

УДК 621. 3912

П.В. Маркевич, В.М. Різак

Ужгородський національний університет, 88000, Ужгород, вул. Підгірна, 46

e-mail: [rizak@univ.uzhgorod.ua](mailto:rizak@univ.uzhgorod.ua)

## ВСТАНОВЛЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ЗАГАСАННЯ СИГНАЛУ В ОДНОМОДОВОМУ ОПТИЧНОМУ ВОЛОКНІ ТИПУ G652 ЗА УМОВ НАБЛИЖЕНИХ ДО ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ НА ДОВЖИНАХ ХВИЛЬ

### 1310 НМ І 1550 НМ

У статті розглянуто одномодове оптичне волокно типу G652. Встановлено залежності загасання сигналу в цьому волокні за умов наближених до експлуатаційних на довжинах хвиль другого і третього вікон прозорості. Наведено рефлектограми лінії в гірській місцевості із вираженою зоною Френеля. Графічно зображено залежності загасання в оптичному волокні від відстані проходження сигналу, радіусу згину і кількості витків при сталому радіусі згину оптоволоконна на довжинах хвиль 1310 нм і 1550 нм. Експериментально встановлено критичний і граничний радіус згину оптоволоконна.

**Ключові слова:** дисперсія, рефлектометр, оптичне волокно, загасання сигналу, зона Френеля, критичний радіус згину.

#### Вступ

З розвитком електроніки та процесорної техніки зростає потужність і дешевизна сучасних персональних комп'ютерів, а відтак й кількість користувачів технології пакетної передачі даних. Якщо проблему «останньої милі» тепер частково задовольняють мідні кабельні системи, то в магістралях уже відносно довгий період використовується оптичне волокно. З часу початку його комерційного застосування в телекомунікаціях – 1980 р., завдяки використанню лазерів і технологій спектрального ущільнення отримано швидкості передачі по одному волокну до 40 Гбіт/с. Компанії, що випускають комунікаційне обладнання, та науковці постійно збільшують пропускну здатність цих систем. Так компанія ZTE в березні 2011 р. досягла швидкості 11,2 Тбіт/с [1], а через два місяці компанія NEC і спеціалісти японського Національного інституту інформаційних і комунікаційних технологій уже 100 Тбіт/с [2].

В залежності від кількості інформаційних сигналів, які проходять по модах розрізняють одномодові ступінчасті та багатомодові ступінчасті і градієнтні типи волокон. Найбільш поширеними та широк

ко використовуваними є одномодові ступінчасті волокна. Багатомодові ж використовуються лише на коротких відрізках лінії через явище міжмодової дисперсії, яке їм властиве [3].

Оптичне волокно, як середовище передачі даних, характеризується коефіцієнтом загасання. Причому при різних довжинах хвиль, які проходять по одному й тому ж волокну, коефіцієнти будуть різними. Експериментальним шляхом було визначено [4] найбільш прийнятні для передачі сигналів довжини електромагнітних хвиль 850 нм (2-3 дБ/км), 1310 нм (до 1 дБ/км), 1550 нм (0,15-0,2 дБ/км). Ці довжини хвиль прийнято називати в телекомунікаціях вікнами прозорості [5].

Метою роботи є експериментально встановити залежності загасання при цих довжинах хвиль за експлуатаційних умов.

Для проведення вимірювань залежності загасання оптичного сигналу на довжинах хвиль 1310 нм і 1550 нм від довжини регенераційної ділянки використовувався рефлектометр MTS 6000 фірми JDSU. Даний вимірювальний пристрій підключався до лінії передачі патчкордом типу 9/125 Single Mode Fiber Optic FC/FC (5m), оптичні конектори якого були

провірені перед тестуванням за допомогою мікроскопа FBP-HD-1 фірми Westover. Рефлектометр MTS 6000 налаштовано на автоматичні настройки, вручну виставлено тестовані довжини хвиль 1310 нм і 1550 нм.

При проведенні дослідів залежності поведінки потужності сигналу II-го і III-го вікон прозорості від радіусу згину, експериментальним матеріалом для проведення дослідів було використано патчкорд типу 9/125 Single Mode Fiber Optic FC/FC (5m), що в попередньому досліді використовувався як з'єднувач з лінією передачі. Фактично патчкорд являється оптичним волокном в захисному кожусі. В ході експерименту радіус згину поступово зменшували, а показники зміни потужності сигналу відслідковувались і знімалися із використанням вимірювального обладнання фірми EXFO (волоконно-оптичний приймач EPM-500 серії FiberBasix і оптичне джерело сигналу EPS-500 серії FiberBasix). Обладнання перед експериментом було відкалібровано під досліджуваний елемент на тестованих довжинах хвиль.

Із застосуванням цього ж експериментального обладнання і тестованого елемента проведено ще один дослід на визначення зміни потужності сигналу від кількості скруток при сталих радіусах (0,5 см і 0,75 см). При кожному наступному вимірюванні кількість витків збільшувалась на один.

В ході експерименту для вимірювань застосовувалось наступне обладнання:

- волоконно-оптичний приймач EPM-500 серії FiberBasix фірми EXFO (розрахований на довжини хвиль 850 нм, 1300 нм, 1310 нм, 1490 нм, 1550 нм і 1625 нм);

- оптичне джерело сигналу EPS-500 серії FiberBasix фірми EXFO (850 нм, 1300 нм, 1310 нм, 1490 нм, 1550 нм і 1625 нм);

- рефлектометр MTS 6000 фірми JDSU (1310 нм і 1550 нм);

- мікроскоп для оптичних конекторів FBP-HD-1 фірма Westover (конектори типу LC, SC, FC).

## Експериментальні результати роботи та їх обговорення

Розглядаючи оптичне волокно, як середовище передачі даних, слід враховувати такі параметри як загасання та дисперсія. Саме вони впливають на якість переданих сигналів, а в одномодовому оптичному воловні від загасання залежить довжина регенераційної ділянки.

Якщо розглядати процес загасання з фізичної сторони, то це поступова втрата потужності оптичного сигналу під час його проходження в середовищі:

$$L_{OSS} = 10 \log_{10} \left( \frac{P_r}{P_{tr}} \right),$$

де  $P_r$  – потужність сигналу, який приймається;  $P_{tr}$  – потужність сигналу, що передається. Дана величина вимірюється в децибелах.

На практиці виводять кілометричне загасання:

$$L_{OSS} = \frac{10}{L} \log_{10} \left( \frac{P_r}{P_{tr}} \right),$$

де  $L$  – довжина регенераційної ділянки, км. У даному випадку кілометричне загасання матиме величину дБ/км.

Загасання в оптичному сигналі можуть бути викликані рядом наступних факторів, а саме [6]: загасання, викликане поглинанням світла; загасання світла в оптичному воловні, що викликане розсіюванням сигналу; загасання світла, пов'язаного з вигинами оптичного волокна.

Як уже згадувалось, у методичній літературі прийнято показувати загасання на робочій довжині хвилі 1550 нм рівним 0,15-0,2 дБ/км, а 1310 нм - < 1,0 дБ/км.

В проведеному експерименті проаналізовано поведінку сигналу в умовах лінії передачі, що прокладена в гірській місцевості, якій властиві часті зсуви ґрунту, згини та обриви кабельних систем (рис. 1, 2, 3, 4).

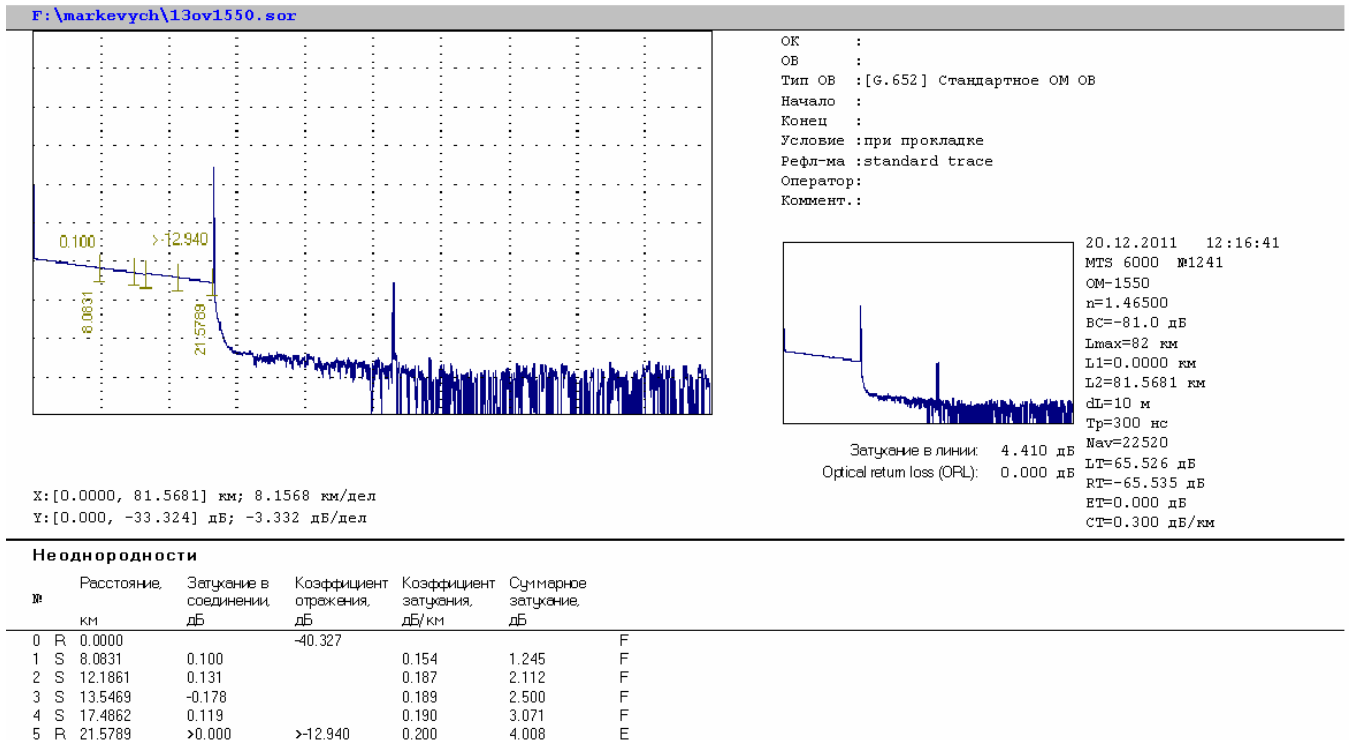


Рис. 1. Рефлектограмма оптического волокна «А» на вимірюваній довжині хвилі 1550 нм в кабелі, що пролягає в гірській місцевості.

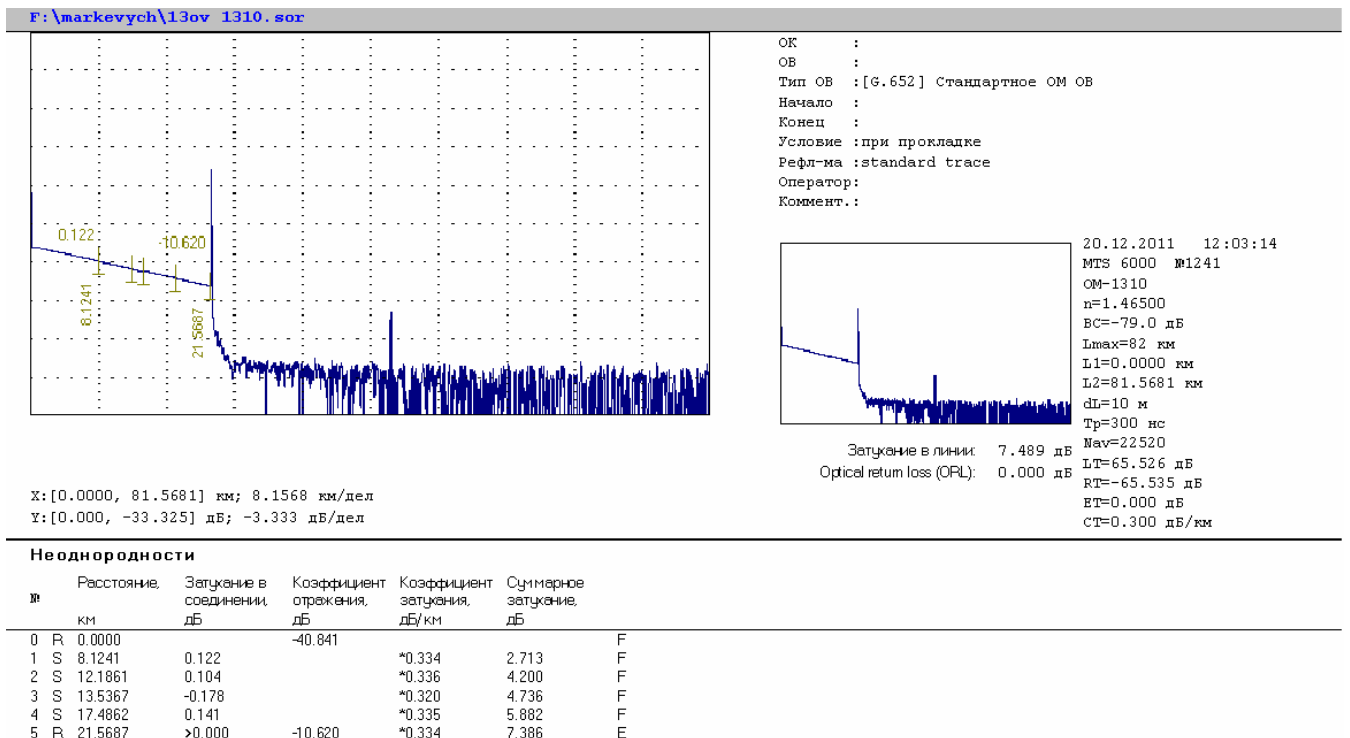


Рис. 2. Рефлектограмма оптического волокна «А» на вимірюваній довжині хвилі 1310 нм.

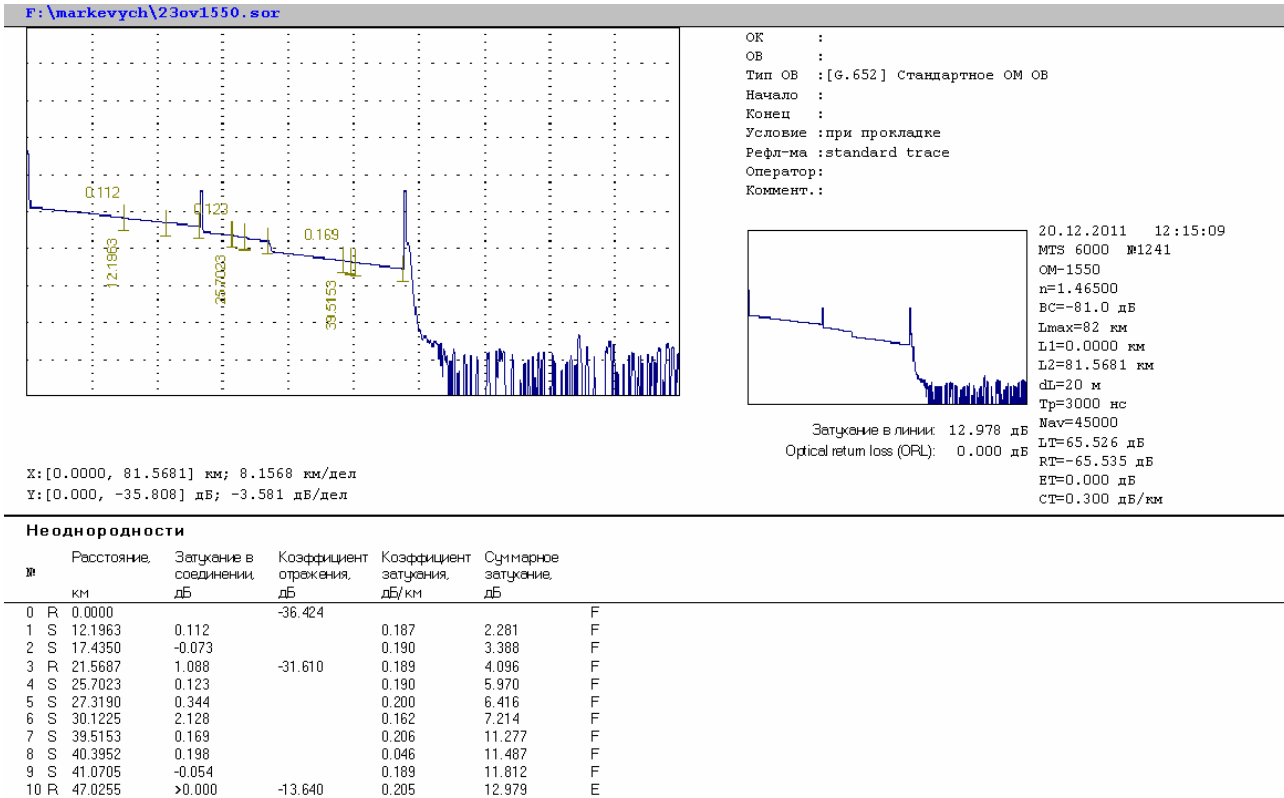


Рис. 3. Рефлектограмма з вираженою зоною Френеля (21 км) оптичного волокна «Б», яке є спрямленим за допомогою патчкорда в цьому ж кабелі, на вимірюваній довжині хвилі 1550 нм.

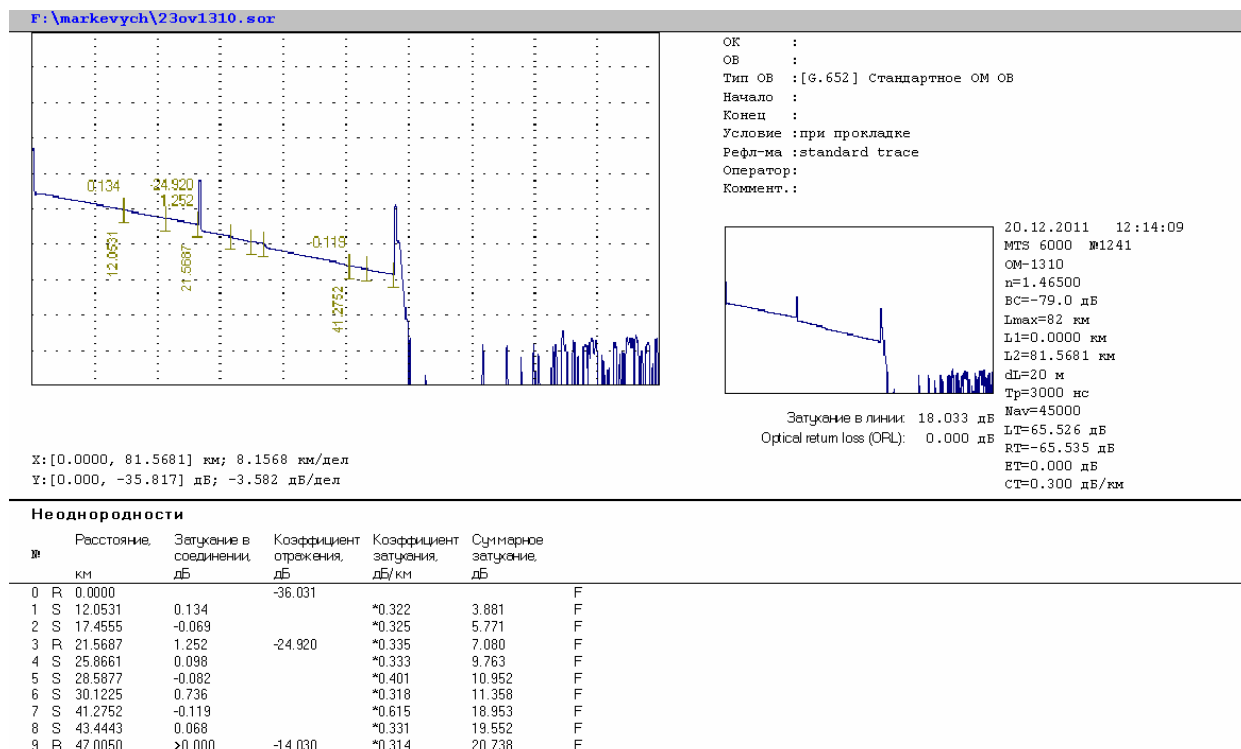


Рис. 4. Рефлектограмма з вираженою зоною Френеля (21 км) оптичного волокна «Б», яке є спрямленим за допомогою патчкорда в цьому ж кабелі, на вимірюваній довжині хвилі 1310 нм.

На рефлектограмах штрихами вказані неоднорідності в оптичних волокнах, які можуть бути викликані спайкою, домішками та вигинами кабелю. Провівши прості математичні обрахунки можна зробити висновок, що в умовах експлуатації загасання оптичного сигналу рівне 0,3 дБ/км при довжині хвилі 1550 нм і 0,4 дБ/км при 1310 нм. Зону відбивання

Френеля, яка виникла внаслідок подовження лінії за допомогою комутаційного патчкорда, виражено на рефлектограмах – рис. 3, 4 (21 кілометр). Поведінка загасання сигналу в залежності від відстані на робочих хвилях II і III вікон прозорості на основі вимірів подовженої лінії «Б» має вигляд (рис. 5).

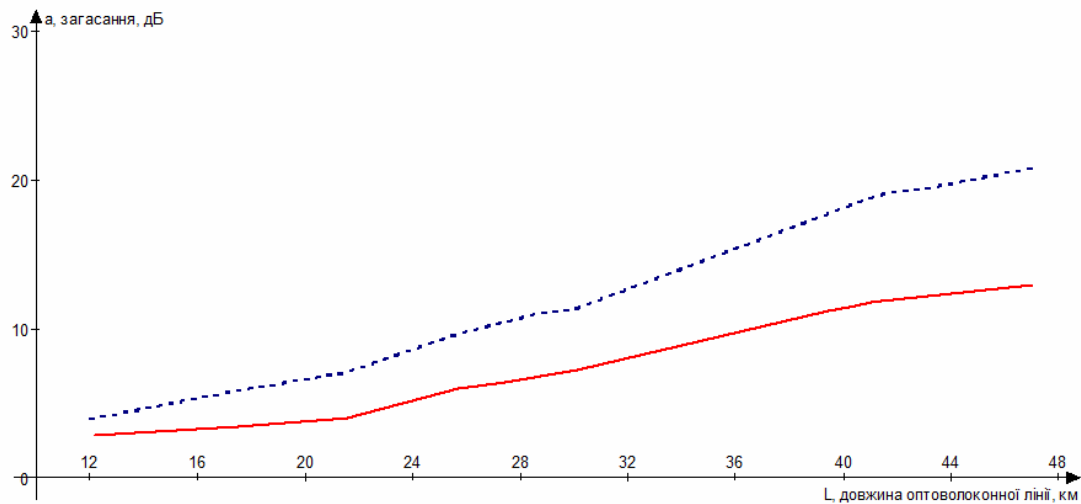


Рис.5. Залежність загасання оптичного сигналу від відстані до джерела випромінювання

— при 1550 нм  
 - - - при 1310 нм

Як уже зазначалось, загасання оптичного сигналу у волокні залежить від ряду факторів, основним з яких, за умов експлуатації є спайки та згини. Якщо перше, завдяки сучасним спайочним станціям, вже не являється критичним питанням, і в ряді випадків навіть є невидимим для вимірюючого обладнання, то загасання сигналу внаслідок згинів в оптоволоконних лініях й надалі залишається проблемним. В свою чергу згини поділяються на [7]:

-мікрозгини – відносно невеликі порушення прямолінійності волокна, які викликані конструктивно-технологічними неоднорідностями.

-макрозгини – згини оптичного волокна, які з'являються в процесі скручування по довжині кабелю при намотуванні на барабан, муфтах та комутаційних шафах, і перевищує його радіус.

Радіус згину, при якому втрати оптичного сигналу стануть безмежно великими прийнято за критичний  $R_c$  [8], а

радіус згину, при якому проявляються перші зміни в потужності сигналу умовно назовемо граничним  $R_{cp}$ :

$$R_c \approx \frac{3n_1^2 \lambda}{4\pi(n_1^2 - n_2^2)^{\frac{3}{2}}}$$

Наступний дослід проведено при:

$\lambda = 1550 \text{ нм}$  на оптичному волокні стандарту G652, для якого  $n_1 = 1,47$  а  $n_2 = 1,46$  отримаємо:

$$R_c \approx \frac{3 \cdot 1,47^2 \cdot 1550 \cdot 10^{-9}}{4 \cdot 3,14(1,47^2 - 1,46^2)^{\frac{3}{2}}} \approx 0,16(\text{мм})$$

$\lambda = 1310 \text{ нм}$  на оптичному волокні стандарту G652, для якого  $n_1 = 1,47$ , а  $n_2 = 1,46$  отримаємо:

$$R_c \approx \frac{3 \cdot 1,47^2 \cdot 1310 \cdot 10^{-9}}{4 \cdot 3,14(1,47^2 - 1,46^2)^{\frac{3}{2}}} \approx 0,14(\text{мм})$$

Виходячи з обчислень  $R_{c1550} \triangleright R_{c1310}$ , можна припустити, що  $R_{zp1550}$  також буде більшим за  $R_{zp1310}$ .

На основі даного припущення було

проведено експеримент, що полягав у встановленні залежності загасання оптичного сигналу від радіуса згину (так званого макрозгину) при довжинах хвиль 1310 нм та 1550 нм. Результати вимірювань наведено у табл. 1 та рис. 4.

Таблиця 1

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<b>R(см)</b>	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2
<b>α(дБ) при 1550 нм</b>	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,1	0,2	0,7	1	2,2	4,1	9,7	18	37	48	63
<b>α(дБ) при 1310 нм</b>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,06	0,08	0,09	0,09	0,21	2,12	4,26	11,2	40,1

Графік залежностей загасання сигналу від радіуса згину в оптичному

волокні при 1310 нм і 1550 нм матиме наступний вигляд – рис. 6.

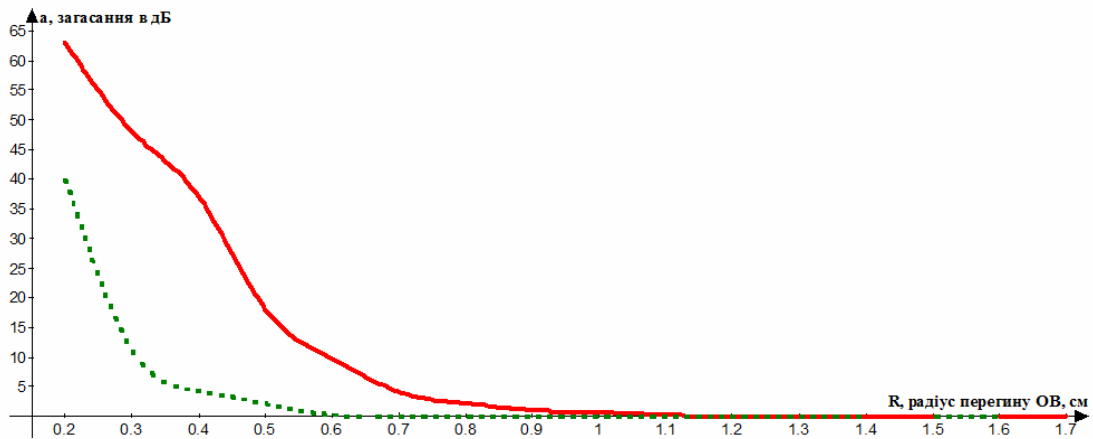


Рис.6. Залежність загасання від радіусу перегину в одномодовому патчкорді при довжинах хвиль 1310 нм і 1550 нм

— при 1550 нм  
 - - - при 1310 нм

Як видно з рис. 6 загасання оптичного сигналу при довжині хвилі 1310 нм значно менше, ніж при 1550 нм, при одних і тих же радіусах згину. Граничний радіус для довжини хвилі II-го вікна прозорості рівний 1,3 см, а III-го – 1,4 см.

Відтак, на основі проведеного експерименту і враховуючи наше припущення, що  $R_{zp}$  для цих двох довжин хвиль виступить пропорційно до  $R_c$ . У першому і другому випадку  $R_{zp} \approx 100 \cdot R_c$ . Звідси, формулу визначення  $R_{zp}$  для загасання в II і III вікні прозорості, можна зобразити як:

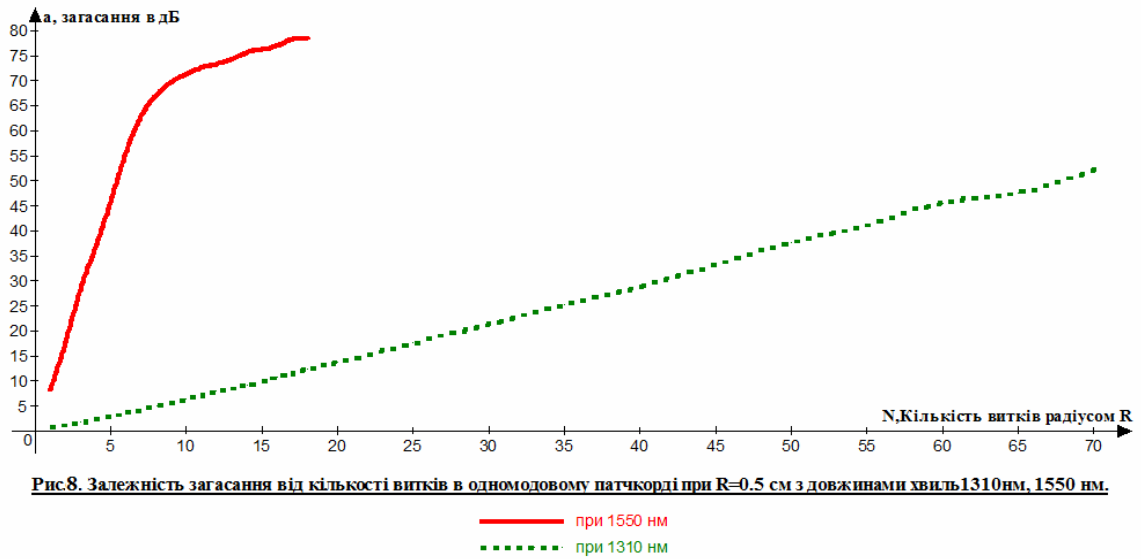
$$R_{zp} \approx 100 \cdot R_c \approx \frac{3 \cdot 10^2 n_1^2 \lambda}{4\pi(n_1^2 - n_2^2)^2}$$

В ході експлуатації та прокладанні оптоволоконних кабелів оптичні волокна, як уже зазначалось, зазнають механічного впливу. Наступним дослідом є експериментальне визначення поведінки загасання інформаційного сигналу від кількості скруток (рис. 7) при сталих радіусах, на хвилях 1310 нм та 1550 нм.

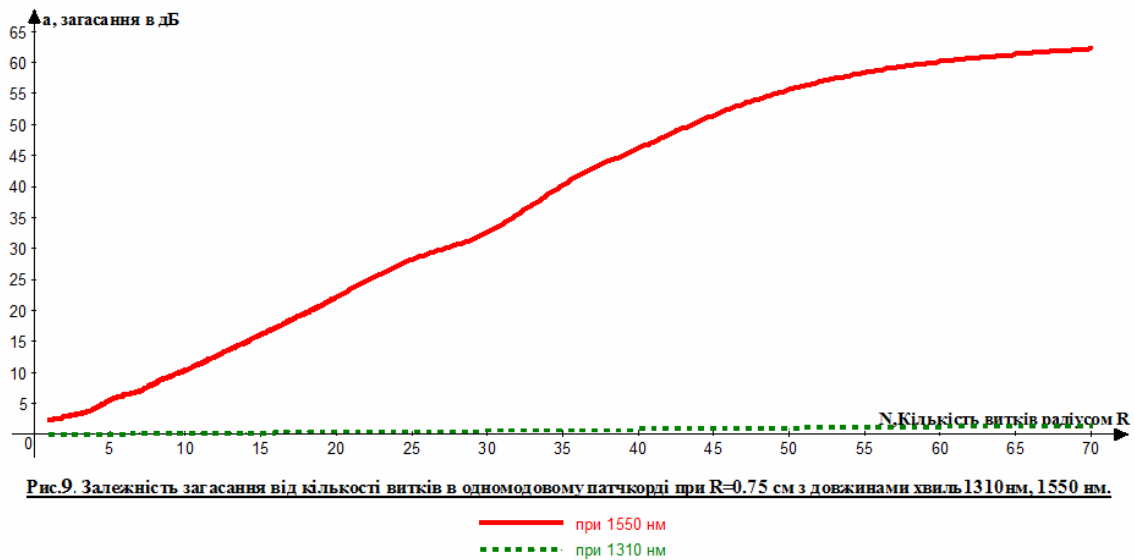


Рис. 7. Приклад проведення експерименту

Експеримент, що проводився при сталому  $R=0,5$  см, дав наступні результати (рис.8):



При  $R=0,75$  см графік матиме вигляд рис. 9:



З отриманих результатів видно, що при намотуванні оптичного волокна, при сталому радіусі, показники загасання сигналу на довжині хвилі 1550 нм значно перевищують показники при несучій 1310 нм. Результати дослідів, при вимірюванні показників загасання від кількості витків при  $R=0,75$  см, на довжині хвилі 1310 нм показують, що використання хвилі II-го вікна прозорості доречніше при умові скруток.

### Висновок

За допомогою рефлектометра JDSU MTS 6000 проведено експериментальні виміри загасання потужності сигналу, за-

діяної в експлуатацію оптоволоконної лінії в гірській місцевості. З отриманих результатів встановлено вигляд залежностей загасання в оптичному волокні від відстані проходження сигналу при довжинах хвиль II і III вікон прозорості. Визначено кілометричне загасання в одномодовому волокні при довжинах хвиль 1310 нм та 1550 нм. Виявлено зону Френеля при використанні фізичної комутації для подовження лінії. За допомогою обладнання EXFO EPM-500 та ELS-500 експериментально встановлено граничний радіус згину оптоволоконна і показано, що  $R_{gp} \approx 100 * R_c$

для II і III вікон прозорості. Встановлено різницю залежностей загасання оптичного

сигналу від кількості витків ОВ при 1310 нм і 1550 нм.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. <http://www.3dnews.ru/news/zte-ustanovila-rekord-skorosti-peredachi-dannih>
2. [http://www.xata.co.il/?n\\_id=12772](http://www.xata.co.il/?n_id=12772)
3. <http://www.teralink.ru/?do=printt&id=67>
4. Семенов А.Б. Волоконно-оптические подсистемы современных СКС. – ДМК пресс, 2007. – 640 с.
5. Гроднев И.И., Верник С.М. Линии связи: Учебник для вузов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1988. – 544 с. ISBN 5-256-00120-5.
6. Катов В.Б., Воробйов О.В. Проведення рефлектометричних вимірювань на ВОЛЗ під час будівельних, експлуатаційних та аварійно-відновлюваних робіт: Довідник. – К.: ДВІА «Зв'язок», 2005. – 125 с.
7. Скляр О.К. Учебники для вузов: Волоконно-оптические сети и системы связи. – Лань, 2010. – 272 с.
8. [http://www.2a-systems.ru/newsdesk\\_info.php/newsPath/13/newsdesk\\_id/108](http://www.2a-systems.ru/newsdesk_info.php/newsPath/13/newsdesk_id/108)
9. Волоконно-оптический приемач ЕРМ-500 серії FiberBasix. Інструкція по експлуатації.
10. Оптическая платформа MTS 6000. Інструкція по експлуатації.
11. Оптичне джерело сигналу EPS-500 серії FiberBasix. Інструкція по експлуатації.
12. Дэвид Бейли, Эдвар Райт. Волоконная оптика: теория и практика. – М.: КУДИЦ-ПРЕС, 2008. – 320 с. ISBN 978-5-91136-048-1 (рус).
13. Мікроскоп для оптичних конекторів FBR-HD-1 фірма Westover. Інструкція по експлуатації.
14. Гуртов В.А. Оптоэлектроника и волоконная оптика: Учебное пособие. – Петрозаводск: ПетрГУ, 2005. – 100 с.
15. Ларин Ю.Т., Теумен И.И. Оптические кабели. – М.: Энергоиздат, 2001. – 34 с.

Стаття надійшла до редакції 10.02.2012

P.V. Markevych, V.M. Rizak

Uzhhorod National University, 88000, Uzhhorod, Pidhirna Str., 46

e-mail: [rizak@univ.uzhgorod.ua](mailto:rizak@univ.uzhgorod.ua)

## THE ESTABLISHMENT OF THE FADING SIGNAL DEPENDENCE IN A SINGLE MODE OPTICAL FIBRE OF G652 TYPE UNDER THE CLOSE TO OPERATING CONDITIONS ON THE WAVELENGTHS OF 1310 NM AND 1550 NM

This paper considers a single-mode optical fibre of the G652 type. There was established the dependence of the fading of the signal in the fibre under the close to operating conditions at the wavelengths of the second and the third window transparency. Powered reflectograms with a marked line of the Fresnel zone were discovered in the highlands. The dependence of the attenuation in an optical fiber on the distance of the signal, bending radius and the number of turns at a constant fibre bend radius of 1310 nm and 1550 nm was graphically shown. In the course of the experiment critical and the maximum fiber bend radii were established.

**Key words:** dispersion, an Optical time-domain reflectometer, optical fibre, signal attenuation, Fresnel zone, the critical radius.



П.В. Маркевич, В.М. Ризак

Ужгородский национальный университет, 88000 Ужгород, ул. Пидгирна, 46

e-mail: [rizak@univ.uzhgorod.ua](mailto:rizak@univ.uzhgorod.ua)

## **УСТАНОВЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЗАТУХАНИЯ СИГНАЛА В ОДНОМОДОВОМ ОПТИЧЕСКОМ ВОЛОКНЕ ТИПА G652 ПРИ УСЛОВИЯХ ПРИБЛИЖЕННЫХ К ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМ НА ДЛИНАХ ВОЛН 1310 НМ И 1550 НМ**

В статье рассмотрено одномодовое оптическое волокно типа G652. Установлены зависимости затухания сигнала в этом волокне при условиях, приближенных к эксплуатационным, на длинах волн второго и третьего окон прозрачности. Приведены рефлектограммы линии в горной местности с выраженной зоной Френеля. Графически изображены зависимости затухания в оптическом волокне от расстояния прохождения сигнала, радиуса изгиба и количества витков при постоянном радиусе изгиба оптоволокну на длинах волн 1310 нм и 1550 нм. Экспериментально установлен критический и предельный радиус изгиба оптоволокну.

**Ключевые слова:** дисперсия, рефлектометр, оптическое волокно, затухание сигнала, зона Френеля, критический радиус.