

ОСОБЛИВОСТІ ПРОКЛАДАННЯ ТА НАДІЙНІСТЬ НОВИХ ТИПІВ ОПТИЧНИХ ВОЛОКОН

Манько О.О., Ніколов К.О.
Державний університет телекомунікацій,
03680, Україна, м. Київ, вул. Солом'янська, 7.
manko_kiev@mail.ru, nikolka@ukr.net

Іванова В.С.
Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова,
65029, Україна, м. Одеса, вул. Ковальська, 1
Ivanova_vala@ukr.net

ОСОБЕННОСТИ ПРОКЛАДКИ И НАДЕЖНОСТЬ НОВЫХ ТИПОВ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН

Манько А.А., Ніколов К.А.
Государственный университет телекоммуникаций,
03680, Украина, г. Киев, ул. Соломенская, 7.
manko_kiev@mail.ru, nikolka@ukr.net

Іванова В.С.
Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова,
65029, Украина, г. Одесса, ул. Кузнечная, 1.
Ivanova_vala@ukr.net

FEATURES OF INSTALLATION AND RELIABILITY OF NEW TYPES OPTICAL FIBRES

Manko A.A., Nikolov K.A.
State University of Telecommunications,
7 Solomenskaya St., Kiev, Ukraine, 703680
manko_kiev@mail.ru, nikolka@ukr.net

Ivanova V.S.,
O.S. Popov Odessa national academy of telecommunications,
1 Kovalska St., Odessa, Ukraine, 65029
Ivanova_vala@ukr.net

Анотація. У статті розглянуто вимоги до надійності волоконно-оптичних ліній зв'язку при застосуванні на них технологій передавання, що використовують спектральне розділення каналів. Показано, що застосування таких технологій ставить підвищені вимоги до надійності оптичного волокна у складі оптичного кабелю. Причиною є значне підвищення інформаційно-пропускної здатності лінії та, відповідно, втрат інформації у випадку аварійних ситуацій. Наведено розрахунки, результати яких підтверджують залежність часу життя оптичного волокна від натягу після прокладання. Надано рекомендації, згідно з якими пропонується для прокладання оптичного кабелю переважно застосовувати метод задування кабелю в поліетиленову трубу. Це дозволить набагато зменшити навантаження на кабель під час прокладання та уникнути надмірних навантажень на волокно. Проведене дослідження залежності часу життя оптичного волокна від вигину. Запропоновано метод розрахунку відносного видовження оптичного волокна в залежності від радіуса вигину. Надані рекомендації з вибору радіуса вигину волокна при проектуванні оптичних мереж з метою підвищення їх надійності.

Ключові слова: оптичне волокно, натяг, радіус вигину, надійність, час життя.

Аннотация. В статье рассмотрены требования к надежности волоконно-оптических линий связи при использовании на них технологий передачи со спектральным разделением каналов. Показано, что использование таких технологий предъявляет повышенные требования к надежности

оптичного волокна в составе оптического кабеля. Причиной является значительное повышение пропускной способности линии и, соответственно, потерь информации в случае аварийных ситуаций. Приведены расчеты, результаты которых подтверждают зависимость времени жизни оптического волокна от натяжения. Даны рекомендации, согласно которым предлагается для прокладки оптического кабеля предпочтительно применять метод задувки кабеля в полиэтиленовую трубу. Это позволит намного уменьшить нагрузку на кабель при прокладке и избежать чрезмерных нагрузок на волокно. Проведено исследование зависимости времени жизни оптического волокна от изгиба. Предложен метод расчета относительного удлинения оптического волокна в зависимости от радиуса изгиба. Даны рекомендации по выбору радиуса изгиба волокна при проектировании оптических сетей для повышения их надежности.

Ключевые слова: оптическое волокно, натяжение, радиус изгиба, надежность, время жизни.

Abstract. The paper discusses the requirements for the reliability of fiber-optic communication lines using transfer technology with wavelength division multiplexing. It is shown that the use of such technology makes high demands on the reliability of the optical fiber included in an optical cable. The reason is the significant increase of line capacity and consequently loss of information in case of emergencies. The calculation results, which confirm the lifetime of the optical fiber from the tension after installation are shown. Recommendations in accordance with that offered by laying fiber optic cable to use the method of blowing cable in polyethylene pipe are given. This will to reduce the load on the cable during installation and to avoid a large load on the fiber. A study of the dependence of the optical fibre lifetime on the bend is produced. A method for calculating the elongation of the optical fibre depending on the bending radius is proposed. Recommendations on the bending radius choice of the fibre in the design of optical networks to increase their reliability are given.

Key words: optical fibre, tension, bends radius, reliability, lifetime.

На сьогодні мають місце розробки типів оптичних волокон (ОВ), які призначені підтримувати нові технології волоконно-оптичного зв'язку. Зокрема, до цих типів належать оптичні волокна, що відповідають Рекомендації ІТУ-Т (МСЭ-Т) G.657 [1]. Вони являють собою оптичні волокна зі зменшеними втратами на малих радіусах вигину, та призначені для монтажу оптичного обладнання в обмеженому просторі – в будівлях та розподільчих шафах, а також при малому розмірі муфт та оптичних розподільчих боксів. Волокна поділені на категорії А1, А2, В2, В3. При цьому ОВ типу G.657 А1, А2 застосовують в різних аспектах мереж доступу, як такі, що забезпечують вигин з радіусом не нижче 10 мм. У той самий час ОВ типу G.657 В2, В3 призначені для мереж доступу як такі, що забезпечують вигин з радіусом не нижче 7,5 мм. Такий невеликий допустимий радіус вигину призводить до порівняно значних деформацій оптичного волокна та до виникнення механічних напруг в ньому. При цьому деформації оптичного волокна та механічні напруги є причиною появи в ньому мікротріщин та повільному збільшенні їх розмірів, що кінець кінцем спричиняє повний розрив волокна [2]. Таким чином надійність та довговічність оптичного волокна залежить від його деформації, яка однозначно пов'язана з механічною напругою в ньому та, відповідно, з надійністю та часом функціонування волокна.

Враховуючи необхідність виконання вигинів оптичного волокна під час монтажу оптичних муфт, оптичних боксів та прокладання його всередині приміщень **метою статті** є необхідність провести оцінку його надійності в залежності від радіуса вигину та надати необхідні рекомендації щодо його обмежень.

Як показують результати досліджень, надійність оптичного волокна, що описується ймовірністю його відмови, залежить від навантаження, яке діяло на нього, а також від постійно діючого в процесі експлуатації навантаження на оптичне волокно [2]. Згідно з [2], надійність та безвідмовність оптичного волокна, що знаходиться під натягом, визначається теорією зростання мікротріщин, які мають місце у волокні. Враховуючи це, все волокно при виготовленні проходить випробування на натяг для виявлення тріщин та інших пошкоджень. Цей тест називається Proof test (випробування на міцність) і означає, що волокно підлягає певному натягу протягом приблизно однієї секунди [3]. При цьому тріщини у волокні можуть викликати його відмову (обрив). У даній статті розглянуто передбачення відмов великих довжин ОВ, які базуються на результатах випробувань ОВ на міцність. ОВ, що міститься в оптичному кабелі (ОК), постійно перебуває під певним натягом, і це є однією з

важливих причин, які призводять до його відмов протягом експлуатації. Рівень натягу визначається конструкцією ОК та розміщенням і положенням ОВ, як елемента конструкції. Властивості відмов скляного ОВ, що знаходиться під натягом, визначаються за допомогою теорії розмноження та розповсюдження тріщин. Положення цієї теорії дозволяють визначити взаємозв'язок між прикладеним навантаженням в часі та ймовірністю відмови ОВ. При цьому повинні бути враховані такі параметри, як характеристики зростання тріщини n , та фактор критичного навантаження. Згідно з ним, сумарна ймовірність відмов F оптичного волокна довжиною L , що знаходиться під натягом σ , надається виразом:

$$F = 1 - \exp[-LN(\sigma)],$$

де $N(\sigma)$ – сукупна кількість тріщин на одиницю довжини при міцності на розрив, що є не меншою за натяг.

Враховуючи, що початкова міцність S_i відповідає розподіленню Вейбула, має місце наступне рівняння:

$$(1) \quad N(S_i) = \left(\frac{S_i}{S_0} \right)^m,$$

де S_0 та m – константи, що відносяться до початкового розподілення міцності. Величина m є нахилом щодо розподілення ймовірності Вейбула.

З урахуванням цих виразів, а також з використанням інших положень вищезазваної теорії, в роботі [2] отримані співвідношення, які дозволяють оцінити термін функціонування оптичного волокна.

Передбачення ймовірності відмов спиралось на результати тестування на міцність оптичного волокна. Для оцінки початкового розподілення міцності в статті запропоновано тест щодо натягу великих довжин оптичного волокна. На додаток до цього, величину N_p – ймовірність відмови волокна під час тесту на міцність також легко оцінити підрахунком кількості розривів за час тестування.

За результатами досліджень отримано співвідношення для розрахунку допустимих умов натягу:

$$(2) \quad \frac{\sigma_s}{\sigma_p} = \left[\frac{n-2}{m} \frac{F_s}{LN_p} \frac{t_p}{t_s} \right]^{\frac{1}{n}},$$

де σ_p – натяг, що прикладається до волокна під час тесту на міцність, %;

σ_s – статично діючий на волокно натяг за межами тесту на міцність;

t_p – тривалість тесту на міцність;

t_s – час дії статичного натягу;

F_s – ймовірність відмови волокна.

Величина n може бути оцінена за тестом динамічного старіння [4, 5]. А от значення m – параметра початкового розподілу міцності визначити для волокон великої довжини набагато важче. З цією метою в роботі [2] запропоновано проведення повторного тесту на міцність для визначення величини m .

Якщо σ_{p1} , t_{p1} та σ_{p2} , t_{p2} – відповідно натяги та час при проведенні першого та другого тесту, має місце співвідношення для визначення $(n-2)/m$

$$\frac{n-2}{m} = \frac{\lg(1 + \sigma_{p2}^n t_{p2} / \sigma_{p1}^n t_{p1})}{\lg(1 + N_{p2} / N_{p1})}. \quad (3)$$

Таким чином, може бути розрахована надійність ОВ лише за кількістю відмов, вимірених під час тестування на міцність.

Отримане в роботі [2] співвідношення (1) дозволяє оцінити допустимий натяг ОВ у складі кабелю з точки зору його довговічності. Так, на рис. 1 наведено діаграму передбачення допустимого натягу після тесту на міцність для забезпечення довгострокової надійності оптичного волокна.

Допустимий натяг може бути вибраний при визначенні числа відмов під час проведення тесту на міцність N_p , допустимої ймовірності відмов F_s , умов проведення тесту на міцність – σ_p та t_p , а також вимог до часу функціонування t_s . Наприклад, відношення σ_s/σ_p приблизно дорівнює 0,3 для терміну служби волокна $t_s = 25$ років (наведено лініями з тире). При цьому значення інших параметрів складають: $L = 1000$ км; $n = 25$, $m = 10$; $F_s = 0,01$; $t_p = 2$ с; $N_p = 0,1$ відмова/км. З рис. 1 також випливає, що значення σ_s/σ_p знижується, коли зменшується значення n , що буває при підвищеній волозі доквілля.

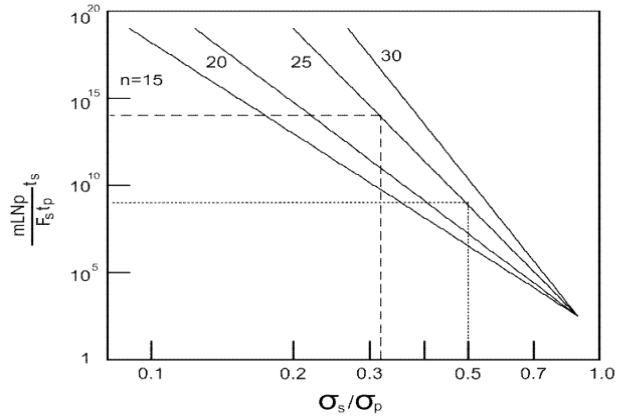


Рисунок 1 – Діаграма попередньої оцінки допустимого натягу після тестування на міцність для забезпечення довгострокової надійності оптичного волокна

Згідно з [2], результати роботи добре узгоджуються з експериментальними даними.

Запропонований метод може бути використаний для передбачення відмови великих довжин оптичного волокна без необхідності вимірювань початкового розподілення міцності.

На рис. 2 показано діаграму попередньої оцінки допустимого натягу після тестування на міцність для забезпечення довгострокової надійності оптичного волокна за умов тестування та параметрів, наведених нижче: $\sigma_s = 0,2\%$; $n = 23$; $m = 3$; $\sigma_p = 1,1\%$; $t_p = 0,5$ с; $N_p = 0,0067$ (1/км) (або 1 раз/150 км).

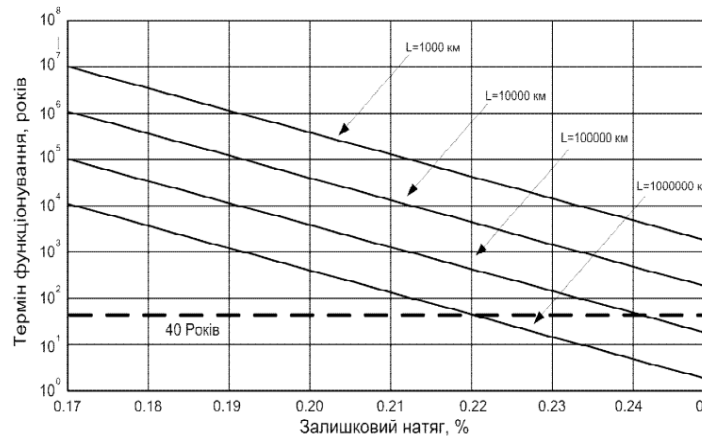


Рисунок 2 – Залежність терміну функціонування оптичного волокна від залишкового натягу

Як видно з графіків, залишковий натяг відіграє важливу роль у надійності волоконно-оптичної лінії. І тому при виборі технології прокладання оптичного кабелю необхідно це враховувати, і використовувати переважно метод задування ОК в поліетиленову трубу.

Зокрема, цей фактор необхідно враховувати при прокладанні оптичного кабелю в приміщеннях та при монтажу його в оптичних муфтах, розподільчих шафах та боксах, де ОК та разом з ним оптичне волокно підлягає вигинам. У цьому випадку оптичному волокну притаманний не тільки залишковий натяг, але й залишкова напруга, зумовлена вигинами оптичного волокна (рис. 3). Як видно з рисунка, зовнішня частина оптичного волокна на вигині розтягується, а внутрішня стискається. Відносне видовження зовнішньої частини волокна складає $\delta/2R_0$, де δ – діаметр волокна, а R_0 – радіус вигину.

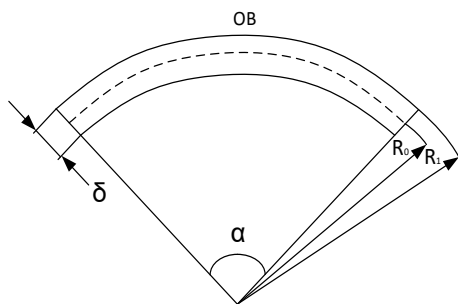


Рисунок 3 – Утворення деформації натягу на зовнішній поверхні оптичного волокна при утворенні вигину

волокна, що дорівнює 25 років, необхідно, щоб відносне видовження не перевищувало значення 0,3 %. Згідно з рис. 4, це відповідає радіусу вигину, що дорівнює величині порядку 20 мм. Використання меншого радіуса вигину при монтажу оптичного обладнання помітно зменшує термін служби волокна, хоча, з точки зору Рекомендацій МСЕ, він може бути допустимий. Так, вже при значенні відносного видовження 0,33 % термін функціонування складає лише 5 років.

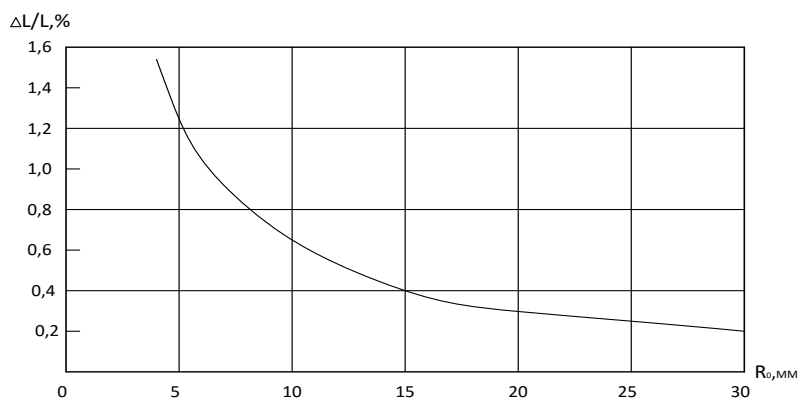


Рисунок 4 – Залежність відносної деформації зовнішньої поверхні оптичного волокна на вигині від радіуса вигину

Таким чином, при проектуванні та прокладанні мереж доступу необхідно вибирати радіус вигину оптичних кабелів і волокон з урахуванням не тільки їх допустимого радіуса вигину, але й терміну експлуатації. Особливу увагу треба в цьому випадку приділити оптичним волокнам, що відповідають Рекомендації МСЕ G.657, оскільки допустимий радіус вигину в них помітно менший за такий, що забезпечує задовільний термін експлуатації.

Враховуючи той факт, що відносна деформація натягу за законом Гука пов'язана з напруженням в оптичному волокні наступним чином:

$$\Delta L/L = \sigma/E, \tag{4}$$

де ΔL – абсолютне видовження оптичного волокна; L – довжина волокна; σ – напруження натягу в оптичному волокні; E – модуль Юнга матеріалу волокна; за значенням відносного видовження можна визначити напруження натягу у волокні:

$$\sigma = (\Delta L/L) \times E, \tag{5}$$

яке також однозначно визначає термін функціонування оптичного волокна. На рис. 5 показані результати експериментальних досліджень компанії Fujikura [6], які дозволяють оцінити термін служби оптичного волокна за відомих значень напруження натягу в ньому. З урахуванням наведеного вище, при проектуванні оптичних кабельних мереж для внутрішнього прокладання необхідно брати до уваги такий фактор, як радіус вигину

оптичного кабелю та оптичного волокна в стаціонарних умовах експлуатації. Особливу увагу треба звернути на нові типи волокна, для яких допустимий, згідно зі стандартами МСЕ, понижений радіус вигину. При цьому треба перевірити відповідність проектного радіуса вигину вимогам до терміну функціонування оптичної мережі та за необхідності скоректувати його значення.

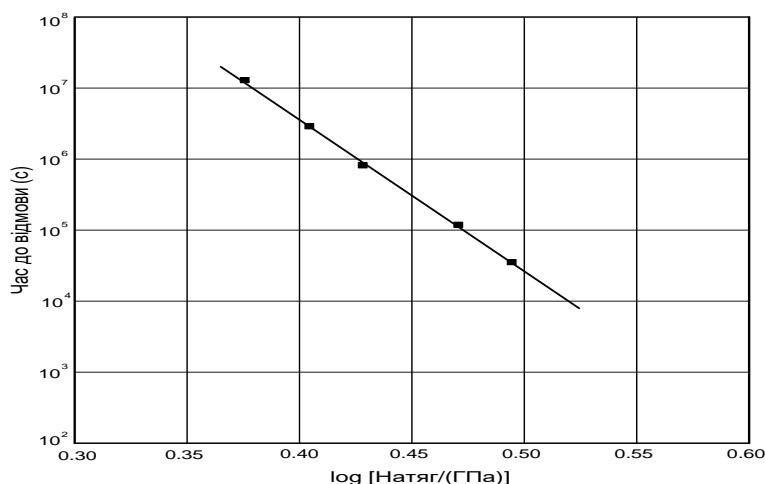


Рисунок 5 – Співвідношення між рівнем напруги натягу у волокну та часом до відмови при проведенні випробувань на статичну втому

Таким чином, наведений у статті метод дозволяє проводити проектування оптичних мереж доступу з можливістю визначення терміну функціонування їх ділянок, що містять вигини оптичних кабелів та волоконних світловодів. При цьому особливу увагу треба приділяти ситуаціям з використанням нових типів оптичних волокон, що відповідають Рекомендації МСЕ G.657. Оскільки можливість використання оптичних волокон зі зниженим допустимим радіусом вигину може призвести до значного зменшення терміну функціонування мережі, а отже її надійності.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Characteristics of a bending-loss insensitive single-mode optical fibre and cable for the access network // ITU-T Recommendation G.657.
2. Yutaka Mitsunaga, Yutaka Katsuyama, Hirokazu Kobayashi, Yukinori Ishida // Journal of Applied Physics. – 1982. – Vol.53, №7. – P.4847-4853.
3. Definitions and test methods for linear, deterministic attributes of single-mode fibre and cable // ITU-T Recommendation G.650.1.
4. Пестриков В. М. Длительная прочность оптических волокон в условиях старения материала / В. М. Пестриков // Физика и химия стекла. – 2000. – Т.26. – № 2. – С. 244-257.
5. Листвин А. В. Оптические волокна для линий связи / Листвин А.В., Листвин В.Н., Швырков Д.В. – М.: ЛЕСАРпт, 2003. – 288 с.
6. Fujikura Optical Fiber & Cables Department International Telecommunications Division 1-5-1, Kiba, Koto-ku, Tokyo 135-8512, Japan, "Manual of single mode optical fiber". Issued in June 1999.

REFERENCES:

1. Characteristics of a bending-loss insensitive single-mode optical fibre and cable for the access network // ITU-T Recommendation G.657.
2. Yutaka Mitsunaga, Yutaka Katsuyama, Hirokazu Kobayashi, Yukinori Ishida // Journal of Applied Physics. – 1982. – Vol.53, №7. – P.4847-4853.
3. Definitions and test methods for linear, deterministic attributes of single-mode fibre and cable // ITU-T Recommendation G.650.1
4. Pestrikov V.M. Long term resistibility of optical fibre by condition of material olden / Physics and Chemistry of Glass. – 2000. – V.26. – №2. – 244-257.
5. Listvin A.V., Listvin V.N., Shvyrkov D.V. Optical fibres for communication lines. – М.: LESARpt, 2003. – 288.
6. Fujikura Optical Fiber & Cables Department International Telecommunications Division 1-5-1, Kiba, Kotoku, Tokyo 135-8512, Japan, "Manual of single mode optical fiber". Issued in June 1999.