NA < 0,2$) значеннями числової апертури (рис. 2.2).

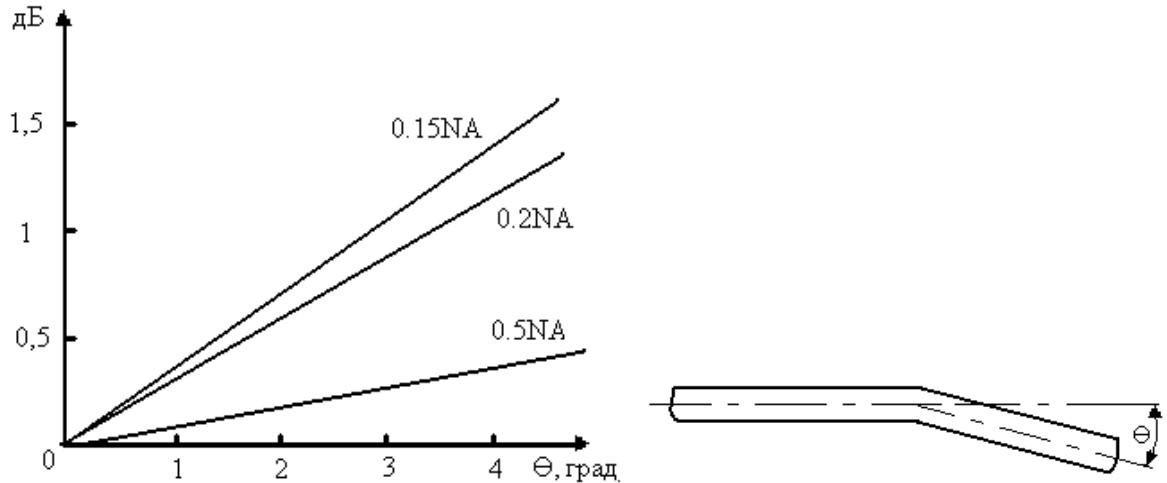


Рисунок 2.2 – Залежність втрат від кутової неузгодженості ОВ

Втрати при кутовий неузгодженості визначаються

$$a_{\theta} = -10 \lg \left(1 - \frac{2}{\pi} \cdot \frac{\theta}{\arcsin NA} \right), \text{ дБ}, \quad (2.3)$$

де θ – кутове зміщення;

NA – числова апертура;

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}, \quad (2.4)$$

де n_1 – показник заломлення сердцевини;

n_2 – показник заломлення оболонки.

Внутрішні втрати визначаються парною відмінністю ексцентриситетів, діаметрів (концентричностей) і показників заломлення у волокон, що з'єднуються. Ці втрати залежать від напрямку і виникають,

коли світло переходить з волокна з великим діаметром в волокно з меншим діаметром (рис. 2.3).

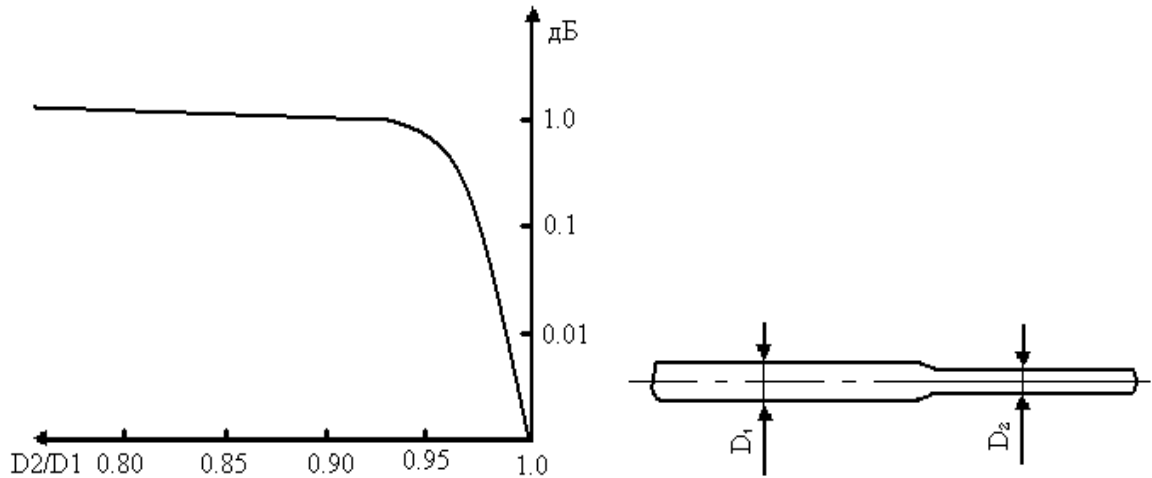


Рисунок 2.3 – Залежність втрат від різниці в діаметрах серцевин ОВ

Допуск на розміри поперечного перерізу волокна повинен бути мінімальним. При допуску 1 % можливі додаткові втрати, що становлять 0,17 дБ, якщо $D_1 > D_2$.

Втрати, зумовлені відмінністю діаметрів, визначаються

$$a_D = -10 \lg \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2, \text{ дБ}, \quad (2.5)$$

де D_1 – діаметр більшого волокна, що випромінює;

D_2 – діаметр приймального волокна.

2.2 Вплив конструктивних параметрів наконечників оптоволоконних роз'ємів на втрати сигналу

Розглядаючи з'єднання одного волокна з іншим, виходять з того, що обидва волокна є ідентичними. Однак зазвичай це не так. Виробництво волокон залишає деякі допуски на відтворюваність їх параметрів, що варіюються у встановлених межах поблизу номінальних (специфікованих) значень. Втрати у волокні обумовлені наступними факторами:

- різними діаметрами модового поля;
- відмінністю числових апертур;
- відмінністю діаметрів серцевини;
- відмінністю діаметрів оболонок;
- некруглістю серцевини і / або оболонок;
- неконцентричність серцевини / оболонок.

Торцеві поверхні одномодових волокон в оптичних роз'ємах мають сферичну форму з радіусом заокруглення 10...25 мм для PC роз'ємів (PC – Physical Contact) і 5...12 мм для APC роз'ємів (APC – Angled Physical Contact). У з'єднаному стані торці наконечників, що стикуються, притискаються один до одного з певним зусиллям (зазвичай 8...12 Н). Еластична деформація наконечників, яка виникає при цьому, призводить до появи оптичного контакту.

Дві поверхні вважаються такими, що знаходяться в оптичному контакті, якщо відстань між ними багато менше довжини хвилі світла. При цьому, чим менше відстань між цими поверхнями, тим менше буде і величина відбитого від них світла. Якість оптичного контакту визначається якістю шліфування і наступного полірування торцевої поверхні волокон. Для PC роз'ємів ETSI (Європейський інститут телекомунікаційних стандартів) рекомендує величину

коефіцієнта Френелівського відбиття від місця оптичного контакту менше - 35 дБ. Стандартне шліфування, як правило, забезпечує -40 дБ.

Багато постачальників оптичних комутаційних шнурів пропонують роз'єми зі спеціальним шліфуванням, що забезпечують коефіцієнт відбиття менше -55 дБ. Це так звані роз'єми супер- і ультра-РС. На практиці таке шліфування не є корисним, так як після кількох підключень коефіцієнт відбиття збільшується до величини властивої звичайним РС гніздам. Відбувається це через неминучу появу пилу і мікроподряпин на торцевих поверхнях роз'ємів.

Тому, коли необхідний коефіцієнт відбиття не гірше -55 дБ, краще використовувати APC роз'єми. В APC роз'ємах нормаль до контактної поверхні нахилена до осі наконечника під кутом 8° . У такій конструкції коефіцієнт відбиття не перевищує -60 дБ як в з'єднаному, так і в роз'єднаному стані. У з'єднаному стані типовим є значення від -70 дБ до -80 дБ.

Таким чином, в РС і APC роз'ємах тільки значно мала частина випромінювання відбивається від місця з'єднання торців волокон. Тому втратами, що викликані відбиттям світла, можна знехтувати. Якщо знехтувати так само втратами, що виникають через дефекти на торцях волокон, то основною причиною, що викликає втрати в місці з'єднання роз'ємів є зміщення серцевин волокон, що з'єднуються, відносно один одного внаслідок ексцентриситету (неконцентричності) як самих волокон, так і деталей кріплення роз'єму (рис. 2.4).

Оцінімо допустиму величину зміщення серцевин волокон виходячи з того, що втрати в роз'ємах, в відповідності до рекомендацій ETSI, не повинні перевищувати 0,5 дБ. З огляду на те, що діаметр модового поля $w \approx 10$ мкм, величина зміщення серцевин один щодо одного повинна бути менше 3,4 мкм.

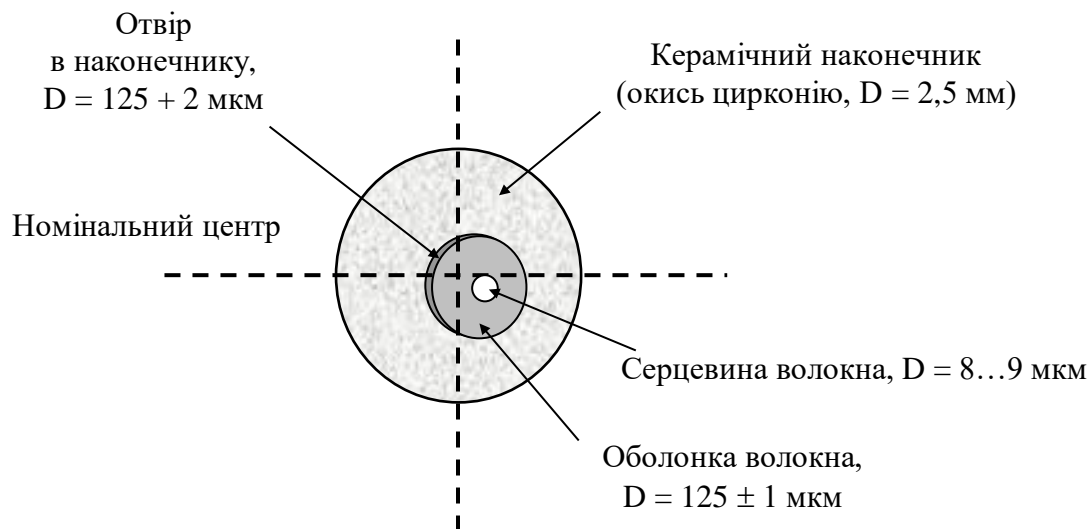


Рисунок 2.4 – Різні види неконцентричності в наконечнику

Втрати слід відносити до одного певного гнізда (незважаючи на те, вимірюваною величиною є втрати в місці з'єднання двох роз'ємів). Так можна робити, коли втрати в місці з'єднання роз'ємів обумовлені тільки зміщенням серцевин волокон, і один роз'єм при цьому зразковий (його також називають материнським або майстер-роз'ємом). Зразковий роз'єм А виділений серед інших роз'ємів тим, що в ньому вісь серцевини волокна збігається з номінальним центром роз'єму (рис. 2.5).

Всі вимірювання при виготовленні оптичних кабелів виконуються тільки відносно зразкового роз'єму. Дані саме цих вимірювань і вказуються в каталогах всіх виробників, а також на упаковці готових виробів. Але при використанні оптичних кабелів типовий роз'єм стикується ні з зразковим роз'ємом, а з таким же типовим роз'ємом (будь з будь-яким). У таких з'єднаннях зміщення серцевин виходять більше майже в 1,5 рази, а втрати збільшуються при цьому приблизно в 2 рази (рис. 2.6).

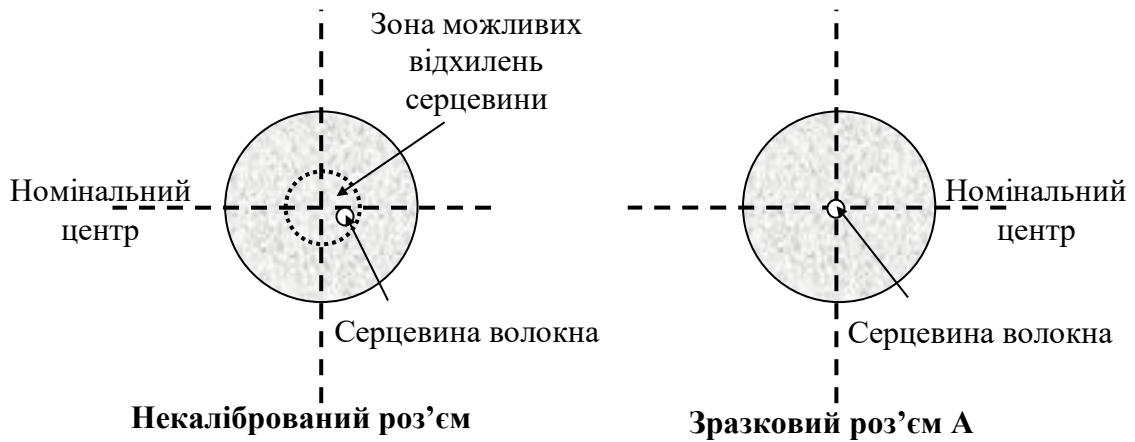


Рисунок 2.5 – Місцезнаходження серцевини волокна в наконечниках

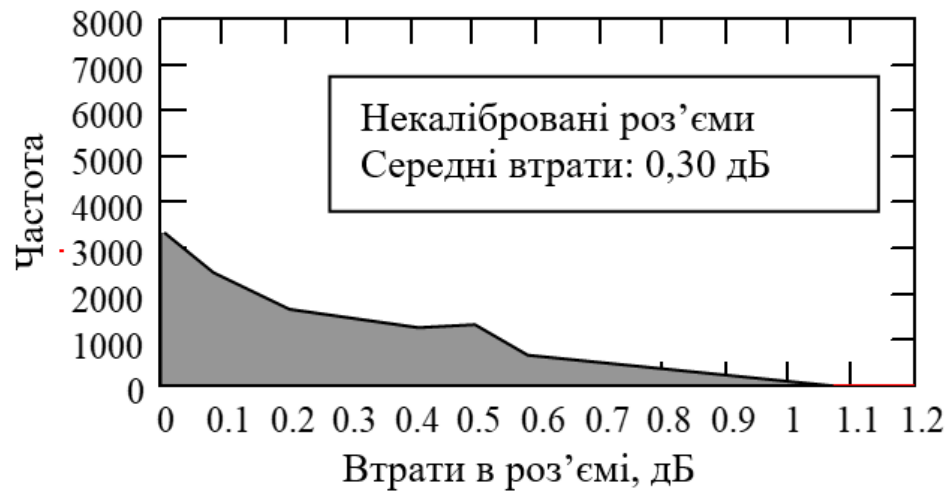


Рисунок 2.6 – Гістограма розподілу втрат внесених при з'єднанні типових (некаліброваних) роз'ємів

Для компенсації негативного впливу ексцентриситету застосовуються різні способи регулювання (налаштування) роз'ємів. Найбільшого поширення

набула технологія, в якій використовується зразковий роз'єм Б (зі зміщеною серцевиною волокна).

У зразковому роз'ємі Б серцевина волокна зміщена відносно номінального центру (параметри обумовлені в специфікації ІЕС) приблизно на половину радіуса зони можливих відхилень серцевини (рис. 2.7).

Втрати в місці з'єднання наконечників стандартного роз'єму і зразкового роз'єму Б, як можна бачити з рис. 2.7, будуть змінюватися при обертанні одного з наконечників навколо поздовжньої осі. Своїх екстремальних значень ці втрати досягають в положеннях, де збігаються азимуту їх серцевин. Таким чином, є можливість при виготовленні роз'єму налаштувати його на мінімум втрат.

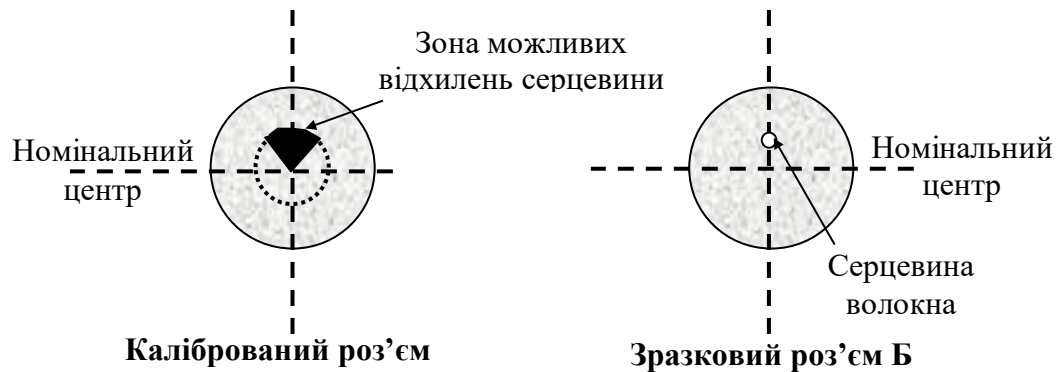


Рисунок 2.7 – Місцезнаходження серцевини волокна в наконечниках

Налаштування роз'єму здійснюється наступним чином. Обертаючи виготовлений наконечник навколо поздовжньої осі, визначають його положення щодо зразкового, при якому досягається найменший рівень внесених втрат, після чого наконечник фіксується в корпусі роз'єму. Наконечник може бути вставлений в корпус роз'єму в одному з чотирьох положень (зі зміщенням навколо осі на 90°). В результаті серцевина волокна

потрапляє в певний (щодо корпусу роз'єму) квадрант торцевої поверхні. При з'єднанні еталонних таким способом роз'ємів (будь-якого з будь-яким) втрати виходять в середньому приблизно в два рази менше (рис. 2.8).

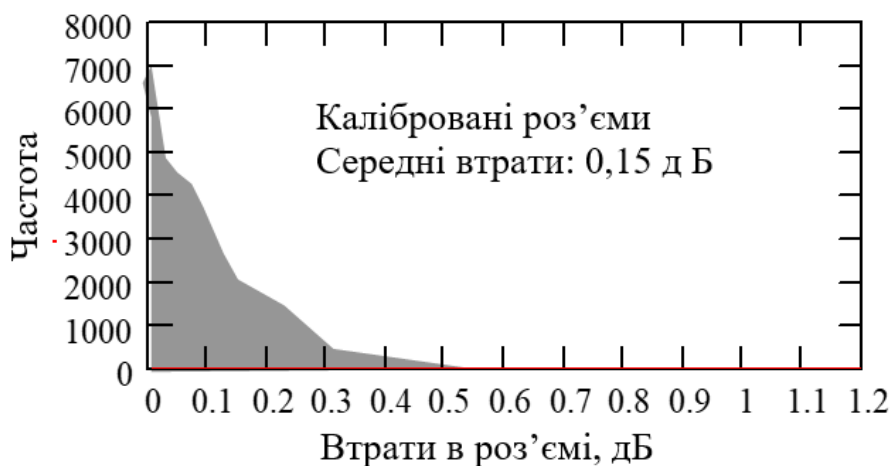


Рисунок 2.8 – Гістограма розподілу втрат внесених при з'єднанні каліброваних роз'ємів

Переваги цього способу налаштування роз'ємів, крім ефективного зменшення втрат (табл. 2.1), полягає також і в тому, що використовуються стандартні наконечники, і що вартість таких каліброваних роз'ємів збільшується незначно. Цей спосіб налаштування специфікований ІЕС і підтриманий більшістю великих виробників, що забезпечує сумісність і взаємозамінність виготовлених ними роз'ємів.

В даний час на телекомунікаційних мережах частіше використовуються некалібровані роз'єми зі специфікованим значенням внесених втрат (щодо зразкового роз'єму) не більше 0,5 дБ. Однак оскільки з ростом числа телекомунікаційних мереж зростає і кількість точок з'єднань, то для зниження величини повних втрат все частіше застосовуються калібровані роз'єми.

Таблиця 2.1 – Втрати, що вносяться при з'єднанні роз'ємів

Параметр	Некалібровані роз'єми		Калібровані роз'єми	
Втрати при з'єднанні зі зразковим роз'ємом, дБ	Середнє	0,20	Середнє	0,14
	94 %	< 0,30	95 %	< 0,30
	97 %	< 0,40	99 %	< 0,40
Втрати при з'єднанні «будь-який з будь-яким», дБ.	Середнє	0,30	Середнє	0,15
	60 %	< 0,30	94 %	< 0,30
	85 %	< 0,50	98 %	< 0,40
	Макс	1,2	Макс	0,71

Зазначений метод позиціонування оптичних волокон заснований на вимірюванні затухання потужності сигналу у ВОЛЗ. Для даних цілей застосовують два типи вимірювальної апаратури. Це оптичні тестери (OLTS, Optical Loss Test Set), що дозволяють вимірювати повні втрати в лінії і оптичні рефлектометри (OTDR, Optical Time Domain Reflectometer), за допомогою яких можна виміряти розподіл втрат уздовж лінії.

Відмінність в їх застосуванні полягає в тому, що при використанні тестера необхідно використовувати два пристрої і підключатися до обох кінців лінії, в той час як рефлектометр для вимірювання потрібно підключати до лінії тільки на одному кінці. Різниця обумовлена різними принципами вимірювання втрат.

Оптичний тестер, який в загальному випадку представляє з себе комплект з двох пристроїв – джерела оптичної потужності і вимірювача оптичної потужності, – проводить прямі вимірювання, тобто для визначення втрат порівнюється рівень потужності на вході в лінію і на виході з неї. Різниця потужностей сигналу дає можливість оцінити якість з'єднання та величину втрат (рис. 2.9).

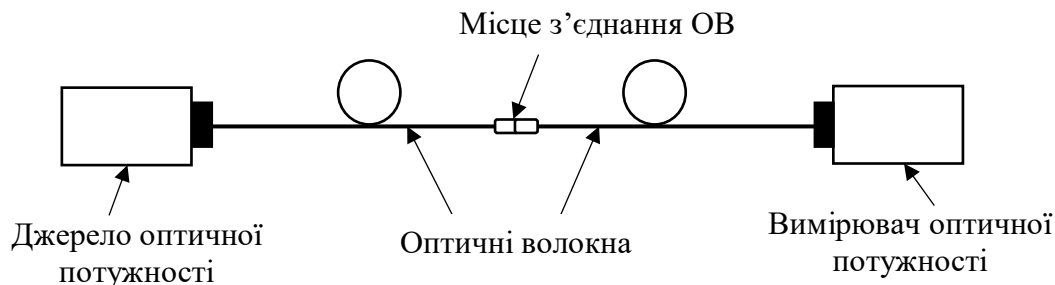


Рисунок 2.9 – Вимірювання затухання оптичної потужності сигналу у місці з'єднання ОВ

Рефлектометр, будучи підключеним тільки з одного кінця ВОЛЗ, зондує волокно тестовими імпульсами і отримує відгук у зворотному напрямку, викликаний зворотним розсіюванням у волокні. Аналізуючи цей відгук, процесор рефлектометра розраховує, скільки оптичної потужності втрачає сигнал в кожній точці ОВ. Такий вид визначення втрат можна назвати непрямим. Саме з цим, з похибкою непрямого методу, пов'язані деякі наближення в підрахунку повних втрат в лінії. Цим же пояснюється і перевага за точністю оптичних тестерів. Крім цього, тестером можна вимірювати втрати в лініях будь-якої протяжності, в той час як рефлектометр не дозволяє оцінити втрати в коротких, порядку декількох метрів волокнах.

Беручи до уваги перераховані відмінності, можна описати завдання, які вирішуються двома цими типами приладів. Тестером виконують:

- вимірювання повних втрат в лінії зв'язку;
- тестування оптичних шнурів.

Рефлектометр використовують переважно для:

- перевірки якості ОВ кабелю на барабані (вхідний контроль);
- оцінки якості зварних з'єднань ОВ;
- вимірювань приблизних значень повних втрат в лінії зв'язку;

- пошук і локалізація ушкоджень ОВ на лінії.

Обидва методи вимірювання затування оптичної потужності мають деякі недоліки: необхідність вільного доступу до кінців оптичних волокон, що з'єднуються та потрібно використовувати спеціальне обладнання. В даній роботі пропонується позиціонування за заздалегідь визначеним положенням серцевини волокна відносно оболонки та фєрули коннектора, при цьому враховується форма модового поля, яка залежить від еліптичності серцевини. Це дозволить з'єднувати оптичні волокна за допомогою роз'ємів без використання додаткових вимірювальних пристроїв та без втрати якості проведення даної операції.

2.3 Висновки по 2 розділу

У другому розділі проведений аналіз факторів, що впливають втрати оптичного сигналу в місцях з'єднання оптичних волокон. Представлені формули залежності втрат від величин радіального, кутового зсувів та від різниці діаметрів модових полів ОВ, що з'єднуються. Проаналізовано вплив конструктивних параметрів оптичних роз'ємів на втрату сигналу. З'ясовано, що різниця модових полів ОВ, що з'єднуються вносить затування оптичного сигналу в межах 0,2...0,5 дБ.

3 РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РОЗ'ЄМНОГО З'ЄДНАННЯ ОПТОВОЛОКОННИХ КАБЕЛІВ

3.1 Типовий технологічний процес з'єднання ОВ

Технологічний процес виготовлення більшості з'єднань оптичних волокон і ОВ кабелів можна представити як показано на рис. 3.1.

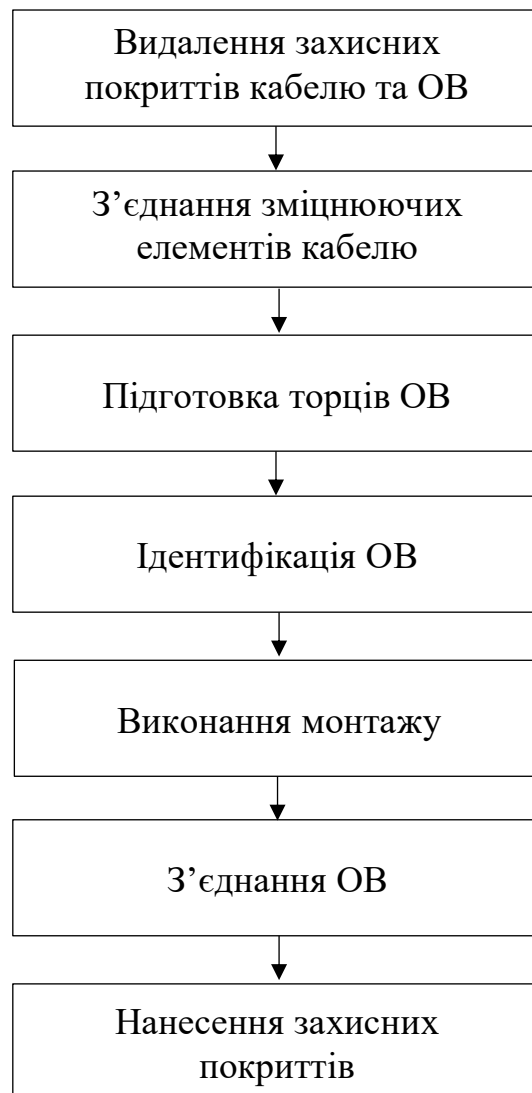


Рисунок 3.1 – Технологічний процес виконання з'єднання ОВ кабелів

Даний ТП містить наступні операції:

- видалення захисних покриттів з ОВ кабелю та оптичних волокон;
- з'єднання зміцнюючих елементів кабелю за допомогою дроту або пластикової ниті;
- підготовка торців ОВ;
- ідентифікація ОВ і монтаж в обраний пристрій з'єднання;
- з'єднання ОВ та нанесення захисних покриттів (в готовому з'єднанні ОВ та кабелі).

Існує багато способів з'єднання волоконно-оптичних кабелів. Розглянемо один з таких способів – з'єднання за допомогою, так званих, пігтейлів (pigtail). Це короткі гнучкі відрізки кабельного з'єднувача, окінцовані з одного боку оптичним коннектором (рис. 3.2).

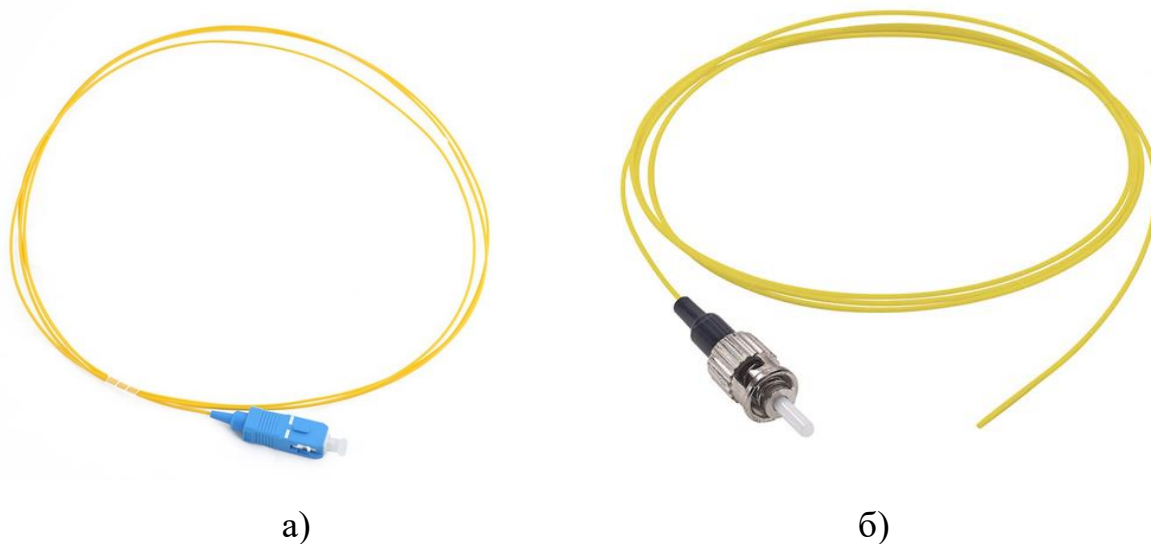


Рисунок 3.2 – Пігтейли типів SC/UPC (а) і ST (б)

Сам «хвостик» пігтейлу приєднується до ВОЛЗ, як правило, за допомогою зварювального пристрою. А окінцовування роз'єму виконується на виробництві.

При виробництві пігтейлів застосовують спеціальну технологію, алгоритм якої наведений на рис. 3.3.

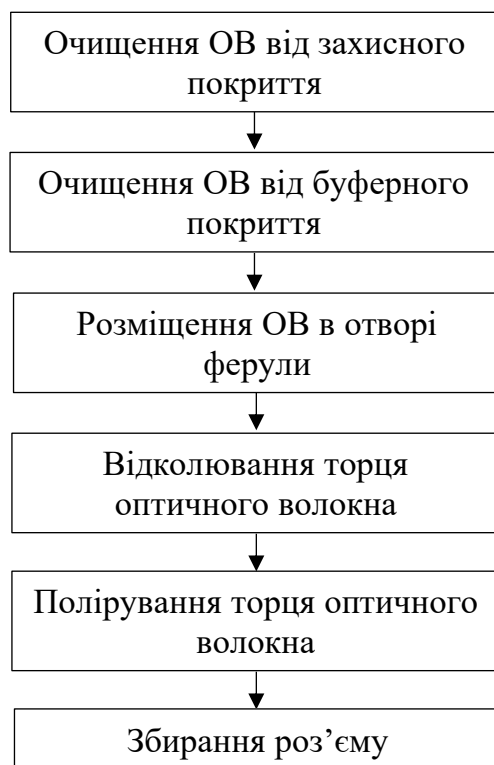


Рисунок 3.3 – Блок-схема технології встановлювання роз'єму на пігтейл

Після очищування оптичного волокна від захисного і буферного покриття, потрібно протерти спеціальним розчинником волокно, щоб позбутися залишків покриття та бруду. Далі волокно розміщується у ферулі, таким чином, щоб декілька міліметрів ОВ виходило за край наконечника. Іноді волокно у ферулі фіксують за допомогою клею. Після просихання клею проводять відколювання вільного кінця волокна. Відкол повинен бути рівним та якісним. Як правило, це робиться за допомогою спеціального пристрою – відколювача оптичних волокон.

Далі торець фєрули з волокном усередині полїрують, та очищують вїд пилу та бруду. Провївши вїзуальний контроль торця волокна, збирають усї складовї роз'єму. На рис. 3.3 представлений роз'єм SC-типу у зібраному станї.



Рисунок 3.4 – Фєрула з оптичним волокном у роз'ємі SC-типу

3.2 Модифїкація технологїї виготовлення пїгтейл-роз'ємїв

Вїд точностї позицїонування МП оптичних волокон залежить величина втрат потужностї сигналу. В атестацїйній роботї пропонується до технологїчного процесу виробництва оптичного роз'єму додати автоматизовану операцїю з визначення максимального дїаметру модового поля та подальшого маркування фєрули з метою правильного розташування її у порожнинї роз'єму. Це дозволить позицїонувати оптичнї волокна з урахуванням форми та розміру модового поля, а значить зменшить внесенї втрати сигналу на з'єднанї. Крім того, вїдпаде необхїдностї в обов'язковому застосуваннї обладнання, яким контролюють втрати сигналу при виконаннї з'єднання.

Розширений алгоритм технології виготовлення пігтейл-роз'єму наведений на рис. 3.4. Нові додані операції виділено пунктирною лінією.

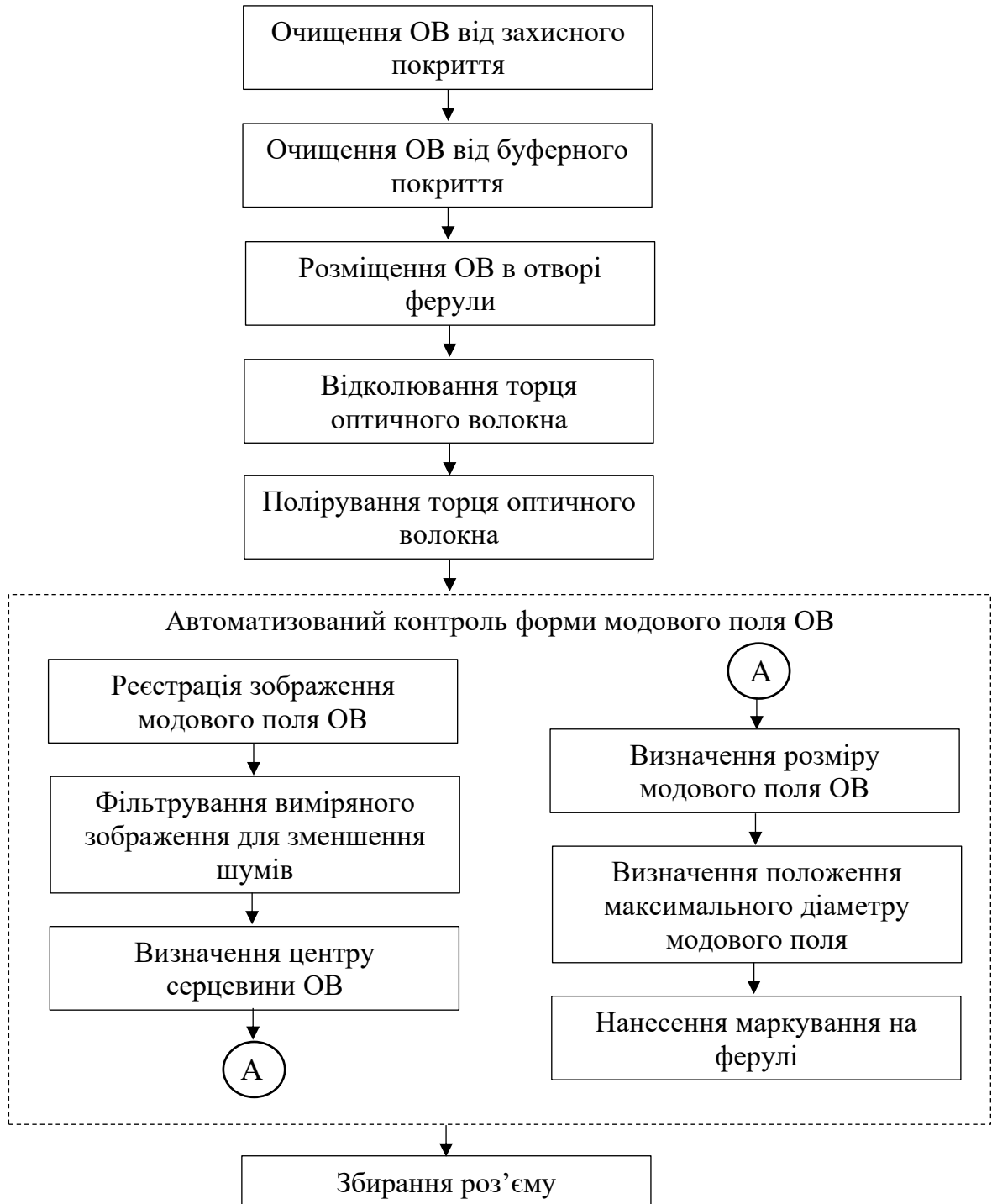


Рисунок 3.5 – Удосконалений алгоритм технології виробництва пігтейл-роз'ємів

3.3 Проектування автоматизованої системи позиціонування оптичних волокон в роз'ємних з'єднаннях

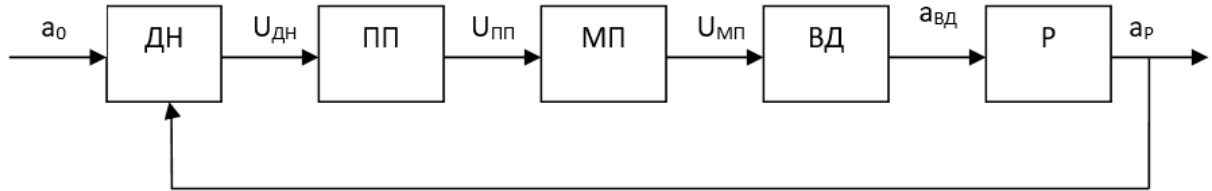
3.3.1 Розробка функціональної схеми системи

Для проектування автоматизованої системи позиціонування оптичних волокон слід зробити наступне:

- скласти структурну схему автоматичної системи управління;
- обчислити передавальну функцію всіх елементів;
- визначити передавальну функцію розімкнутої та замкнутої системи регулювання та їх характеристичні поліноми;
- побудувати області стійкості замкнутої системи методом D-розбивки за невідомим коефіцієнтом підсилення, який обирається з передбачуваної області стійкості;
- оцінити стійкість розімкнутої системи за коренями характеристичного рівняння, стійкість замкнутої системи, використовуючи критерій Гурвіца та Найквіста;
- визначити запас стійкості за амплітудою та фазою;
- побудувати ЛАЧХ та ЛФЧХ системи, сформувати ЛАЧХ із умови забезпечення необхідних значень швидкодії, перерегулювання й точності.

На підставі попереднього аналізу сформовано функціональну схему САУ, яку зображено на рис. 3.6. До складу схеми входить вимірювальний пристрій (ДН), який формує значення неузгодженості у позиціонуванні ОВ, ПП – попередній підсилювач, МП – магнітний підсилювач, ВД – виконавчий двигун моторизованого позиціонера, Р – редуктор – мікрометричний гвинт. Означені компоненти характеризуються наступними параметрами: коефіцієнт підсилення ДН $K_{ДН} = 2,5$, стала часу МП $T_{МП} = 0,04$ с, коефіцієнт посилення ВД $K_{ВД} = 2$, стала часу виконавчого двигуна $T_1 = 0,4$ с, стала часу виконавчого

двигуна $T_2 = 0,03$ с, коефіцієнт передачі редуктора $K_P = 0,0025$, коефіцієнт посилення магнітного поля підсилювача напруги $K_{МП} = 5$.



$U_{дн}$ – вихідна напруга давача неузгодженостей, $U_{пп}$ – напруга на виході ПП, $U_{мп}$ – напруга на виході МП, $a_{вд}$ – кут повороту ротору виконавчого двигуна, a_p – значення переміщення столу з об'єктом управління

Рисунок 3.6 – Розроблена функціональна схема САУ

3.3.2 Розрахунок передавальних функцій та розробка структурної схеми

Нижче наведені диференційні рівняння та передавальні функції кожної ланки.

Для давача неузгодженостей

$$U_{дн} = K_{дн}(a_0 - a_p), \quad (3.1)$$

де $U_{дн}$ – вихідна напруга давача неузгодженостей;

$K_{дн}$ – коефіцієнт підсилення давача неузгодженостей;

a_0 – заданий кут повороту об'єкта управління;

a_p – кут повороту виконавчої осі суб'єкта;

$$W_{дн}(s) = K_{дн}; \quad (3.2)$$

$$W_{дн}(s) = 2,5; \quad (3.3)$$

Для попереднього підсилювача

$$U_{ПП} = K_{ПП} U_{ДН}, \quad (3.4)$$

де $U_{ПП}$ – напруга на виході ПП;

$K_{ПП}$ – коефіцієнт посилення попереднього підсилювача напруги;

$$W_{ПП}(s) = K_{ПП}; \quad (3.5)$$

Для магнітного підсилювача диференційні рівняння та передавальні функції мають вигляд:

$$T_{МП} \frac{dU_{МП}}{dt} + U_{МП} = K_{МП} U_{ПП}, \quad (3.6)$$

де $T_{МП}$ – стала часу МП;

$U_{МП}$ – напруга на виході МП;

$K_{МП}$ – коефіцієнт посилення магнітного підсилювача напруги,

$$W_{МП}(s) = \frac{K_{МП}}{(T_{МП}s + 1)}, \quad (3.7)$$

$$W_{МП}(s) = \frac{5}{(0,04s + 1)}, \quad (3.8)$$

Для виконавчого двигуна:

$$T_2^2 \frac{d^3 a_{ВД}}{dt^3} + T_1 \frac{d^2 a_{ВД}}{dt^2} + \frac{da_{ВД}}{dt} = K_{ВД} U_{МП}, \quad (3.9)$$

де T_1, T_2 – сталі часу виконавчого двигуна;

$a_{ВД}$ – кут повороту ротора виконавчого двигуна,

$$W_{ВД}(s) = \frac{K_{ВД}}{T_2^2 s^3 + T_1 s^2 + s}, \quad (3.10)$$

$$W_{ВД}(s) = \frac{2}{0.09s^3 + 0.4s^2 + s}; \quad (3.11)$$

Для редуктора

$$a_P = K_P \cdot a_{ВД}, \quad (3.12)$$

де K_P – коефіцієнт передачі редуктора.

$$W_P(s) = K_P; \quad (3.13)$$

$$W_P(s) = 0,0025. \quad (3.14)$$

Структурна схема системи зображена на рис. 3.7.

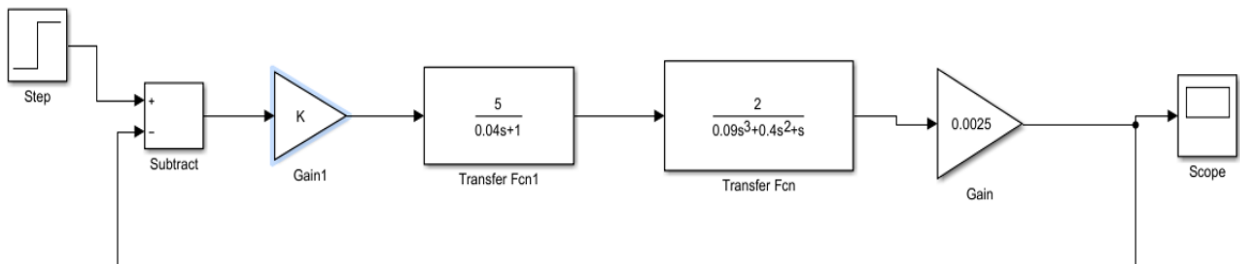


Рисунок 3.7 – Структурна схема системи

3.3.3 Розрахунок передавальних функцій розімкнутої та замкнутої САУ

Передавальна функція розімкнутої системи

$$W_{\text{роз}}(s) = W_{\text{ПП}}(s) \cdot W_{\text{МП}}(s) \cdot W_{\text{ВД}}(s) \cdot W_p(s), \quad (3.15)$$

$$W_{\text{роз}}(s) = \frac{0,025K_{\text{ПП}}}{(0,04s + 1)(0,09s^3 + 0,4s^2 + s)}, \quad (3.16)$$

$$W_{\text{роз}}(s) = \frac{0,025K_{\text{ПП}}}{0,0036s^4 + 0,1s^3 + 0,44s^2 + s}. \quad (3.17)$$

Передавальна функція замкнутої системи

$$W_{\text{замк}}(s) = \frac{W_{\text{ДН}}(s) \cdot W_{\text{ПП}}(s) \cdot W_{\text{МП}}(s) \cdot W_{\text{ВД}}(s) \cdot W_p(s)}{1 + W_{\text{ДН}}(s) \cdot W_{\text{ПП}}(s) \cdot W_{\text{МП}}(s) \cdot W_{\text{ВД}}(s) \cdot W_{\text{ВД}}(s)}; \quad (3.18)$$

$$W_{\text{роз}}(s) = \frac{0,025K_{\text{ПП}}}{0,0036s^4 + 0,1s^3 + 0,44s^2 + s + 0,025K_{\text{ПП}}}. \quad (3.19)$$

3.3.4 Побудова області стійкості методом D-розбивки

Коефіцієнт посилення $K_{\text{ПП}}$ необхідно шукати в межах області стійкості системи. Область стійкості системи знаходимо, користуючись методом D-розбивки. Для цього спочатку прирівняємо характеристичне рівняння замкнутої системи (3.7) до нуля. Отримаємо:

$$0,0036s^4 + 0,1s^3 + 0,44s^2 + s + 0,025K_{III} = 0. \quad (3.20)$$

З рівняння (3.8) отримаємо вираз для K_{III} :

$$K_{III} = -0,14s^4 - 4,24s^3 - 17,6s^2 - 40s. \quad (3.21)$$

Знаходимо комплексний вираз K_{III} підставивши $s = j\omega$ в вираз (3.9):

$$K_{III}(j\omega) = -0,14\omega^4 + 4,24j\omega^3 + 17,6\omega^2 - 40j\omega; \quad (3.22)$$

$$K_{III}(j\omega) = U(\omega) + jV(\omega); \quad (3.23)$$

$$U(\omega) = -0,14\omega^4 - 17,6\omega^2; \quad (3.24)$$

$$V(\omega) = 4,24\omega^3 + 40\omega. \quad (3.25)$$

Задаючи значення ω від -10 до 10 будемо область стійкості. По осі абсцис будемо дійсну складову $U(\omega)$, а по осі ординат – уявну $V(\omega)$. Графік області стійкості зображений на рис. 3.8.

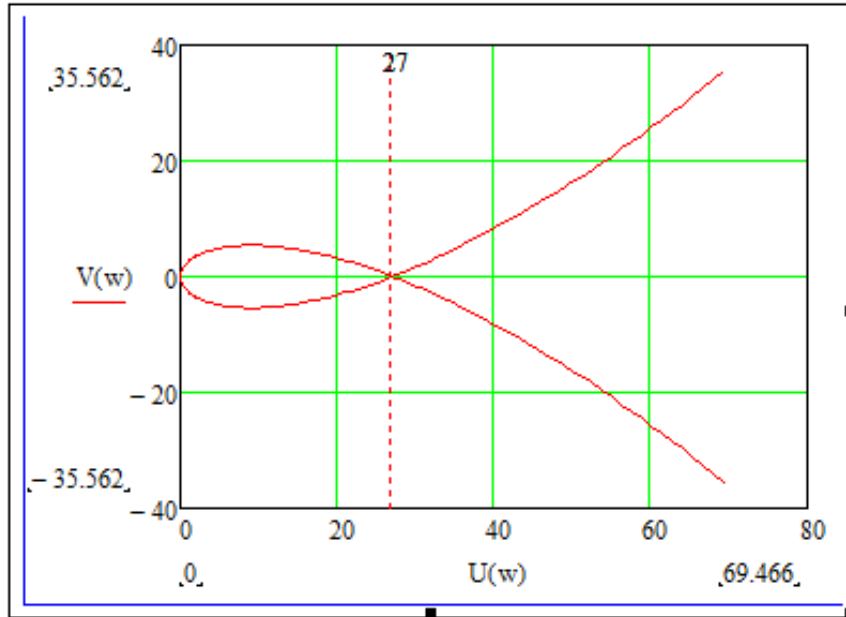


Рисунок 3.8 – Межа стійкості D-розбивки

Критичне значення коефіцієнту підсилення $K_{кр}=27$. Вибірємо коефіцієнт підсилення $K_{пп}=16$.

3.3.5 Аналіз стійкості розімкнутої та замкнутої САУ

Під час дослідження стійкості за допомогою алгебраїчних критеріїв, необхідно, перш за все, перевірити виконання необхідної умови стійкості, оскільки ця перевірка не потребує ніяких розрахунків і за невиконання цієї умови подальші розрахунки проводити не потрібно.

Необхідна умова стійкості лінійних систем полягає у тому, що коефіцієнти характеристичного рівняння системи мають бути одного знаку:

$$a_0 > 0, a_1 > 0, \dots, a_n > 0 \text{ або } a_0 < 0, a_1 < 0, \dots, a_n < 0.$$

Якщо необхідна умова не виконується, то система нестійка. Якщо

необхідна умова виконується, то система при $n \geq 3$ може бути стійкою або нестійкою. Для встановлення стійкості необхідно скористатися будь-яким критерієм стійкості. Для систем першого та другого порядків необхідна умова є і достатньою.

Оцінку стійкості розімкненої системи проведемо за коренями характеристичного рівняння. За передаточною функцією розімкненої системи (3.19) складемо характеристичне рівняння:

$$(0,04s + 1)(0,09s^3 + 0,4s^2 + s) = 0. \quad (3.26)$$

Всі коефіцієнти характеристичного рівняння одного знаку (додатні), отже необхідна умова стійкості виконується, але так як система 4-го порядку, необхідно знайти корені рівняння:

$$s_1 = -25; s_2 = 0; s_{3,4} = \frac{-0,4 \pm j\sqrt{0,45}}{0,18}.$$

Один із дійсних коренів дорівнює нулю, тому система знаходиться на межі стійкості.

Проведемо оцінку стійкості замкнутої системи за критерієм Гурвіца. Для того, щоб система автоматичного управління була стійкою, необхідно та достатньо, щоб усі визначники Гурвіца були додатними $\Delta_i > 0$, $i = \overline{1, n}$ при $a_0 > 0$.

Для того, щоб скористатися критерієм Гурвіца, спочатку треба побудувати головний визначник Гурвіца за таким правилом: на головній діагоналі розташовують коефіцієнти у порядку збільшення їх індексів, починаючи з a_1

та закінчуючи a_n . У кожному стовпчику під час руху від елемента, який знаходиться на головній діагоналі уверх, індекси коефіцієнтів збільшуються, униз – зменшуються. При цьому на місці елементів з індексами, які перевищують n (під час руху уверх), та від'ємними індексами (під час руху униз) ставляться нулі.

$$\Delta_n = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & a_7 & \dots & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & a_6 & \dots & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & a_5 & \dots & 0 \\ 0 & a_0 & a_2 & a_4 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & a_n \end{vmatrix}$$

За передаточною функцією замкнутої системи (3.19) складемо характеристичне рівняння:

$$0.0036s^4 + 0.1s^3 + 0.44s^2 + s + 0.4 = 0. \quad (3.27)$$

Так як усі коефіцієнти характеристичного рівняння одного знаку, то необхідна умова стійкості виконується. Для перевірки достатньої умови побудуємо головний визначник Гурвіца:

$$\Delta_4 = \begin{vmatrix} 0.1 & 1 & 0 & 0 \\ 0.0036 & 0.44 & 7.5 & 0 \\ 0 & 0.1 & 1 & 0 \\ 0 & 0.0036 & 0.44 & 7.5 \end{vmatrix} = 0.3,$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 0.1 & 1 & 0 \\ 0.0036 & 0.44 & 7.5 \\ 0 & 0.1 & 1 \end{vmatrix} = 0.04,$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 0.1 & 1 \\ 0.0036 & 0.44 \end{vmatrix} = 0.04,$$

$$\Delta_1 = 0,1.$$

За критерієм Гурвіца необхідною і достатньою умовою стійкості системи є: $a_0 > 0, \Delta_1 > 0, \Delta_2 > 0, \Delta_3 > 0, \Delta_4 > 0$. З отриманих значень бачимо, що замкнена система є стійкою.

Оцінемо стійкість замкнутої системи за критерієм Найквіста. Частотний критерій Найквіста призначений для дослідження тільки замкнутих систем автоматичного управління. Він дозволяє за видом амплітудно-фазової частотної характеристики розімкнутої системи робити висновки про стійкість замкнутої системи.

Частотний критерій Найквіста формулюється так: для того, щоб замкнута система була стійкою, необхідно та достатньо, щоб АФЧХ її розімкнутої системи зі зростанням частоти від 0 до $+\infty$ охоплювала точку $(-1; j_0)$ у додатному напрямку, тобто проти руху годинникової стрілки, $\frac{l}{2}$ разів, де l – кількість правих коренів характеристичного рівняння розімкнутої системи.

Зокрема, якщо розімкнута система стійка ($l = 0$), то для того, щоб замкнута система була стійкою, необхідно та достатньо, щоб АФЧХ її розімкнутої системи не охоплювала точку $(-1; j_0)$.

Для того, щоб оцінити стійкість САУ за критерієм Найквіста запишемо характеристичний поліном розімкнутої системи та знайдемо його корні.

$$0,0036s^4 + 0,1s^3 + 0,44s^2 + s = 0, \quad (3.28)$$

де коренями рівняння є:

$$s_1 = -25; s_2 = 0; s_{3,4} = \frac{-0,4 \pm j\sqrt{0,45}}{0,18}.$$

Побудуємо годограф Найквіста, з урахуванням того, що:

$$W = \frac{0,4}{0,0036s^4 + 0,1s^3 + 0,44s^2 + s + 0,4}.$$

Виходячи з того, що характеристичне рівняння розімкненої системи не має правих коренів, тобто $l = 0$, а АФЧХ розімкненої системи (рис. 3.9) не охоплює точку $(-1; j0)$, можна стверджувати, що замкнута система є стійкою.

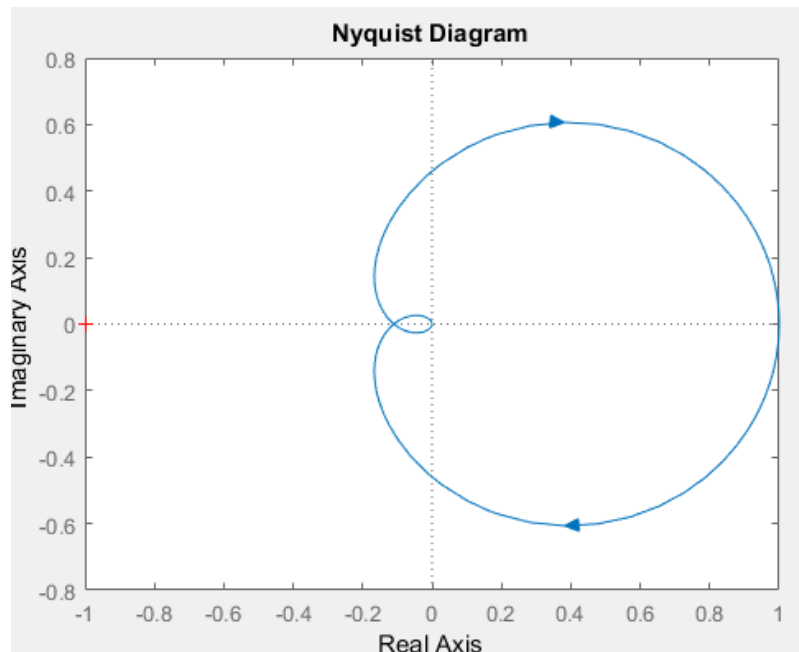


Рисунок 3.9 – Годограф Найквіста

3.3.6 Визначення запасу стійкості за амплітудою і фазою

До частотних показників якості належать запас стійкості за амплітудою та запас стійкості за фазою. Частотні показники якості можна розрахувати двома способами: за допомогою логарифмічних частотних характеристик та амплітудно-фазової частотної характеристики.

Запас стійкості за фазою $\Delta\varphi$ визначається як відстань від ЛФЧХ до прямої $\varphi(\omega) = -\pi$ на частоті зрізу. Частота зрізу ω_c – це частота, на якій ЛАЧХ перетинає вісь частот.

Запас стійкості за амплітудою ΔA визначається як відстань від ЛАЧХ до осі частот на частоті, ЛФЧХ перетинає пряму $\varphi(\omega) = -\pi$. ЛАЧХ та ЛФЧХ зображені на рис. 3.10.

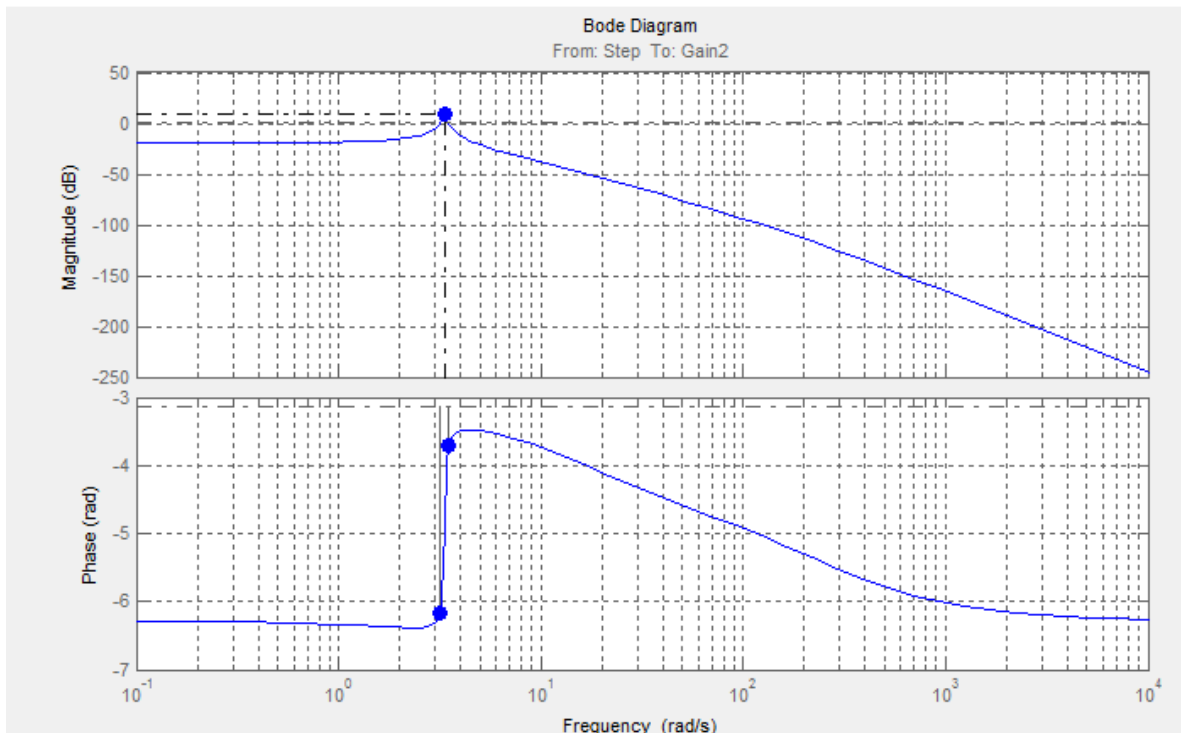


Рисунок 3.10 – ЛАЧХ і ЛФЧХ системи

За допомогою вбудованої функції `margin()` знайдемо запаси стійкості за амплітудою ΔA і фазою $\Delta \varphi$ (рис. 3.11).

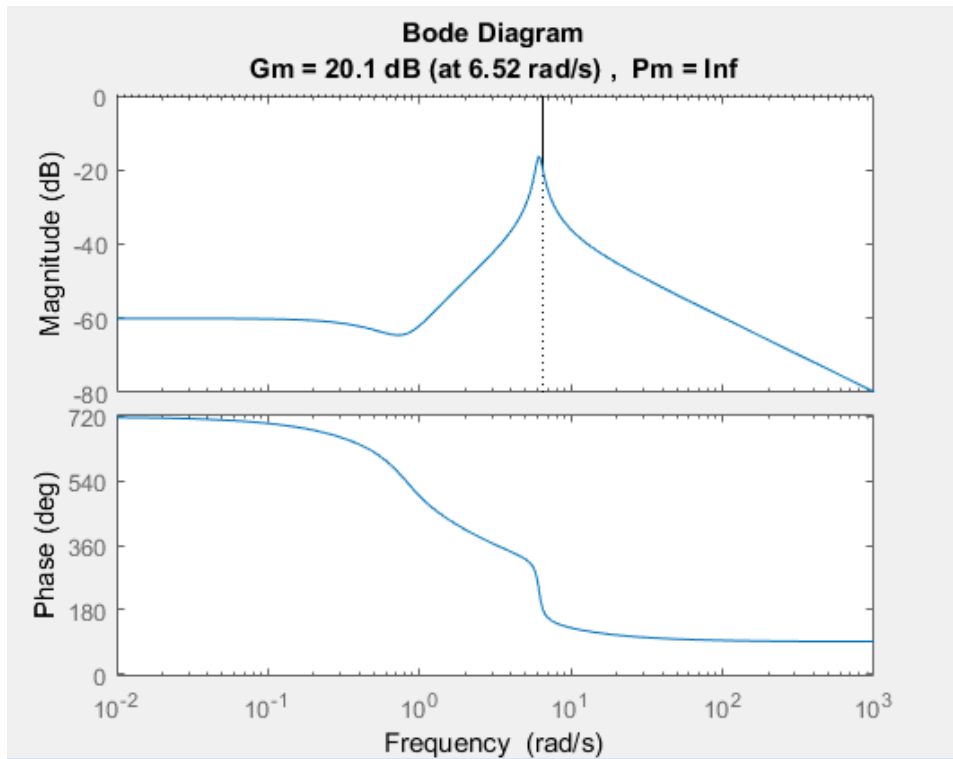


Рисунок 3.11 – ЛАЧХ і ЛФЧХ системи

Виходячи з графіків, що зображені на рис. 3.11, запишемо запаси стійкості за амплітудою ΔA і фазою $\Delta \varphi$:

$$\Delta A = 20,1 \text{ дБ}, \Delta \varphi = \infty.$$

3.3.7 Моделювання перехідних процесів САУ

Для моделювання перехідних процесів використовується пакет Simulink Matlab. Результат побудови перехідної характеристики представлено на рис. 3.12.

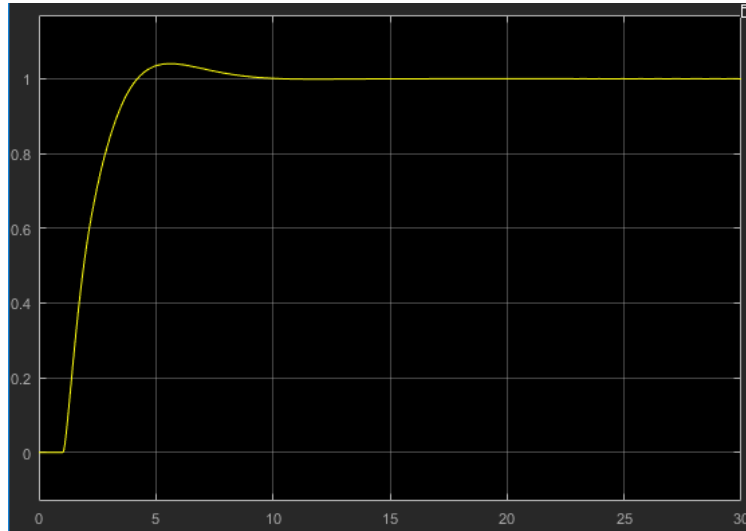


Рисунок 3.12 – Перехідна характеристика системи

По отриманій перехідній характеристиці знайдемо прямі показники якості:

– час регулювання t_p – це мінімальний час, по закінченні якого (з моменту подачі східчастого впливу) відхилення вихідної величини від сталого значення не перевищує деякої заданої величини $\Delta = (0,05\dots 0,1) \cdot h_\infty$, де h_∞ – стале значення перехідної характеристики.

$$t_p = 5,3 \text{ с};$$

– перерегулювання σ – максимальне відхилення перехідної характеристики від сталого значення:

$$\sigma = \frac{h_m - h_\infty}{h_\infty} \cdot 100\%; \quad (3.29)$$

$$\sigma = 5\%.$$

Далі отримуємо ЛАЧХ і ЛФЧХ (рис. 3.13) для знаходження частотних показників якості – запасу стійкості за амплітудою ΔA і фазою $\Delta\varphi$:

$$\Delta A = 33,4 \text{ дБ}, \quad \Delta\varphi = 75,3^\circ.$$

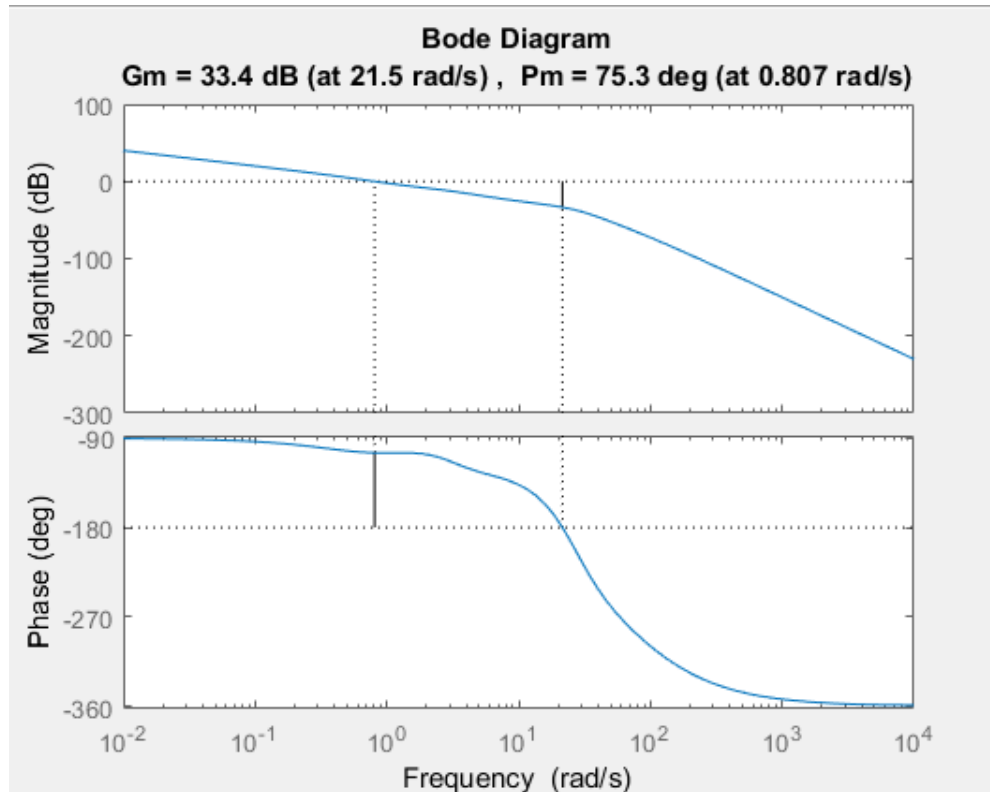


Рисунок 3.13 – ЛАЧХ і ЛФЧХ системи

3.4 Висновки по 3 розділу

В даному розділі пропонується вдосконалити технологію виготовлення роз'ємного з'єднання наступними автоматизованими операціями: реєстрація (вимірювання) зображення модового поля ОВ у поперечному перетині; визначення аксіального положення максимального

діаметру модового поля. Завдяки маркуванню на ферулі пігтейл-роз'єму, така технологія дозволить виконувати з'єднання оптоволоконних кабелів без використання спеціальної техніки та зекономить трудові затрати спеціалістів. Для розробки автоматизованого технологічного процесу складена структурна схема автоматичної системи управління, обчислена передавальна функція розімкнутої та замкнутої системи регулювання та їх характеристичні поліноми. Побудовані області стійкості замкнутої системи методом D-розбивки. Наведено оцінки стійкості розімкнутої системи за коренями характеристичного рівняння, оцінки стійкості замкнутої системи за критеріями Гурвіца та Найквіста. Розраховано запас стійкості за амплітудою та фазою та побудовані ЛАЧХ та ЛФЧХ системи.

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЗИЦІОНУВАННЯ РОЗ'ЄМНОГО З'ЄДНАННЯ ОПТИЧНИХ ВОЛОКОН

4.1 Розробка моделей оптичних волокон

Для дослідження розробленого методу змодельовані чотири типи одномодового оптичного волокна (рис. 4.1). Різниця полягає в розташуванні модових полів відносно оболонки та у їх формі – у трьох зразках присутня еліптичність модового поля, що відповідає технологічним відхиленням у реальних оптичних волокнах.

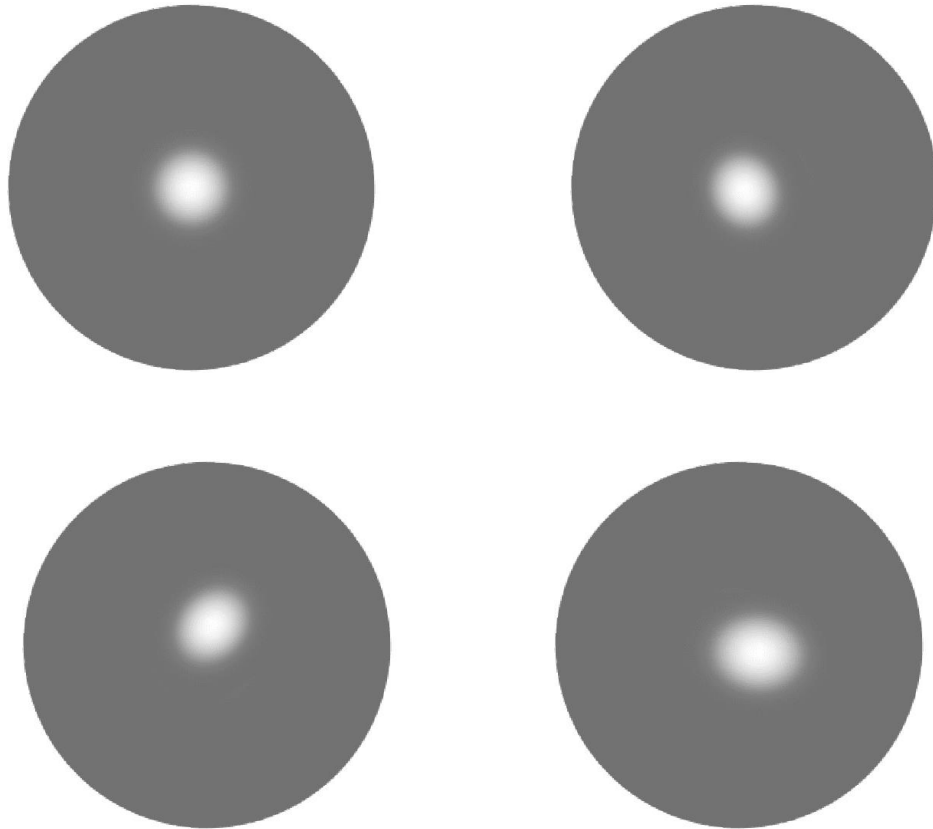


Рисунок 4.1 – Побудовані моделі оптичних волокон з різними формами та розташуванням модових полів

Як вже відзначалося, на величину втрат впливає розміщення оптичного волокна у ферулі з'єднувача. Тому для дослідження використовуваності даного методу для позиціонування оптичних волокон в коннекторах на моделі ОВ додано нерівномірний зазор між оболонкою та внутрішнім каналом ферули. А для більш точної імітації реальних умов на зображення додано 10 % гаусів шум. В результаті отримано моделі, наведені на рис. 4.2.

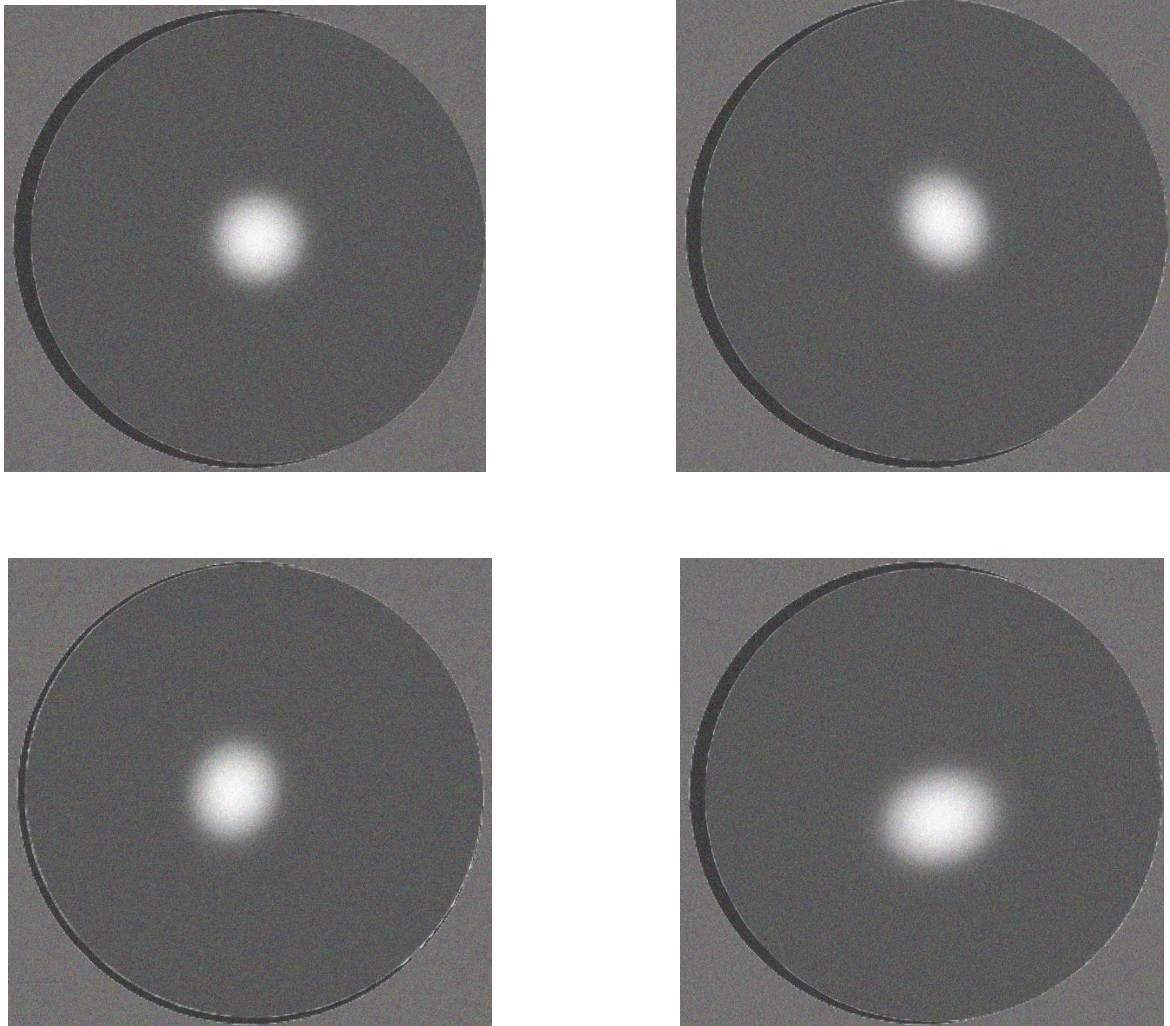


Рисунок 4.2 – Моделі ОВ з зазором у ферулі та з 10 % гаусовим шумом

4.2 Вибір параметрів фільтру для усунення шумів на зображеннях ОПТИЧНИХ ВОЛОКОН

Під час вимірювань МП та зображення оптичного волокна у поперечному перетині, завжди виникають шуми, які обумовлені різноманітними факторами. До таких факторів можна віднести погрішності вимірювальної техніки та недосконалість оптичної системи, якість підготовки торців оптичних волокон – подряпини, пил та бруд, які можуть залишатися після проведення операції сколу.

Тому одним з важливих кроків в обробці виміряного зображення є проведення фільтрування. Провівши низку емпіричних експериментів, для даної задачі обрано фільтр Баттерворта нижніх частот 12-го порядку та нормованою частотою відсічки 0,5. На рис. 4.3 наведено вікно програми для побудови фільтру та вибору його параметрів.

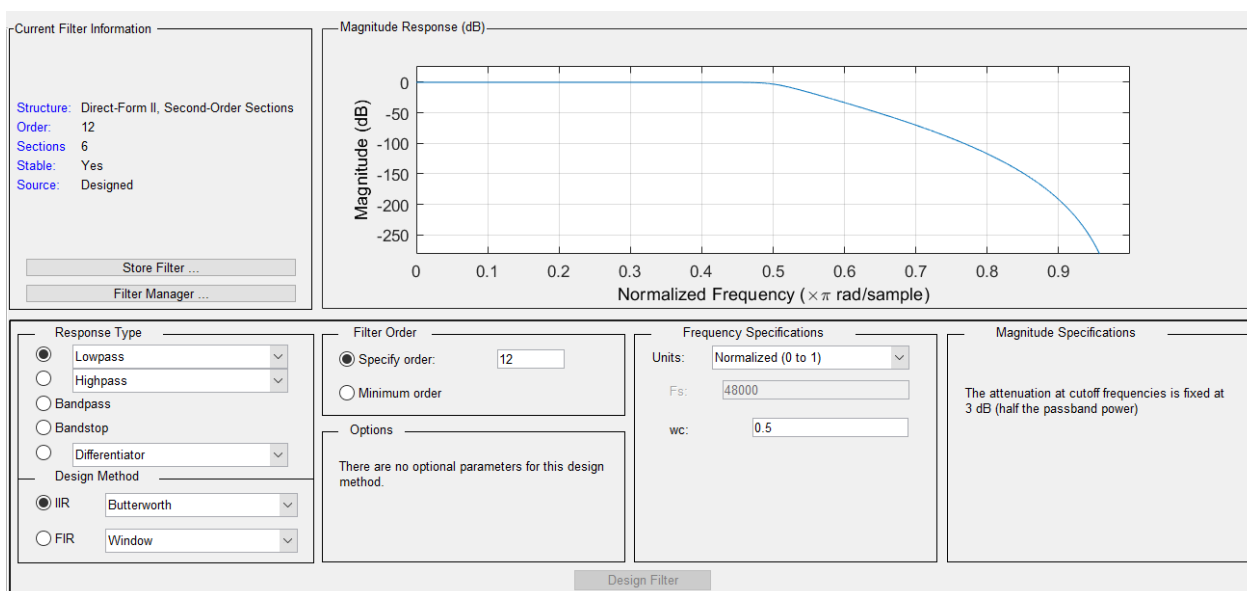


Рисунок 4.3 – Вибір параметрів фільтру нижніх частот

Фільтрування зображення складається з наступних етапів:

- виконання Фур'є-перетворення виміряного розподілу;
- визначення параметрів обраного фільтра;
- множення Фур'є-зображення на характеристику фільтра;
- зворотне перетворення Фур'є.

Схема алгоритму проведення фільтрації приведена на рис. 4.4.

Для вибору фільтра Баттерворта, що забезпечує проходження інформаційної складової сигналу $E(x)$ за максимальним зменшенням спотворень проведено моделювання за допомогою пакета прикладних програм Matlab.

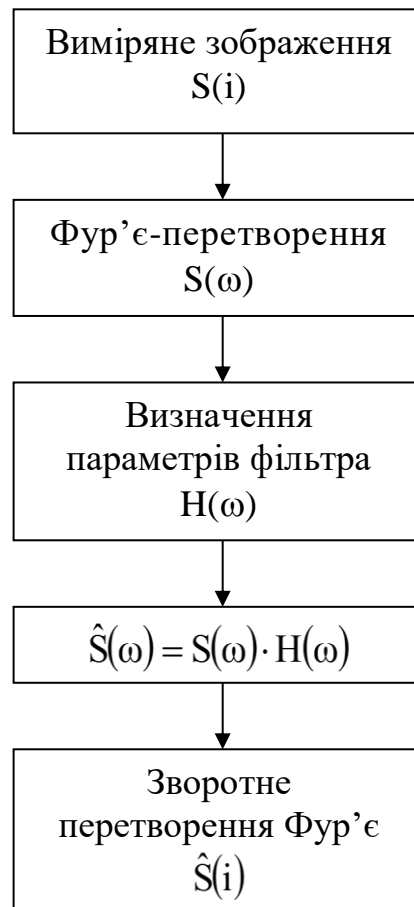


Рисунок 4.4 – Схема алгоритму фільтрування виміряного зображення

Підбір фільтру краще проводити на одному перетині зображення, а не на тривимірному. По-перше, розрахунки і побудова графіку відбувається швидше, а, по-друге, отриманий результат фільтрування на двовимірному графіку більш наочний.

На рис. 4.5 представлений результат фільтрування одного перетину вихідного зображення. Даний перетин проходить через центр серцевини волокна, значення $E_n(x)$ у межах $\approx 0,2 \dots 0,4$ відповідають областям оболонки ОВ та області ферули, а $E_n(x) \approx 0,4 \dots 1,0$ – відповідає області серцевини ОВ, де й проходить випромінювання і формується модове поле, яке має більш високу яскравість відносно області оболонки (пунктирна лінія – вихідний розподіл; синя лінія – після обробки фільтром 5-го порядку, частотою відсічки 0,9; червона лінія – після обробки фільтром 12-го порядку, частотою відсічки 0,5).

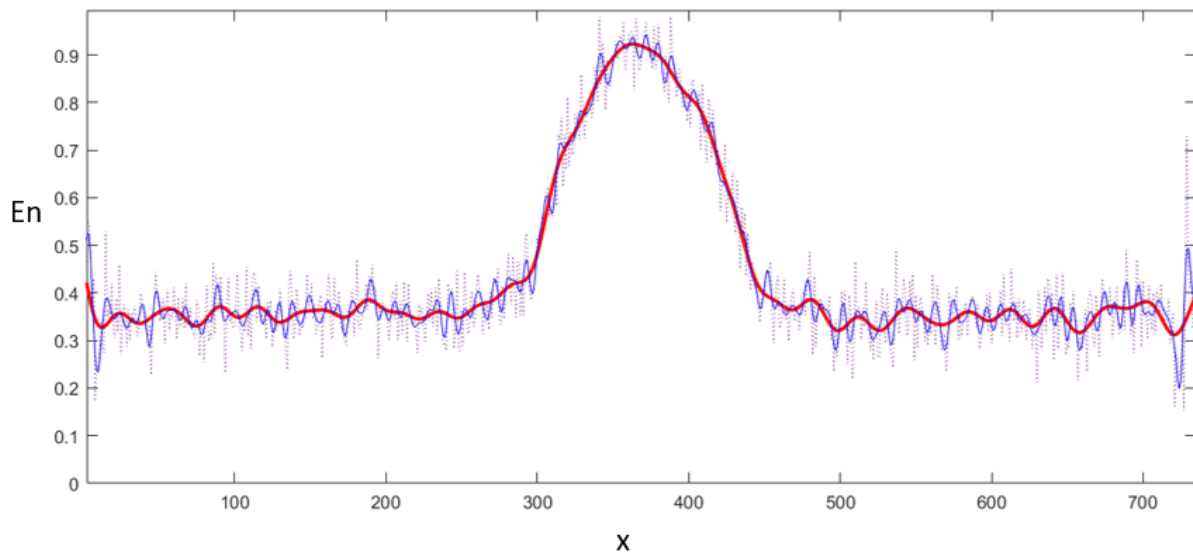


Рисунок 4.5 – Результат використання фільтрів до вихідного розподілу

Підібравши параметри фільтра таким чином, щоб результат обробки був задовільний, різкі викиди $E_n(x)$ були згладжені, та, водночас, не

спотворювалося вихідне зображення, можна використати даний фільтр до всього зображення. На рис. 4.6 наведено вихідне зображення оптичного волокна у тривимірному представленні, а на рис. 4.7 це ж зображення, але після операції фільтрування.

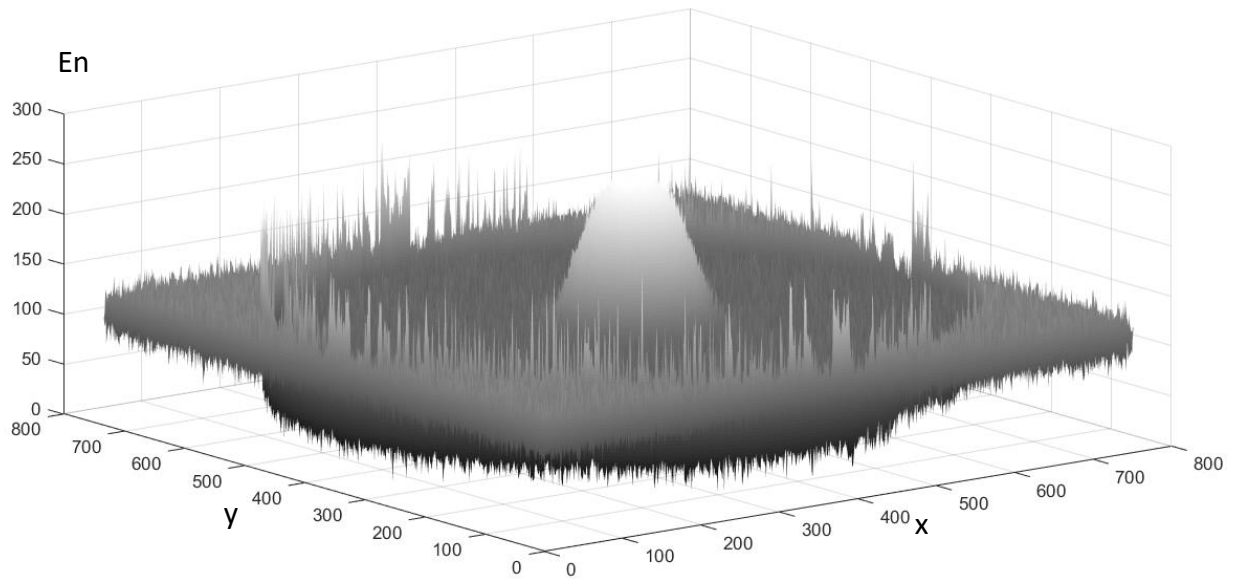


Рисунок 4.6 – Тривимірне зображення оптичного волокна

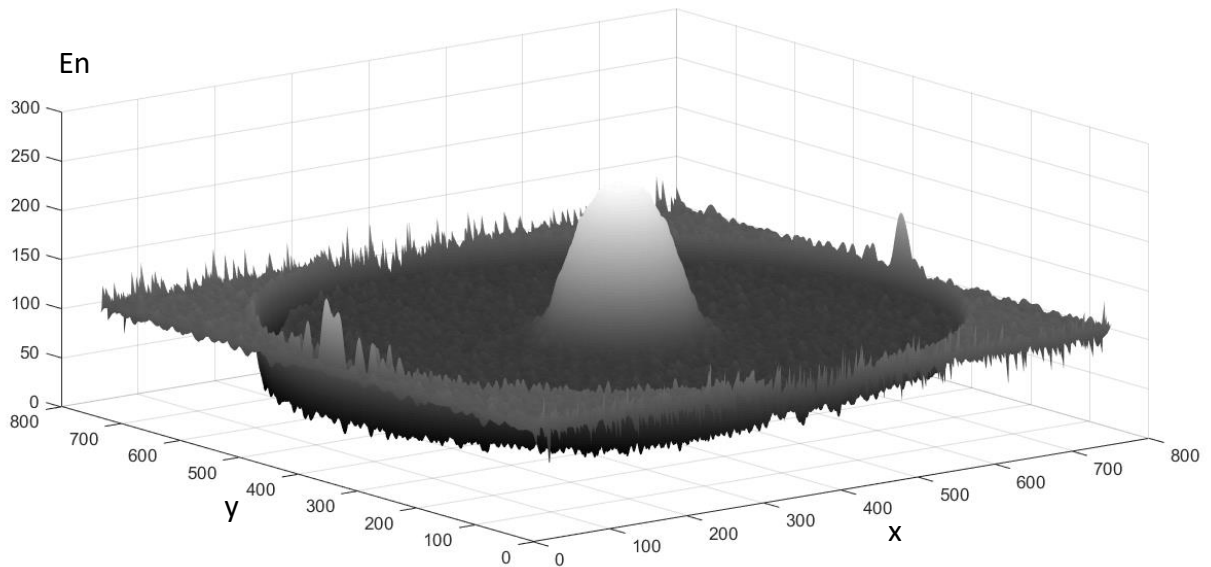


Рисунок 4.7 – Зображення ОВ після фільтрування

4.3 Визначення аксіального положення модового поля оптичного волокна для позиціонування роз'ємного з'єднання

Після фільтрування зображення за розробленою програмою (ДОДАТОК Б) розраховано діаметри модового поля в кожному перетині, що проходить через вісь серцевини оптичного волокна, з кроком у один градус. Координати центру серцевини розраховувалися як зважений центроїд функції інтенсивності розподілу $E_n(x)$:

$$X = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} x \cdot E(x) dx}{\int_{-\infty}^{+\infty} E(x) dx}. \quad (4.1)$$

Слід зазначити, що для виключення впливу зображення ферули та оболонки, ці області виключено з розрахунку.

Візуалізацію отриманих результатів для усіх чотирьох моделей оптичних волокон представлено на рис. 4.8-4.11.

За віссю ординат розташовані значення діаметру модового поля ОВ у елементах матриці, а за віссю абсцис – кут повороту перетину.

Побудовані графіки мають викиди значень, обумовлені погрішностями розрахунків. Для збільшення точності визначення максимального значення діаметру модового поля необхідно провести апроксимацію отриманих значень. Це згладить отримані графіки залежностей та усунить вплив випадкових величин на подальші розрахунки.

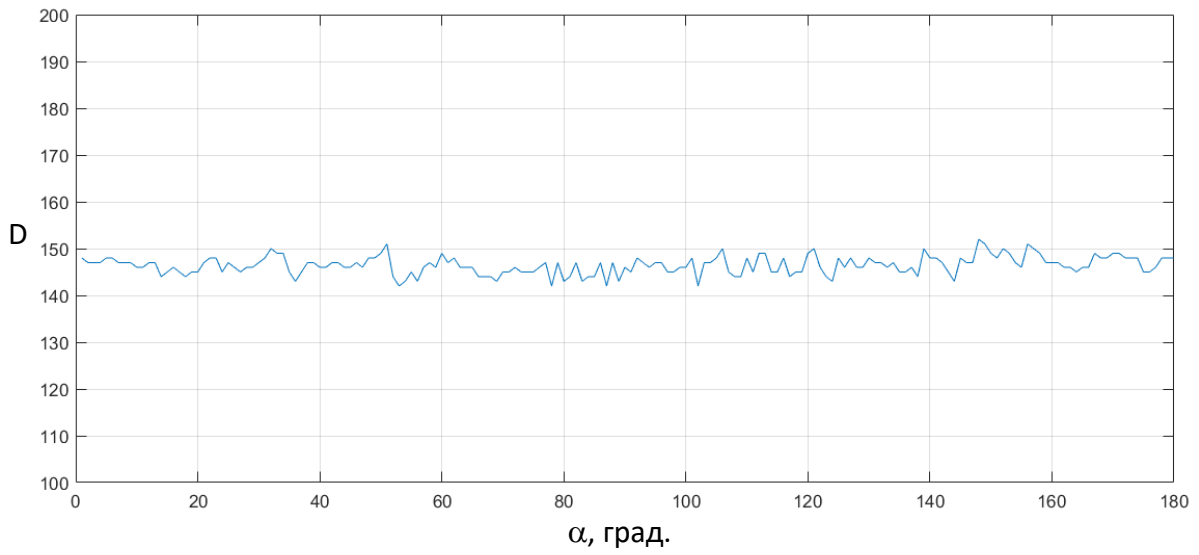


Рисунок 4.8 – Залежність діаметру модового поля ОВ, представленого на рис. 4.2, *a* від аксіального кута повороту

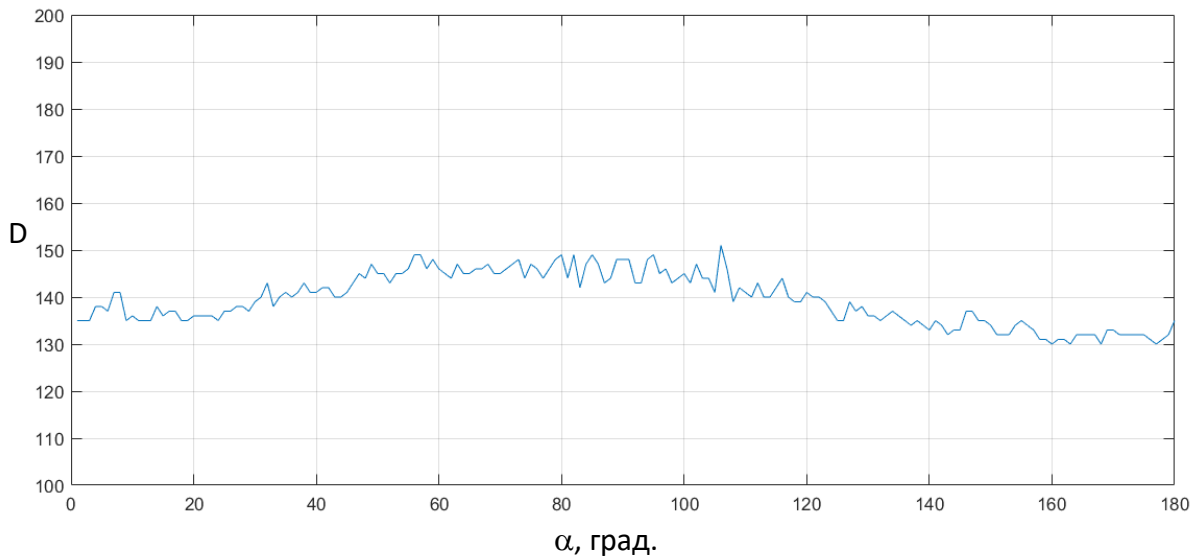


Рисунок 4.9 – Залежність діаметру модового поля ОВ, представленого на рис. 4.2, *б* від аксіального кута повороту

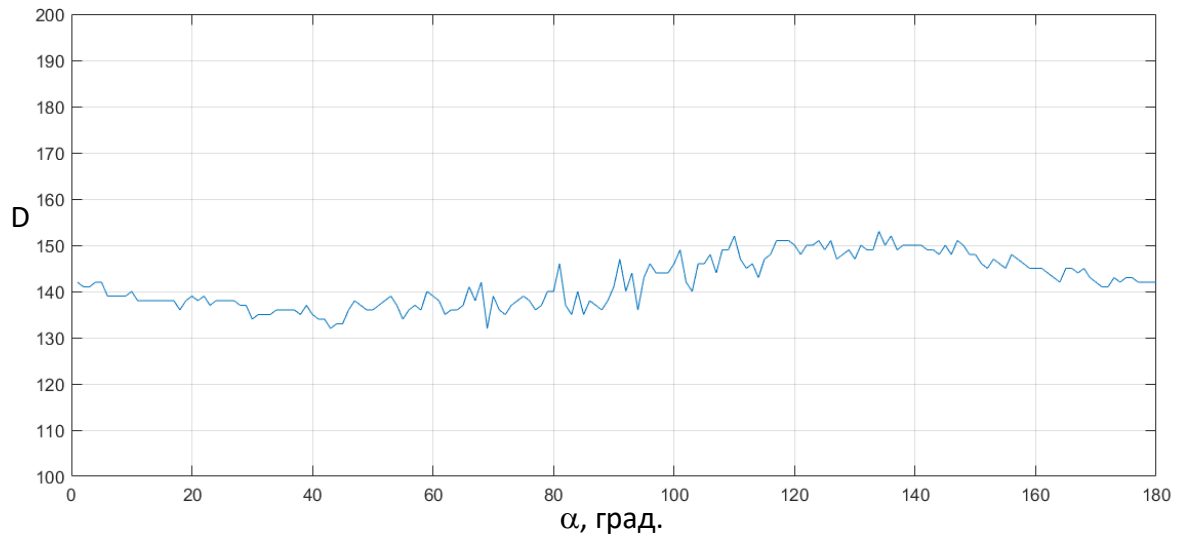


Рисунок 4.10 – Залежність діаметру модового поля ОВ, представленого на рис. 4.2, в від аксіального кута повороту

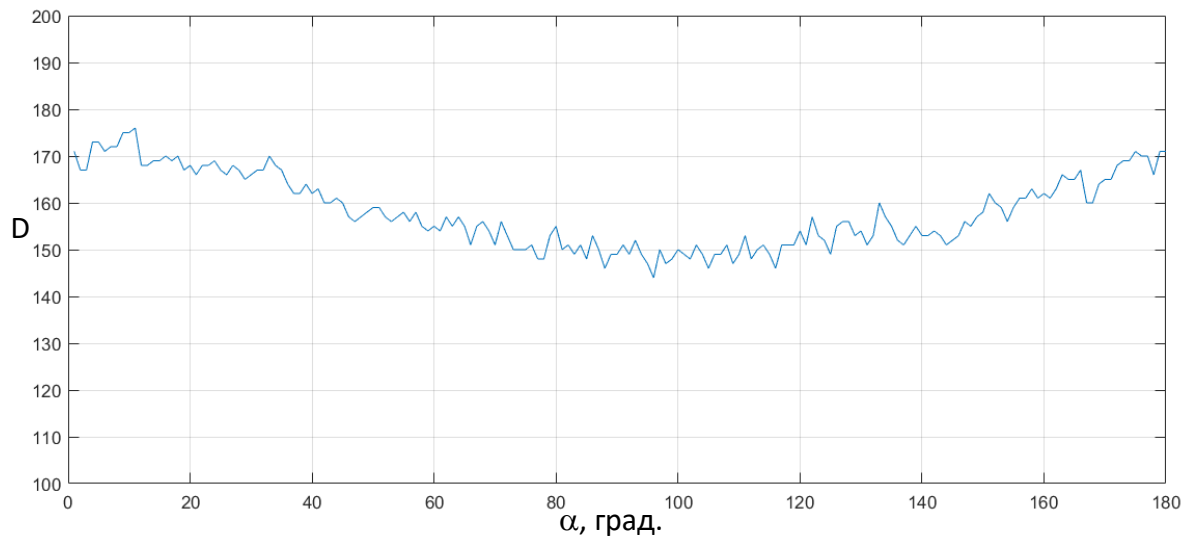


Рисунок 4.11 – Залежність діаметру модового поля ОВ, представленого на рис. 4.2, з від аксіального кута повороту

На рис. 4.12-4.15 представлено інструмент для роботи з різними типами апроксимацій та результати розрахунків коефіцієнтів поліномів для зображень оптичних волокон, представлених на рис. 4.2. Даний інструмент дозволяє виконувати аналіз даних, попередню обробку і пост-обробку даних, порівнювати моделі і видаляти викиди. За допомогою нього можна провести регресійний аналіз, використовуючи бібліотеку лінійних і нелінійних моделей, або вказати свої власні рівняння.

Бібліотека надає оптимізовані параметри вирішувача і початкові умови для поліпшення якості підгонок. Набір інструментів також підтримує непараметричні методи моделювання, такі як сплайни, інтерполяція і згладжування. Після створення підгонки можна застосувати різні методи пост-обробки для побудови графіків, інтерполяції та екстраполяції, оцінки довірчих інтервалів і обчислення інтегралів і похідних.

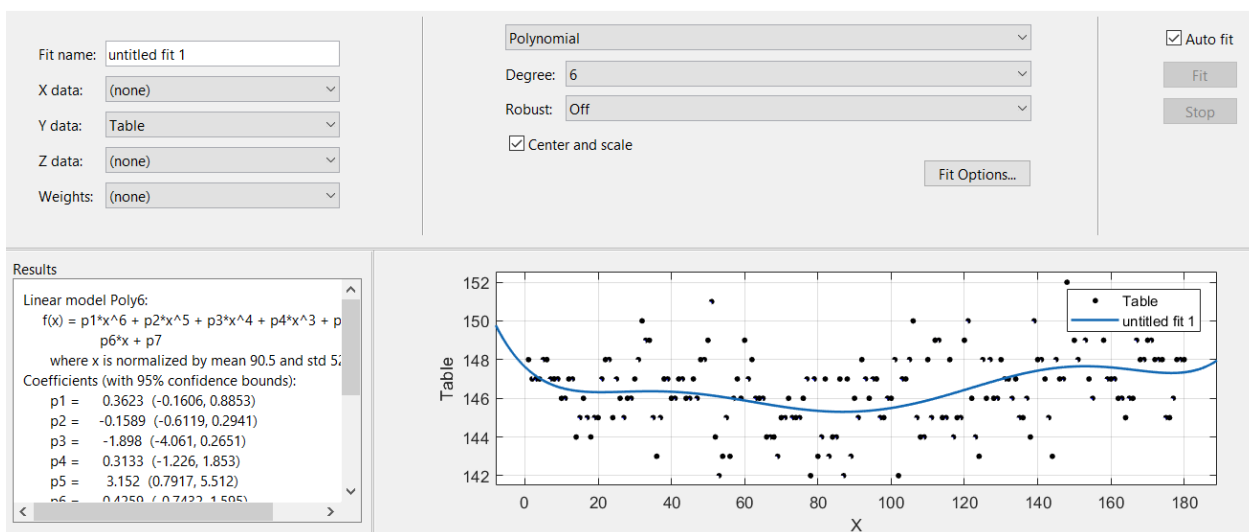


Рисунок 4.12 – Апроксимація графіку залежності діаметру модового поля ОВ, представленого на рис. 4.2, а, від аксіального повороту

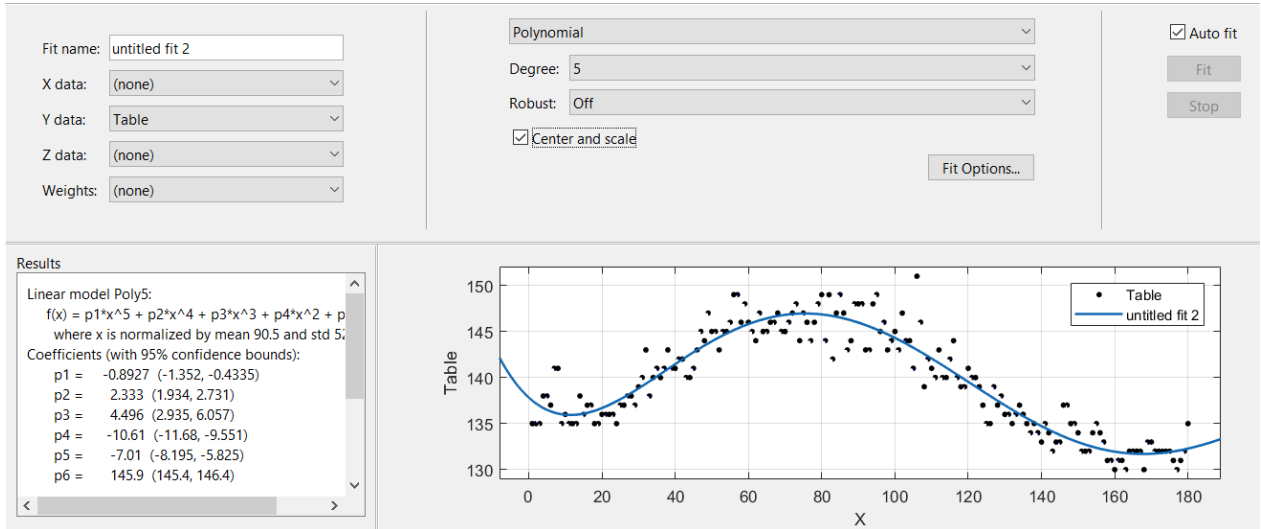


Рисунок 4.13 – Апроксимація графіку залежності діаметру модового поля ОВ, представленого на рис. 4.2, б, від аксіального повороту

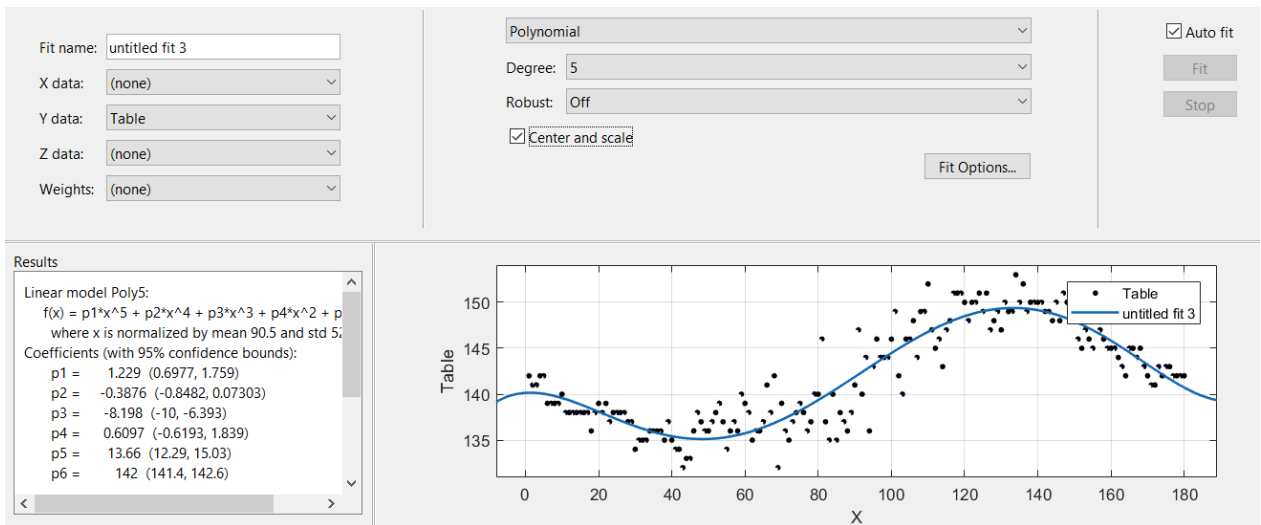


Рисунок 4.14 – Апроксимація графіку залежності діаметру модового поля ОВ, представленого на рис. 4.2, в, від аксіального повороту

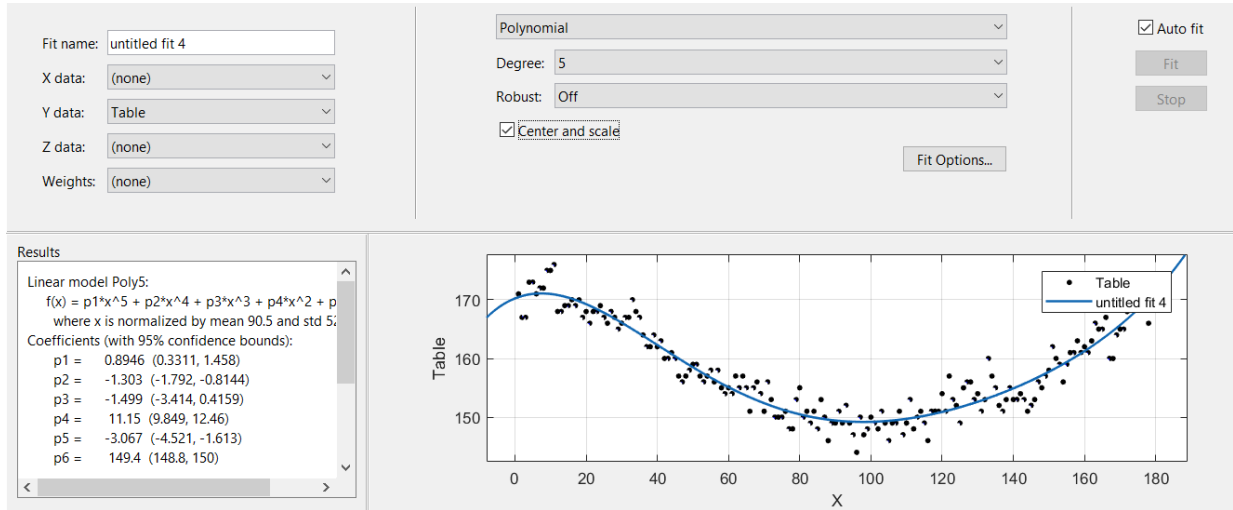


Рисунок 4.15 – Апроксимація графіку залежності діаметру модового поля ОВ, представленого на рис. 4.2, z , від аксіального повороту

На рис. 4.16-4.19 можна побачити розраховані значення діаметру модового поля для чотирьох моделей ОВ та результат апроксимації у вигляді поліномів 5-6 ступенів.

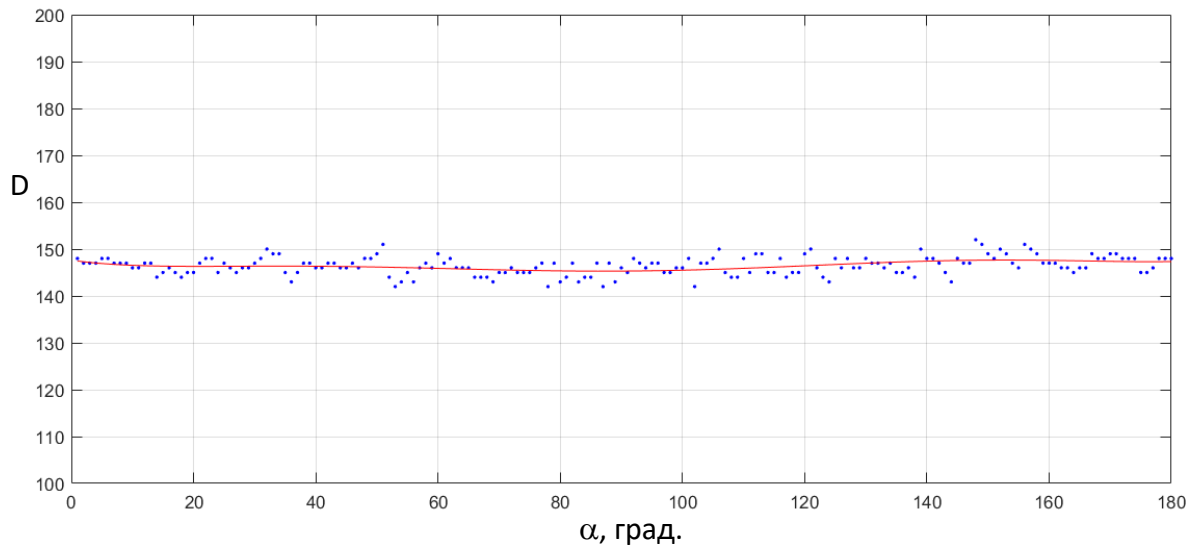


Рисунок 4.16 – Графік залежності діаметру модового поля ОВ, представленого на рис. 4.2, *а*, від аксіального кута повороту та його апроксимація

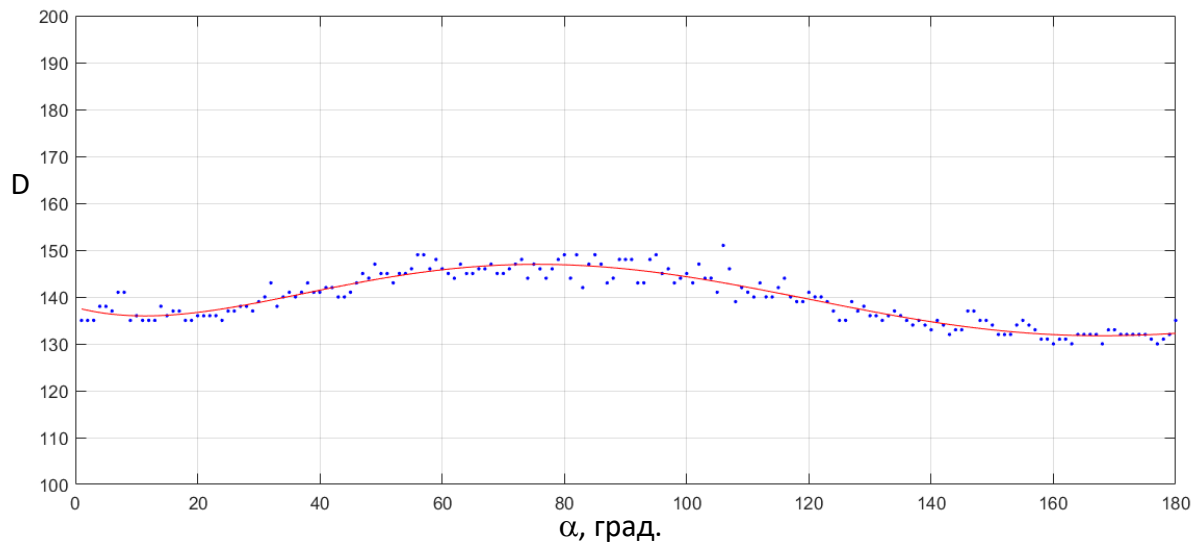


Рисунок 4.17 – Графік залежності діаметру модового поля ОВ, представленого на рис. 4.2, *б*, від аксіального кута повороту та його апроксимація

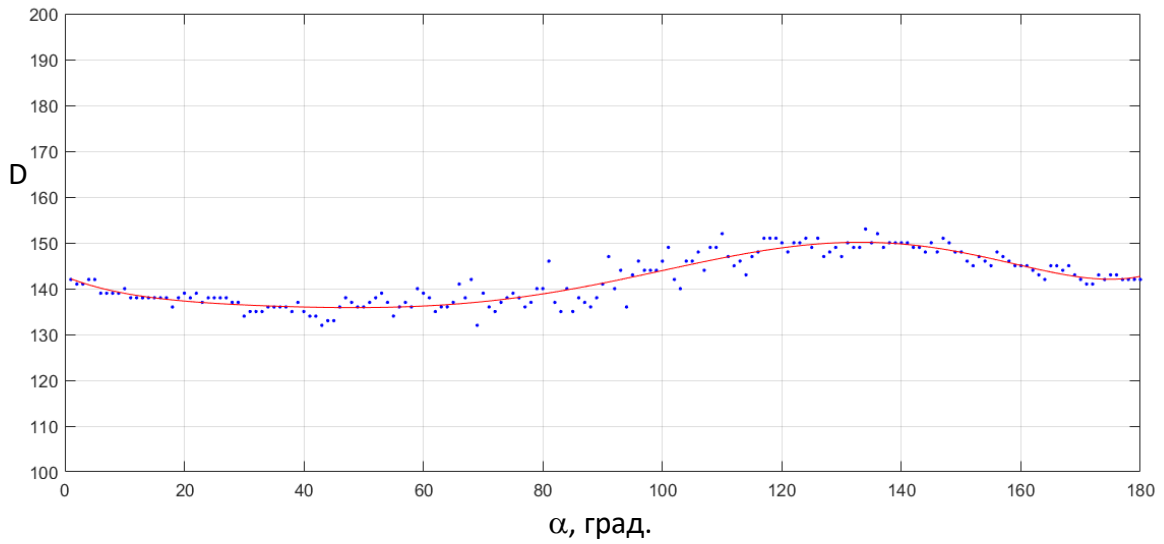


Рисунок 4.18 – Графік залежності діаметру модового поля ОВ, представленого на рис. 34.2, в, від аксіального кута повороту та його апроксимація

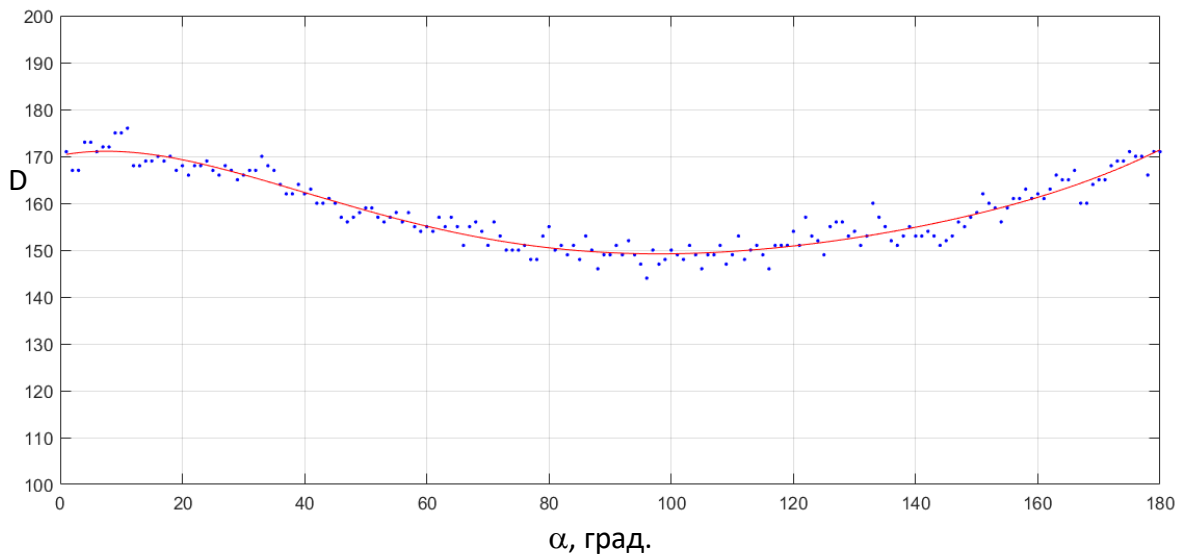


Рисунок 4.19 – Графік залежності діаметру модового поля ОВ, представленого на рис. 4.2, з, від аксіального кута повороту та його апроксимація

У ДОДАТКУ В подано параметри поліномів, значення коефіцієнтів та основні статистичні характеристики для чотирьох моделей оптичних волокон, що досліджувалися у даній роботі.

Визначенні за графіками кути аксіального повороту оптичного волокна, за яких діаметр модового поля має максимальне значення зведено до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Кути аксіального повороту оптичного волокна, за яких діаметр модового поля має максимальне значення

Модель оптичного волокна	Кут повороту
ОВ на рис. 3.2, <i>а</i>	153°
ОВ на рис. 3.2, <i>б</i>	76°
ОВ на рис. 3.2, <i>в</i>	135°
ОВ на рис. 3.2, <i>г</i>	7°

Таким чином, визначивши положення максимального діаметру модового поля, можна проводити позиціонування оптичних волокон за даним параметром, без використання спеціальної техніки – тестерів або рефлектометрів. Це дозволить зекономити час, кошти та трудові витрати спеціаліста на виконання роз'ємного з'єднання оптоволоконних кабелів, за умови не надто високих вимог за внесеними втратами до даної ВОЛЗ.

4.4 Охорона праці

Згідно ДСН 3.3.6.042-99, в виробничих приміщеннях передбачають відповідні значення температури, освітлення, чистоти і рухливості повітря, вологості, шуму.

Дані робочі місця відносяться до легкої категорії по тяжкості виконуваних робіт «1а», тому що ці роботи пов'язані з виконанням контролю, а також виконання розрахунків, сидячи за робочим місцем.

До даного робочого місця встановлені відповідні нормативні параметри. Так, освітленість робочого місця повинна бути не менше 200 лк згідно ДБН В.2.5.-28-2006, рівень шуму не повинен перевищувати 60 дБ.

Оптимальні параметри мікроклімату підтримуються в холодну пору системою опалення, в теплий період системою кондиціонування.

Для зменшення впливу недостатнього освітлення рекомендується використовувати стельові люмінесцентні світильники типу ЛПО-36.

Визначаємо кількість припливного повітря, необхідного для провітрювання приміщення об'ємом $V = 84 \text{ м}^3$, якщо в ньому працює $n = 3$ людини. Можливість природного провітрювання присутній. Якщо об'єм приміщення, що припадає на одну людину, менше 20 м^3 , то кількість припливного повітря, необхідного для провітрювання, повинне бути не менш $G_1 = 30 \text{ м}^3/\text{год}$ на кожного працюючого. При об'ємі приміщення більше 20 м^3 на одного працюючого кількість припливного повітря для провітрювання повинно бути не менше $G_1 = 20 \text{ м}^3/\text{год}$ на кожного працюючого за СНиП 2.04-05.91.

Знаходимо об'єм приміщення, що припадає на одну людину:

$$V_1 = V/n = 84/3 = 28 \text{ м}^3/\text{люд.}$$

Так як $V_1 > 20 \text{ м}^3/\text{люд.}$, то тоді норма подачі припливного повітря на одну людину становить $G_1 = 20 \text{ м}^3/\text{год}$.

Кількість припливного повітря з урахуванням чисельності працюючих розраховується за формулою:

$$G=G_1 \cdot n=20 \cdot 3=60 \text{ м}^3/\text{люд.}$$

З урахуванням того що в приміщенні знаходиться три людини, і відповідно до СНиП 2.04.05.91, кількість припливного повітря на одну людину повинно бути не менше $20 \text{ м}^3/\text{год}$, то для провітрювання потрібно мінімум $60 \text{ м}^3/\text{год}$.

Відповідно до НАПБ Б.03.002-2007 («Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою»), виробниче приміщення відноситься до категорії В, так як містить тверді спаленні речовини і матеріали, з ПУЕ-2011 - до класу II-III. Приміщення знаходиться в будівлі з 4-х поверхів, II-го ступеня вогнестійкості будівлі по ДБН В.1.1.7-2002 («Пожежна безпека в будівництві»).

Ймовірні причини пожежі: перевантаження в електромережі, великий перехідний опір, поганий контакт в місцях з'єднання (окислення), руйнування ізоляції провідників, порушення правил протипожежної профілактики. Для будівель категорії В, згідно норм забезпечення виробничих приміщень первинними засобами пожежогасіння необхідно 2 вогнегасника типу ВВК-3,5, з розрахунку один вогнегасник на ЗПК, але не менше 2-х в приміщенні за НАПБ Б.03.001-2004.

4.5 Висновки по 4 розділу

В даному розділі змодельовані чотири типи одномодового оптичного волокна, з різною формою модового поля у поперечному перетині. Проведено моделювання фільтра для усунення шумових компонентів в виміряному розподілі інтенсивності випромінювання. Після емпіричних досліджень обрано фільтр Баттерворта нижніх частот 12-го порядку, який

забезпечує достатнє зменшення шумів. В отриманому після фільтрації зображенні видалена фонова складова для зменшення похибки розрахунків. Розраховані координати центру розподілу модового поля. Розроблено програмне забезпечення на мові Matlab, що реалізує етапи розробленого методу. Проведено розрахунок припливного повітря для роботи на виробництві. Визначено, що для провітрювання розглянутого приміщення потрібно мінімум $60 \text{ м}^3 / \text{год}$ повітря.

ВИСНОВКИ

Данна магістерська атестаційна робота присвячена розробці автоматизованого технологічного процесу роз'ємного з'єднання оптоволоконних кабелів.

У першому розділі розглянуто види роз'ємних з'єднань та типи найпоширеніших у світі коннекторів, описано принцип їх дії.

У другому розділі проведений аналіз чинників, що визначають втрати в місцях з'єднань оптичних волокон. Наведені формули залежності втрат від величин зсувів: радіального, кутового та від різниці діаметрів модових полів ОВ, що з'єднуються. Проаналізовано вплив конструктивних параметрів оптичних роз'ємів на втрату сигналу. З'ясовано, що різниця модових полів ОВ, що з'єднуються вносить затухання оптичного сигналу в межах 0,2...0,5 дБ. Під час з'єднання втрати оптичної потужності контролюють, як правило, за допомогою оптичних тестерів або рефлектометрів.

В третьому розділі пропонується розширити типову технологію виготовлення роз'ємного з'єднання автоматизованими операціями: реєстрація (вимірювання) зображення модового поля ОВ; визначення аксіального положення максимального діаметру модового поля в поперечному перетині ОВ. Вдосконалення даної технології дозволить виконувати з'єднання оптоволоконних кабелів без використання спеціальної техніки та зекономить трудові затрати спеціалістів. Розроблено автоматизований технологічний процес роз'ємного з'єднання оптоволоконних кабелів, запропонована структурна схема автоматичної системи управління, обчислена передавальна функція розімкнутої та замкнутої системи регулювання та їх характеристичні поліноми. Побудовані області

стійкості замкненої системи методом D-розбивки. Наведено оцінки стійкості розімкненої системи за коренями характеристичного рівняння, оцінки стійкості замкненої системи за критеріями Гурвіца та Найквіста. Розраховано запас стійкості за амплітудою та фазою та побудовані ЛАЧХ та ЛФЧХ системи.

Четвертий розділ присвячений експериментальним дослідженням пропонованого методу. Побудовано чотири моделі одномодового оптичного волокна, з різною формою модового поля у поперечному перетині. Для усунення шумових компонентів в виміряному розподілі інтенсивності випромінювання проведено моделювання фільтра нижніх частот. Як оптимальний обрано фільтр Баттерворта 12-го порядку, який забезпечує максимальне проходження інформаційної складової сигналу при необхідному зменшенні шумів. В отриманому після фільтрації зображенні видалена фонові складові для зменшення похибки розрахунків. Координати центру розподілу модового поля розраховувалися як зважений центроїд інтенсивності розподілу. Розроблено програмне забезпечення на мові Matlab, що реалізує етапи розробленого методу.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Невлюдов, І.Ш. Методичні вказівки з «Розробки й оформлення магістерської атестаційної роботи» для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології освітні програми: «Автоматизоване управління технологічними процесами», «Комп'ютерно- інтегровані технологічні процеси і виробництва», «Комп'ютеризовані та робототехнічні системи»: навч. посібник / І.Ш. Невлюдов, В.В. Косенко, В.В. Євсєєв ; ХНУРЕ. - Х. : Університет, 2019. - 55 с.

2. ДСТУ 3008-2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення: Введ. 2015-22-06. - К. : Видавництво стандартів, 2016. - 26 с.

3. Мальке, Г. Волоконно-оптические кабели. Основы. Проектирования кабелей. Планирование систем. Corning Cable Systems. / Г. Мальке, П. Гёссинг. 2001. - 351 с.

4. Kaminow, I. P. Optical Fiber Telecommunications, Vol. IV A&B. / I.P. Kaminow, Li Tingye : Academic Press, 2002. - 876 p., - 1022 p.

5. Иванов, А. Б. Волоконная оптика (Компоненты, системы передачи, измерения). / А. Б. Иванов. - М. : Сайрус Системс, 1999 г. - 672 с.

6. Убайдуллаев, Р. Р. Волоконно-оптические сети. / Р. Р. Убайдуллаев. - М. : Эко-Трендз, 2000.

7. Богачков, И. В. Измерение характеристик волоконно-оптических линий связи с помощью импульсно-рефлектометрических методов: монография. / И. В. Богачков, Н. И. Горлов. - Омск : ОмГТУ, 2008. - 188 с.

8. Фриман, Р. Волоконно-оптические системы связи. 4-е изд. доп. / Р. Фриман. - М. : Техносфера, 2007. - 512 с.
9. Горлов, Н. И. Волоконно-оптические линии передачи. Методы и средства измерений параметров: монография. / Н. И. Горлов, И. В. Богачков. - М. : «Радиотехника», 2009. - 192 с.
10. Скляр, О. К. Волоконно-оптические сети и системы связи. Учебное пособие. / О. К. Скляр. - СПб. : Лань, 2010. - 267 с.
11. Невлюдов, І. Ш. Інформаційні оптоволоконні мережі зв'язку банківських систем : навч.посібник / І. Ш. Невлюдов, Б. О. Малик, М. А. Омаров, О. М. Цимбал. - Х. : ХНУРЕ , 2004. - 232 с. - ISBN 966 - 659 - 079 - 4.
12. Филипенко, А.И. Автоматизированная технология контроля позиционирования оптических волокон / А. И. Филипенко, О. В. Сычева. Вісті Академії інженерних наук України ; Спеціальний випуск. Машинобудування та прогресивні технології. - К. : НТУУ «КПІ»-2005. - №3 (26). - с. 113-122.
13. Филипенко, А. И. Выбор цифрового фильтра для обработки излучения оптического волокна / А. И. Филипенко, О. В. Сычева, С. В. Опфер ; Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. - Х. : ХНУРЕ. - 2005. - Вып. 143. - с.113-118.
14. Filipenko, A. I. Research of misalignments and cross-sectional structure influence on optical loss in photonic crystal fibers connections (2013) Proceedings of the International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers, CAOL, art. no. 6657536 / A. I. Filipenko, O. V. Sychova. - Sudak. - 2013. pp. 85-87.
15. Портнов, Э. Л. Оптические кабели связи их монтаж и измерение. Учебное пособие для вузов / Э. Л. Портнов. - М. : Горячая линия – Телеком, 2012. - 448 с.

16. Ревинская, О. Г. Основы программирования в Matlab: учебное пособие. / О. Г. Ревинская. - СПб. : БХВ-Петербург, 2016. - 208 с.
17. Blanchet, G. Digital Signal and Image Processing using MATLAB, Volume 1: Fundamentals 2nd Edition. / G. Blanchet, M. Charbit. - Wiley-ISTE, 2014. - 512 p.
18. Автоматичне управління технологічними об'єктами [Текст]: підручник / І.Ш. Невлюдов, О.В.Токарева. – Харків: ХНУРЕ, 2018. – 190 с.
19. Дипломне проектування для студентів усіх форм навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». / Невлюдов І.Ш., Андрусевич А.О., Токарева О.В., Пономарьова Г.В. Навч. посібник: Київ-58, пр. Космонавта Комарова, 1, 2016. – 320 с.
20. Невлюдов, І.Ш. Основи наукових досліджень [Текст]: навчальний посібник/ І.Ш. Невлюдов, Олександров Ю.М, Андрусевич І.Ш., Чала О.О.– КК НАУ м. Кривий ріг, 2017. – 344 с.
21. Невлюдов І.Ш. Виробничі процеси та обладнання об'єктів автоматизації. Підручник. Кривий Ріг: Криворізький коледж НАУ, 2017. – 444 с.
22. Бабічев, О. О. Вплив ексцентриситету оптичних волокон на якість з'єднання оптичних волокон / Автоматизація та приладобудування («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2020) [Електронний ресурс] : збірник студентських наукових статей / Харківський національний університет радіоелектроніки ; [редкол.: І. Ш. Невлюдов та ін.]. - Х. : ХНУРЕ, 2020. - Вип. 2. - с. 175-180.