

РАДІОЕЛЕКТРОНІКА ТА РАДІОЕЛЕКТРОННЕ АПАРАТОБУДУВАННЯ

УДК 535.5

О. М. Стащук¹
Д. М. Степанов¹
Д. Г. Багачук¹

ВПЛИВ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ СКЛА ОПТИЧНОГО ВОЛОКНА НА ХВИЛЕВОДНУ ДИСПЕРСІЮ СИГНАЛУ

¹Одеська Національна академія зв'язку ім. О. С. Попова

Проведено дослідження питомої хвильоводної дисперсії сигналу в ступеневих оптичних волокнах різних за хімічним складом серцевини та оболонки. Виконано аналіз залежності цього параметра передавання від довжини хвилі оптичного сигналу. Встановлено вплив легуючих домішок на значення питомої хвильоводної дисперсії.

Ключові слова: оптичне волокно, хвильоводна дисперсія, хроматична дисперсія.

Вступ

Хвильоводна дисперсія (ХВД) разом з матеріальною дисперсією є складовою хроматичної дисперсії. В сучасних умовах розвитку волоконно-оптичних систем передачі (ВОСП), коли зростають вимоги до швидкості передавання, необхідно, в першу чергу, враховувати вплив хроматичної дисперсії сигналу, загасання сигналу та нелінійних ефектів. Сучасні оптичні волокна (ОВ) повинні задовольняти вимогам по дисперсії, що регламентуються міжнародними рекомендаціями ІТУ. Внесення легуючих домішок до складу скла серцевини та оболонки в процесі виготовлення ОВ впливає на значення питомої ХВД. Мінімізація впливу дисперсії сигналу в ВОСП є однією з основних задач виробників ОВ. Питання зменшення значення дисперсії на сьогодні становить науковий та практичний інтерес.

В роботах [1, 2] наведено методику розрахунку питомої ХВД та встановлено залежність цього параметра від довжини хвилі сигналу. В роботі [3] методом формул зсуву отримані наближені аналітичні вирази, що дозволяють з достатньою для практики точністю розраховувати хвильоводну дисперсію. В роботі [4] висвітлено фізичну суть та запропоновано методику розрахунку ХВД. Однак, у вказаних джерелах не наведено аналіз впливу різного виду домішок на значення питомої ХВД. Не вказано переваги та недоліки кожного виду домішок на дисперсійні характеристики ОВ.

Метою роботи є визначення спектральної залежності питомої ХВД для ОВ, різних за хімічним складом серцевини та оболонки, оцінка впливу кожного типу домішок та їх концентрації. Хімічні склади оптичних волокон, для яких проводились обчислення наведено в табл. 1. Тип ОВ, що досліджувався — стандартне одномодове (SF).

Таблиця 1

Хімічні склади оптичних волокон, вибранх для дослідження питомої хвильоводної дисперсії

№	Позначення ОВ	Склад серцевини	Склад оболонки
1	ОВ-1	100 % SiO ₂	1 % F, 99 % SiO ₂
2	ОВ-2	2,2 % GeO ₂ , 3,3 % B ₂ O ₃ , 94,5 % SiO ₂	3 % B ₂ O ₃ , 97 % SiO ₂
3	ОВ-3	9,1 % P ₂ O ₅ , 90,9 % SiO ₂	7 % GeO ₂ , 93 % SiO ₂
4	ОВ-4	2,2 % GeO ₂ , 3,3 % B ₂ O ₃ , 94,5 % SiO ₂	13,5 % BeO ₂ , 86,5 % SiO ₂
5	ОВ-5	0,1 % GeO ₂ , 5,4 % B ₂ O ₃ , 94,5 % SiO ₂	3,5 % B ₂ O ₃ , 96,5 % SiO ₂
6	ОВ-6	4,03 % GeO ₂ , 9,7 % B ₂ O ₃ , 86,27 % SiO ₂	100 % SiO ₂

7	ОВ-7	3,3 % GeO ₂ , 9,2 % B ₂ O ₃ , 87,5 % SiO ₂	13,5 % B ₂ O ₃ , 86,5 % SiO ₂ загартований
8	ОВ-8	3,5 % GeO ₂ , 96,5 % SiO ₂	100 % SiO ₂ з домішками, що гасять
9	ОВ-9	7,9 % GeO ₂ , 92,1 % SiO ₂	5,8 % GeO ₂ , 94,2 % SiO ₂

Методика розрахунку хвильової дисперсії сигналу в оптичних волокнах

ХВД — це зміна тривалості інформаційного імпульсу, яка відбувається внаслідок того, що електромагнітна хвиля, поміщена в певне середовище, залежить від хвильової структури цього середовища.

Причина виникнення хвильової дисперсії полягає в залежності фазового коефіцієнта поширення від довжини робочої хвилі сигналу, що передається.

Розрахунок питомої хвильової дисперсії слід виконувати за виразом [1, 2]:

$$W = \frac{N_1 \Delta}{c \lambda} \cdot V \frac{\partial^2 (Vb)}{\partial V^2}, \quad (1)$$

де W — питома хвильоводна дисперсія, пс/(км·нм); N_1 — груповий показник заломлення матеріалу скла серцевини; c — швидкість світла в вакуумі ($c = 3 \cdot 10^8$ м/с); λ — довжина робочої хвилі оптичного сигналу, мкм; Δ — відносна різниця показників заломлення серцевини й оболонки ОВ; $V \frac{\partial^2 (Vb)}{\partial V^2}$ — функція, яка залежить від профілю діелектричної проникності ОВ, визначається за графіком [2]; V — нормована частота, рад.

Результати розрахунку функції $V \frac{\partial^2 (Vb)}{\partial V^2}$, отримані методом ступеневої апроксимації в наближенні поляризованих мод, для одномодового ступеневого ОВ, показані на рис. 1.

Груповий показник заломлення матеріалу скла серцевини ОВ визначається за виразом [1, 2]:

$$N_1 = n_1 - \lambda \frac{\partial n_1}{\partial \lambda}, \quad (2)$$

де n_1 — показник заломлення матеріалу скла серцевини, який можна обчислити за формулою Селмейера [1, 2]:

$$n_1 = \sqrt{1 + \frac{\sum_{i=1}^3 A_i \lambda^2}{(\lambda^2 - l_i^2)}}, \quad (3)$$

де A_i — коефіцієнт ряду Селмейера для матеріалу серцевини ОВ; l_i — коефіцієнт ряду Селмейера для матеріалу оболонки ОВ, мкм; λ — довжина робочої хвилі оптичного сигналу, мкм.

Для більшості рецептів складу скла ОВ параметри A_i та l_i наведені в [1, 2].

Таким чином, для визначення питомої ХВД достатньо використати коефіцієнти Селмейера для рецепту скла серцевини та оболонки, значення довжини робочої хвилі оптичного сигналу та радіус серцевини ОВ.

Результати дослідження питомої хвильової дисперсії сигналу в оптичних волокнах

За виразом (1) виконано обчислення питомої ХВД для ОВ, хімічні склади яких наведені в табл. 1. В результаті отримано форми залежностей питомої ХВД для довжин хвиль 1460...1625 нм, що включає в себе три діапазони ВОСП: короткохвильовий (short) — 1460...1530 нм, стандартний (conventional) — 1530...1565 нм, довгохвильовий (long) — 1565...1625 нм. Ці графіки показані на рис. 2.

За методикою, наведеною у [6] визначено, що коефіцієнт загасання (α) даних ОВ знаходиться в межах: для короткохвильового діапазону $\alpha = 0,28...0,3$ дБ/км, для стандартного діапазону $\alpha = 0,28$ дБ/км, для довгохвильового діапазону $\alpha = 0,28...0,3$ дБ/км. Отримані значення коефіцієнта загасання задовольняють рекомендації ІТУ G.652 A ($\alpha = 0,4$ дБ/км), G.652 B ($\alpha = 0,35$ дБ/км), G.652 C ($\alpha = 0,3$ дБ/км) та G.652 D ($\alpha = 0,3$ дБ/км).

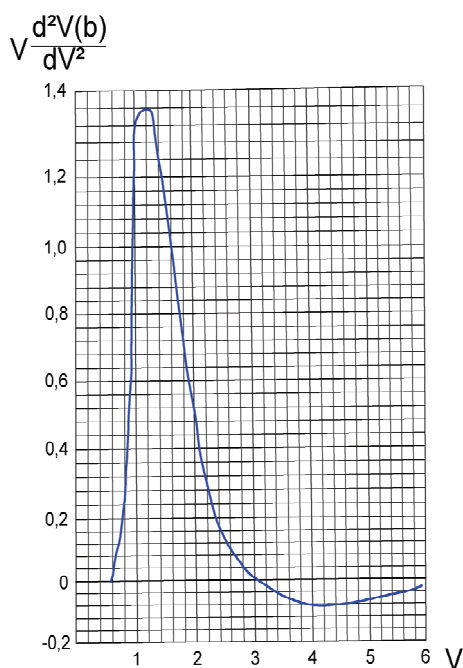


Рис. 1. Залежність функції $V \frac{\partial^2(Vb)}{\partial V^2}$ від нормованої частоти для ступеневого ОВ

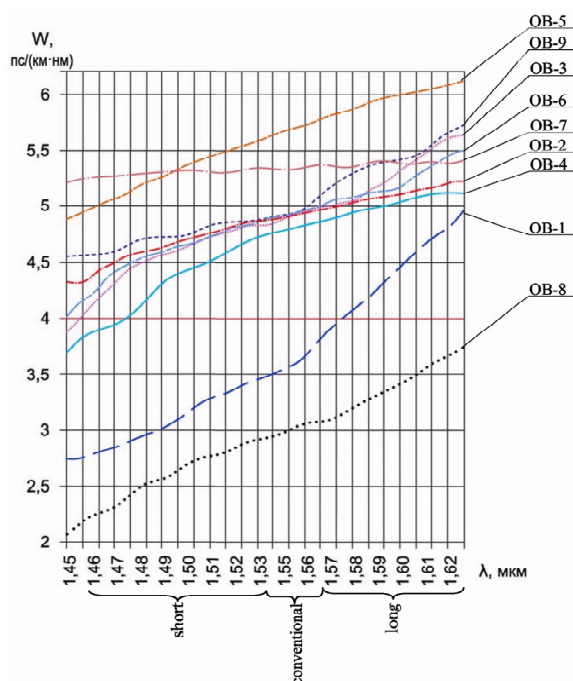


Рис. 2. Спектральні залежності питомої хвильової дисперсії різних за хімічним складом ОВ

В табл. 2 наведено результати виконаних обчислень питомої ХВД.

Таблиця 2

Отримані значення питомої хвильової дисперсії для досліджуваних оптичних волокон

№ п/п	Номер ОВ	Питома ХВД, коли $\lambda = 1460 \dots 1530$ нм (short), пс/(км·нм)	Питома ХВД, коли $\lambda = 1530 \dots 1565$ нм (conventional), пс/(км·нм)	Питома ХВД, коли $\lambda = 1565 \dots 1625$ нм (long), пс/(км·нм)
1	ОВ-1	2,78...3,41	3,41...3,89	3,89...4,95
2	ОВ-2	4,44...4,85	4,85...5,01	5,01...5,22
3	ОВ-3	4,10...4,83	4,83...4,97	4,97...5,63
4	ОВ-4	3,83...4,67	4,67...4,84	4,84...5,12
5	ОВ-5	4,97...5,82	5,55...5,82	5,82...6,12
6	ОВ-6	4,25...4,87	4,87...5,02	5,02...5,50
7	ОВ-7	5,23...5,32	5,32...5,37	5,37...5,41
8	ОВ-8	2,23...2,88	2,88...3,09	3,09...3,74
9	ОВ-9	4,57...4,89	4,89...5,13	5,13...5,72

Висновки

1. В діапазоні довжин робочих хвиль 1,45...1,625 мкм питома хвильоводна дисперсія сигналу для усіх досліджуваних оптичних волокон набуває додатного значення, що приводить до збільшення тривалості інформаційного імпульсу.

2. Для досліджуваних ОВ питома ХВД є значно меншою за модулем ніж питома матеріальна дисперсія, але є протилежна їй за знаком. Ця особливість дозволяє деякою мірою зменшити питому хроматичну дисперсію, яка є алгебраїчною сумою питомих ХВД та матеріальної дисперсії.

3. Зі збільшенням довжини хвилі оптичного сигналу вплив хвильової дисперсії зростає. Динаміка зростання питомої ХВД зі збільшенням довжини хвилі є різною для досліджуваних ОВ. Найбільший кут нахилу кривої ХВД мають ОВ-1 і ОВ-8.

4. Результати дослідження можуть бути використані для вибору хімічного складу серцевини та оболонки під час розробки оптичних волокон.

Таким чином, отримано значення питомої хвильової дисперсії сигналу для різних за хімічним складом оптичних волокон. В подальших дослідженнях планується використати результати цієї роботи та роботи [5] для визначення питомої хроматичної дисперсії для певних ОВ та встановити які з досліджуваних ОВ задовольняють рекомендаціям ІТУ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Корнейчук В. И. Оптические системы передачи / В. И. Корнейчук, Т. В. Макаров, И. П. Панфилов. — К. : Техніка, 1994. — 388 с.
2. Адамс М. Введение в теорию оптических волноводов / М. Адамс ; пер. с англ. — М. : Мир, 1984. — 512 с.
3. Гончаренко И. А. Волноводная дисперсия анизотропных оптических волноводов / И. А. Гончаренко // Квант. Электрон. — Минск, 1987 — Вып. 4, С. 816—821.
4. Нойкин Ю. М. Физические основы оптической связи / Ю. М. Нойкин, П. В. Махно. — Ростов-на-Дону, 2011. — 340 с.
5. Стащук О. М. Вплив хімічного складу скла оптичного волокна на матеріальну дисперсію сигналу / О. М. Стащук, Д. М. Степанов, Д. Г. Багачук // Вісник Хмельницького Національного Університету. — 2015. — Вып. 6. — С. 234—237.
6. Волоконно-оптические кабели: Теоретические основы, конструирование и расчет, технология изготовления и эксплуатация : монография / [Д. В. Иоргачев, О. В. Бондаренко, А. Ф. Дашенко, А. В. Усов]. — Одесса : Астропринт, 2000. — 323 с.

Рекомендована кафедрою лазерної та оптико-електронної техніки ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 22.12.2015

Стащук Олег Михайлович — канд. техн. наук, старший викладач кафедри волоконно-оптичних ліній зв'язку, e-mail: olegstaschuk777@gmail.com;

Степанов Дмитро Миколайович — канд. техн. наук, доцент кафедри волоконно-оптичних ліній зв'язку;

Багачук Денис Геннадійович — канд. техн. наук, доцент кафедри волоконно-оптичних ліній зв'язку. Одеська Національна академія зв'язку ім. О. С. Попова, Одеса

O. M. Staschuk¹
D. M. Stepanov¹
D. H. Bahachuk¹

Effect of Chemical Composition of Glass of Optical Fiber on Waveguide Dispersion of Signal

¹O. S. Popov Odessa National Academy of Telecommunications

There has been researched the specific waveguide dispersion of the signal in stepped optical fibers with different chemical compositions of the core and cladding. There has been analyzed the dependence of this transmission parameter on the wavelength of the optical signal. The influence of doping impurities on the value of the specific waveguide dispersion has been found.

Keywords: optical fiber, waveguide dispersion, chromatic dispersion.

Staschuk Oleg M. — Cand. Sc. (Eng.), Senior Lecturer of the Chair of Fiber Optic Transmission Lines, e-mail: olegstaschuk777@gmail.com;

Stepanov Dmytro M. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor of the Chair of Fiber Optic Transmission Lines;

Bahachuk Denys H. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor of the Chair of Fiber Optic Transmission Lines

О. М. Стащук¹
Д. М. Степанов¹
Д. Г. Багачук¹

Влияние химического состава стекла оптического волокна на волноводную дисперсию сигнала

¹Одесская национальная академия связи им. А. С. Попова

Проведено дослідження удельної волноводної дисперсії сигналу в ступінчатих оптичних волокнах різних по хімічному складу сердцевини і оболочкі. Виконан аналіз залежності цього параметра передачі від довжини хвилі оптичного сигналу. Установлено вплив легируючих примісей на значення удельної волноводної дисперсії.

Ключевые слова: оптическое волокно, волноводная дисперсия, хроматические дисперсия.

Стащук Олег Михайлович — канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры волоконно-оптических линий связи, e-mail: olegstaschuk777@gmail.com;

Степанов Дмитрий Николаевич — канд. техн. наук, доцент кафедры волоконно-оптических линий связи;

Багачук Денис Геннадиевич — канд. техн. наук, доцент кафедры волоконно-оптических линий связи