УДК 681.586.5

Лисенко О.І., д-р техн.. наук;
Афанасьєва Л.О., аспірант
НТУУ «КПІ»

ПОШУК ТА ЛОКАЛІЗАЦІЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ В ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ СИСТЕМАХ

Розглянуто чинники, що викликають зміни параметрів оптичних волокон і, як наслідок, непередбачені зміни якості зв'язку. Запропоновано використовувати оптичний рефлектометр OTDR для визначення параметрів оптичного волокна з деталізацією, що вимагається. OTDR одержує дані, що показують згасання у волокні залежно від відстані, а також визначає втрати, які внесені всіма з'єднаннями, вигинами й обривами. На прикладі розглянуті можливі несправності та їх вигляд на рефлектограмі.

Рассмотрены факторы, вызывающие изменения параметров оптических волокон и, как следствие, непредвиденные изменения качества связи. Предложено использовать оптический рефлектометр OTDR для определения параметров оптического волокна с необходимой детализацией. OTDR получает данные, показывающие затухание в волокне в зависимости от расстояния, а также определяет потери, которые внесены всеми соединениями, изгибами и обрывами. На примере рассмотрены возможные неисправности и их вид на рефлектограмме.

Factors that cause changes the parameters of optical fibers and, consequently, unexpected changes in the quality of communication have considered. It is suggested the using of optical reflektometr OTDR for determination of optical fibre parameters with the necessary working out in details. OTDR gets information that show fading in a fibre depending on distance, and determines losses which are brought in all connections, bends and precipices also. Possible disrepairs and their kind on OTDR picture are considered on the example.

Вступ. У міру посилення конкуренції між європейськими телекомунікаційними компаніями, як новими, так й існуючими, вже тривалий час надійність мереж стає найважливішим фактором у боротьбі за залучення клієнтів й їх втримання впродовж тривалого періоду часу. Відповідні компанії починають нетерпимо відноситись до виходу з ладу на якийсь час кабелів або навіть окремих волокон, які використовуються як оптичні канали, що працюють із гігабітними швидкостями.

Після установки волоконно-оптичного кабелю керівництво мережі повинно бути впевненим у тому, що кожен окремий волоконно-оптичний

проліт відповідає технічним вимогам телекомунікаційної компанії, або перевищує їх.

Постановка завдання. Як відомо, у волоконно-оптичних системах передачі найбільші втрати часу на пошук й локалізацію несправності, що спричиняє переривання зв'язку, мають місце при обривах і порушеннях комутації оптичних кабелів. У більшості випадків це пов'язано з необхідністю проведення вимірів на місці ушкодження, що, у свою чергу, вимагає збільшення числа бригад для обслуговування кабельного господарства. Однак крім даного виду несправностей ліній зв'язку дуже часто мають місце порушення, що викликані зміною параметрів оптичного волокна. Так, намокання кабелю, механічні напруги, які викликані, наприклад, його провисанням, а також наявність різного складу волокна приводять до тимчасових змін параметрів оптичних волокон й, як наслідок, непередбаченій зміні якості зв'язку. Як правило, необоротні процеси деградації волокна визначити досить складно, так як для цього необхідно мати статистичні дані, що вимагають проведення великої кількості вимірів, які в «польових» умовах не забезпечують необхідної точності. Крім цього, проведення таких вимірів пов'язано зі значними трудовими й тимчасовими витратами.

Іншим, не менш важливим завданням, що пов'язано з необхідністю всестороннього аналізу й контролю стану волоконно-оптичних ліній зв'язку (ВОЛЗ), є періодично виникаюча вимога збільшення пропускної здатності каналів зв'язку, а також числа й якості послуг. Це вимагає введення додаткових каналів, що використовують нові довжини хвиль оптичної несучої, що у свою чергу викликає проблеми, які пов'язані зі зміною первісних паспортних значень характеристик інстальованих кабелів. Рішення даного завдання також є неможливим без наявності інформації про значення втрат й відбиттів у будь-якій точці оптичної мережі, а також енергетичному бюджеті її ділянок.

Характеристиками, які необхідно знати в першу чергу, є загасання в оптичному тракті на робочій довжині хвилі та зворотне відбиття. Основні елементи, які вносять загасання в оптичний тракт – це безпосередньо оптичне волокно (характеризується втратами на одиницю довжини, дб/км), зварні з'єднання, механічні роз’єми, оптичні дільники. Джерелом зворотного відбиття можуть бути механічні роз’єми, тріщини у волокні, а також вільний кінець оптичного роз’єму.

Відомо, що основним фактором, що обмежує можливості волоконно-оптичних ліній зв'язку, дотепер є саме оптичне волокно, параметри якого визначають основні характеристики волоконно-оптичної лінії зв'язку – максимальну дальність зв'язку й максимальну смугу пропускання. При цьому, перший параметр визначається вихідною потужністю джерела випромінювання, чутливістю приймача і втратами волокна, та другий

залежить від частотних характеристик джерела і приймача, а також дисперсії волокна, зокрема, поляризаційної модової дисперсії (PMD).

У зв'язку із цим, все більш актуальним стає аналіз оптичного спектра, що представляє собою вимір оптичної потужності в залежності від довжини хвилі. Необхідність даного виду вимірів у першу чергу пов'язано із контролем спектра джерел оптичного випромінювання, а також визначенням ступеня впливу спектральних складових на параметри волоконно-оптичних компонентів й передачу даних по волоконно-оптичним лініям зв'язку. Крім цього введення в лінії зв'язку волоконно-оптичних підсилювачів, зокрема, EDFA (ербієвих підсилювачів), та розвиток технології DWDM (ущільненого мультиплексування за довжиною хвилі), викликають необхідність аналізу оптичного спектра, без якого практично неможливо проводити інсталяцію та експлуатацію сучасних волоконно-оптичних ліній зв'язку (ВОЛЗ).

Контроль якості оптоволокна. Оптичний рефлектометр OTDR залишається в цей час єдиним доступним приладом для вимірювання, що призначений для визначення параметрів оптичного волокна з деталізацією, що вимагається. OTDR одержує дані, що показують загасання у волокні залежно від відстані, а також визначає втрати, які внесені всіма з'єднаннями, вигинами й обривами.

Одним з основних достоїнств оптичного рефлектометра є те, що він забезпечує докладний аналіз за допомогою тестування в одному напрямку. Тестування здійснюється лише одним техніком, що використовує один рефлектометр. Однак таке тестування в одному напрямку має сенс лише стосовно багатоходових внутрішніх мереж. Що стосується одномодових мереж, у яких оператор повинен жорстко контролювати бюджети повних втрат, то для них більше підходить аналіз за допомогою OTDR-тестування у двох напрямках.

Оптичний рефлектометр подає в оптичне волокно короткі світлові імпульси, а потім створює «моментальні знімки», що показують (із прив'язкою), як частина світла відображається назад та виходить із того ж кінця лінії, у який подавалися світлові імпульси. У міру того, як зондуючий імпульс поширюється по волокну, виникає релеєвське розсіювання: частина світла розсіюється вперед та продовжує поширюватись по волокну, частина розсіюється в сторони, в оболонку, а інше світло розсіюється назад, у напрямку до фотоприймача рефлектометра. Відслідковуючи, у якому ступені рухається назад відбита енергія (нахил рефлектограми), рефлектометр визначає загасання, що має місце у всіх частинах волокна, що тестується [3].

Кожен тип неоднорідності (зварене з'єднання волокон, тріщина, оптичні роз’єми тощо) має свій характерний образ на дисплеї OTDR, і може бути легко ідентифікований оператором. В автоматичному режимі OTDR сам визначає тип неоднорідності, розраховує втрати на ділянках

лінії, коефіцієнти відбиття від неоднородностей і т.д. Несподівані падіння рівня енергії (що звичайно є відповідним довжині імпульсу) говорять про наявність невідображаючої події, наприклад, зварного з'єднання або вигнутих ділянок волокон. Вони проявляються на рефлектограмі у вигляді вигинів, однак зондуючий імпульс може піддатись впливу і явищу, що зветься «френелевським відбиттям». Це явище виникає тоді, коли світло переходить із середовища з одним показником переломлення в середовище із зовсім іншим показником – наприклад, зі скла у повітря. Роз'ємні з'єднання (неоднорідності волокон, обрив волокна, тріщини, торець волокна) відображаються на рефлектограмі у вигляді вузьких піків. Рефлектометр оцінює втрати на відбиття та на невідображаючих подіях, підраховуючи різницю в рівнях назад відображеної потужності та до, і після місця події. Ділянки рефлектограми, що розташовані між неоднорідностями, мають вигляд прямих ліній з негативним нахилом. Кут нахилу на цих прямих є прямо пропорційним величині втрат у волокні (рис. 1).

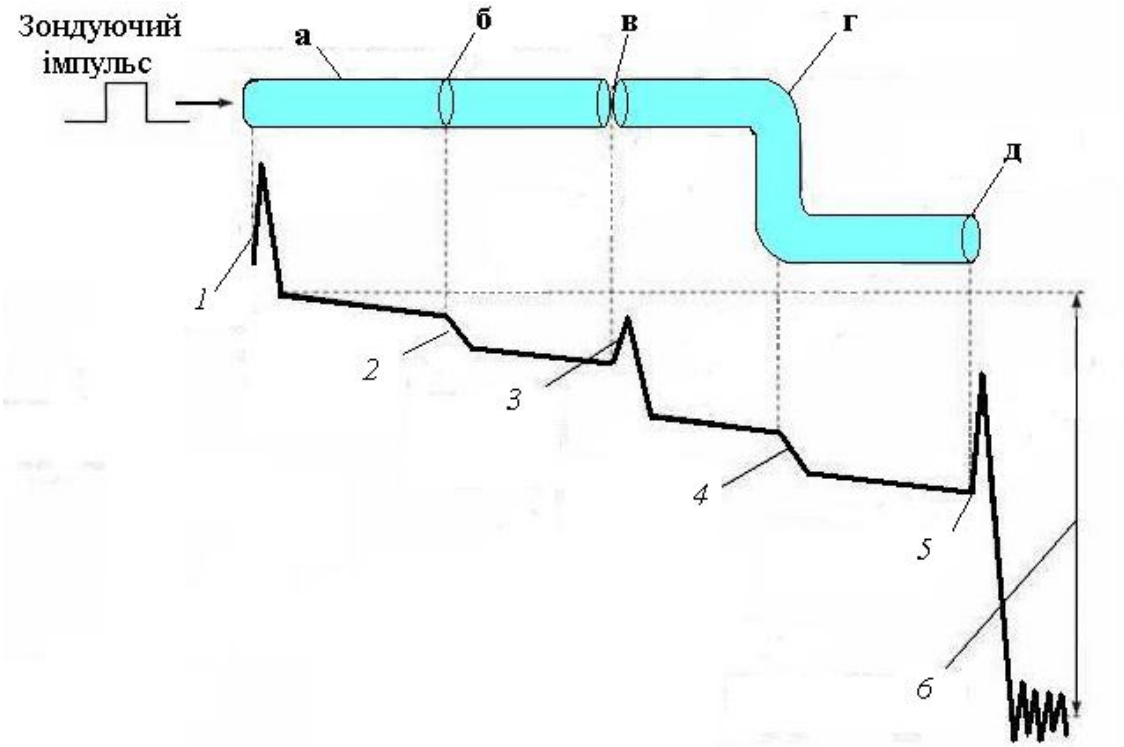

Рис. 1. Типова рефлектограма імпульсного оптичного рефлектометра. 1-відображення від вхідного роз'єму, 2-втрати, що вносяться на зварному з'єднанні, 3-зворотнє відображення від роз'єму, 4-втрати, що вносяться на вигині, 5-Френелівське відображення, 6-динамічний діапазон рефлектометра, а- випромінення (релеєвське), що розсіюється волокном у зворотньому напрямку, б-зварне з'єднання волокон, в-оптичний роз'єм, г- вигин волокна, д- обрив (кінець) волокна.

Важливим достоїнством рефлектометричних вимірів є те, що в них вимірювальний прилад підключається тільки до одного кінця лінії (рис. 2). Так, як типова довжина регенераційної ділянки в магістральній лінії передачі становить близько 100 км (з оптичними підсилювачами ~ 1000 км) – ясно, що підключати вимірювальні апаратури тільки до одного кінця такої лінії значно простіше.

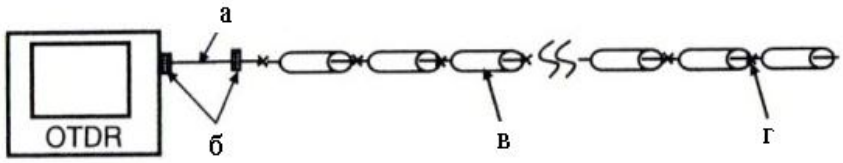

Рис. 2. Рефлектометр підключається тільки до одному з кінців лінії. а- патчкорд, б- роз’ємне з’єднання, в- оптичний кабель, г- зварне з’єднання.

Після того, як лінія змонтована, виміряються втрати у всіх з'єднаннях волокон та відстані до них, при цьому фіксується рефлектограма всієї регенераційної ділянки лінії з усіма її особливостями, що вказують місце розташування зварних з'єднань волокон і величину втрат у них. Ця рефлектограма використовується для географічної прив'язки до місцевості й надалі служить для контролю процесів старіння лінії.

На рис. 3, як приклад, наведені рефлектограми (рефлектограма 1 і рефлектограма 2) тієї самої регенераційної ділянки лінії довжиною близько 30 км, яка протестована при здачі й після одного року експлуатації лінії. Зазначимо, що по закінченні року (рефлектограма 2) втрати у зварному з'єднанні волокон, що розташоване на відстані близько 17 км від початку лінії, збільшилися на певну кількість дб, тобто, лінія вже практично вийшла з ладу, і для того, щоб відновити лінію, це зварне з'єднання волокон необхідно переробити [2].

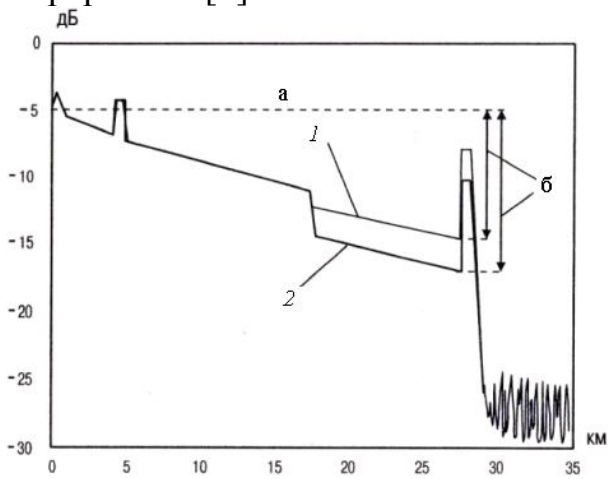

Рис. 3. Контроль зміни повних втрат у лінії передачі в процесі її старіння. 1- рефлектограма 1, 2- рефлектограма 2, а- рівень розсіювання на початку лінії, б-повні втрати.

Руйнування волокон в оптичних кабелях відбувається в основному через натяг волокон і проникнення в кабель води. Надлишкові натяги волокон можуть виникнути як через порушення технології виготовлення кабелю на заводі, так і при деформації кабелів підвішених на лініях електропередачі або покладених на ґрунт (піддаються мерзлотним деформаціям, землетрусам тощо). Однак за допомогою OTDR не можна вимірювати натяг волокон в оптичних кабелях, для цього необхідно значно більш дорогий і складний бриллюеновський рефлектометр (BOTDR). Багато оптичних кабелів у лініях передачі містять запасні (темні) волокна. Втрати в темних волокнах можна контролювати за допомогою рефлектометра звичайним способом, підключившись до одного кінця темного волокна, у той час як передача трафіку здійснюється по сусіднім (активним) волокнам. При цьому вимір можна проводити на тих же довжинах хвиль, на яких звичайно ведеться передача трафіку. Ефективність такого способу обумовлено тим, що, як показує практика, приблизно у 80% випадків ушкодження кабелю порушує роботу одночасно всіх волокон, для підвищення надійності лінії передачі необхідно проводити тестування активних волокон. Тестування активних волокон звичайно проводиться на більш довгих хвилях, тому що у вигнутому волокні втрати швидко зростають при збільшенні довжини хвилі. Так, якщо передача ведеться на довжині хвилі 1310 нм, тоді для тестування використовується довжина хвилі 1550 нм, а якщо передача ведеться на довжині хвилі 1550 нм, тоді тестування лінії здійснюється на довжинах хвиль 1610...1650 нм (рис. 4) [1].

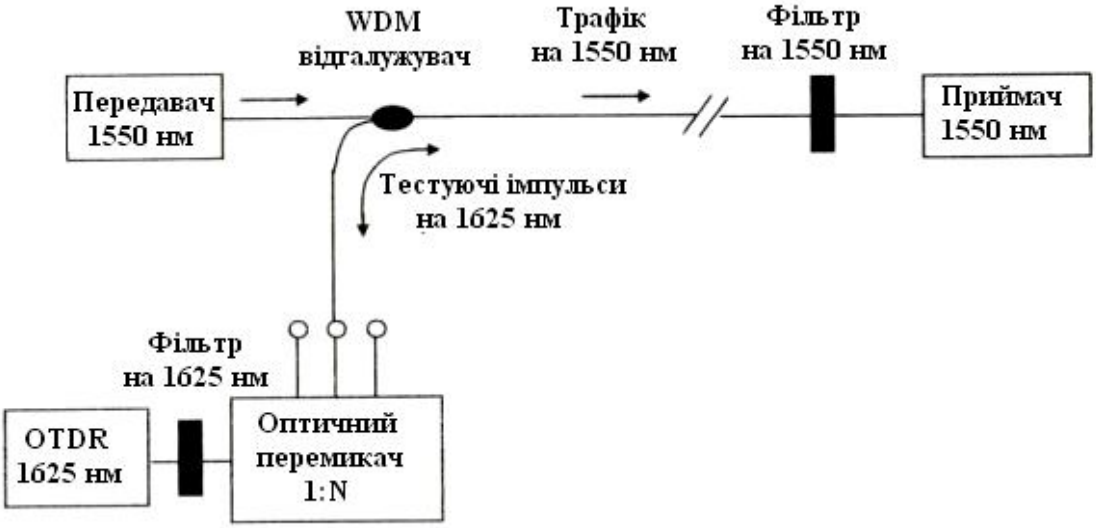

Рис. 4. Схема тестування активного волокна за допомогою рефлектометра, що працює на довжині хвилі 1625 нм.

За допомогою WDM рефлектометр може бути підключений до лінії передачі практично без втрат на робочій довжині хвилі лінії, він пропускає випромінювання з довжиною хвилі, на якій ведеться передача трафіку й відгалужує випромінювання з довжиною хвилі, на якій проводиться

тестування лінії. Перед приймачем у лінії передачі встановлюється оптичний фільтр, що не пропускає випромінювання на тій довжині хвилі, на якій працює рефлектометр, а перед рефлектометром фільтр, що не пропускає випромінювання, на тій довжині хвилі, на якій ведеться передача трафіку. Це робиться для того, щоб уникнути перехресних перешкод, що виникають при влученні у фотоприймач випромінювання з іншою довжиною хвилі. Рефлектометр приєднується до лінії за допомогою оптичного перемикача (1:N), що забезпечує автоматичне підключення рефлектометра до N волокон кабелю (по черзі).

Найважливішим фактором при визначенні рефлектометром характеристик одномодових ліній є збір й ретельна обробка даних. На жаль, багато працюючі в польових умовах техніки чекають від оптичного рефлектометра чогось незвичайного. Оскільки OTDR може «бачити» кінець волокна, то часто думають, що він може одержати точні характеристики всього, що перебуває або відбувається у волоконно-оптичному прольоті.

Однак у багатьох випадках це припущення виявляється неспроможним, в основному, через те, що виявлення подій і якість їхнього аналізу в значній мірі залежать від відношення «сигнал – шум». Це означає, що в тих випадках, коли рефлектограма стає «зашумленою» (наприклад, через недостатній час усереднення або невідповідних установок тестування), визначення втрат та, в остаточному підсумку, визначення місця розташування подій не завжди можуть виконуватись із прийнятним рівнем точності.

Що ще більше ускладнює ситуацію – це те, що на рівні потужності, що вимірюються OTDR, впливає коефіцієнт зворотнього розсіювання волокна (який, у свою чергу, залежить від діаметра модової плями). Це є серйозною проблемою при оцінці за допомогою рефлектометра втрат на якій-небудь події, такій, як зварне з'єднання, що пов'язане із двома волокнами, що мають не зовсім однакові діаметри модових плям. Монтажники вирішують цю проблему шляхом тестування у двох напрямках, оскільки вплив різниці між коефіцієнтами зворотнього розсіювання при тестуванні в іншому напрямку міняється на протилежне, то середнє значення двох результатів вимірів зводить нанівець будь-який вплив, який пов'язаний з невідповідністю волокон один одному та відображає дійсне значення втрат [3].

В тестуванні у двох напрямках є й кілька інших серйозних переваг. Можна почати з того, що при такому тестуванні зникають з'єднання з «посиленням потужності», які можуть ввести в оману недосвідченого оператора. Такі події з «посиленням» можуть мати місце тоді, коли один з одним зрощуються три відрізки волокна, у середнього з яких серцевина трохи більше, ніж в інших двох. «Посилення» з'являється в тому випадку,

якщо із середнього відрізка волокна приходить неуважний сигнал більш високого рівня.

При тестуванні у двох напрямках виявляються також події, що сховані у мертвих зонах при тестуванні в одному напрямку, але сприймаються при тестуванні в протилежному напрямку. Мертві зони з'являються тоді, коли фотоприймач рефлектометра тимчасово «сліпне» через френелівське відбиття, що ускладнює точний вимір низьких рівнів розсіяного світла в цій частині лінії. Мертві зони особливо часто виникають на оптичній границі поєднання рефлектометра з волокном, що тестується.

Крім того, потрібно відзначити, що двостороннім тестуванням можна виявити події з «нульовими втратами» – такі, коли на з'єднанні двох волокон при тестуванні в одному напрямку не фіксуються ні втрати, ні посилення потужності. Справа в тому, що при переході світла з одного волокна в інше, зворотнє посилення може збільшитись рівно настільки, щоб компенсувати дійсні втрати на з'єднанні. При тестуванні в одному напрямку таку подію виявити не можна [2].

Хоча тестування у двох напрямках пов'язане зі збільшенням часу виміру та фінансових витрат (самі очевидні з них – необхідність забезпечення другого тестера та залучення до роботи ще одного техніка), постачальники вимірювальних приладів мають серйозні наміри до того, щоб таке тестування виглядало більш привабливим в очах мережних операторів. Так, наприклад, багато компаній пропонують зараз спеціалізоване аналітичне програмне забезпечення, що автоматизує (у більшому або меншому ступені) процес усереднення результатів, що отримані при тестуванні в одному напрямку. Деякі виготовлювачі поставляють також системи, які поєднують рефлектограми OTDR, які отримані шляхом тестування із протилежних кінців лінії. Така функція є особливо підходящою при тестуванні волоконно-оптичних прольотів великої довжини, що існують у підводних кабельних мережах.

Висновки.

Отже, які виміри можна проводити за допомогою рефлектометра:

- за один цикл вимірів можна одночасно визначити цілий ряд основних параметрів оптичного волокна: його довжину, величину загасання на кілометр, наявність місць неоднородностей, їх характер та відстань до них, втрати в з'єднувачах, місцях зварювання й т.д. без проведення підготовчих робіт;
- проведення великої кількості вимірів з одного кінця оптичного волокна, на відміну від оптичних тестерів.

Як і будь-який метод вимірів, рефлектометрія також має і свої проблемні сторони:

- високі вимоги до введення випромінювання у волокно, що тестується;

- час для одержання рефлектограми з відносно непоганою точністю становить не менше 30 секунд;
- відносно висока вартість вимірювального устаткування.

Волоконно-оптичні мережі на сьогоднішній день це найбільш швидкий, надійний і перспективний вид телекомунікації. Застосування волоконно-оптичної технології передачі даних стає все більш популярним через потреби у збільшеній пропускній здатності ліній зв'язку та зниження цін на вартість устаткування і кабелів.

Оптичні мережі є найбільш динамічними в розвитку інформаційними системами і, відповідно, завдання забезпечення їх багаторічної надійності набуває особливу актуальність.

Використані джерела інформації:

1. Иванов А.Б. Контроль соответствия в телекоммуникациях и связи. Измерения, анализ, тестирование, мониторинг/ Иванов А.Б. – М.: Сайрус Системс, 2000. –375 с.
2. Засецкий А.В. Контроль качества в телекоммуникациях и связи./ А.В. Засецкий, А.Б. Иванов, С.Д. Постников, Н.В Соколов – М.: Компания Сайрус Системс, 2001. – 335 с.
3. Листвин А.В. Рефлектометрия оптических волокон/ А.В. Листвин, В.Н. Листвин– М.: «ЛЕСАРарт», 2005. – 208 с.

Рецензент: д.т.н. Асланян А.Е.