

УДК 535:628.953.2

Зенів І.О., к.т.н.; Марков С.Ю., к.ф.-м.н.

ВТРАТИ В ЗІГНУТИХ ОПТИЧНИХ ВОЛОКНАХ

Zeniv I.O., Markov S.Y. Losses in bended optical fibers.

In the process of manufacturing an optical cable, the fibers undergo various deformations. One of the most important types of deformation is the macro-bend of the fibers. In the article, measurements of the linear attenuation of the optical fiber at various values of the bending radius in the transmission windows of 1310 nm and 1550 nm were carried out. Measurements were made with an optical power and an attenuation meter and an optical reflectometer as well. The experimental results show that the attenuation on bending increases with the optical wavelength of the radiation, therefore, the minimum value of the bending radius, at which the bending damping is zero, must be determined separately for the each wavelength.

Keywords: optical fiber, losses on fiber bending, measurement of losses on optical fibers

Зенів І.О., Марков С.Ю. Втрати в зігнутих оптичних волокнах.

В процесі виготовлення оптичного кабелю волокна піддаються різного роду деформаціям. Одним з найбільш важливих видів деформації є макро згин волокна. В роботі проведені вимірювання погонного загасання оптичного волокна при різних значеннях радіуса згину в вікнах прозорості 1310 нм і 1550 нм. Вимірювання проведені за допомогою вимірювача оптичної потужності і загасання та оптичного рефлектометра. Результати експерименту показують, що загасання на згині зростає із збільшенням оптичної довжини хвилі випромінювання, тому мінімальне значення радіуса згину, при якому загасання на згині дорівнює нулю, необхідно визначати окремо для кожної довжини хвилі.

Ключові слова: оптичне волокно, втрати в зігнутому оптичному волокні, вимірювання втрат в оптичних волокнах

Зенив И.О., Марков С.Е. Потери в изогнутых оптических волокнах.

В процессе изготовления оптического кабеля волокна подвергаются разного рода деформации. Одним из наиболее важных видов деформации является макроизгиб волокна. В работе проведены измерения погонного затухания оптического волокна при различных значениях радиуса изгиба в окнах прозрачности 1310 нм и 1550 нм. Измерения проведены измерителя оптической мощности и затухания и оптического рефлектометра. Результаты эксперимента показывают, что затухание на изгибе растет с увеличением оптической длины волны излучения, поэтому минимальное значение радиуса изгиба, при котором затухание на изгибе равно нулю, необходимо определять отдельно для каждой длины волны.

Ключевые слова: оптическое волокно, потери на изгибе волокна, измерение потерь в оптических волокнах

Вступ

Переваги оптичного волокна перед напрямними системами з мідними провідниками наразі широко відомі [1]. Для подальшого розвитку як оптичного зв'язку, так і різних доданків, де може застосовуватися оптичне волокно, є необхідність подальшого вивчення фізичних властивостей волокна.

Важливим напрямком дослідження оптичного волокна є з'ясування залежності загасання в волокні від радіуса згину при намотування волокна на циліндричну оправку. Знання цієї залежності дозволить розраховувати та конструювати оптичні атенюатори на будь яке стале значення загасання. Створення такого типу атенюаторів виникає, наприклад, при вимірюванні зворотних втрат в патч-кордах. При таких вимірюваннях необхідно зробити надійну розв'язку між кінцевими конекторами патч-корду шляхом саме намотування частини патч-корду на оправку певного діаметру. Роботи, в яких проводилися подібні дослідження відомі [2, 3], але в них вивчалася лише залежність загасання від кута згинання, хоча завжди бажане знати значення погонного загасання волокна в намотаному на циліндричну оправку стані.

1. Втрати в оптичному волокні та причини їх виникнення

При аналізі втрат в оптичному волокні звичайно приймають до уваги наступні види втрат: поглинання в матеріалі оптичного волокна, розсіювання оптичної потужності в волокні, втрати на згинах оптичних волокон. Схематично ці види втрат показані на рис. 1.

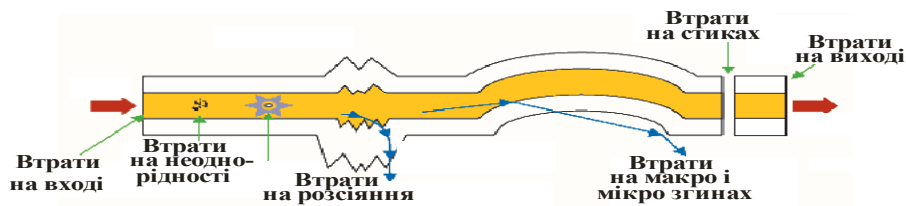


Рис. 1. Структура втрат в оптичному волокні

Власне внутрішнє поглинання матеріалу є втратами, викликаними тільки чистим кремнієм, тоді як зовнішні втрати - це втрати, викликані наявністю домішок в волокні. У кожному конкретному матеріалі, завдяки його молекулярній структурі, існує поглинання сигналу певних довжин хвиль. У разі двоокису кремнію (SiO_2) існують електронні резонанси в ультрафіолетовій області для довжин хвиль $\lambda < 0,4$ мкм.

Існують також коливальні резонанси в інфрачервоній області, де $\lambda > 7$ мкм. Розплавлений двоокис кремнію (скло), який є матеріалом оптичного хвилеводу, за своєю природою аморфний. Тому ці резонанси існують у формі смуг поглинання, хвости яких тягнуться в область видимого спектру. У другому і третьому вікнах прозорості цей тип поглинання вносить вклад на рівні не більше ніж 0,03 дБ / км. Змінити цю складову поглинання можна тільки переходом на інший матеріал для передачі світлового сигналу.

Власні втрати на поглинання ростуть і стають значними в ультрафіолетовій та інфрачервоній областях. При довжині хвилі випромінювання вище 1,6 мкм звичайне кварцове скло стає непрозорим через зростання втрат, пов'язаних з інфрачервоним поглинанням.

Зовнішні втрати поглинання привнесені домішками волокна. Домішкові центри, в залежності від типу домішки, поглинають світло на певних (властивих даної домішки) довжинах хвиль і розсіюють поглинену світлову енергію у вигляді тепла. Навіть незначні концентрації домішок призводять до появи піків на кривій втрат.

Сучасні технології виробництва зменшили внесок від цих втрат до дуже низького рівня. У цю групу втрат вносять вклад наступні домішки: залізо, мідь, нікель, магній і хром, які створюють істотні джерела поглинання і цікавлять нас у вікнах прозорості. У сучасному процесі виробництва вміст цих металів знижено до величин менше однієї мільярдної частини, і, отже, вони вносять дуже малий внесок у загальні зовнішні втрати поглинання. На відміну від них, втрати за рахунок наявності залишкових гідроксильних іонів (ОН) створюють лінію поглинання 2730 нм, її гармоніки і комбінаційні складові 1390, 1240 і 950 нм, всі вони вносять істотний внесок в загальні зовнішні втрати поглинання. Ці втрати викликані наявністю води в волокні, що залишилася в процесі виробництва. Рівень іонів ОН в оптичному волокні повинен бути знижений до величин менших однієї стомільйонної частини, для того щоб підтримувати втрати волокна на належному рівні. Навіть така мала концентрація іонів ОН, як одна мільйонна, здатна викликати втрати 50 дБ в районі «водяного піку» - 1390 нм. Цей пік поглинання присутній завжди. Область спектра біля цього піку практично не використовується.

В даний час очищення матеріалу оптичного волокна настільки високе, що наявність домішок не є головним фактором загасання у волокні. Подальшому зменшенню загасання перешкоджає релеївське розсіювання світла, викликане наявністю неоднорідностей

мікроскопічного масштабу у волокні. Світло, потрапляючи на такі неоднорідності, розсіюється в різних напрямках. В результаті частина його втрачається в оболонці. Ці неоднорідності неминуче з'являються під час виготовлення волокна.

Цей тип втрат є внутрішнім. Він викликаний флуктуаціями миттєвої щільності і варіаціями концентрації молекул за рахунок недосконалості внутрішньої структури волокна: повітряних бульбашок, неоднорідностей і тріщин, або недосконалістю направляючого хвилеводу, викликаним загальною нерегулярністю системи серцевина-оболонка.

Існує точка на кривій поглинання в районі 1550 нм, де поглинання інфрачервоних і ультрафіолетових хвостів мінімальні. Навколо цієї точки релієвське розсіювання є головною складовою загальних втрат. Воно обернено пропорційно четвертому ступеню довжини хвилі. З ростом довжини хвилі розсіювання зменшується, проте на довжинах хвиль вище 1600 нм інфрачервоне поглинання стає домінуючим.

Недосконалість волокна - ще одне джерело втрат. Це втрати включають втрати від мікро згинів і макро згинів, а також втрати через недосконалість геометрії волокна.

Втрати на мікро згинах викликані недосконалістю волокна. Вони викликають збільшення втрат в кабелі. Ці втрати можуть бути дуже великими і в деяких випадках можуть навіть перевищувати 100 дБ/км. Основна причина виникнення цих втрат криється в процесі виробництва кабелю. Вона пов'язана з викривленнями осі, яка неминуче відбуваються в процесі виробництва кабелю, коли волокно здавлюється недостатньо гладкими зовнішніми покриттями. Втрати від мікро згинів є функцією діаметра поля моди, конструкції кабелю і його виконанням. Втрати від загасання, викликаного мікро згинами, зменшуються з діаметром поля моди.

Макро згини співвідносять з деяким певним малим радіусом. Виробник кабелю повинен вказати в специфікації мінімальний радіус вигину. Коли кабель намотаний на котушку, то він, звичайно, згинається по радіусу котушки. Якщо він прокладається, зокрема, в будівлях, то він може згинатися на кутах. Укладальник не повинен зменшувати радіус вигину менше мінімально допустимого за будь-якої необхідності обходу кутів.

Зазвичай передбачається, що типовий радіус згину ВОК повинен бути між 10 і 30 см в залежності від числа волокон в кабелі. Згинаючи ВОК сильніше, ніж це допускається обмеженнями на радіус вигину, можна пошкодити кабель, навіть порвати волокна в кабелі. Це може також викликати суттєве збільшення загасання волокна.

На рис. 1 показані відмінності між мікро згинами і макро згинами.

2. Експериментальне дослідження

Для вивчення поставленої задачі в роботі проведено експериментальне дослідження залежності загасання оптичного волокна від радіусу оправки (радіусу згину), на яку здійснене намотування. Вимірювання загасання проведено двома методами: 1) шляхом вимірювання величини зворотного розсіяння світла (за допомогою оптичного рефлектометра), 2) методом загасання, що вноситься в оптичний тракт.

Експериментальна схема вимірювання світла, яке розсіяне в зворотному напрямку наведена на рис. 2. Буферне волокно має довжину приблизно по 50 м з кожного боку волокна, що досліджується.

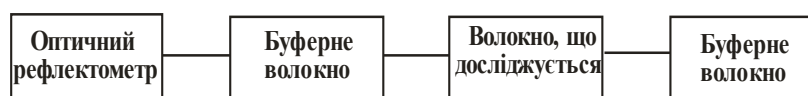


Рис. 2. Структурна схема вимірювання загасання рефлектометричним методом

Вимірювання загасання проводилися за допомогою оптичного рефлектометра. Буферні волокна застосовувалися для виключення з зони вимірювання мертвої зони біля рефлектометра та зони біля кінця волокна. Вимірювання проводилися в одномодовому оптичному волокні G652 на довжинах хвиль 1310 нм та 1550 нм. Відрізок оптичного волокна намотувався на циліндричні оправки діаметром 20 мм; 15 мм; 12 мм; 10 мм; 9,4 мм; 8 мм. Довжина відрізка волокна, на якому проводилося дослідження складає 20 м.

Вимірювання, що були проведені, показали достатньо низьку точність. Це можна пояснити тим, що загальна довжина відрізка волокна невелика. Збільшення часу усереднення результатів вимірювання приводить до підвищення точності, але враховуючи, що втрати в волокні з достатньо великим радіусом згину малі, можна вважати точність вимірювання загасання рефлектометром недостатньою.

Вимірювання загасання в зігнутих оптичних волокнах проведені також методом загасання, що вноситься, за допомогою вимірювача загасання. Схема вимірювання наведена на рис. 3.

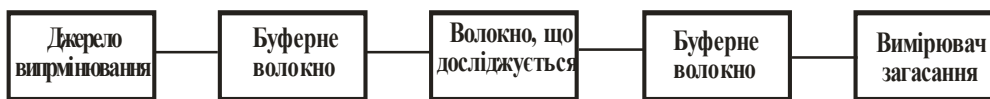


Рис. 3. Структурна схема вимірювання загасання методом загасання, яке вноситься

Результати, що одержані в експерименті, наведені на рис. 4.

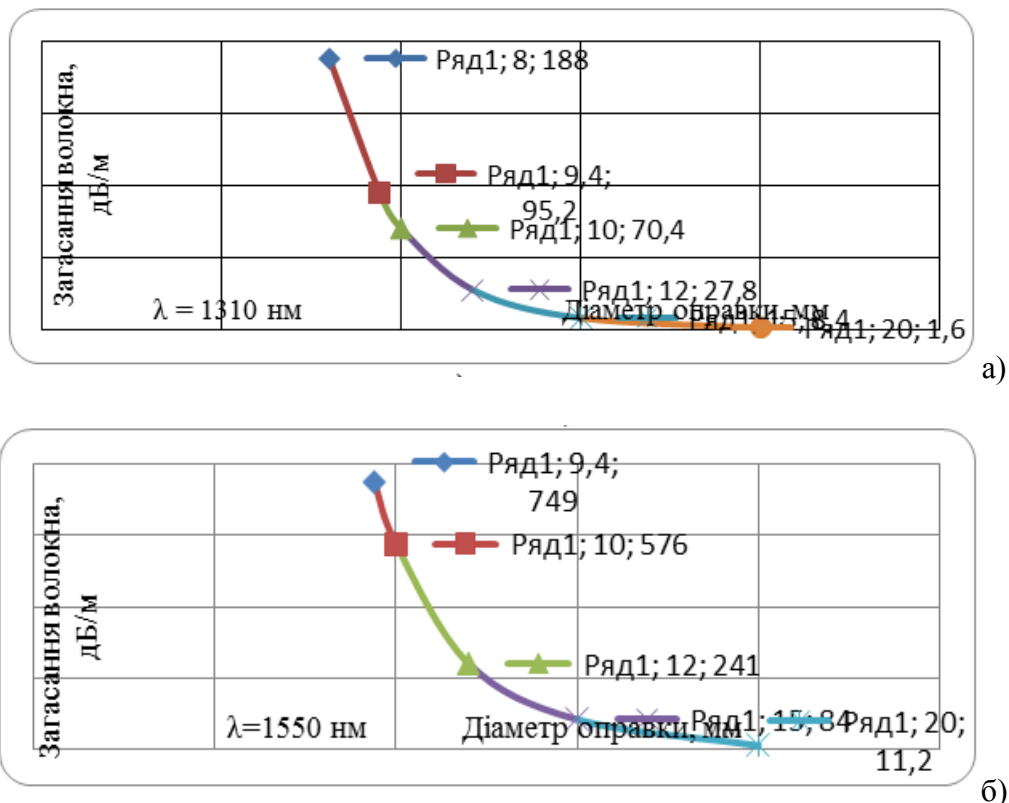


Рис. 4. Результати експериментального дослідження – залежність загасання в оптичному волокні, що намотане на оправку, від радіусу оправки (а – довжина оптичної хвилі 1310 нм, б – довжина оптичної хвилі 1550 нм)

Висновки

По результатах експерименту можна зробити наступні висновки:

- 1) загасання оптичного сигналу зростає із зменшенням радіусу згину волокна, реальні втрати з'являються при радіусі згину менш ніж 10 мм (діаметр оправки 20 мм);
- 2) втрати збільшуються із зростанням довжини оптичної хвилі;
- 3) для одержання необхідної розв'язки між кінцевими конекторами патч-корду (50-60 дБ) достатньо зробити 10-12 витків на оправці діаметром 8 мм для довжини оптичної хвилі 1310 нм, або 5-6 витків на тій ж оправці для довжини оптичної хвилі 1550 нм;
- 4) при вимірюванні зворотних втрат на двох довжинах оптичної хвилі необхідно забезпечувати розв'язку на довжині оптичної хвилі 1310 нм.

Результати, що одержані, відповідають результатам дослідження інших авторів [2, 3], але результати, що одержані нами, дозволяють безпосередньо визначити кількість витків для одержання певного загасання.

Список використаної літератури

1. Убайдуллаев Р.Р. Волоконно-оптические сети / Р.Р. Убайдуллаев. - М.: Эко-Трендз, 2000. - 267 с.
2. Резак Е.В. Потери в оптическом волокне при изгибе / Е.В. Резак // Вестник СПб Университета. - 2009. - Сер 4. Вып. 4. - С. 119-122.
3. Иванов А.Б. Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения / А.Б. Иванов. - М.: Эко-Трендз, 1999. - 664 с.

Автори статті

Зенів Ірина Онуфрїївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри Телекомунікаційних технологій, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

Марков Сергій Юхимович – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри Телекомунікаційних технологій, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

Authors of the article

Zeniv Iryna Onufriyivna – candidate of sciences (technic), associate professor of the Department of telecommunication technologies, University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Markov Serhiy Yukhymovych – candidate of physical and mathematical sciences, associate professor of the Department of telecommunication technologies, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Дата надходження в редакцію: 24.01.2018

Рецензент: к.т.н., с.н.с. Ю.В. Мельник