

## ОПТИЧНА НАДІЙНІСТЬ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ КАБЕЛІВ ЗВ'ЯЗКУ В РЕЗУЛЬТАТІ СТАРІННЯ

**Харченко М.О., Каток В.Б.**

*Інститут телекомунікаційних систем НТУУ «КПІ», Україна*

*E-mail: 9419xmo@ukr.net*

### **Optical reliability of fiber optic cables as a consequence of their aging**

This work suggests the short analysis of factors which deteriorate optical characteristics of glass fibre as a consequence of its aging. These factors should be considered as starting point in identifying processes that need to be accounted for to assure the optical performances of the manufactured and cabled fibers prescribed in G.65x series of International Telecommunication Union (ITU) Recommendations.

За 30 років комерційного використання оптичного кабелю, було ідентифіковано фактори, які виникають в результаті старіння скловолокна та погіршують його оптичні характеристики. Ці фактори повинні бути враховані при виготовлення кабельних волокон, стандартизованих в Рекомендаціях Міжнародного союзу електрозв'язку (МСЕ) серії G.65x, щоб гарантувати надійність їх роботи. Основна увага приділяється трьом видам впливу на оптичну надійність:

- втрати на вигинах (мікровигини і макровигини);
- хімічний вплив (водень є найбільш поширеним фактором);
- радіаційна чутливість.

Багато з випробувань з оптичним волокном і кабелем, наведених в документах IEC SC86A і ITU-T SG15 WP2, були розроблені для реалізації тривалої надійності оптичних кабелів. Випробування зосереджені на моніторингу оптичної надійності всіх волокон та на затуханні сигналів в волокнах в кабелі в цілому.

Якщо отримані результати тесту знаходяться в рекомендованих межах, оптичні кабелі повинні стабільно функціонувати впродовж прийняттого періоду часу (20-30 років) без значного погіршення якості передачі.

Втрати на вигинах розподіляються на два типи, втрата на мікровигинах та втрата на макровигинах. Простіше кажучи, макровигини — це видимі вигини радіусом в декілька міліметрів, а мікровигини — дуже дрібні вигини, радіус яких становить декілька мікрон і сумірні з довжиною оптичних хвиль. Вигини з'являються в багатьох місцях всієї довжини оптичних волокон і розрізнити макровигин від мікровигину часто може бути складно, особливо в області переходу між цими двома поняттями. Для одномодових волокон обидва ефекти викликають збільшення втрат зі збільшенням довжин хвиль, зокрема становлять загрозу довгим хвилям (в С- і L-діапазонах до 1625 нм) [1].

Втрата на мікровигині оптоволокна виникає в одномодовому світловоді, коли дрібні поперечні недоліки в конструкції волокна призводять до виведення

енергії з основного режиму в багатомодовий режим з більшими втратами та випромінюючий режим. Значна втрата від мікрОВИГІНУ може виникнути навіть коли його величина має розмір в нанометрах. Спектральна залежність втрати від мікрОВИГІНІВ варіюється залежно від осьового розподілу недоліків волокна. МікрОВИГІНИ можуть стати результатом зміни температур, які спричиняють розширення та набухання захисного покриття волокон або кабельного матеріалу, що є реакцією на зовнішнє середовище. Волокна та кабелі є об'єктами навантажувальних випробувань впливу температурних змін, вологості, води та інших розчинів для передбачення роботи кабелю впродовж терміну експлуатації. Типові види тестів, стандартизовані Міжнародною електротехнічною комісією (МЕК), вказані в додатку VI.4 ITU-T G.Sup.40[3].

Другий фактор впливу на оптичну надійність – водень. Водень – це мала молекула, яка може легко розподілятися в структурі скла. Було виявлено, що коли волокна тривалий час знаходяться в атмосфері з високим вмістом водню, молекули водню можуть дифузійовати в волокна і викликати збільшення загасання на більш довгих хвилях (1300 і особливо 1500 нм), а коли концентрація водню в повітрі дуже мала, він може утворюватися всередині деяких кабелів в результаті розкладання пластикових матеріалів[2].

Водень може реагувати зі склом, щоб створити незворотні точки поглинання (тип 1), які додають оптичні втрати або інтерстиціальний молекулярний водень, який може бути присутнім в склі, також додає загасання (тип2). Обидва типи мають відношення до сучасних оптичних кабелів, оскільки вони можуть збільшувати загальне загасання оптичного кабелю.

Впроваджений водень (тип 2) є проблемою лише тоді, коли на оптичний кабель поширюється дія високого парціального тиску водню. Одним із застосувань, де цей тип водню становить загрозу це підводні кабелі. Оптичні кабелі, які використовуються глибоко під водою, понад 100 метрів нижче поверхні води, поміщають в герметичні пакети та найчастіше в труби з нержавіючої сталі, щоб запобігти виникненню поглинання 2 типу. Оптичні волокна, які застосовуються в мілководних кабелях глибиною менше ніж 100 м розширюється під впливом водню і цей вплив збільшується з глибиною. Вплив водню другого типу можна знищити, як тільки кабель витягти з води, водень розсіюється з кабелю і загасання повертається до норми [1].

Водень може реагувати з дефектами в матриці скла. Ці дефекти 1 типу найбільш очевидні в волокнах ITU-T G.652.B. Тривала дія водяної пари може привести до проникнення в волокна, які знаходяться у воді, гідроксильних іонів (ОН), викликаючи втрату міцності і збільшення загасання [2]. У значній кількості ці дефекти можуть зробити оптичні кабелі непридатними до використання.

У 2001 році ITU-T ввели повний спектр волокна G.652.D. Ці волокна G.652.D відрізнялися від своїх попередників тим, що скло, яке пропускає світло стабілізується так, що при типових умовах розміщення, водневі дефекти 1 типу не утворюються в достатній кількості, щоб негативно позначитися на якості пропускання оптичного волокна. Сьогодні більшість оптичних волокон задовольняють цю специфікацію забезпечуючи більш надійне довгострокове

оптичне функціонування. У разі, коли волокна G.652.D піддаються концентрації водню значно вище, ніж в звичайних умовах, то описані дефекти можуть утворюватися і погіршувати оптичну якість волокна.

Вплив ядерної радіації також впливає на оптичну надійність оптичного волокна. Опромінення легованих германієм оптоволокон радіоактивним випромінюванням може викликати дефекти в будові атомів скла, що призводить до збільшення загасання, викликане радіацією. Тестування радіації на сьогоднішній день проводять з великими дозами за короткі інтервали часу. Результати таких прискорених тестів використовуються для оцінювання збільшення згасання волокон за розрахований термін експлуатації під час опромінення на фоновому рівні. Оптичні кабелі масово застосовуються з 1977-го року і, як показав світовий досвід, радіаційний фон не впливає на показники згасання робочих кабелів за нормальних умов [1].

Очікуваний термін експлуатації оптичних волокон становить не менш 20-30 років. Метою випробувань на старіння є допомога кінцевому користувачеві прогнозувати оптичні властивості оптичного кабелю протягом усього терміну його служби. Ці тести перевіряють на циклічних умовах, що можуть виникати через зміни протягом року, локалізовані події, такі як вигини, а також погіршення характеристик протягом усього терміну експлуатації кабелю. Ряд тестів, які були розроблені перераховані в додатку VI.4 ITU-T G.Sup.40[3].

Багато з розроблених випробувань передбачені для циклічного проведення:

- Циклічний вплив температури на оптичне волокно та кабель;
- Циклічні випробування на вологостійкість оптичного волокна та кабелю;
- Випробування на макровигини оптичного волокна та кабелю;
- Випробування на руйнування оптичного кабелю.

У цих тестах є вимоги до гіршого випадку продуктивності при заданому наборі умов, які відповідають гіршому випадку експлуатаційних умов. Під час використання оптичного кабелю, очікується, що збільшення загасання буде меншим або дорівнює тим, які спостерігалися в цих тестах.

За 30 років використання оптичних кабелів та з прогнозом того, що будь-який деградаційний ефект подвоїться за наступні 30 років, ми можемо припустити, що малоімовірно, що окрім впливу водню, може виникнути ще якісь чинники погіршення оптичної продуктивності, які могли б призвести до втрати більш ніж декількох сотих дБ на кілометр за весь термін експлуатації оптичного кабелю. За нормальних умов прокладання та експлуатації оптичних кабелів, можна очікувати термінів їх експлуатації понад 30 років.

## Література

1. Optical Fibre and Cable Reliability Guidelines. Supplement FCR to the ITU-T G-series Recommendations, ITU Geneva, February 2016.
2. Дэвид Бейли. Волоконная оптика. Теория и практика / Дэвид Бейли, Эдвин Райт. – М.: КУДИЦ-Пресс, 2008. – 320с.
3. ITU-T G-series Recommendations. Supplement 40, ITU Geneva, June 2010.