

UDC 621.372

RESEARCH OF THE EFFECT OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF THE OPTICAL FIBER GLASS ON THE SIGNAL SPECIFIC CHROMATIC DISPERSION

Donchenko O.I.

*O. S. Popov Odesa national academy of telecommunications,
1 Kuznechna St., Odessa, 65029, Ukraine.
donchenko2707@gmail.com*

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ СКЛА ОПТИЧНОГО ВОЛОКНА НА ЗНАЧЕННЯ ПИТОМОЇ ХРОМАТИЧНОЇ ДИСПЕРСІЇ СИГНАЛУ

Донченко О.І.

*Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова,
65029, Україна, м. Одеса, вул. Кузнечна, 1.
donchenko2707@gmail.com*

ИСЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СТЕКЛА ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА НА ЗНАЧЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ХРОМАТИЧЕСКОЙ ДИСПЕРСИИ СИГНАЛА

Донченко А.И.

*Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова,
65029, Украина, г. Одесса, ул. Кузнечна, 1.
donchenko2707@gmail.com*

Abstract. The dependences of the specific chromatic dispersion of the signal on the working wavelength of the optical signal were analyzed for stepped optical fibers of cores and shells of various chemical compositions. For the study, the selected wavelength range of the optical signal is 1,300 ... 1.595 μm , which are widely used at the present stage in fiber optic transmission systems. The influence of dopants (germanium oxide, boron oxide, phosphorus oxide) in the composition of the core and cladding of the optical fiber on the value of the specific chromatic signal dispersion has been established. The spectral dependences of the chromatic dispersion of the optical signal at different dopants concentrations were also obtained. Based on the obtained spectral dependences, the chemical composition of optical fibers was determined, which, by their value of the specific chromatic dispersion of the signal, satisfy the recommendations of ITU G.652, which corresponds to a standard single - mode optical fiber (SF). Based on the obtained research results, a method is presented for optimizing the dispersion characteristics of a stepped optical fiber by introducing dopants of a prescribed type and concentration into the composition of its core and shell. The results of the research are presented in tabular and graphical form.

Key words: chromatic dispersion, dopants, fiber optic transmission systems, specific chromatic dispersion, specific material dispersion, specific waveguide dispersion, wavelength.

Анотація. Проведено аналіз залежностей питомої хроматичної дисперсії сигналу від довжини робочої хвилі оптичного сигналу для ступінчастих оптичних волокон різних за хімічним складом серцевини та оболонки. Для дослідження вибрано діапазон довжин робочих хвиль оптичного сигналу 1,300 ... 1,595 мкм, що широко використовується на сучасному етапі у волоконно-оптичних системах передавання. Встановлено вплив легуючих домішок (окис германія, окис бору, окис фосфору) у складі серцевини та оболонки оптичного волокна на значення питомої хроматичної дисперсії сигналу. Також отримано спектральні залежності хроматичної дисперсії оптичного сигналу за різної концентрації зазначених домішок. Визначено довжини хвиль нульової питомої хроматичної дисперсії для кожного оптичного волокна, що досліджувалось, показано можливість зміщення довжини хвилі нульової хроматичної дисперсії шляхом збільшення концентрації домішок. На базі отриманих спектральних залежностей визначено хімічний склад оптичних волокон, що за своїм значенням питомої хроматичної дисперсії сигналу задовольняють рекомендації ІТУ G. 652, яка відповідає стандартному одномодовому оптичному волокну (SF). На базі цих результатів дослідження отримав розвиток спосіб

оптимізації дисперсійних характеристик ступінчастого оптичного волокна шляхом внесення до складу його сердцевини та оболонки легуючих домішок встановленого типу та концентрації. Результати проведених досліджень представлені в табличній та графічній формах.

Ключові слова: хроматична дисперсія, волоконно-оптичні системи передачі, легуючі домішки, питома хроматична дисперсія, питома матеріальна дисперсія, питома хвилеводна дисперсія, довжина хвилі.

Аннотация. Проведен анализ зависимостей удельной хроматической дисперсии сигнала от длины рабочей волны оптического сигнала для ступенчатых оптических волокон различных по химическим составом сердцевини и оболонки. Для исследования выбран диапазон длин рабочих волн оптического сигнала 1,300 ... 1,595 мкм, который широко используется на современном этапе в волоконно-оптических системах передачи. Установлено влияние легирующих примесей (окись германия, окись бора, окись фосфора) в составе сердцевини и оболонки оптического волокна на значение удельной хроматической дисперсии сигнала. Так же получены спектральные зависимости хроматической дисперсии оптического сигнала при разных значениях концентрации примесей. На базе полученных спектральных зависимостей определены химические составы оптических волокон, которые по своему значению удельной хроматической дисперсии сигнала удовлетворяют рекомендации ITU G.652, которая соответствует стандартному одномодовому оптическому волокну (SF). На базе этих результатов исследований получил развития способ оптимизации дисперсионных характеристик ступенчатого оптического волокна путем внесения в состав его сердцевини и оболонки легирующих примесей установленного типа и концентрации. Результаты проведенных исследований представлены в табличной и графической форме.

Ключевые слова: хроматическая дисперсия, волоконно-оптические системы передачи, легирующие примеси, удельная хроматическая дисперсия, удельная материальная дисперсия, удельная волноводная дисперсия, длина волны.

Issues of optimization of the dispersion characteristics of optical fiber (OF) play an important role in the development of components of high - speed fiber - optic transmission systems (FOTS). In the process of manufacturing OF, the introduction of dopants into the composition of the glass core and the shell affects the value of the specific chromatic dispersion (CD). Minimizing the effect of signal dispersion in FOTS is one of the main tasks of OF manufacturers. The aim of the work is to determine chemical compositions of the OF that meet the international recommendations such as G.652. The recipes for the OF for which the calculations were carried out are given in Table 1. For the research selected wavelength range of 1300 ... 1595 nm.

Table 1 – Chemical compositions of the OF that are selected for the study

№ p/p	Designation OF	Composition of the core of the OF	Composition of the core of the OF
1	OF-1	9,1% P ₂ O ₅ , 90,9% SiO ₂	7 % F, 93 % SiO ₂
2	OF-2	0,1% GeO ₂ , 3,5% B ₂ O ₃ , 94,5% SiO ₂	3.5% B ₂ O ₃ , 96,5% SiO ₂
3	OF-3	4,03% P ₂ O ₅ , 9,7% B ₂ O ₃ , 86,27% SiO ₂	100% SiO ₂
4	OF-4	7,9% GeO ₂ , 92,1% SiO ₂	5,8% BeO ₂ , 94,2% SiO ₂
5	OF-5	4,1% GeO ₂ , 95,9 SiO ₂	4,03% B ₂ O ₃ , 9,7% B ₂ O ₃ , 86,5% SiO ₂

The specific chromatic dispersion is defined as the algebraic sum of the specific material and chromatic dispersion [1]:

$$D(\lambda) = M(\lambda) + W(\lambda), \quad (1)$$

where $M(\lambda)$ and $W(\lambda)$ are the specific material and waveguide dispersions of the signal, respectively, ps/(km·nm).

As a result, the forms of the dependences of specific CD on the wavelength are obtained, shown in Fig. 1. The results of the calculations are given in Table 2.

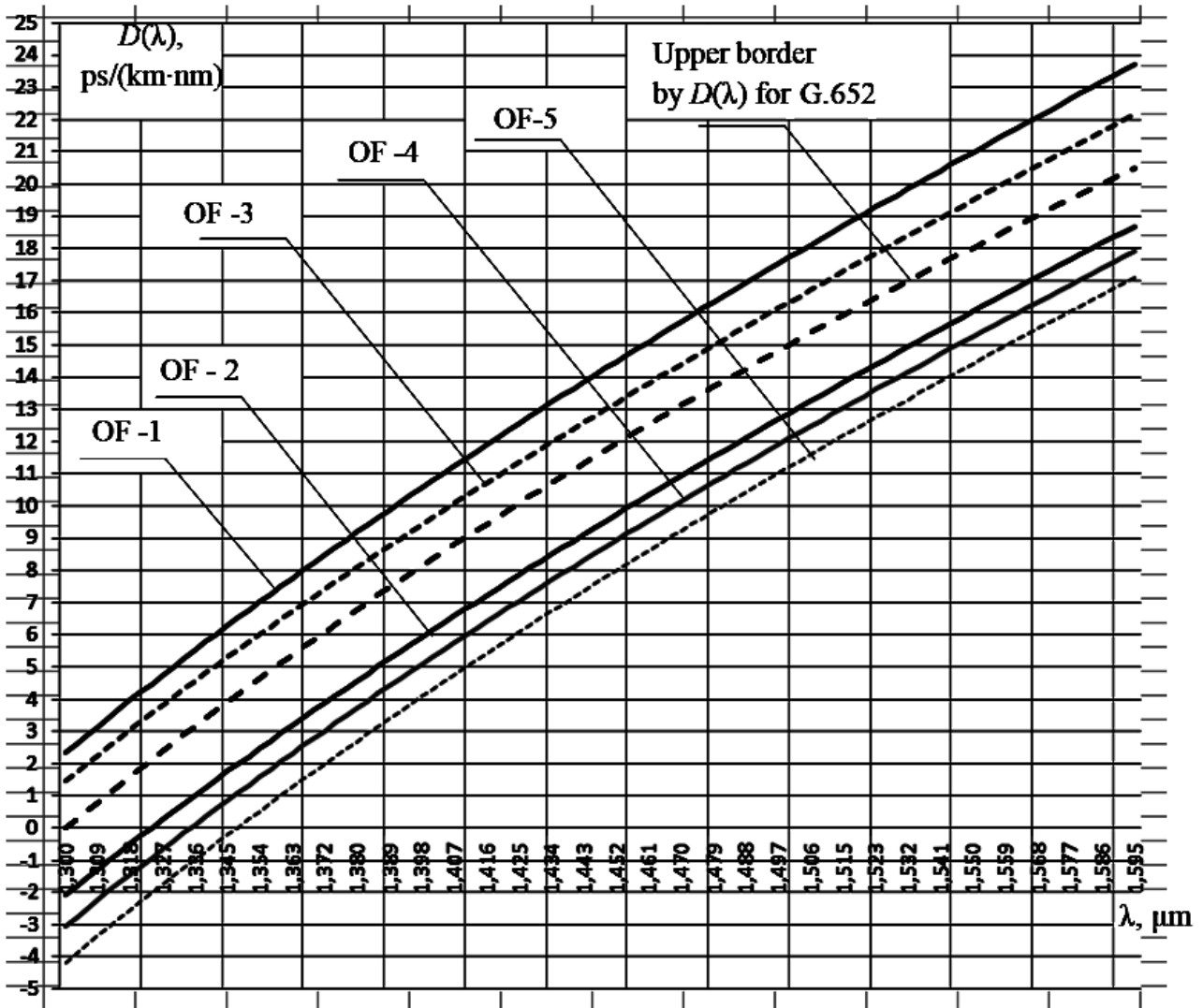


Figure 1 – Spectral dependences of specific CD of the OF of different chemical composition

Table 2 – The obtained values of specific CD and the wavelength of zero CD for OF, that were studied

№ p/p	Number OF	Specific CD at $\lambda = 1300 \dots 1326$ nm, ps/(km·nm)	Specific CD at $\lambda = 1329 \dots 1356$ nm, ps/(km·nm)	Specific CD at $\lambda = 1359 \dots 1386$ nm, ps/(km·nm)
1	OF-1	1,479 ... 3,815	4,066 ... 6,25	6,48 ... 8,549
2	OF-2	-2,062 ... 0,267	0,518 ... 2,713	2,950 ... 5,027
3	OF-3	2,337 ... 4,751	5,011 ... 7,030	7,520 ... 9,657
4	OF-4	-3,041 ... -0,657	-0,401 ... 1,835	2,076 ... 4,185
5	OF-5	13,20 ... 13,54	13,58 ... 13,91	13,95 ... 14,29

Continuation of Table 2

№ p/p	Number OF	Specific CD at $\lambda = 1389...1416$ nm, ps/(km·nm)	Specific CD at $\lambda = 1419...1446$ nm, ps/(km·nm)	Specific CD at $\lambda = 1448...1475$ nm, ps/(km·nm)
1	OF-1	8,772 ... 10,725	10,937 ... 12,80	13,00 ... 14,79
2	OF-2	5,252 ... 7,226	7,440 ... 9,324	9,529 ... 11,33
3	OF-3	9,888 ... 11,914	12,134 ... 14,06	14,277 ... 16,12
4	OF-4	4,413 ... 6,410	6,626 ... 8,526	8,732 ... 10,54
5	OF-5	14,33 ... 14,66	14,70 ... 15,033	15,06 ... 15,39

Continuation of Table 2

№ p/p	Number OF	Specific CD at $\lambda = 1478...1505$ nm, ps/(km·nm)	Specific CD at $\lambda = 1508...1535$ nm, ps/(km·nm)	Specific CD at $\lambda = 1538...1565$ nm, ps/(km·nm)
1	OF-1	14,98 ... 16,71	16,90 ... 18,57	18,762 ... 20,39
2	OF-2	11,53 ... 13,265	13,454 ... 15,129	15,312 ... 16,934
3	OF-3	16,33 ... 18,11	18,31 ... 20,03	20,22 ... 21,90
4	OF-4	10,744 ... 12,484	12,67 ... 14,34	14,53 ... 16,15
5	OF-5	15,43 ... 15,76	15,79 ... 16,12	16,16 ... 16,48

Continuation of Table 2

№ p/p	Number OF	Specific CD at $\lambda = 1568...1595$ nm, ps/(km·nm)
1	OF-1	20,57 ... 22,18
2	OF-2	17,111 ... 18,68
3	OF-3	22,08 ... 23,72
4	OF-4	16,32 ... 17,89
5	OF-5	16,51 ... 16,83

According to the recommendation G.652 in the wavelength range of 1300 ... 1595 nm, the specific CD value ranges from -2,27 ... 0,0 ps/(km·nm) to 19,27 ... 22,50 ps/(km·nm).

The results of the research indicate the following:

1. The recommendations of G.652 satisfy the following OF that were studied: OF-2, OF-4, OF-5.

2. Established wavelengths of zero CD for the studied OFs. By adding germanium oxide, boron oxide to the composition of the core and the shell of the oxide, it is possible to change λ_0 in the range from 1,275 μm to 1,334 μm .

The work material can be used for the development of the OF.

At the next stage, it is planned to research chemical compositions of the OF that satisfy other ITU recommendations: G653.

REFERENCES:

1. Stashchuk O.M., Stepanov D.M., Bagachuk D.G. "Effect of the chemical composition of optical fiber glass on the material dispersion of the signal." Khmelnytsky: Bulletin of the Khmelnytsky National University №6 (2015): 234-237.

2. Stashchuk O.M., Stepanov D.M., Bahachuk D.G. "Effect of the chemical composition of optical fiber glass on the waveguide dispersion of the signal." Vinnytsia: Scientific journal Bulletin of the Vinnytsia Polytechnic Institute №2 (2016): 157-160.
3. Stashchuk O. M., Odintsov N.N., Lisovyi I.P. "Investigation of polarization dispersion in optical fibers with an ordered rotating microstructure of glass." Kiev: Proceedings of the Institute of Problems of Modeling in the Power Engineering № 57 (2010): 260-267.
4. Stashchuk O.M., Kononenko Y.V. "Investigation of the influence of the chemical composition of optical fiber glass on the value of the specific chromatic dispersion of the signal." Odessa: Sixth Intern. science - practice conf. "Infocommunications - Present and Future" (2016): 87-89.
5. Stashchuk O.M., Stepanov D.M., Bagachuk D.G. "Influence of chemical composition of glass of optical fiber on chromatic dispersion of signal." Odessa: Scientific Papers ONAS them. O.S. Popov №2 (2016): 137-143.
6. Stashchuk O.M. "Compensation of the intramodular dispersion in an anisotropic photoluminescent optical fiber." Khmelnytskyi: Bulletin of the Khmelnytsky National University. vol. 4. (2009): 230-233.
7. Stashchuk O. M., Odintsov N.N., Lisovyi I.P. "The use of the properties of an ordered optical microstructure of the optical fiber glass for compensation of the intramodular dispersion." Autonomous Republic of Crimea, Yalta - Livadia: VI-Int. sci-tech conf. "Modern Information and Communication Technologies" (2010): 162-163.

ЛІТЕРАТУРА:

1. 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. – Хмельницький, 2015. – Вип. 6. – С. 234–237.
2. Стащук О.М. Вплив хімічного складу скла оптичного волокна на хвилеводну дисперсію сигналу / О.М. Стащук, Д.М. Степанов, Д.Г. Багачук // Науковий журнал Вісник Вінницького політехнічного інституту. – Вінниця, 2016. – Вип. № 2 (125). – С. 157–160.
3. Стащук О.М. Исследование поляризационной дисперсии в оптических волокнах с упорядоченной вращающейся микроструктурой стекла / О. М. Стащук, Н.Н. Одинцов, И.П. Лесовой // Збірник наукових праць інституту Проблем моделювання в енергетиці. – Київ, 2010. – Вип. 57. – С. 260–267.
4. Стащук О.М. Дослідження впливу хімічного складу скла оптичного волокна на значення питомої хроматичної дисперсії сигналу / О.М. Стащук, Ю.В. Кононенко // Шоста міжнар. наук.-практ. конф. ["Інфокомунікації – сучасність та майбутнє"], 27 – 28 жовтня 2016 р.: тези доп. – Одеса, 2016. – С. 87–89.
5. Стащук О.М. Вплив хімічного складу скла оптичного волокна на хроматичну дисперсію сигналу / О.М. Стащук, Д.М. Степанов, Д.Г. Багачук // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – Одеса, 2016. – Вип. 2. – С. 137–143.
6. Стащук О.М. Компенсація внутрішньомодової дисперсії в анізотропному фотопружному оптичному волокні / О.М. Стащук // Вісник Хмельницького Національного університету. – Хмельницький, 2009. – Вип. 4. – С. 230–233.
7. Стащук О.М. Использование свойств упорядоченной вращающейся микроструктуры стекла оптического волокна для компенсации внутримодовой дисперсии / О.М. Стащук, И.П. Лесовой, Н.Н. Одинцов // VI-міжнар. наук.-тех. конф. ["Сучасні інформаційно-комунікаційні технології"], (АР Крим, Ялта-Лівадія, 4 – 8 жовтня, 2010 р.). – Ялта, 2010. – С. 162–163.

DOI 10.33243/2518-7139-2018-1-2-154-158