

## Література

1. Гула І.В. Multicoincidence method for phase measuring devices with high accuracy / I.V Gula, K. L. Horiashchenko, O.P. Vojtyuk / European applied sciences. – 2013. – №12. – С. 81-84.
2. Любчик В.Р. Вимірювання відстаней в радіолокації до трьох об'єктів / В.Р. Любчик, О.І. Гнатюк // Вісник Хмельницького національного університету. – 2005. – №4. – Ч.1. – Т.1. – С. 239-242.
3. Любчик В.Р. Вимірювання відстаней до трьох об'єктів / В.Р. Любчик, О.І. Гнатюк // – Вісник Технологічного університету Поділля. – №2. – 2005. – С.183-188
4. Любчик В.Р. Розробка фазового методу вимірювання відстаней до двох об'єктів // Вісник технологічного університету Поділля. – 2004. – № 2. – С. 108-114.
5. Маевский С.М. Прецизионное измерение электрической длины кабельной линии связи. Фазовые методы измерений в радиотехнике / С.М. Маевский, Е.К. Батуревич, В.Г. Баженов // Тр. РИ АН СССР, 1977. – №27. – С. 110-114
6. Маевский С.М. Применение методов фазометрии для прецизионного измерения расстояний / С.М. Маевский, В.Г. Баженов, Е.К. Батуревич, Ю.В. Куц. – К.: Вища школа. Изд-во при Киев. ун-те, 1983. – 84 с.
7. Горященко К. Л. Аналіз спектральних складових сумарного сигналу для багатошкального фазового методу аналізу стану лінії зв'язку. Повідомлення 1 / К. Л. Горященко // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2007. – № 6, Т. 1. – С. 115-120.

Рецензія/Peer review : 3.11.2015 р.

Надрукована/Printed :6.12.2015 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Троцишин І.В.

УДК 535.5

О.М. СТАЩУК, Д.М. СТЕПАНОВ, Д.Г. БАГАЧУК

Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова

## ВПЛИВ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ СКЛА ОПТИЧНОГО ВОЛОКНА НА МАТЕРІАЛЬНУ ДИСПЕРСІЮ СИГНАЛУ

*Проведено аналіз залежностей питомої матеріальної дисперсії сигналу від довжини робочої хвилі сигналу для ступеневих оптичних волокон різних за хімічним складом серцевини та оболонки. Встановлено вплив легуючих домішок на значення питомої матеріальної дисперсії сигналу.*

*Ключові слова: оптичне волокно, матеріальна дисперсія, хроматична дисперсія.*

O. M. STASHCHUK, D. M. STEPANOV, D. G. BAGACHUK

Odessa A. S. Popov National Academy of Telecommunications

## THE INFLUENCE OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF GLASS OF OPTIC FIBER ON THE MATERIAL DISPERSION OF THE SIGNAL

*An analysis of the material dispersion dependences on the wavelength of the signal for stepped optical fibers with different chemical compositions of the core and cladding. The influence of dopants on the value of the material dispersion of the signal has been determined.*

*Key words: optical fiber, material dispersion, chromatic dispersion.*

### Постановка задачі

Хроматична дисперсія сигналу є одним із основних параметрів передавання волоконно-оптичних систем передавання (ВОСП), що вносить обмеження на швидкість передавання інформації та на довжину регенераційної ділянки. Матеріальна дисперсія (МД) є однією з основних складових хроматичної дисперсії. Причиною виникнення МД є залежність показника заломлення матеріалу скла оптичного волокна (ОВ) від довжини робочої хвилі сигналу, що передається. Для отримання оптичних характеристик ОВ, що задовольняють міжнародним стандартам, та забезпечення явища повного внутрішнього відбиття (каналізації світла в межах серцевини ОВ) необхідно, в першу чергу, досягти необхідних значень показника заломлення серцевини  $n_1$  та показника заломлення оболонки  $n_2$  ОВ. Цього досягають шляхом внесення до хімічного складу серцевини та оболонки ОВ легуючих домішок в процесі виготовлення ОВ. Однак, наявність легуючих домішок в хімічному складі ОВ та їх концентрація суттєво впливає на значення МД сигналу в ОВ. Необхідно встановити характер впливу на МД для кожного типу домішок та визначити оптимальні хімічні складу ОВ.

### Аналіз досліджень та публікацій

Дослідженню питомої МД присвячено низку наукових праць. В роботах [1, 2] отримано методику розрахунку питомої МД та встановлено спектральну залежність даного параметра. В роботі [3] представлено фізику процесів при впливі МД на форму оптичного інформаційного імпульсу. В роботі [4] представлено фізичну суть та наведено методику розрахунку довжини хвилі нульової дисперсії. Однак, в перерахованих

джерелах не наведено аналіз впливу різного виду домішок на значення питомої МД. Не вказано переваги та недоліки кожного виду домішок на дисперсійні характеристики ОВ.

#### Актуальність теми дослідження

Оскільки величина питомої МД в значній мірі впливає на величину хроматичної дисперсії, яка, в свою чергу, є основним обмежуючим фактором при передаванні інформації на значні відстані (на магістральних ВОСП), то питання зменшення МД представляє практичний інтерес. Оптимізація дисперсійних характеристик є однією із основних задач для виробників ОВ. Також, слід відзначити, що виробники ОВ не надають інформації щодо хімічного складу серцевини та оболонки ОВ, які на сьогодні виготовляються, тому для теоретичного обґрунтування доцільності використання в ВОСП волокон того чи іншого хімічного складу, слід провести аналіз їх дисперсійних характеристик.

#### Мета роботи

Метою роботи є встановлення прямої залежності питомої матеріальної дисперсії від довжини робочої хвилі сигналу, що передається для ОВ, різних за хімічним складом серцевини та оболонки. Для дослідження вибрано діапазон довжин хвиль 1,45 ... 1,625 мкм. Рецепти ОВ, для яких проводились розрахунки наведено в табл. 1. Також метою роботи є встановлення довжини хвилі нульової МД для кожного із наведеного в табл. 1 ОВ.

Таблиця 1

Хімічні склади оптичних волокон, що вибрані для дослідження

№ п/п	Позначення ОВ	Склад серцевини	Склад оболонки
1	ОВ-1	100 % SiO <sub>2</sub>	1 % F, 99 % SiO <sub>2</sub>
2	ОВ-2	2,2% GeO <sub>2</sub> , 3,3% B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 94,5% SiO <sub>2</sub>	3% B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 97% SiO <sub>2</sub>
3	ОВ-3	9,1% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , 90,9% SiO <sub>2</sub>	7% GeO <sub>2</sub> , 93% SiO <sub>2</sub>
4	ОВ-4	2,2% GeO <sub>2</sub> , 3,3% B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 94,5% SiO <sub>2</sub>	13,5% BeO <sub>2</sub> , 86,5% SiO <sub>2</sub>
5	ОВ-5	0,1% GeO <sub>2</sub> , 5,4% B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 94,5% SiO <sub>2</sub>	3,5% B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 96,5% SiO <sub>2</sub>
6	ОВ-6	4,03% GeO <sub>2</sub> , 9,7% B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 86,27% SiO <sub>2</sub>	100% SiO <sub>2</sub>
7	ОВ-7	3,3% GeO <sub>2</sub> , 9,2% B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 87,5% SiO <sub>2</sub>	13,5% B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 86,5% SiO <sub>2</sub> загартований
8	ОВ-8	3,5% GeO <sub>2</sub> , 96,5% SiO <sub>2</sub>	100% SiO <sub>2</sub> з гасячими домішками
9	ОВ-9	7,9% GeO <sub>2</sub> , 92,1% SiO <sub>2</sub>	5,8% GeO <sub>2</sub> , 94,2% SiO <sub>2</sub>

#### Методика розрахунку МД сигналу в ОВ

МД – це зміна форми інформаційного імпульсу при проходженні електромагнітної хвилі в ОВ, визначається залежністю показника заломлення від довжини хвилі, що, в свою чергу призводить до того, що різні довжини хвиль поширюються з різною швидкістю. МД може приймати як додатні, так і від'ємні значення. При додатніх значеннях МД відбувається збільшення тривалості інформаційного імпульсу, при від'ємних – зменшення його тривалості. І перший і другий випадки призводять до спотворення форми сигналу, є негативним явищем в ВОСП.

Для випадку ОВ з ідеальним ступеневим профілем показника заломлення, питому МД слід розраховувати за виразом [1]:

$$M = \frac{\lambda}{c} \left( \frac{\partial^2 n_1}{\partial \lambda^2} P_c + \frac{\partial^2 n_1^2}{\partial \lambda^2} (1 - P_c) \right), \quad (1)$$

де  $M$  – питома МД сигналу в ОВ, пс/(км·нм);  
 $\lambda$  – довжина хвилі сигналу, що передається, мкм;  
 $c$  – швидкість світла в вакуумі ( $c = 3 \cdot 10^8$  м/с);  
 $n_1$  – показник заломлення серцевини ОВ;  
 $P_c$  – відносна частка потужності випромінювання, що поширюється в серцевині, мкВт.

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

де  $A_i$  – коефіцієнт ряду Селмейєра для матеріалу серцевини ОВ;  
 $l_i$  – коефіцієнт ряду Селмейєра для матеріалу серцевини ОВ, мкм;  
 $\lambda$  – довжина робочої хвилі оптичного сигналу, мкм.

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

Формула для розрахунку питомої МД, що враховує лише хімічний склад ОВ та довжину хвилі оптичного сигналу має вигляд [1, 2]:

$$M = \frac{\lambda}{c} \frac{\partial^2 n_1}{\partial \lambda^2} = \frac{\lambda}{n_1 c} \left[ \sum_{i=1}^3 \frac{A_i l_i^2 \cdot (3\lambda^2 + l_i^2)}{(\lambda^2 - l_i^2)^3} - \left( \frac{\partial n_1}{\partial \lambda} \right)^2 \right], \quad (3)$$

де

$$\frac{dn_1(\lambda)}{d\lambda} = -\left(\frac{\lambda}{n_1}\right) \left[ \frac{\sum_{i=1}^3 A_i l_i^2}{(\lambda^2 - l_i^2)^2} \right]. \quad (4)$$

Таким чином, для визначення питомої МД достатньо використати коефіцієнти Селмейера та значення робочої довжини хвилі оптичного сигналу.

**Результати дослідження питомої МД в ОВ**

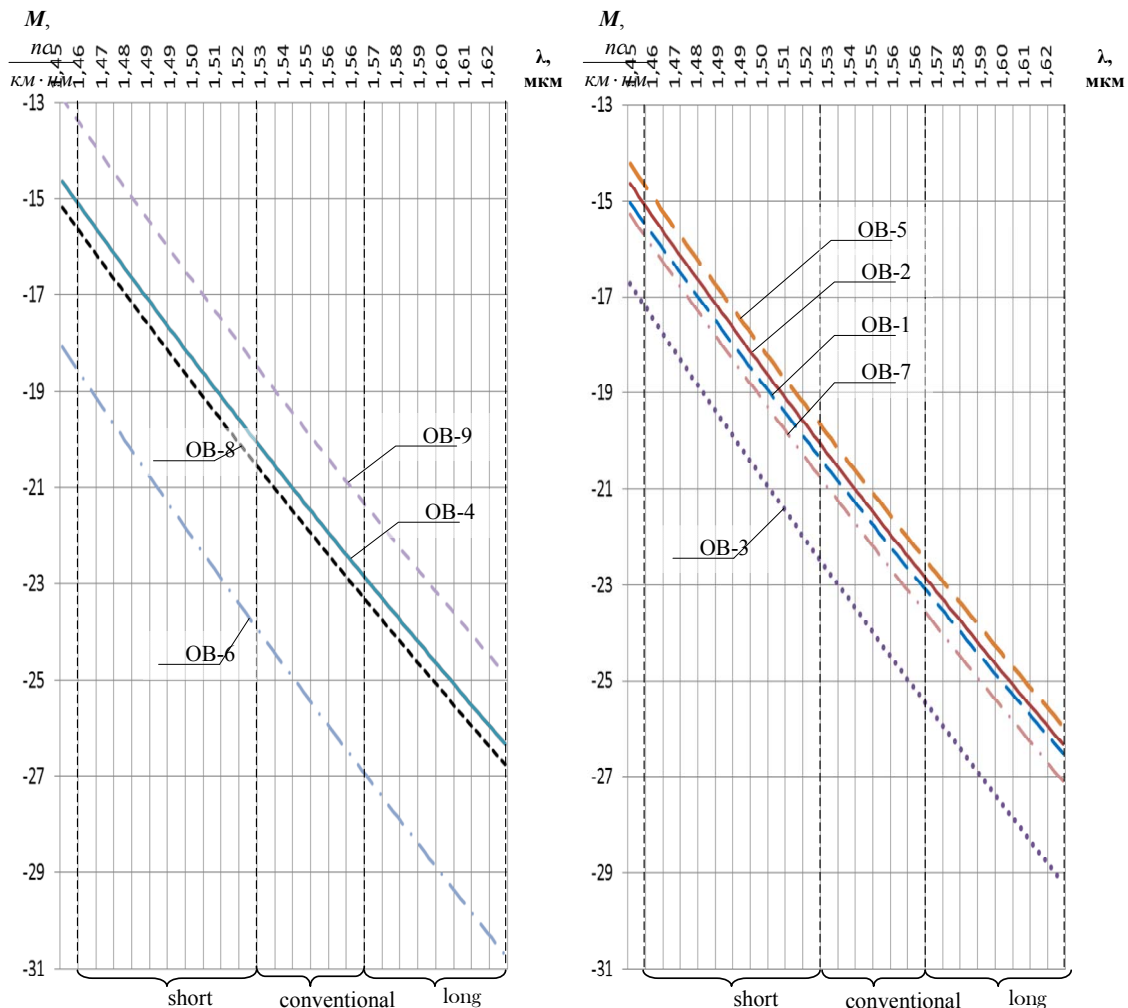
За виразом (3) виконано обчислення питомої МД для ОВ, хімічні склади яких наведено в табл. 1. В результаті отримано форми залежностей питомої МД для довжин хвиль 1460 ... 1625 нм, що включає в себе три діапазони ВОСП: короткохвильовий (short) – 1460 ... 1530 нм, стандартний (conventional) – 1530 ... 1565 нм, довгохвильовий (long) – 1565 ... 1625 нм. Дані графіки представлено на рис. 1.

В табл. 2 наведено результати виконаних обчислень питомої МД.

Таблиця 2

**Отримані значення питомої МД та довжина хвилі нульової МД для ОВ, що досліджувались**

№ п/п	Номер ОВ	Питома МД при $\lambda = 1460 \dots 1530$ нм (short), пс/(км·нм)	Питома МД при $\lambda = 1530 \dots 1565$ нм (conventional), пс/(км·нм)	Питома МД при $\lambda = 1565 \dots 1625$ нм (long), пс/(км·нм)	Довжина хвилі нульової МД, $\lambda_0$ , мкм
1	ОВ-1	-15,76 ... -20,56	-20,56 ... -22,85	-22,85 ... -26,56	1,267
2	ОВ-2	-15,38 ... -20,28	-20,28 ... -22,59	-22,59 ... -26,37	1,273
3	ОВ-3	-17,51 ... -22,71	-22,71 ... -25,19	-25,19 ... -29,25	1,265
4	ОВ-4	-15,38 ... -20,28	-20,28 ... -22,59	-22,59 ... -26,37	1,273
5	ОВ-5	-12,71 ... -19,88	-19,88 ... -22,21	-22,21 ... -25,99	1,278
6	ОВ-6	-18,87 ... -24,15	-24,15 ... -26,66	-26,66 ... -30,76	1,250
7	ОВ-7	-16,02 ... -20,97	-20,97 ... -23,32	-23,32 ... -27,14	1,272
8	ОВ-8	-15,91 ... -20,75	-20,75 ... -23,05	-23,05 ... -26,79	1,268
9	ОВ-9	-13,66 ... -18,69	-18,69 ... -21,07	-21,07 ... -24,91	1,295



**Рис. 1. Спектральні залежності питомої МД різних за хімічним складом ОВ**

**Висновки**

Отримані результати проведених досліджень засвідчують про наступне:

1. В діапазоні довжин робочих хвиль 1,45 ... 1,625 мкм питома МД для усіх ОВ, що досліджувались приймає від'ємне значення, що призводить до зменшення тривалості інформаційного імпульсу.
2. Додавка домішок окису фосфора до складу серцевини ОВ призводить до зростання за модулем питомої МД.
3. Додавка домішок окису германію без домішок окису бора призводить до зменшення за модулем питомої МД.
4. Додавка домішок окису германію разом з домішками окису бора може викликати як зменшення, так і збільшення питомої МД.

Матеріал роботи може бути використаний для розробки ОВ, а також, в якості довідника, для написання магістерських робіт, присвячених дослідженню дисперсійних характеристик ОВ.

Таким чином, встановлено вплив домішок різного типу та різної концентрації на значення питомої МД, яка є складовою питомої хроматичної дисперсії. Для повного аналізу можливості використання в ВОСП ОВ, що досліджувались в роботі, необхідно, крім МД, враховувати також хвилеводну і хроматичну дисперсії, що і планується виконати в наступних роботах.

**Література**

1. Корнейчук В. И. Оптические системы передачи / Корнейчук В. И., Макаров Т. В., Панфилов И. П. – К. : Техніка, 1994. – 388 с.
2. Адамс М. Введение в теорию оптических волноводов / Адамс М. ; пер. с англ. – М. : Мир, 1984. – 512 с.
3. Корнейчук В.И. Волоконно-оптические системы передачи / Корнейчук В. И., Панфилов И.П. – Одесса : Друк, 2001. – 436 с.
4. Шереметьев О.И. Когерентная волоконно-оптическая связь / Шереметьев О.И. – М. : Радио и связь, 1991. – 192 с.

Рецензія/Peer review : 27.11.2015 р.

Надрукована/Printed :6.12.2015 р.  
Рецензент: д.т.н., проф. Лісовий І.П.

За зміст повідомлень редакція відповідальності не несе

**Повні вимоги до оформлення рукопису**  
**<http://vestnik.ho.com.ua/rules/>**

Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету,  
протокол № 4 від 26.11.2015 р.

Підп. до друку 8.12.2015 р. Ум.друк.арк. 19,63 Обл.-вид.арк. 25,53  
Формат 30x42/4, папір офсетний. Друк різнографією.  
Наклад 100, зам. № \_\_\_\_\_

Тиражування здійснено з оригінал-макету, виготовленого  
редакцією журналу “Вісник Хмельницького національного університету”  
редакційно-видавничим центром Хмельницького національного університету  
29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 7/1. тел (0382) 72-83-63