

УДК 681.7.068

Манько О.О., д.т.н. (Державний університет телекомунікацій)

## МОДЕЛЮВАННЯ СПЕКТРАЛЬНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ ВТРАТ НА ВИГИНАХ ВОЛОКОН ОСЕРДЯ ОПТИЧНОГО КАБЕЛЮ МЕРЕЖ ДОСТУПУ

**Манько О.О. Моделювання спектральної залежності втрат на вигинах волокон осердя оптичного кабелю мереж доступу.** В роботі розглянуто оптичні кабелі мереж доступу. Внаслідок скрутки осердя кабелю стрічкового типу мають місце вигини оптичних волокон. Запропоновано метод розрахунку втрат на вигині оптичного волокна в залежності від радіусу вигину, довжини хвилі та типового складу оптичного скла сердцевини та оболонки, що дозволяє визначити діапазон конструктивних параметрів оптичного кабелю, який задовольняє вимоги до оптичних характеристик кабелю, а також діапазон довжин хвиль, в якому ці вимоги виконуються. З використанням запропонованого методу проведені розрахунки втрат на вигині волокна в межах діапазону хвиль, що включає усі вікна прозорості, для різних радіусів вигину та складів скла сердцевини та оболонки волокна.

**Ключові слова:** оптичне волокно, осердя стрічкового типу, вікно прозорості, внесені втрати, радіус вигину, мережа доступу

**Манько А.А. Моделирование спектральной зависимости потерь на изгибах волокон сердечника оптического кабеля сетей доступа.** В работе рассмотрены оптические кабели сетей доступа. Вследствие скрутки кабельного сердечника имеют место изгибы оптических волокон. Предложен метод расчета потерь на изгибе оптического волокна в зависимости от радиуса изгиба, длины волны и типового состава стекла сердцевини и оболочки, что позволяет определить диапазон конструктивных параметров оптического кабеля, который удовлетворяет требованиям к оптическим характеристикам кабеля, а также диапазон длин волн, при котором эти требования выполняются. С использованием предложенного метода проведены расчеты потерь на изгибах волокна в пределах диапазона волн, который включает все окна прозрачности для различных радиусов изгиба и составов стекла сердцевини и оболочки волокна.

**Ключевые слова:** оптическое волокно, сердечник ленточного типа, окно прозрачности, внесенные потери, радиус изгиба, сеть доступа.

**Man'ko O.O. Simulation of the spectral dependence of the optical fiber bending loss of the cable access networks core.** The paper discusses the optic access networks. Due to twist of the cable core occur optical fibers bends. A method for calculating bending loss of the optical fiber depending on the bending radius, and a wavelength for the typical core glass and the cladding composition is proposed. This allows you to define a range of design parameters of optical cable that meets the requirements for the optical characteristics of the cable, as well as the range of wavelengths at which these requirements are met. Using the proposed method, the calculations of the bending loss in the fiber within the wavelength range which includes all transparent windows for different bending radius, and the glass compositions of the core and cladding are produced.

**Keywords:** optical fiber, core of strip type, transparent windows, insertion losses, bending radius, access network.

**Вступ. Постановка задачі.** Головним напрямком сучасного науково-технічного прогресу є всебічний розвиток волоконно-оптичних систем та мереж зв'язку, який забезпечує можливість доставки на значні відстані великого обсягу інформації з високою швидкістю. Мережі зв'язку поділяються на дві підсистеми – транспортні мережі зв'язку та мережі доступу, що забезпечують з'єднання термінального обладнання абонента до транспортних мереж. Серед типів мереж доступу на цей час найбільш прогресивною вважається мережа ФТТН (волокно до дому). Вона забезпечує підключення оптичного волокна безпосередньо до домашньої апаратури абонента. Однією з переваг даної технології є високий рівень інформаційно-пропускну здатності. Особливістю даної технології є використання

конструкції багатОВОЛОКОННОГО оптичного кабелю з осердям стрічкового типу . Кабель з осердям стрічкового типу характеризується правильним розташуванням світловодів в вузлах прямокутної решітки. Осердя закручується по гвинтовій лінії для гнучкості та збереження форми оптичного кабелю (ОК) [1, 2]. Прикладом може служити ОК фірми OFS, BELL, RIBBON США та Японії [3].

Під час технологічного процесу виготовлення ОК оптичні волокна, що входять в склад осердя, зазнають вигину. Розрахунки кривизни оптичних волокон, що складають осердя оптичного кабелю стрічкового типу в залежності від таких конструктивних параметрів ОК, як крок скрутки та відстань волокна до осі осердя проведено в роботі [4]. При цьому маємо втрати на вигинах осердя оптичного волокна.

Враховуючи той факт, що оболонка та серцевина волоконних світловодів різних виробників має різні склади скла, а також використання світловодів в різних діапазонах довжин хвиль інтерес представляє спектральна залежність втрат на вигинах. Оскільки це дає можливість оцінки критеріїв використання конструкцій ОК в різних діапазонах довжин хвиль. Крім того, на етапі проектування ОК це дозволяє визначити такий його конструктивний параметр, як крок скрутки для фіксованого діаметру осердя, або максимально допустимий діаметр осердя при фіксованому кроці скрутки в різних діапазонах оптичної передачі.

**Дослідження спектральних характеристик вигину ОК.** Для розрахунку спектральної залежності втрат в роботі запропоновано використання залежності умов розповсюдження променя у світловоді від довжини хвилі та радіусу його згину. Так, застосування в якості напрямних систем світловодів обумовлене виконанням умов повного внутрішнього відбиття. Однією з умов є перевищення критичного значення кута падіння. При цьому критичний кут визначається з виразу:

$$\Theta_c = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right),$$

де  $n_1$  та  $n_2$  – показники заломлення серцевини та оболонки (зовнішнього середовища) світловоду, відповідно.

При порушенні даної умови (кут падіння менший за критичний) промені з серцевини переходять в оболонку. В цьому випадку мають місце втрати на розсіяння в оболонці, і рівень сигналу на виході світловоду зменшується.

Порушення умов повного внутрішнього відбиття для окремих променів можливе також при зміні довжини хвилі  $\lambda$  оптичного сигналу. Пояснюється це залежністю показників заломлення серцевини та оболонки від довжини хвилі. Внаслідок чого зміна довжини хвилі оптичного сигналу призводить до зміни  $\Theta_c$ . В свою чергу, збільшення  $\Theta_c$  на деякій ділянці призводить до розсіяння частини світлових квантів за межами серцевини, і появі, таким чином, додаткових втрат. Загасання світловоду в цьому випадку зростає, і степінь зростання буде визначатись зміною  $\Theta_c$ .

Таким чином, коефіцієнт передачі світловода за рахунок зміни  $\Theta_c$  стає залежним від довжини хвилі, тобто він набуває спектрально-залежних властивостей.

Другим фактором, що визначає наявність розсіяння в оболонку, є вигини світловоду (оптичного волокна). На вигинах порушуються умови повного внутрішнього відбиття для

променів, для яких кут падіння не перевищує  $\Theta_c$ . При цьому такі промені розсіюються в оболонці.

В роботі було проведено дослідження передаточних характеристик (внесених втрат) ділянок оптичного хвилеводу, що містять вигин.

Дослідження проводилось в діапазоні довжин хвиль 0,8...1,6 мкм. При цьому залежність показника заломлення світловоду та оболонки від довжини хвилі описувалась формулою Селмейера:

$$n = \sqrt{1 + \sum_{i=1}^3 \frac{A_i \lambda^2}{\lambda^2 - \ell_i^2}},$$

де  $A_i$  та  $\ell_i$  – коефіцієнти Селмейера, які залежать від складу скла.

Для визначення передаточних характеристик (внесених втрат) було взято до уваги принципи розрахунку передаточних характеристик, запропоновані в [5].

Іншим параметром, що варіювався в ході розрахунків, був радіус вигину світловоду. Крім матеріалу серцевини оптичного хвилеводу з показником заломлення  $n_1$  в розрахунках враховувався показник заломлення матеріалу оболонки з показником заломлення  $n_2$ .

Як випливає з результатів розрахунків, наведених нижче, при зміні довжини хвилі має місце зміна коефіцієнту передачі (втрат) ділянки оптичного хвилеводу, яка містить вигин. Характер залежності визначається складом скла та радіусом вигину. Так, на Рис.1 представлені спектральні характеристики втрат для різних типових складів скла волоконних світловодів при фіксованому радіусі вигину  $R=10$ . Радіус вигину був нормований по відношенню до діаметру серцевини хвилеводу.

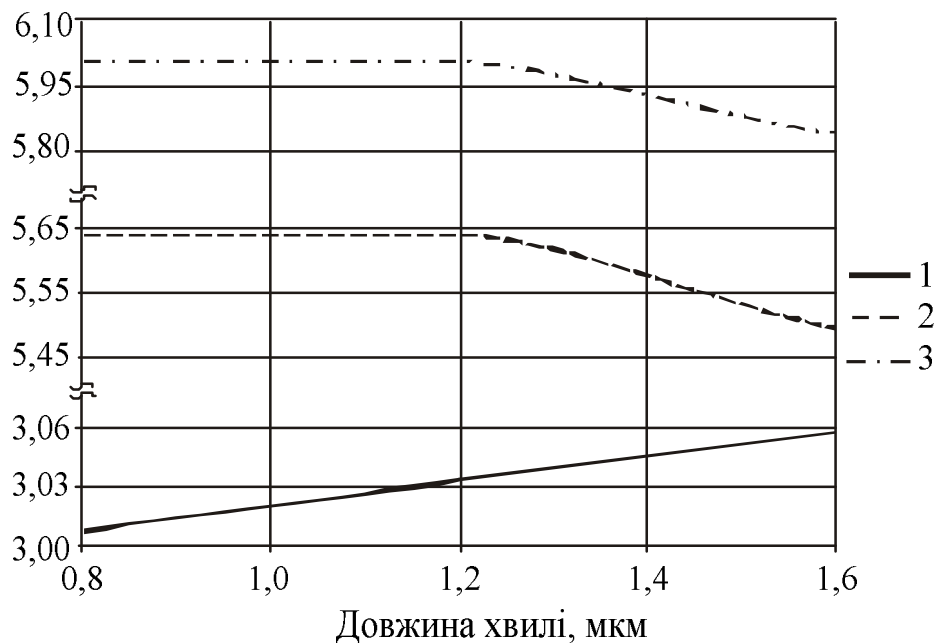


Рис. 1. Спектральна характеристика втрат на вигинах волоконного світловоду для різних складів стекол при фіксованому радіусі вигину  $R=10$

Як видно з графіків, характер залежності достатньо монотонний, а знак нахилу визначається складом скла (в Табл. 1 наведено відповідність номерів світловодів складам

стекол їх серцевини та оболонки). При цьому для світловоду №1 втрати з ростом довжини хвилі збільшуються, а для світловодів №2 та №3 втрати з ростом довжини хвилі зменшуються. Наявність характерної точки „зламу” та зміни нахилу кривих для графіків 2 та 3 свідчить про зміну ходу кривих, що визначають залежність показників заломлення  $n_1$  та  $n_2$  від довжини хвилі.

Склади стекел серцевини та оболонки світловодів

Табл. 1

№	Склад скла серцевини	Склад скла оболонки
1	17.9% Na <sub>2</sub> , 32.5% B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 50.6% SiO <sub>2</sub>	1.0% F, 99.0% SiO <sub>2</sub>
2	13.5% GeO <sub>2</sub> , 86.5% SiO <sub>2</sub> (з домішками гасіння)	13.3% B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 86.7% SiO <sub>2</sub>
3	13.5% GeO <sub>2</sub> , 86.5% SiO <sub>2</sub>	3.5% B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 96.5% SiO <sub>2</sub>

На Рис. 2 представлені спектральні характеристики втрат для попередніх складів скла при радіусі вигину  $R=100$ .

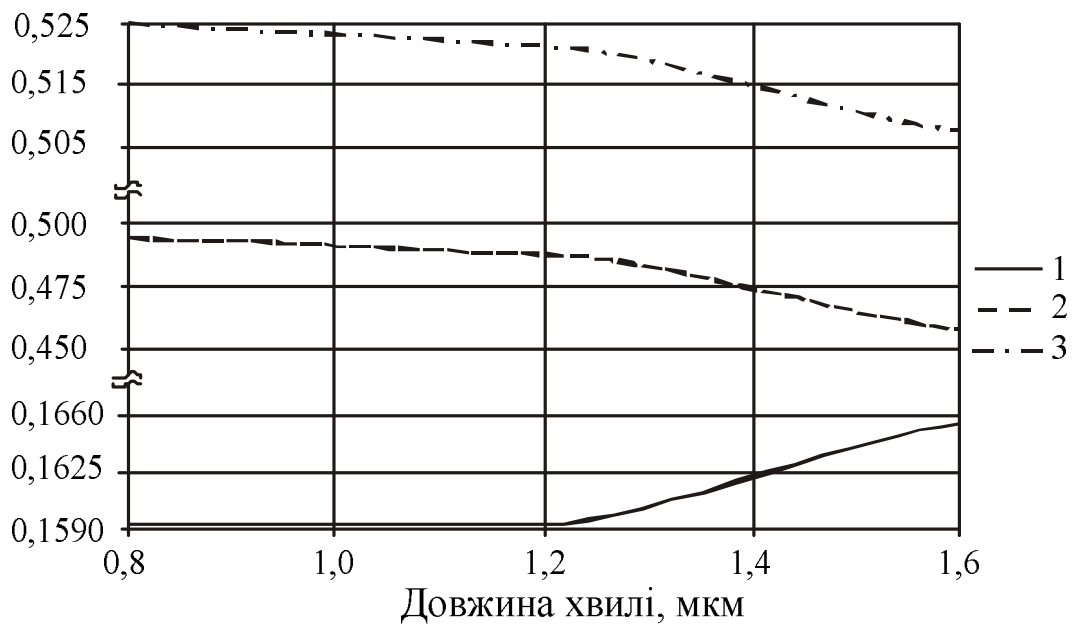


Рис. 2. Спектральна характеристика втрат на вигинах волоконного світловоду для різних складів стекел при фіксованому радіусі вигину  $R=100$

З наведених даних видно, що характер залежностей загасання від довжини хвилі при різних радіусах  $R$  залишається таким же. Але можна помітити, що зі збільшенням радіусу  $R$  різниця між максимальним та мінімальним значенням загасання зменшується. Крім того, значно зменшується початкова постійна складова загасання.

Враховуючи той факт, що радіус вигину скрученого за гелікоїдою волокна можна вважати постійним, еквівалентний вигляд оптичного волокна щодо вигину буде мати вид, наведений на Рис. 3.

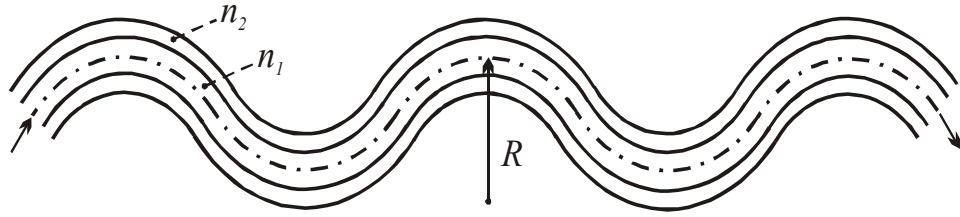


Рис. 3. Еквівалентний вигляд оптичного волокна у складі ОК щодо вигину

На Рис. 4...6 зображено передаточні характеристики фільтрів, що мають склад скла №1, №2, та №3 відповідно при різних радіусах вигину.

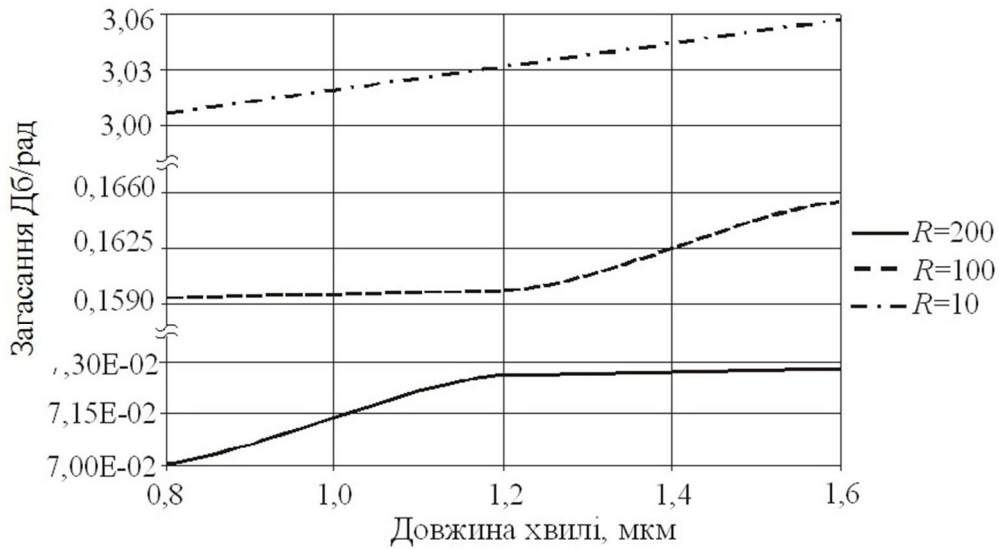


Рис. 4. Спектральна характеристика втрат на вигинах волоконного світловоду зі складом скла №1 при різних значеннях радіусу вигину

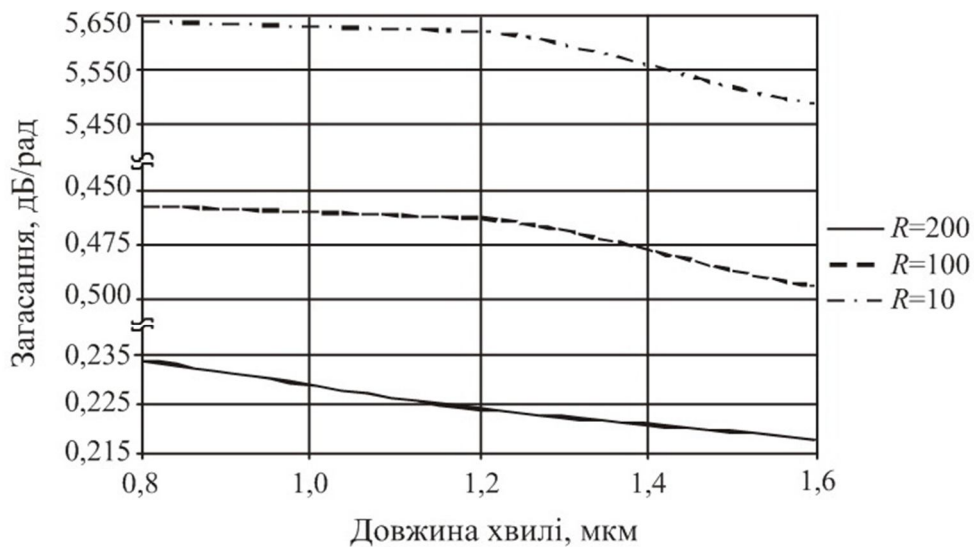


Рис. 5. Спектральна характеристика втрат на вигинах волоконного світловоду зі складом скла №2 при різних значеннях радіусу вигину

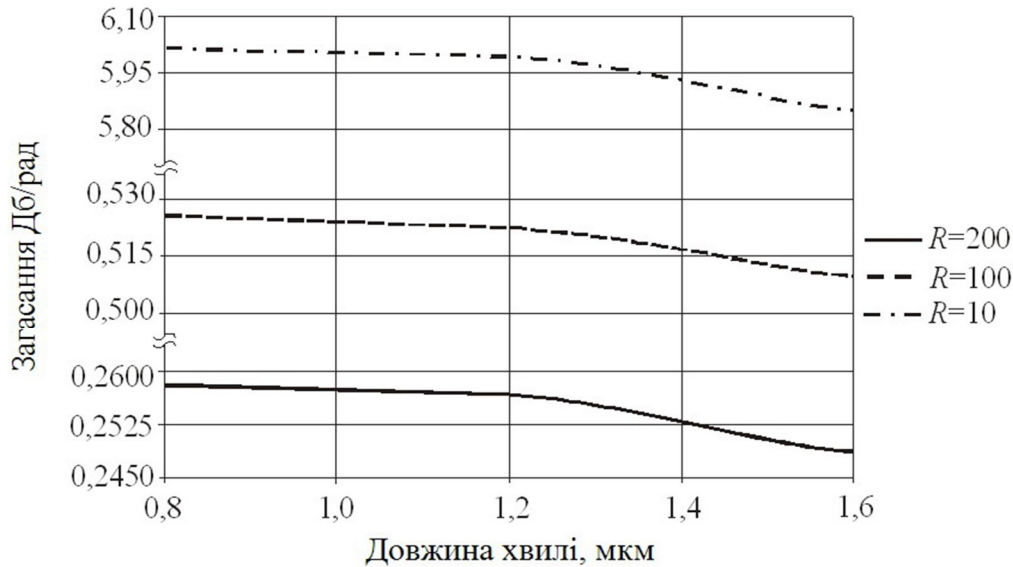


Рис. 6. Спектральна характеристика втрат на вигинах волоконного світловоду зі складом скла №3 при різних значеннях радіусу вигину

**Висновки.** З наведених графіків випливає, що, спектральна характеристика вигину дає можливість оцінити значення втрат оптичного кабелю в різних діапазонах довжин хвиль, в залежності від кроку скрутки, діаметру осердя та матеріалу оптичних хвилеводів. Змінюючи крок скрутки, діаметр осердя, а також матеріали (склад скла) серцевини та оболонки оптичного хвилеводу, можна варіювати конструктивні характеристики оптичного кабелю з метою досягнення потрібних оптичних параметрів ОК.

Наявність спектральної залежності внесених втрат можна використати в системах передачі зі спектральним розділенням каналів для корекції розподілення потужності оптичних каналів в робочому діапазоні довжин хвиль.

### Література

1. Скляр О. К. Волоконно-оптические сети и системы связи : учебное пособие / О. К. Скляр. – СПб.: Издательство “Лань”, 2010. – 272 с.
2. Семенов Н. А. Оптические кабели связи: Теория и расчет / Н. А. Семенов. – М.: Радио и связь, 1981. – 152с.
3. Листвин А. В. Оптические волокна для линий связи / А. В. Листвин, В. Н. Листвин, Д. В. Швырков. – М.: ЛЕСАРпт, 2003. – 288 с.
4. Манько О. О. Деякі питання визначення конструктивних параметрів оптичних кабелів зі стрічковим осердям / О. О. Манько, О. М. Скубак. // Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій. – 2011. – Т.9, №4. – С. 335-341.
5. New type of fibre-optic attenuator / [Gerasimchuk T., Katok V., Manko V., Manko A.] // Proc. 6<sup>th</sup> International Conf. On Transparent Optic ICTON 2004, Wroclaw (Poland), July 4 – 8, 2004. – P. 224-226.