

УДК 621.391.822.2:621.791.75:621.317.7  
<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2026-86-18>

ОНИЩУК Олег

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба  
<https://orcid.org/0009-0004-3225-7940>  
e-mail: [onyshchukoleg@gmail.com](mailto:onyshchukoleg@gmail.com)

ПРИТУЛА Максим

Вінницький національний технічний університет  
<https://orcid.org/0000-0003-1577-5215>  
e-mail: [pritulamaxim@gmail.com](mailto:pritulamaxim@gmail.com)

ТУЛЕНКО Михайло

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба  
<https://orcid.org/0009-0003-7441-6033>  
e-mail: [super-tulenko@ukr.net](mailto:super-tulenko@ukr.net)

## КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ОДНОМОДОВИХ ОПТИЧНИХ ВОЛОКОН ЗА ДОПОМОГОЮ PAS ТА OTDR

У статті розглянуто технологічні аспекти процесу зварювання одномодових оптичних волокон та методи контролю якості зварних з'єднань з використанням системи Profile Alignment System (PAS) та оптичного рефлектометра Optical Time Domain Reflectometer (OTDR). Проаналізовано вплив підготовки волокон, параметрів електричної дуги та умов навколишнього середовища на якість з'єднання. Наведено приклади візуального контролю та рефлектометричних вимірювань, що дозволяють оцінити втрати оптичної потужності. Запропоновано практичні рекомендації щодо підвищення точності монтажу та вимірювання, що сприяє зниженню втрат у оптичних лініях та мережах зв'язку.

Ключові слова: якість, оптичне волокно, зварювання, електрична дуга, втрати оптичної потужності

ONYSCHUK Oleg, TULENKO Michael

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

PRYTULA Maksym

Vinnitsia National Technical University

## QUALITY CONTROL OF SINGLE-MODE OPTICAL FIBER SPLICE USING PAS AND OTDR

The article examines the technological aspects of the single-mode optical fiber splicing process and the methods for quality control of splice joints using the Profile Alignment System (PAS) and the Optical Time Domain Reflectometer (OTDR). The influence of fiber preparation, electric arc parameters, and environmental conditions on the quality of the splice is analyzed. Examples of visual inspection and reflectometric measurements are provided, which allow for the assessment of optical power losses. Practical recommendations are proposed to improve the accuracy of installation and measurements, contributing to the reduction of losses in optical lines and communication networks.

Keywords: quality, optical fiber, splicing, arc, optical power loss.

Стаття надійшла до редакції / Received 09.02.2026  
Прийнята до друку / Accepted 16.04.2026  
Опубліковано / Published 31.05.2026



This is an Open Access article distributed under the terms of the [Creative Commons CC-BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

© ОНИЩУК Олег, ПРИТУЛА Максим, ТУЛЕНКО Михайло

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Оптичні лінії зв'язку є невід'ємною складовою сучасних транспортних телекомунікаційних мереж, які забезпечують надійний та безперебійний зв'язок. При цьому найбільшого поширення набули одномодові оптичні волокна, які на сьогодні вважаються одним із найдосконаліших фізичних середовищ для передачі великих обсягів інформації на значні відстані.

Найбільш ефективним способом з'єднання таких волокон вважається процес їх зварювання у полі розряду електричної дуги. Зварювання оптичних волокон здійснюється як під час будівельно-монтажних робіт так і в процесі експлуатації оптичних ліній зв'язку. Втрати оптичної потужності, які виникають у цих з'єднаннях, прийнято вважати за основний критерій якості місця з'єднання і лінії в цілому [1]. Враховуючи велику ємність волокон у сучасних оптичних кабелях, кількість зварних з'єднань у розгалужених мережах оптичних ліній зв'язку може нараховувати соті і тисячі з'єднань. Неналежна якість з'єднань оптичних волокон негативно впливає на параметри систем передачі, зокрема знижує їх швидкість та ефективну дальність. Тому актуальним залишається питання контролю якості зварних з'єднань з метою забезпечення мінімальних втрат оптичної потужності у лінії в цілому.

## АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Аналіз останніх досліджень даної проблематики показав, що якість зварних з'єднань напряму залежать як від порушення технології зварювання, так із-за некоректності інтерпретації результатів оцінювання та вимірювання втрат оптичної потужності у місцях зварних з'єднань. Зокрема в екстремальних умовах, наприклад, під дією несприятливих погодних умов або в аварійних ситуаціях, досить часто виникає погіршення якості зварних з'єднань, які зумовлені недостатньою індивідуальною майстерністю або досвідченістю оператора, що виконує зварювання. Тому важливо загострити увагу на тих аспектах монтажно-вимірювальних робіт, які обов'язковому порядку необхідно контролювати для отримання якісних зварних з'єднань.

Всі сучасні зварювальні апарати обладнані спеціальними цифровими камерами та моніторами, за допомогою яких є можливість візуально контролювати основні етапи процесу зварювання та аналізувати інформацію про параметри волокон. Для цього розглянемо технологічні особливості процесу зварювання одномодових оптичних волокон та доступні методи та засоби контролю якості та вимірювання втрат оптичної потужності у місцях зварних з'єднань такими як Profile Alignment System та Optical Time Domain Reflectometer [2,3].

## ВИКЛАД МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ

Виділимо три основні технологічні етапи процесу зварювання оптичних волокон у полі розряду електричної дуги, а саме підготовка та юстування оптичних волокон, безпосередньо процес їх сплавлення у полі розряду електричної дуги, а також завершальний етап оцінювання якості зварного з'єднання та перевірки міцності зусиллям на розтяг (рис.1)

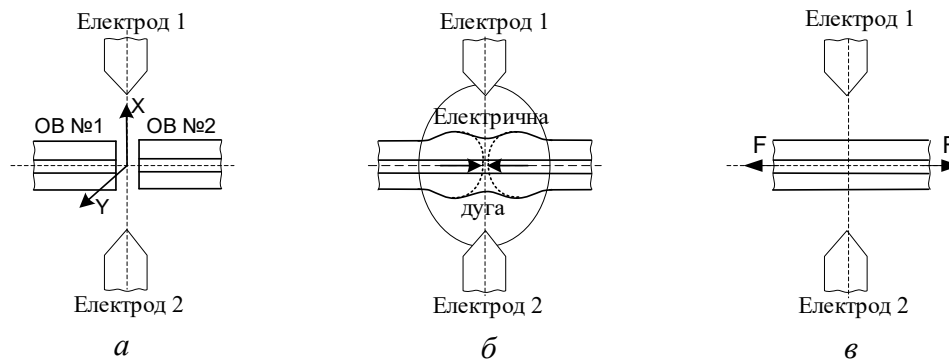


Рис. 1. Етапи зварювання оптичних волокон:  
а – підготовка та юстування оптичних волокон;  
б – процес сплавлення у полі розряду електричної дуги;  
в – оцінювання якості зварного з'єднання

На підготовчому етапі здійснюється очищення та сколювання торців оптичних волокон, їх юстування та вирівнювання у двох взаємно перпендикулярних площинках X і Y між зварювальними електродами 1 і 2 (рис.1, а). На даному етапі можуть виникати труднощі, пов'язані і якісною підготовкою волокон (наявність бруду, пилу, значних відхилень кутів сколювання торців), а також відмінністю геометричних параметрів сердцевин та оболонки оптичних волокон, що зварюються.

Після цього, відбувається основний етап сплавлення оптичних волокон у розряді електричної дуги, яка має визначену тривалість та потужність. На даному етапі торці оптичних волокон розігріваються до температури плавлення (1600 °C – 2000 °C), що призводить до їх округлення і з'єднання під дією сил поверхневого натягу (рис. 1, б). При цьому тривалість та потужність електричної дуги мають визначальне значення, і вибираються в залежності від типу оптичних волокон, що зварюються (SM, MM, NZ та ін.), а також від особливостей навколишнього середовища, де відбувається безпосередньо процес зварювання (зовнішня температура, атмосферний тиск, вологість тощо).

На завершальному етапі здійснюється контроль якості зварного з'єднання, оцінюються втрати та геометричні параметри безпосереднього місця зварки, здійснюється перевірка його міцності на розтяг зусиллям F (200..450 г).

Для контролю якості на кожному із вище згаданих етапів розглянемо систему Profile Alignment System (PAS), яка розроблена японською компанією Fujikura для використання у сучасних зварювальних апаратів[4].

У системі PAS юстування (вирівнювання) виконується за профілем яскравості оптичних волокон. Промені колімованого некогерентного випромінювання, просвічуючи оптичне волокно, потрапляють на об'єктив відеокамери, на задній частині якої знаходиться детектор-матриця, на якій формується зображення профілю яскравості волокон (рис.2).

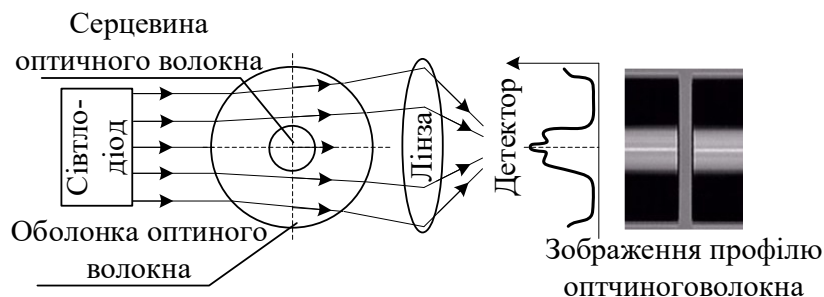


Рис. 2. Пояснення принципу роботи системи PAS

На рисунку 2 лінза – це об’єктив камери, яка фокусує збільшене зображення, тому її називають мікроскопом. Яскравість світла, що вимірюється детектором, змінюється у поперечному перерізі волокна, оскільки показники заломлення серцевини та оболонки відрізняються. Частина променів, заломлюються на межі поділу середовищ серцевина-оболонка, внаслідок чого у невеликій області за серцевиною виникають провали у розподілі щільності світлової енергії, котрі у площині зображення виглядають як темні лінії на світлому фоні. В результаті формуються зображення, на яких видно границі оболонок та серцевин оптичного волокна. Юстування полягає у суміщенні темних ліній, що відповідають границям серцевин з’єднувальних оптичних волокон. За допомогою дзеркал отримується зображення профілів волокон у двох взаємно перпендикулярних площинах, що забезпечує вирівнювання оптичних волокон у площинах: X та Y. Зображення волокон виводиться з детектора на монітор, де оператор може проаналізувати інформацію про кути сколювання волокон, їх геометричні відхилення, тип зварювальних волокон, візуально оцінити якість підготовки торцевих поверхонь (рис.2).

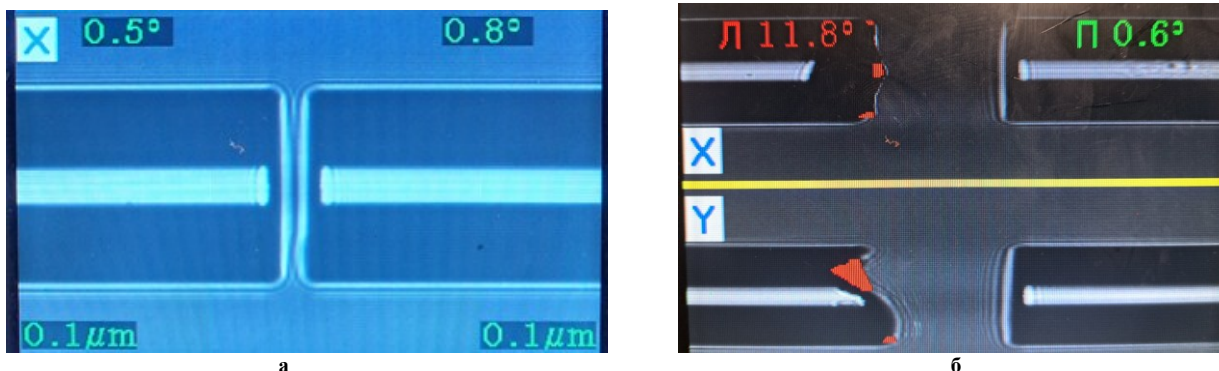


Рис. 2. Підготовка оптичних волокон до зварювання за допомогою PAS: а – якісна; б – не якісна

На рисунку 2, а і б наведено приклади відповідно якісної та неякісної підготовки оптичних волокон за мить до процесу зварювання. На рис.2, а можна спостерігати мінімальні значення відхилення кутів сколювання оптичних волокон, значення яких складають  $0,5^\circ$  та  $0,8^\circ$ , а також якісно очищені поверхні волокон. Натомість на рис.2, б чітко видно великий кут сколювання одного із оптичних волокон -  $11,8^\circ$ , а також наявність залишків бруду та пилу на його поверхні.

Якщо якийсь із параметрів підготовки незадовільний, то необхідно виконати повторне пересколювання волокон, очищення кінців волокон від бруду та пилу або змінити позицію волокон шляхом осьового прокручування у направляючих фіксаторах зварювального апарату.

Під час електричного розряду оператор може спостерігати безпосередньо за процесом сплавлення ОВ. Необхідно зазначити, що якість зварного з’єднання напряму залежить від однорідності процесу сплавлення у полі розряду електричної дуги. Якщо в момент сплавлення ОВ спостерігаються візуальні дефекти, такі як шов між волокнами, окремі плями, спалахи або інші неоднорідності, які на фоні однорідного поля дугового розряду візуально виділяються більш яскравим світінням, тоді дуговий електричний розряд можна вважати неоднорідним. В результаті такого сплавлення суттєво погіршується якість зварного з’єднання, що проявляється у збільшенні загасання під час рефелектометричних вимірювань оптичних волокон.

На рисунку 3, а та б наведено відповідно однорідний та неоднорідний процеси сплавлення оптичних волокон.

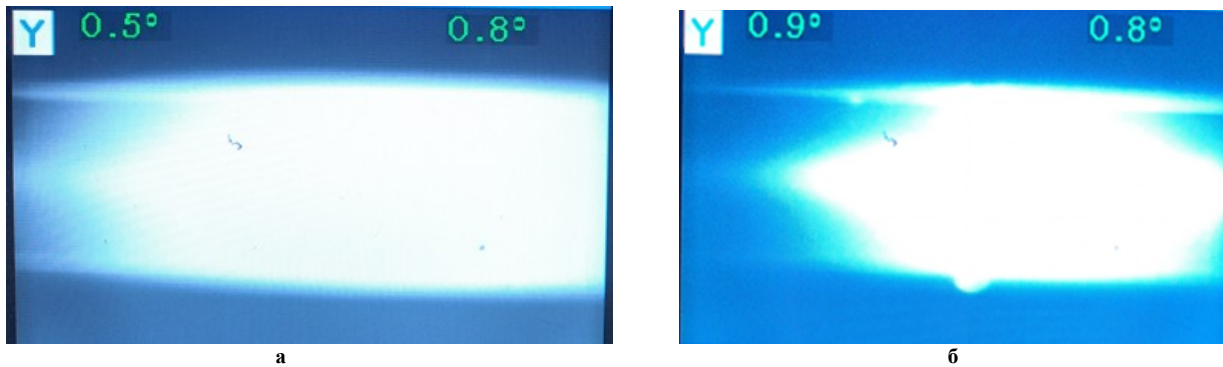


Рис. 3. Процес сплавлення оптичних волокон за допомогою PAS: а – однорідний; б – не однорідний

Візуальне спостереження оператором за процесом сплавлення є найважливішим етапом контролю, за результатами спостереження якого, можна прогнозувати виникнення додаткових втрат втрати оптичної потужності у місцях таких з'єднань волокон. Наприклад, наведений на рисунку 3, а однорідний процес сплавлення оптичних волокон можна вважати ознакою успішного з'єднання оптичних волокон. При цьому поле розряду електричної дуги має однакову яскравість та однорідну заповнене по всій довжині. За наявності у полі електричної дуги будь яких яскравих спалахів, візуальних швів, а також інших неоднорідностей (рис.3, б), може свідчити про те, що процес сплавлення не є однорідним і з'єднання проходить не успішно.

Для покращення якості зварного з'єднання на даному етапі рекомендується виконати адаптацію зварювального апарату до умов виконання робіт. Вплив таких зовнішніх факторів, як низька температура, підвищена вологість, зміна атмосферного тиску призводять до зміни параметрів електричної дуги: потужність, тривалість тощо. В сучасних зварювальних апаратах передбачена функція Arcstest, за допомогою якої автоматично або вручну здійснюється корекція електричної дуги. В результаті зварювальний апарат підводить волокна у поле електричного дугового розряду із оптимальною потужністю та тривалістю. Також є можливість як автоматично, так і вручну вибрати той чи інший режим зварювання, який враховує тип та структуру зварювальних волокон.

На завершальному етапі оператор має можливість у площинах X та Y обстежити місце зварного з'єднання та проаналізувати геометричні параметри оптичних волокон після сплавлення, а також оцінити значення загасання у місці зварного з'єднання, а також перевірити механічну стійкість на розтягнення зварного з'єднання. На рисунку 5, а і б наведено результати відповідно успішного та неуспішного зварювання.

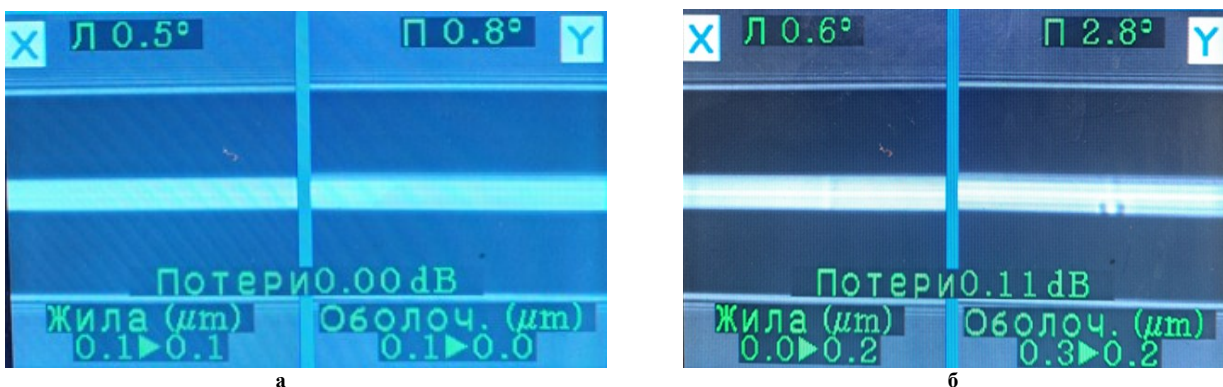


Рис. 4. Оцінювання нероз'ємного зварного з'єднання оптичних волокон з допомогою PAS: а – якісного; б – не якісного

На рисунку 5, б можна чітко спостерігати візуальні прояви неякісного зварного з'єднання, зокрема це наявність візуальних дефектів та нерівностей, швів та плям у місці з'єднання волокон, які повністю відсутні на рисунку 5, а. Окрім цього оператору надається інформація про значення втрат оптичної потужності, які можуть виникнути у такому зварному з'єднанні. При юстуванні волокон за зображенням яскравості їх профілю (PAS), втрати у місці з'єднання волокон не вимірюються, а оцінюються в залежності від геометричних та оптичних особливостей зварного з'єднання. Для успішного з'єднання прогноуються втрати на рівні 0,00 дБ, а для неуспішного – 0,11 дБ.

Для встановлення фактичного або дійсного значення втрат у зварному з'єднанні недостатньо лише візуального контролю, який забезпечує система PAS. Хоча PAS дозволяє оцінити якість підготовки волокон, точність їх юстування та однорідність процесу сплавлення, вона не забезпечує прямого вимірювання втрат оптичної потужності. Тому для отримання об'єктивної кількісної оцінки загасання у місці зварного з'єднання необхідно застосовувати методи рефлектометрії. Зокрема, вимірювання слід виконувати за допомогою

оптичного рефлектометра (Optical Time Domain Reflectometer, OTDR) [5], який дозволяє точно визначити рівень втрат, локалізувати місця з'єднань та виявити потенційні дефекти у волоконно-оптичній лінії.

Принцип роботи рефлектометра базується на аналізі сигналів зворотного Релєєвського розсіювання та Френелівського відбиття, які виникають у оптичних волокнах під час поширення у них вимірювального імпульсного сигналу, що був випромінений рефлектометром (рис. 5).

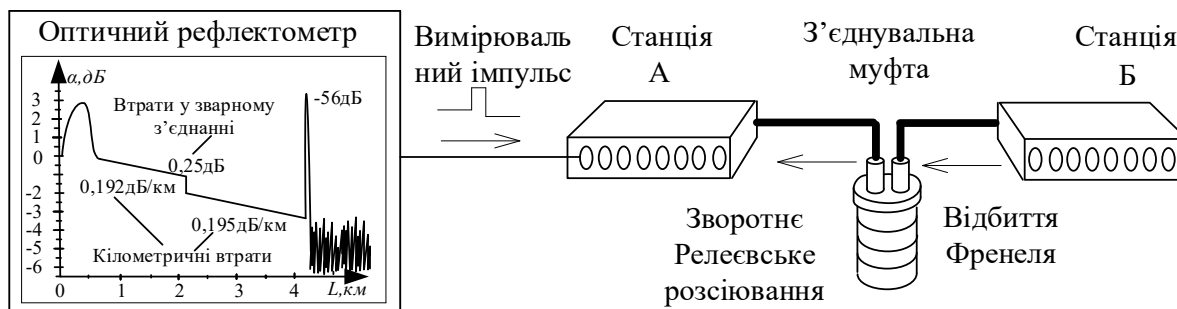


Рис. 5. Пояснення принципу роботи OTDR

На основі даних про час надходження та потужність зворотних сигналів формується рефлектограма – графічна залежність розподілу втрат оптичної потужності від довжини оптичної лінії. З допомогою рефлектограми можна проаналізувати основні втрати у зварних з'єднаннях.

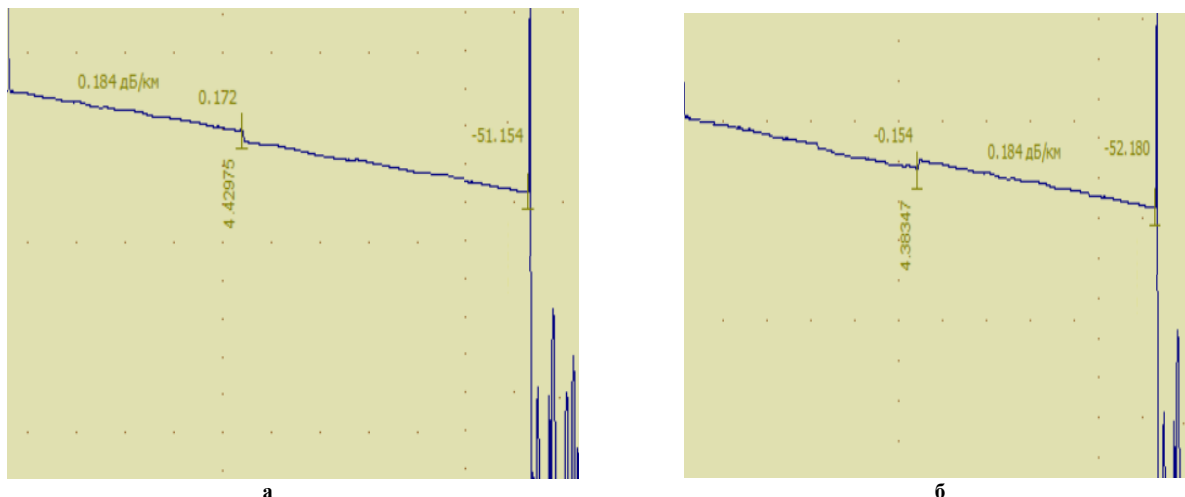


Рис. 6. Рефлектограми оптичного волокна, виконані у двох напрямках: а – напрямок А → Б; б – напрямок Б → А

Зварні з'єднання у оптичних муфтах, а також тріщини та перегини оптичних волокон, характеризуються втратами на поглинання і на рефлектограмі мають вигляд сходинок (рис. 6). Поруч з кожною сходинкою вказується значення втрат у децибелах та відстань від початку лінії до цієї неоднорідності, які розраховуються рефлектометром автоматично. При цьому важливо зазначити, що на рефлектограмах можливі як плюсові «сходинки або стрибки» (рис. 6, а), а також мінусові (рис. 6, б). Це пояснюється тим, що при зварюванні оптичних волокон мають місце відхилення їх оптичних та геометричних параметрів. Тому контрольні вимірювання оптичних втрат у місці з'єднання оптичних волокон під час монтажу муфт на оптичному кабелі рекомендується виконувати з двох напрямків і та на двох довжинах хвиль 1550 нм та 1310 нм, а дійсне або фактичне значення загасання в місці зварного з'єднання  $A_{33}$  оптичних волокон визначати як середньоарифметичне значення [6]:

$$A_{33} = (a_1 + a_2) / 2, \quad (1)$$

де  $a_1$  та  $a_2$  – загасання в місці нероз'ємного з'єднання оптичних волокон, виконані відповідно у напрямку А → Б та у напрямку Б → А.

На рисунку 6, а та б, значення загасання отримані під час вимірювання з двох сторін, склали відповідно 0,172 дБ та -0,154 дБ. Тому фактичне значення є результатом їх півсуми і дорівнює 0,009 дБ.

Зазвичай під час зварювання оптичних волокон нехтують вимірюваннями втрат у місцях зварних з'єднань у двох напрямках та на двох довжинах хвиль 1550 нм та 1310 нм, оскільки це потребує виконання додаткових робіт і збільшення термінів монтажу. В результаті неможливо встановити фактичне значення

загасання в місці нероз'ємного зварного з'єднання оптичних волокон і об'єктивно оцінити якість зварного з'єднання.

На завершення зазначимо, що втрати в місці з'єднання оптичних волокон мають відповідати допустимим нормам, обумовленим у проекті та/або галузевим керівним нормативним документам. Зокрема у керівних нормативних документах регламентується, що на магістральних лініях втрати в місці з'єднання одномодових оптичних волокон мають становити: 0,1 дБ – номінальне (70% зварних з'єднань на лінії) та 0,15 дБ – максимальне (не більш як 30% від загальної кількості зварних з'єднань на лінії). Допускається збільшення оптичних втрат до 0,2 дБ на локальних або міській телекомунікаційних мережах довжиною до 20 км [6].

З огляду на це, на кожному з етапів зварювання можуть виникати фактори, що в кінцевому підсумку погіршують якість з'єднання та призводять до додаткових втрат оптичної потужності. Основними з них є:

1. Неякісна підготовка волокон перед зварюванням, що зазвичай пов'язана з недостатньою кваліфікацією або неухважністю оператора чи монтажника.
2. Відхилення геометричних та/або оптичних параметрів волокон, які можуть бути спричинені невдалим юстуванням, відмінністю типів волокон або їх походженням з різних виробничих партій чи заводів.
3. Некоректний вибір параметрів електричної дуги (тривалості та потужності), що виникає через неправильну ідентифікацію типу волокон або відсутність адаптації зварювального апарата до умов навколишнього середовища (температура, вологість, тиск тощо).
4. Неоднорідність процесу сплавлення, яка проявляється у вигляді візуальних дефектів (шви, спалахи, плями) та свідчить про нестабільність дугового розряду, що негативно впливає на якість з'єднання.
5. Неповний комплекс вимірювань втрат у зварних з'єднаннях, що призводить до хибної інтерпретації результатів та неможливості об'єктивно оцінити якість з'єднання.

### ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

#### І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

Якість зварних з'єднань визначає ефективність функціонування оптичної мережі в цілому. Вона значною мірою залежить від ретельної підготовки волокон, точності їх юстування, параметрів електричної дуги та умов навколишнього середовища.

Системи PAS і OTDR є взаємодоповнюючими методами контролю якості: PAS забезпечує візуальний контроль процесу зварювання та дозволяє оцінити геометричні параметри з'єднання, тоді як OTDR дає змогу точно вимірювати втрати оптичної потужності та локалізувати дефекти.

Дотримання технологічних вимог і галузевих стандартів дозволяє мінімізувати втрати в місцях з'єднання та забезпечити відповідність нормативним показникам, що є критично важливим для стабільної роботи телекомунікаційних систем.

Подальші дослідження доцільно зосередити на статистичному вивченні впливу неякісної підготовки волокон, неоднорідного сплавлення та змін зовнішніх умов на втрати в зварних з'єднаннях, що дозволить підвищити точність прогнозування якості з'єднань і вдосконалити методики контролю.

#### Література

1. Онищук О. В. Загасання у волоконно-оптичних лініях зв'язку / О. В. Онищук, К. О. Коваль // Оптиелектронні інформаційно-енергетичні технології. – 2014. – № 2 (28). – С. 129–133.
2. Онищук О.В. Методи і засоби оцінювання якості зварних з'єднань волоконно-оптичних ліній зв'язку / О.В. Онищук., М.Ю. Дмитрук. // Сучасні проблеми інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем: IX Міжнародна наук.-практична. конф., 15-17 листопада 2023 р. – Вінниця, 2023. – С. 61.
3. Онищук О.В. Дослідження зварних з'єднань одномодових оптичних волокон / С. Т. Барась, І. А. Безносюк, О. В. Онищук, Р. І. Гуменюк // Матеріали I Міжнародної науково-технічної конференції "Сучасні проблеми інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем (СПРН-2019)", Вінниця, 14-16 листопада 2019 р. – 2019. – С. 64–65.
4. Instruction Manual and Technical Documentation for Fusion Splicers with PAS Technology [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.optic-product.fujikura.com/en/pages/instruction-procedure-videos/>
5. User Manual OTDR MTS 8000 Acterna. - 2005. - 118 с.
6. 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.

#### References

1. Onyshchuk O. V. Zahasannia u volokonno-optychnykh liniyakh zviazku / O. V. Onyshchuk, K. O. Koval // Optoelektronni informatsiino-energetychni tekhnolohii. – 2014. – No. 2 (28). – P. 129–133.
2. Onyshchuk O. V. Metody i zasoby otsiniuvannia yakosti zvarnykh ziednan volokonno-optychnykh liniy zviazku / O. V. Onyshchuk, M. Yu. Dmytruk // Suchasni problemy infokomunikatsii, radioelektroniky ta nanosystem: IX Mizhnarodna nauk.-pratychna konf., 15–17 lystopada 2023 r. – Vinnytsia, 2023. – P. 61.

3. Baras S. T., Beznosiuk I. A., Onyshchuk O. V., Humeniuk R. I. Doslidzhennia zvarnykh ziednan odnomodovykh optychnykh volokon // Materialy I Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii "Suchasni problemy infokomunikatsii, radioelektroniky ta nanosystem (SPIRN-2019)", Vinnytsia, 14–16 lystopada 2019 r. – 2019. – P. 64–65.
4. Instruction Manual and Technical Documentation for Fusion Splicers with PAS Technology [Electronic resource]. – Available at: [Fujikura Instruction Procedure Videos](#)
5. User Manual OTDR MTS 8000 Acterna. – 2005. – 118 p.
6. KND 45-141-99. Kerivnytstvo shchodo budivnytstva liniinykh sporud volokonno-optychnykh liniy zviazku. Kerivnyi normatyvnyi dokument Derzhkomzviazku ta informatyzatsii Ukrainy. – Kyiv, 1999. – 188 p.