

УДК 681.3:004.681

О. В. ОНИЩУК<sup>1</sup>, К. О. КОВАЛЬ<sup>1</sup>**АНАЛІЗ ЗАГАСАННЯ У ВОЛОКОННО-ОПТИЧНІЙ ЛІНІЇ ЗВ'ЯЗКУ**

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет,  
21021, вул. Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна  
E-mail: oleh\_onyschuk@mail.ru

**Анотація.** В роботі проаналізовано особливості загасання оптичного сигналу у таких конструктивних елементах волоконно-оптичної лінії зв'язку як оптичний кабель, з'єднувальні муфти та кінцеві оптичні кроси. Розглянуто методи та засоби вимірювання та визначення місць із завищеним загасанням. Показано, що відхилення геометричних параметрів оптичних волокон призводить до загасання сигналів в конекторах і зварних з'єднаннях волоконно-оптичної лінії зв'язку. Сформульовано практичні рекомендації щодо покращення якості зварних та роз'ємних з'єднань оптичних волокон та зменшення загасання у лінії зв'язку.

**Ключові слова:** оптичне волокно, загасання, зварне з'єднання, роз'ємне з'єднання.

**Аннотация.** В работе проанализированы особенности затухания оптического сигнала в таких конструктивных элементах волоконно-оптической линии связи как оптический кабель, соединительные муфты и конечные оптические кроссы. Рассмотрены методы и средства измерения и определения мест с повышенным затуханием. Показано, что отклонение геометрических параметров оптических волокон приводит к затуханию сигналов в конекторах и сварных соединениях волоконно-оптической линии связи. Сформулированы практические рекомендации по улучшению качества сварных и разъемных соединений оптических волокон и уменьшению затухания в линии связи.

**Ключевые слова:** оптическое волокно, затухание, сварное соединение, разъемное соединение.

**Abstract.** The paper analyzes optic signal attenuation characteristic in such structural components of fiber-optic communication line as optical cable, couplers and end optical crosses. The methods and means of measuring and locating places with high attenuation are considered. It is shown that geometrical parameters deviation of optical fibers leads to attenuation of signals in connectors and welded joints of fiber-optic communication line. Practical recommendations for improving the quality of welded joints and connectors of optical fibers aimed at attenuation in communication line have been formulated.

**Keywords:** fiber optic, attenuation, welded joints, connectors.

**ВСТУП**

Волоконно-оптичні лінії зв'язку (ВОЛЗ) знайшли широке застосування у сучасних телекомунікаціях і стали основою для побудови оптичних транспортних мереж та впровадження інформаційних технологій (ІТ). Беззаперечною перевагою цих ліній у порівнянні із іншими є висока пропускна здатність та швидкість передачі даних по оптичних волокнах [1]. Але в умовах прискорених темпів будівництва ВОЛЗ досить часто спостерігається погіршення якості цих ліній, зокрема підвищення загасання або послаблення потужності оптичного сигналу у ВОЛЗ. Відомо, що оптичний сигнал загасає як під час поширення у оптичному волокні, так і в місцях з'єднання будівельних довжин кабелю, а також при під'єднанні обладнання до лінії [2]. Особливо вплив загасання стає відчутним на магістральних лініях зв'язку та оптичних транспортних мережах, коли послаблення сигналу у неякісно виконаних роз'ємних та нероз'ємних з'єднаннях стає сумірним або перевищує послаблення сигналу на одному кілометрі оптичного волокна. На практиці загасання сигналу у ВОЛЗ пов'язують із відхиленнями геометричних та оптичних параметрів оптичного волокна, порушенням технології монтажу оптичних волокон, некоректністю проведенням вимірювань і інтерпретації їх результатів тощо. Проаналізуємо особливості загасання оптичного сигналу у волоконно-оптичній лінії в цілому та в її окремо взятих основних конструктивних елементах.

**ОСНОВНА ЧАСТИНА**

Розглянемо наведену на рис. 1 схему волоконно-оптичної лінії зв'язку. Основними конструктивними елементами ВОЛЗ є кабель із оптичними волокнами по яких здійснюється передача сигналу, муфти для з'єднання будівельних довжин кабелів та влаштування розгалужень телекомунікаційної мережі, кінцеве кросове обладнання або пристрої Optical Distribution Frame (ODF), з допомогою яких можна безперешкодно під'єднувати обладнання до лінії. Зазначимо, що до складу ВОЛЗ можуть входити ряд інших елементів, які вносять додаткове загасання. Це, наприклад, пасивні розгалужувачі оптичного волокна, різні пристрої по захисту лінії від зовнішніх негативних впливів та ін.

(рис. 1). В роботі обмежимося основними трьома конструктивними елементами, які входять до складу будь-якої оптичної лінії зв'язку — це оптичний кабель, муфти та ODF. Тоді, загальне загасання ВОЛЗ може бути представлене у вигляді суми трьох складових: перша складова — це послаблення оптичної потужності сигналу під час поширення по оптичному волокну, друга та третя — загасання відповідно у місцях нероз'ємних та роз'ємних з'єднань.

Розрахунок максимально допустимого загасання ВОЛЗ здійснюється за формулою [3]

$$A_{\max} = \alpha \cdot L + n \cdot A_{\text{зв.ном}} + 2 \cdot A_p, \quad (1)$$

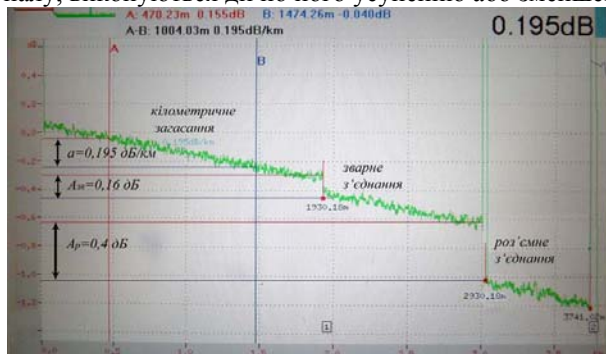
де  $\alpha$  — межове значення коефіцієнта загасання за паспортом на заданій довжині хвилі, дБ/км;  $L$  — довжина ВОЛЗ за даними рефлектометрії, км;  $n$  — кількість нероз'ємних (зварних) з'єднань;  $A_{\text{зв.ном}}$  — втрати у зварному з'єднанні (номінальне значення 0,1 дБ на довжині хвилі 1550 нм), дБ;  $A_p$  — втрати у роз'ємному з'єднанні (номінальне значення 0,4 дБ на довжині хвилі 1550 нм), дБ.

Використовуючи (1) розраховано максимально допустиме значення загасання оптичного сигналу порівнюється із повним загасанням ВОЛЗ, яке вимірюється методом внесених втрат з допомогою оптичних тестерів [4]. Для цього з однієї сторони лінії з допомогою патч-кордів під'єднується джерело оптичного випромінювання, а з іншої — приймач оптичної потужності (рис. 2а). Аналогічно вимірювання виконується у зворотному напрямку. Якщо виміряні значення не перевищують розраховане, тоді складається протокол до якого заносяться параметри загасання ВОЛЗ. В протилежному випадку, необхідно з'ясувати в якому з елементів ВОЛЗ відбувається збільшене загасання оптичного сигналу та привести його до нормованого значення. Для цього використовується оптичний рефлектометр, яким вимірюється загасання окремо в кожному конструктивному елементі. На рис. 2б наведено рефлектограму із подіями, які відповідають основним конструктивним елементам ВОЛЗ [5].

На наведеній на рис. 2б рефлектограмі загасання у роз'ємних з'єднаннях мають вигляд вузьких піків із ступінчастим пониженням рефлектограми, а загасання у зварних з'єднаннях — вигин. Ділянки рефлектограми між неоднорідностями мають вигляд прямих ліній з від'ємним нахилом. Кут нахилу цих прямих прямо пропорційний величині втрат у волокну [6]. Порівнюючи загасання в зазначених подіях на рефлектограмі із відповідними нормованими значеннями, встановлюється де саме збільшуються загасання. Необхідно зазначити, що на рефлектограмі можуть відображатись й інші загасання зумовлені, наприклад, макро- та мікросгинами оптичного волокна, мікротріщинами, аварійні пошкодження ВОЛЗ та ін. Їх аналіз та причини виникнення в цій статті не розглядаються. Після встановлення місця в якому відбувається значне послаблення оптичного сигналу, виконуються дії по його усуненню або зменшенню.



а



б

Рис. 2. Результати вимірювання загасання ВОЛЗ з допомогою:  
а — оптичних тестерів, б — рефлектометра

Основним елементом ВОЛЗ є оптичне волокно, яке входить до складу оптичного кабелю. Якщо конструкція кабелю може відрізнитись в залежності від умов прокладання лінії, то найбільш поширеним типом оптичних волокон є одномодові (G.652). Використовуються деякі інші види оптичних волокон, але у даній роботі розглянуто одномодові, оскільки вони найбільш поширені на магістральних і місцевих лініях зв'язку України.

Перша складова виразу (1) характеризує послаблення оптичної потужності сигналу під час його поширення у оптичному волокні із-за Релєївського розсіювання на мікро- та макронеоднорідностях оптичного волокна. Параметр, який характеризує загасання сигналу у оптичному волокні називається кілометричне загасання або межове значення коефіцієнта загасання  $\alpha$ . Значення цього коефіцієнту обов'язково вказується у паспортній документації на оптичний кабель і для одномодового волокна складає близько 0,19 дБ/км на довжині хвилі 1550 нм та 0,33 дБ/км на довжині хвилі 1310 нм. Збільшення кілометричного загасання може бути зумовлене, порушенням технології виготовлення оптичного волокна при виробництві, надмірного розтягнення оптичного кабелю в процесі будівництва лінії, або в результаті деградації оптичних волокон в процесі експлуатації під дією різноманітних зовнішніх хімічних впливів. Тому вимірювання цього параметру виконується як під час вхідного контролю на етапі будівництва ВОЛЗ, так і під час планових вимірювань діючих ліній в процесі експлуатації. Найбільш доступний спосіб оцінювання кілометричного загасання здійснюється на оптичній рефлектограмі методом двох маркерів (рис. 2б). Для цього з допомогою маркерів А та В необхідно між неоднорідностями виділити прямолінійний фрагмент рефлектограми з від'ємним нахилом довжиною 1 км та спроекувати його на вісь абсцис (загасання). Аналогічним чином вимірюється кілометричне загасання на інших ділянках лінії. Якщо виміряне кілометричне загасання по тим чи іншим причинам перевищує нормовані паспортні данні, необхідно виконати заміну визначеної ділянки ВОЛЗ якісним оптичним кабелем.

Другий доданок виразу (1) враховує загасання у нероз'єднаних з'єднаннях, або у місцях зварювання оптичних волокон. Зварювання оптичних волокон з допомогою електричної дуги забезпечує найменші втрати у місці з'єднання, тому є найбільш поширеним методом, зокрема, під час монтажу муфт для з'єднання будівельних довжин оптичних кабелів та монтажу кінцевих оптичних кросів ODF. Але і при дотриманні всіх технологічних вимог зварювання, виникають такі з'єднання, загасання в яких суттєво перевищують нормовані значення. Однією з причин цього є неточність юстування оптичних волокон через відмінності їх геометричних параметрів, до яких можна віднести флуктуації діаметрів модових полів, різні діаметри сердцевин, ексцентриситет та ін. Крім цього загасання у зварному з'єднанні залежить від параметрів електричної дуги (тривалість, потужність тощо), які повинні бути адаптовані до умов навколишнього середовища (температури, тиску, вологості та інші) й особливостей структури оптичного волокна [7]. Під час зплавлення електричною дугою відмінних між собою оптичних волокон сили поверхневого натягу в місці з'єднання діють не рівномірно, що призводить до зміщення оптичних волокон і деформації зварного з'єднання, тому сигнал у такому з'єднанні буде зазнавати послаблення оптичної потужності. На рис. 3 наведено відеозображення процесу зварювання одномодових оптичних волокон [8].

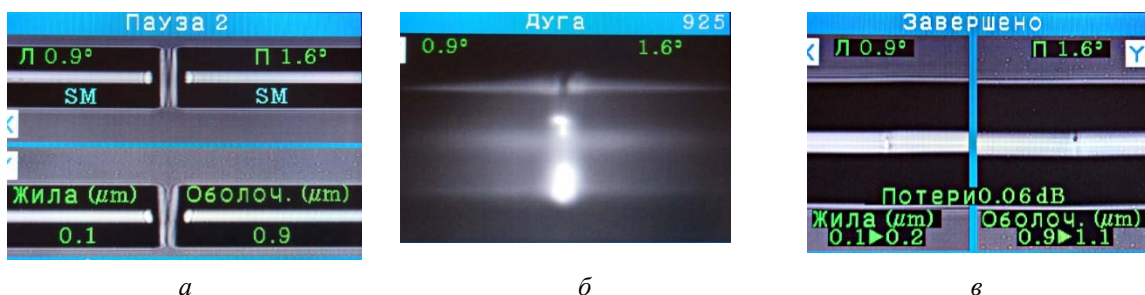


Рис. 3. Зварювання одномодових оптичних волокон:

*а* — параметри відюстованих волокон перед зварюванням, *б* — зварювання електричною дугою, *в* — параметри оптичного волокна після зварювання

Зокрема, на рис. 3а наведено у двох взаємоперпендикулярних площинах Х та У зображення оптичних волокон, відюстованих за профілем сердцевини з допомогою системи PAS (Profile Alignment System) за мить до зварювання. Видно, що у підготовлених волокон відрізняються геометричні параметри сердцевин (жили) на 0,1 мкм та оболонки на 0,9 мкм, а також кути сколювання 0,9° та 1,6° відповідно лівого та правого оптичних волокон. На рис. 3б процес зплавлення цих волокон з допомогою електричної дуги є неоднорідним. В результаті у зварених волокон збільшилась деформація сердцевини 0,1 > 0,2 та оболонки 0,9 > 1,1, а у місці з'єднання оптичних волокон візуально спостерігається шов та інші дефекти (рис. 3в). При цьому система PAS оцінює загасання у зварному з'єднанні на рівні 0,06 дБ. Але враховуючи значні відхилення геометричних параметрів оптичних волокон, неоднорідність процесу

зплавлення та наявність візуальних дефектів у місці з'єднання волокон, прогнозоване значення загасання оптичного сигналу збільшиться. Загасання на рефлектограмі цього зварного з'єднання склало 0,16 дБ (рис. 2б), тобто на порядок більше ніж оцінив зварювальний апарат. Окремо необхідно зазначити про складність процесу зварювання оптичних волокон, які виготовлені різними виробниками. Ускладнено зварювання оптичних волокон кабельних ліній при довготривалому експлуатуванні прокладених у ґрунті. На зазначені зварні з'єднання існують окремі норми по загасанню і вони потребують окремого аналізу.

Остання складова виразу (1) враховує втрати зумовлені загасанням у роз'ємних з'єднаннях або оптичних конекторах, які входять до складу кінцевих оптичних кросів ODF і використовуються для під'єднання різноманітного обладнання до ВОЛЗ. Існує декілька десятків різновидів роз'ємних з'єднувачів, які відрізняються конструкцією корпусу, але спільною в них є система «конектор-втулка-конектор». Загасання в такій системі зумовлено зміщення оптичного волокна відносно вісі конектора, а також зміщення вісі конекторів і не щільне приєднання їх торців у з'єднувальній втулці або адаптері [9]. На рис. 4 наведено зображення торців конекторів, отримані з допомогою електронного мікроскопу [10].

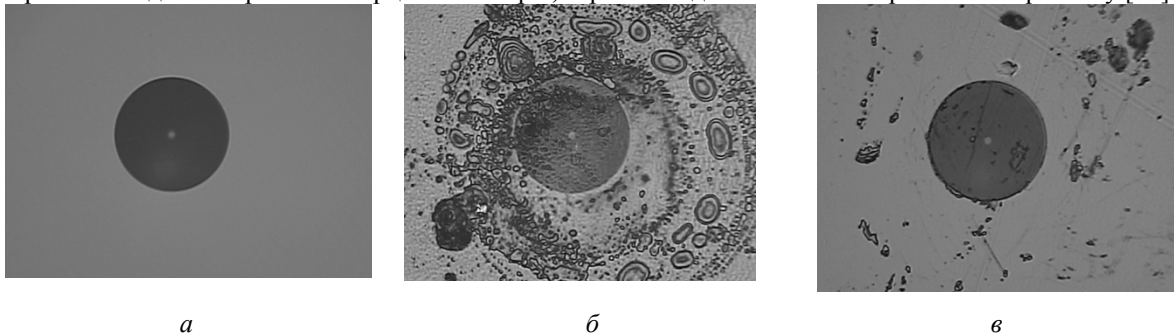


Рис. 4. Зображення торців оптичних конекторів:  
*a* — незабруднена поверхня, *б* — забруднена поверхня, *в* — відслоювання оптичного волокна

Зокрема, на рис. 4а та рис. 4б наведені зображення відповідно чистої та забрудненої поверхонь торців оптичних конекторів. Забруднення виникає при багаторазовому їх використанні і призводить до збільшення повітряного зазор між волокнами. В результаті оптичний сигнал проходить границю розділу середовищ волокно-повітря, що спричиняє його загасання та відбиття. Схожий негативний вплив відбувається від мікронерівностей на поверхні торців при неякісному їх шліфуванні під час виготовлення. Крім цього, загасання в роз'ємних з'єднувачах може бути зумовлене неточним юстування оптичних волокон в конекторі. Так на рис. 4в зображено відслоювання оптичного волокна від керамічного конектора, яке виникає при використанні неякісного клею для фіксації волокна в каналі конектора. Загасання в таких роз'ємних з'єднувачах наведено на рефлектограмі (рис. 2б).

### ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Проведено аналіз основних можливих чинників, які впливають на загасання у ВОЛЗ демонструє, що потенційними місцями, де можуть виникати завищені загасання оптичного сигналу є зварні і роз'ємні з'єднання. Це зумовлено насамперед відхиленням геометричних параметрів оптичних волокон в місці їх з'єднання, а також некоректністю виконання монтажних робіт та експлуатації ВОЛЗ. Для уникнення цих чинників, покращення якості зварних та роз'ємних з'єднань та зменшення в них загасання оптичних сигналів, слід дотримуватись наступних рекомендацій:

1. Перед зварюванням необхідно, щоб оптичні волокна були якісно очищені від бруду та пилу, мали мінімальні кути сколювання (до  $1^\circ$ ), а також характеризувались мінімальним відхиленням геометрії серцевини та оболонки. Для досягнення цих вимог при необхідності виконується повторна підготовка волокон та пересколювання.

2. Перед зварюванням оптичних волокон електрична дуга повинна бути адаптована до умов навколишнього середовища та особливостей структури оптичних волокон. Для цього необхідно виконати калібрування електричної дуги та вибрати режим зварювання, який відповідає типу зварюваного волокна. Безумовно, це зменшує ресурс електродів зварювального апарату та збільшує час монтажних робіт, але в результаті покращує якість зварного з'єднання оптичних волокон.

3. В момент зварювання оптичних волокон електричною дугою необхідно дотримуватись однорідного процесу зплавлення. В місці зплавлення не повинні візуально спостерігатись шов між волокнами, яскраві спалахи та інші дефекти.

4. При перевірці значення загасання у зварному з'єднанні, яке оцінює зварювальний апарат з допомогою технології PAS, зазвичай є необ'єктивним та заниженим. Після монтажних робіт необхідно

виконати контрольні вимірювання загасання у зварних з'єднання з допомогою оптичного рефлектометра та тестерів у двох напрямках.

5. Під час експлуатації роз'ємних з'єднань необхідно виконувати періодичне очищення торців оптичних конекторів та контроль їх поверхонь з допомогою спеціальних електронних мікроскопів.

6. Якщо в результаті багаторазового використання роз'ємні з'єднувачі не забезпечують якісне з'єднання оптичних волокон, тоді у оптичному кросі (ODF) необхідно виконати заміну відповідного конектора або адаптера.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Складов О. К. Волоконно-оптические сети и системы связи : учебн. пособие [для студ. Высш. учеб. зав.] / О. К. Складов. — СПб. : Издательство «Лань», 2010. — 267 с.
2. Листвин А. Измерение потерь в волоконно-оптических линиях связи / А. Листвин, В. Листвин // Первая миля. — 2009. — № 2. С. 2—4.
3. КНД 45-141-99. Керівництво щодо будівництва лінійних споруд волоконно-оптичних ліній зв'язку. Керівний нормативний документ держкомзв'язку та інформатизації України. — К., 1999. — 188 с.
4. BN 2279/98.11 Operating Manual OLS-55, OLP-55 Acterna. — 2006. — 78 с.
5. 780000102/05 User Manual OTDR MTS 8000 Acterna. — 2005. — 118 с.
6. Листвин А. В. Рефлектометрия оптических волокон / А. В., Листвин, В. Н. Листвин // — М. : ЛЕСАРпт, 2005. 208 с.
7. Микилев А. И. Качественная сварка оптических волокон : уравнение с многими неизвестными, или тернистый путь в светлое будущее. // Lightwave Russian Edition. — 2007. — № 3. — С. 16—22.
8. KSP75-FP-004706(2) Руководство по эксплуатации Сварочный аппарат FSM-50S Fujikura. — 2003. — 92 с.
9. Кабыш С. В. Какие факторы влияют на величину затухания при соединении оптических волокон? / С. В. Кабыш // Фотон-экспресс. — 2004. — № 1(33). — С. 32—34.
10. SPFIP400.9AN / User Manual FIP-400 Fiber inspection probe EXFO. — 2011. — 56 с.

Надійшла до редакції 8.11.2014 р.

**ОНИЦУК ОЛЕГ ВОЛОДИМИРОВИЧ** — кандидат технічних наук., доцент кафедри «Телекомунікаційних систем та телебачення» Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця, Україна.

**КОВАЛЬ КОСТЯНТИН ОЛЕГОВИЧ** — кандидат технічних наук., доцент кафедри «Радіотехніки» Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця, Україна.