

УДК 535.345.67

Манько О. О., д.т.н.; Ніколов К. О., аспірант; Скубак О. М., к.т.н.
(Державний університет телекомунікацій. +380 (67) 408 67 80. manko_kiev@mail.ru)

ВИМОГИ ДО НАДІЙНОСТІ ВОЛЗ НА ЕТАПІ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ЗІ СПЕКТРАЛЬНИМ РОЗДІЛЕННЯМ КАНАЛІВ

Манько О. О., Ніколов К. О., Скубак О. М. Вимоги до надійності ВОЛЗ на етапі впровадження технологій зі спектральним розділенням каналів. В роботі 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 накладає 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.

Ключові слова: оптичне волокно, натяг, прокладання, надійність, спектральне розділення каналів

Манько А. А., Ніколов К. А., Скубак А. Н. Требования к надежности ВОЛС на этапе внедрения технологий со спектральным разделением каналов. В работе 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 оптического волокна в составе оптического кабеля. Причиной является значительное повышение пропускной способности линии и, соответственно, потерь информации в случае аварийных ситуаций. Приведены расчеты, которые подтверждают зависимость времени жизни оптического волокна от натяжения после прокладки. Даны рекомендации, в соответствии с которыми предлагается при прокладке оптического кабеля применять метод задувания кабеля в полиэтиленовую трубу. Это позволит уменьшить нагрузку на кабель во время прокладки и избежать значительной нагрузки на волокно.

Ключевые слова: оптическое волокно, натяжение, прокладка, надежность, спектральное разделение каналов

Manko O. O., Nikolov K. O., Skubak O. M. Requirements for the reliability of fiber optic lines during the implementation phase of technology with wavelength division multiplexing. 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.

Keywords: optical fiber, tension, installation, reliability, wavelength division multiplexing

Розвиток сучасних телекомунікаційних мереж незмінно йде по шляху збільшення їхньої інформаційно-пропускної спроможності. Постійно зростаюча потреба в збільшенні швидкості передачі даних призводить до появи й становлення нових волоконно-оптичних технологій, що дозволяють передавати сигнали з більш високою швидкістю на далекі відстані. На сучасному етапі розвитку комунікаційних технологій все більш інтенсивного впровадження набувають технології спектрального розділення каналів (СРК) [1], які максимально використовують інформаційно-пропускну здатність оптичного волокна. Основний зміст технології СРК полягає в тому, що в одному оптичному волокні на різних довжинах хвиль створюється декілька паралельних інформаційних каналів. Так, за останнє десятиріччя кількість каналів в системах з СРК зросла на порядок і досягає більше трьохсот [2].

Стрімке зростання інформаційно-пропускної здатності оптичного волокна внаслідок застосування новітніх технологій призводить до посилення вимог до таких параметрів, як надійність волоконно-оптичних ліній зв'язку (ВОЛЗ). Враховуючи пов'язане з цим

збільшення втрат інформації, що передається, за час відмови на лінії необхідно понизити значення такого параметру, як інтенсивність відмов, що припадають на одиницю довжини лінії за одиницю часу. З однієї сторони, з метою врахування людського фактору це вимагає посилення охоронно-роз'яснювальної роботи серед населення та організацій, що можуть проводити земляні роботи в охоронній зоні лінійно-кабельних споруд. З іншої сторони, необхідно розробити заходи з підвищення надійності оптичного волокна (ОВ).

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 [3]. Згідно з [3], надійність та безвідмовність оптичного волокна, що знаходиться під натягом, визначається теорією росту 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 на протязі приблизно однієї секунди [4]. При цьому тріщини у волокні можуть викликати його відмову (обрив). В даній роботі було 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 на протязі 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 росту тріщини n , та фактор критичного навантаження.

Згідно з нею, 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:

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

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

З урахуванням цих виразів, а також з використанням інших положень вищезазваної теорії, в роботі [3] були отримані співвідношення, які дозволяють оцінити строк функціонування оптичного волокна.

Передбачення ймовірності відмов спиралось на результати тестування на міцність оптичного волокна. Для оцінки початкового розподілення міцності в роботі було 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 було отримано співвідношення для розрахунку допустимих умов натягу:

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

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 [5, 6]. А от значення m – параметру початкового розподілу міцності визначити для волокон великої довжини набагато важче. З цією метою в роботі [3] було 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 $(n-2)/m$:

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

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

Отримане в роботі [3] 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.

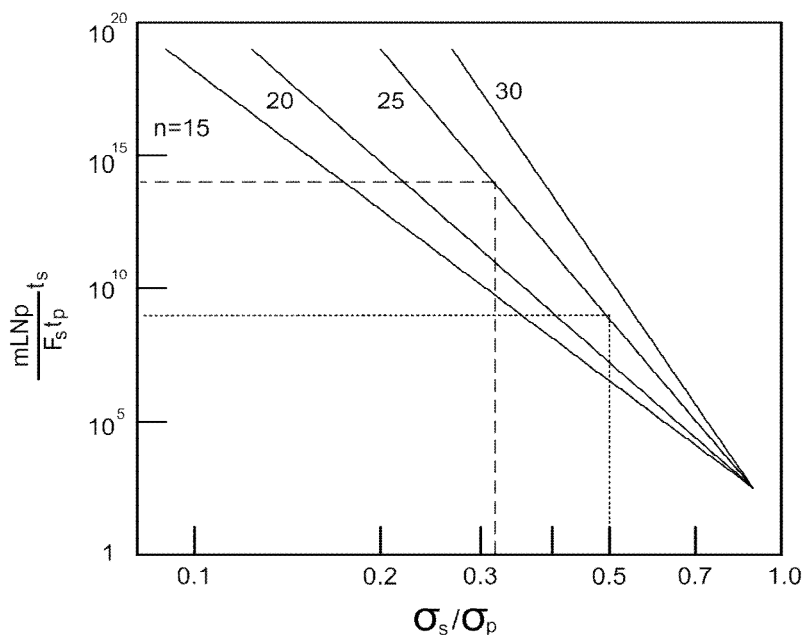


Рис. 1. Діаграма попередньої оцінки допустимого натягу після тестування на міцність для забезпечення тривалої надійності оптичного волокна

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 строку 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 витікає, що значення σ_s / σ_p знижується, коли зменшується значення n , що буває при підвищеній волозії довкілля.

Згідно з [3], 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 наведено діаграму попередньої оцінки допустимого натягу після тестування на міцність для забезпечення тривалої надійності оптичного волокна за умов тестування та параметрів, наведених нижче:

$$\sigma_s = 0,2\%; \quad n = 23; \quad m = 3; \quad \sigma_p = 1,1\%; \quad t_p = 0,5 \text{ с}; \quad N_p = 0,0067 \text{ (1/км)} \text{ (або 1 раз/150 км)}.$$

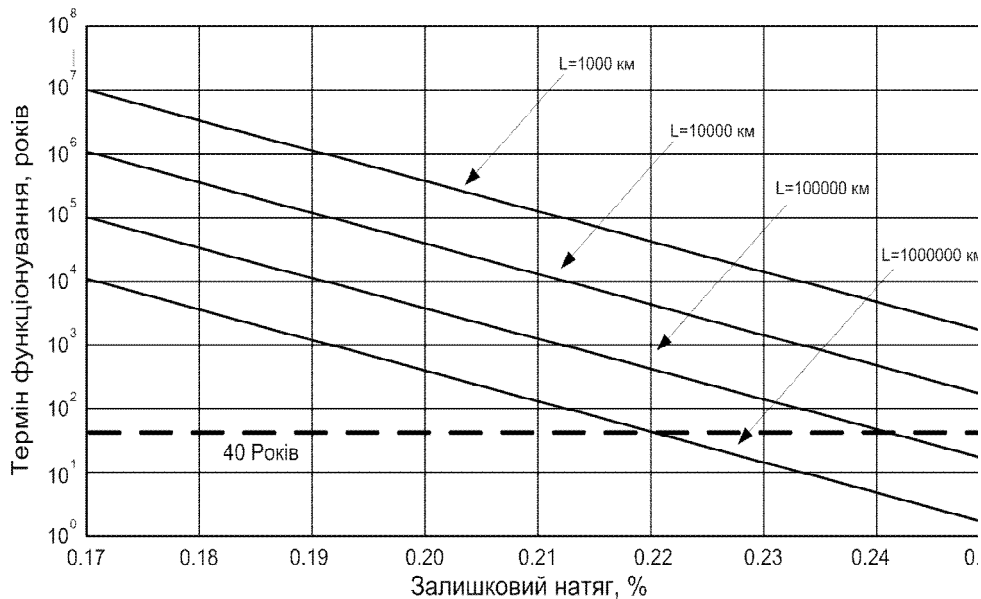


Рис. 2. Залежність терміну функціонування оптичного волокна від

Як видно з графіків, залишковий натяг грає важливу роль у надійності волоконно-оптичної лінії. І тому при виборі технології прокладання оптичного кабелю необхідно це враховувати. З точки зору підвищення надійності найбільш оптимальною є технологія задування кабелю в заздалегідь підготовлені канали, виконані з поліетиленових труб. Коефіцієнт тертя в таких каналах не перевищує 0,05...0,1, і це мінімізує як натяг при прокладанні, так і остаточний натяг оптичного волокна. До того ж, відмова від прокладання за допомогою кабелеукладача гарантує відсутність ривків під час прокладання та появи додаткових тріщин у волокні, і таким чином також підвищує надійність лінії в експлуатації.

Література

1. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи / Р. Фриман. – Москва : Техносфера, 2003. – 440 с.
2. Скляр О. К. Волоконно-оптические сети и системы связи : учебное пособие / О. К. Скляр. – Санкт-Петербург : издательство «Лань», 2010. – 272 с.
3. Yutaka Mitsunaga, Yutaka Katsuyama, Hirokazu Kobayashi, Yukinori Ishida // Journal of Applied Physics. – 1982. – Vol.53, №7. – P.4847-4853.
4. Definitions and test methods for linear, deterministic attributes of single-mode fibre and cable // ITU-T Recommendation G.650.1 (06/2002)
5. 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.
6. Листвин А. В. Оптические волокна для линий связи / А. В. Листвин, В. Н. Листвин, Д. В. Швырков. – Москва : ЛЕСАРпт, 2003. – 288 с.