Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы

1997 жылдан бастап шығады

ВЕСТНИК Торайгыров университета

Энергетическая серия

Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 4 (2024)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО
о постановке на переучет периодического печатного издания, информационного агентства и сетевого издания
№ 14310-Ж
выдано
Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность
публикация материалов в области электроэнергетики, электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

https://doi.org/10.48081/FYZZ1289
Бас редакторы – главный редактор
Талипов О. М.
доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)
Заместитель главного редактора Калтаев А.Г., *доктор PhD*
Ответственный секретарь Сағындық Ә.Б., *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,	*д.т.н., профессор*
Никифоров А. С.,	*д.т.н., профессор*
Новожилов А. Н.,	*д.т.н., профессор*
Никитин К. И.,	*д.т.н., профессор (Российская Федерация)*
Алиферов А. И.,	*д.т.н., профессор (Российская Федерация)*
Кошеков К. Т.,	*д.т.н., профессор*
Приходько Е. В.,	*к.т.н., профессор*
Кислов А. П.,	*к.т.н., доцент*
Нефтисов А. В.,	*доктор PhD*
Омарова А. Р.	*технический редактор*

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов
При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

МРНТИ 49.29.17

https://doi.org/10.48081/WGZT9962

А. С. Звонцов[1], Ә. Б. Сағындық[2], Л. Н. Есмаханова[3], Ж. Е. Шукаманов[4], Ж. Б. Исабеков[5]

[1,2,5]Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар
[3,4]Таразский региональный университет имени М. Х.Дулати, Республика Казахстан, г.Тараз
[1]ORCID: https://orcid.org/0009-0005-9708-5673
[2]ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0376-2150
[3]ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3308-9676
[4]ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3017-7133
[5]ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3980-1617
*e-mail: trigal@mail.ru

АНАЛИЗ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И НЕЛИНЕЙНЫХ ЭФФЕКТОВ В СВЕТОВОДАХ НА ПРИМЕРЕ ХРОМАТИЧЕСКОЙ ДИСПЕРСИИ

В статье дано определение и показаны физические основы дисперсии – одной из главных характеристик волновой оптики.

Показано, что с увеличением длины волны света показатель преломления уменьшается по параболическому закону – данный фундаментальный принцип справедлив как для диапазона волн видимого света, так и для инфракрасного излучения.

Определено, что в стекловолокне невозможно использовать строго монохроматический источник лазерного излучения волн для передачи сигнала.

Для этих целей используют группу волн с определенной частотой, и соответственно с определенным диапазоном физических длин, называемых волновым пакетом

Заданный волновой пакет перемещается в тракте передачи информации с определенной скоростью, которую можно найти в любой конкретный момент времени.

В качестве примера, показывающего изменение передаточных дисперсионных характеристик, были взяты дифференциальные изменения вблизи длин волн в 850, 1300 и 1550 нм, соответствующих

окнам прозрачности в инфракрасном диапазоне и нашедшей широкое применение в оптических телекоммуникационных системах.

В данной работе выделяют фазовую скорость, показывающей среднее перемещение вблизи номинальной длины волны и групповую скорость, учитывающей изменение дисперсии волнового пакета.

Ключевые слова: дисперсионные характеристики, показатель преломления, градиентный световод, волновой пакет, групповая скорость, фазовая скорость, коэффициент затухания.

Введение

Ввиду больших протяженностей волоконно-оптических линий связи расположение главного элемента системы передачи данных – кварцевого стекла – далеко не всегда линейно.

Кроме этого, модулированный передаваемый сигнал в стеклянной сердцевине и оболочке будет сопровождаться рэлеевсим рассеянием, вызванной неоднородностью плотности материала [1, с. 11].

Оба этих факта влияют на выбор длины инфракрасного излучения, которая будет применяться для передачи информации

Характеристика материала, зависимая от передаваемой волны называется показателем преломления, а импульс, зависимый от показателя преломления– хроматической дисперсией.

Материалы и методы

Показатель преломления – это собственная физическая характеристика однородной среды, характеризующая прохождение световой волны или группы волн через вещество [2, с. 18].

В классической физике волновых процессов она определяет зависимость изменения длины волны от показателя преломления, которую можно представить в виде определенной функции

$$n = f(\lambda) \tag{1}$$

Эмпирическим путем было установлено, что зависимость длины волны от показателя преломления можно представить в виде приближенной формулы

$$n = a + \frac{b}{\lambda^2} \tag{2}$$

где a и b – константы, характеризующие определенную пропускающую среду [3, с. 118-120].

Дисперсия показателя преломления n (λ) для чистого кварцевого стекла Si O_2показана в таблице 1

Таблица 1 – Различные показатели преломления для различных длин волн

Длина волны	1200	1300	1400
Показатель преломления	1,4481	1,4469	1,4458

Групповая скорость, связанная с показателем преломления n и длиной волны λ имеет вид

$$u = \frac{c}{n}(1 + \frac{\lambda \Delta n}{n \Delta \lambda}) \tag{3}$$

Определим среднюю дисперсию

$$\langle \frac{dn}{d\lambda} \rangle = \frac{\Delta n}{\Delta \lambda} \tag{4}$$

В нашем случае согласно (4)

$$\frac{\Delta n}{\Delta \lambda} = \frac{1{,}4458 - 1{,}4481}{(1400 - 1200) \cdot 10^{-9}} = -1{,}15 \cdot 10^4$$

Определим относительную дисперсию

$$\frac{\lambda \Delta n}{n \Delta \lambda} = \frac{1300 \cdot 10^{-9}}{1{,}4469} \cdot (-1{,}15 \cdot 10^4) = -0{,}0133$$

что соответствует нормальному нисходящему наклону кривой

Групповая скорость согласно (3)

$$u = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot (1 - 0{,}0133)}{1{,}4469} = 2{,}0458 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

Учитывая выражение для фазовой скорости

$$v = \frac{c}{n} = \frac{3 \cdot 10^8}{1{,}4469} = 2{,}0734 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

Для заданной волны в 1300 нм групповая скорость оказалась меньше фазовой , что соответствует области нормальной дисперсии (>0) [4, с. 13]

Определим групповой показатель преломления вблизи

$$n_{гр} = \frac{c}{u} \tag{5}$$

согласно (5)

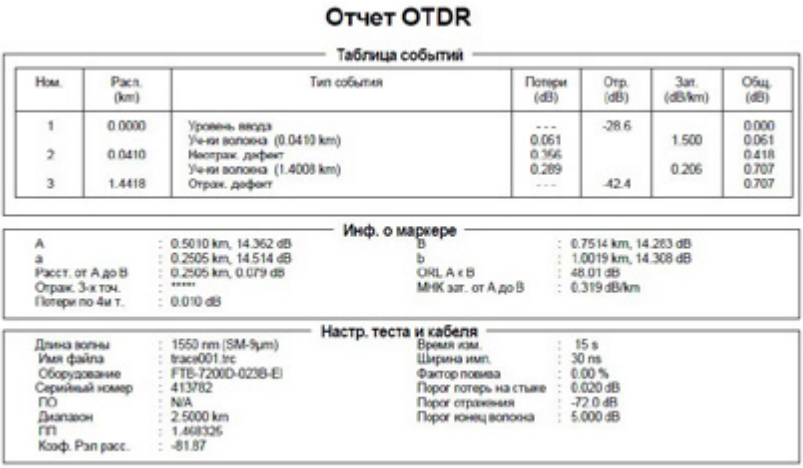
$$n_{гр} = \frac{3 \cdot 10^8}{2{,}04 \cdot 10^8} = 1{,}4714$$

В таблице 2 приведены основные передаточные характеристики волновых пакетов

Таблица 2 – Передаточные характеристики волновых пакетов

Длина волны λнм	Групповая скорость u, м/с	Фазовая скорость υ , м/с	Групповой показатель $n_{гр}$ преломления	Отношение фазовой скорости к групповой,u/υ
850			1,4719	1,015
1300			1,4714	1,013
1550			1,4628	1,012

Результаты измерения оптической кабельной трассы показаны на рисунке 1



Отчет OTDR

Таблица событий

Ном.	Расп. (km)	Тип события	Потери (dB)	Отр. (dB)	Зат. (dB/km)	Общ. (dB)
1	0.0000	Уровень ввода	- - -	-28.6		0.000
		Уч-ки волокна (0.0410 km)	0.061		1.500	0.061
2	0.0410	Неотраж. дефект	0.356			0.418
		Уч-ки волокна (1.4008 km)	0.289		0.206	0.707
3	1.4418	Отраж. дефект	- - -	-42.4		0.707

Инф. о маркере

A	: 0.5010 km, 14.362 dB	B	: 0.7514 km, 14.283 dB
a	: 0.2505 km, 14.514 dB	b	: 1.0019 km, 14.308 dB
Расст. от A до B	: 0.2505 km, 0.079 dB	ORL A є B	: 48.01 dB
Отраж. 3-х точ.	: *****	МНК зат. от A до B	: 0.319 dB/km
Потери по 4м т.	: 0.010 dB		

Настр. теста и кабеля

Длина волны	: 1550 nm (SM-9µm)	Время изм.	: 15 s
Имя файла	: trace001.trc	Ширина имп.	: 30 ns
Оборудование	: FTB-7200D-023B-EI	Фактор повиза	: 0.00 %
Серийный номер	: 413782	Порог потерь на стыке	: 0.020 dB
ПО	: N/A	Порог отражения	: -72.0 dB
Диапазон	: 2.5000 km	Порог конец волокна	: 5.000 dB
ГП	: 1.468326		
Коэф. Рэл расс.	: -81.87		

Рисунок 1 – Измерения оптическим рефлектометром

Результаты эмпирического измерения, как представлено выше, показывают, что показатель преломления (ПП) равен 1,468325 что соответствует группам длин волн вблизи 1550 нм [5, с. 116-118].

Световой импульс, вводимый в многомодовое волокно, представляет из себя ряд параксиальных лучей, распространяющихся вдоль главной оптической оси.

Световой путь, проходимый осевым лучом можно найти как

$$S = n_1 \cdot l \tag{6}$$

где n_1
l, м

Время прохождения пути в сердцевине осевым лучом в таком случае может быть найдено как

$$t_{\text{серцев.}} = \frac{n_1 \cdot l}{c} \tag{7}$$

Выбранный путь, пройденный меридиональным лучом в моде оболочки, учитывая критический угол распространения света

$$t_{\text{об..}} = \frac{n_1 \cdot l}{c \cdot \sin(\theta)} \tag{8}$$

где $\sin(\theta) = \frac{n_2}{n_1}$ – значение критического угла для моды наивысшего порядка

Таким образом ширина импульса прохожденипя волнового фронта составит

$$\Delta t_{.} = t_{\text{об..}} - t_{\text{серцев.}} = \frac{n_1 \cdot l}{c \cdot \sin(\theta)} - \frac{n_1 \cdot l}{c} = \frac{n_1 \cdot (n_1 - n_2) l}{n_2 \cdot c}$$

Данный параметр называем материальной дисперсией.

Интенсивность рассеяния может быть найдена из соотношения

$$I \sim \frac{1}{\lambda^4} \tag{9}$$

где λ – длина волны излучаемого света, нм

В таблице 3 приведены относительные значения данного параметра

Таблица 3 – Относительные значения интенсивности рэлеевского рассеяния

Значение рассеяния	Длина волны ИК-излучения, нм		
	850	1300	1550
	1,92	0,35	0,17

Таким образом при длине волы в 1550 нм влияние рэлеевского рассеяния в 11,3 и 2,05 раза меньше, чем при длинах в 850 и 1300 нм соответственно [6, с. 17].

Для его сохранения волна, распространяющаяся по изогнутому проводнику должна выполнять следующее условие

$$x_R = \frac{(\upsilon - u)}{\upsilon} \cdot R \tag{10}$$

где υ – фазовая скорость, м/с;
u– групповая скорость, м/с;

В таблице 4 даны значения для инфракрасных потерь

Таблица 4 – Абсолютные излучательные инфракрасные потери

Длина волны, нм	Излучательные инфракрасные потери, Дб/км
850	0,4
1300	0,525
1550	0,573

Потери в дальнем инфракрасном диапазоне превосходят потери для диапазона групп волн вблизи 850 нм в 1,43 раза меньше потерь на максимальной длине [7, с. 551]

$$\alpha_{ик} = C_1 \cdot e^{-C_2 \cdot R} \tag{11}$$

где C_1 и C_2 – константы, зависящие от порядка моды.

В таблице 5 приведены значения потерь на излучение в окружающую среду от хода меридиональных лучей в моды оболочки [8, с. 52]

Таблица 5 – Инфракрасные потери с учетом лучепреломления

Длина волны, нм	Излучательные инфракрасные потери, Дб/км
850	0,445
1300	0,554
1550	0,568

Суммарное значение потерь приведено в таблице 6

Таблица 6 – Алгебраические потери в кабельном тракте

Длина волны ИК-излучения, нм	Значение потерь с учетом вычисленных параметров
850	1,67
1300	0,755
1550	0,702

Как видим, снижение в потерях составляет 58%.

Результаты и обсуждение

Динамика показателей значений передельных оптических возвратных потерь и предельных величин обратного отражения для муфтовых соединиений с числом кассет N=4 при различных уровнях качества сигнала показана на рисунке 2.

Рисунок 2 – Показатели значений предельных оптических возвратных потерь и предельных величин обратного отражения для муфтового соединения с числом кассет N=4

Таким образом влияние хроматической дисперсии в многомодовом волокне более значительно [9, с. 51].

Выводы

В больших трактах передачи информации необходимо решать проблемы, связанные с энергетическими потерями кабельных линий.

Один из этих факторов – рэлеевское рассеяние излучения в тракте передачи информации, расчеты относительного и абсолютного значений которых приведены в данной публикации. Анализ показывает, что работа современных лазеров на высоких длинах волн является более приоритетной [10, с. 482].

Потери излучения в ближнем инфракрасном спектре в 10-11 раз больше потерь в дальнем инфракрасном излучении.

Второй фактор – потери на излучение в окружающую среду – также связан с длиной волны передающего источника и радиуса изгиба световода: они возрастают по закону экспоненты при его уменьшении.

Суммарные потери этих двух факторов гораздо меньше при максимальной длине волны – приблизительно на 58% .

Затухание волны в оптических волокнах вызывается расходом энергии на возбуждение колебаний электронов. В конечном счете при прохождении через оптоволокно происходит френелевское отражение электромагнитных волн – третий фактор, рассмотренный в данной работе – которое может быть значительным из-за отсутствия закругленных краев торцов световодов, в том числе в противоположном направлении идущего луча.

Определено, что разъемное соединение находится в контакте в соответствии с рекомендацией Международной электротехнической комиссии при условии многократного превосходства рабочей длины волны над границей раздела двух сред.

Результирующая и среднеквадратичная дисперсии для различных длин многомодового тракта на 60 % превосходят данные параметры у одномодовых.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **T. Bintz, S. M. Nagel, L. Stelzner, R. Lauinger, W. Schmidt and S. Kruschwitz.** “An NMR tomograph for building materials- applications, experimental studies and limitations» – 2021 13th International Conference on Electromagnetic Wave Interaction with Water and Moist Substances (ISEMA), Kiel, Germany, 2021, P. 1-5, doi: 10.1109/ISEMA49699.2021.9508330

2 **K. M. Dwivedi, G. Trivedi and S. K.** Khijwania. «Theoretical Study and Optimization of Apodized Fiber Bragg Grating for Single and Quasi-distributed

Structural Health Monitoring Applications,» 2020. –30th International Conference Radioelektronika (Radioelektronika), Bratislava, Slovakia, 2020, P. 1-6, doi: 10.1109/radioelektronika49387.2020.9092399.

3 **Орликов Л. Н.** Технология приборов оптической электроники и фотоники : учебное пособие / Орликов Л. Н.. – Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. – 87 с.

4 **Рыбаков Н. А.** Моделирование процесса распространения электромагнитных волн по оптическому волокну: учебное пособие / Рыбаков Н. А., Рыбаков А. П.. – Пермь : Пермский государственный технический университет, 2011. – 68 с.

5 **Ахманов, С. А.** Физическая оптика : учебник / С. А. Ахманов, С. Ю. Никитин. – Москва : Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 2004. – 656 с. – ISBN 5-211-04858-X. – Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. – URL: https://www.iprbookshop.ru/13050.html

6 **Мещерякова, Н. Е.** Физика. Оптика: учебное пособие / Н. Е. Мещерякова. – Волгоград : Волгоградский институт бизнеса, 2009. – 70 с. – ISBN 978-5-9061-7251-8. – Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [Электронный ресурс]. – URL: https://www.iprbookshop.ru/11358.html

7 **Zvontsov, A., Neftissov, A., Kirichenko,** L Analysis of the transfer characteristics of refractive indices and nonlinear effects in optical optical fibers using the example of chromatic dispersion //*SIST 2024 - 2024 ieee 4th international conference on smart information systems and technologies, proceedings*, 2024, С. 548–553

8 **Криворучко В. А., Звонцов А. С.** Управление физическим уровнем инфокоммуникационной сетевой модели ISO OSI [Текст]: научный журнал/ М.:Современная гуманитарная академия, 2014. № 10. – С.57–69

9 **Звонцов А. С., Кислов А. П.** Метрологическое обеспечение пассивных компонентов волоконно-оптических линий связи [Текст]: научный журнал вестник Торайгыров университета, 2021. № 3. – С. 50–62

10 **Olzhas Talipov. Alexandr Kislov, Alexandr Neftissov, Alexey Zvontsov, Lalita Kirichenko** Metrological Support of Passive Components of Fiber-Optical Communication Lines for Determining the Parameters of the Effective Length of a Multi-Mode Tract Taking Into Account Dispersional Characteristics. //2022 Smart Information Systems and Technologies (SIST) 28-30 April, 2022, Nur-Sultan, Kazakhstan P .482–486

REFERENCES

1 **T. Bintz, S. M. Nagel, L. Stelzner, R. Lauinger, W. Schmidt and S. Kruschwitz.** Vysokochastotnyj tomograf dlya stroitel'nyh materialov – primenenie, eksperimental'nye issledovaniya i ogranicheniya [An NMR tomograph for building materials- applications, experimental studies and limitations] [Text] – 13-ya Mezhdunarodnaya konferenciya po vzaimodejstviyu elektromagnitnyh voln s vodoj i vlazhnymi veshchestvami, Kiel, Germany, 2021, P. 1–5, doi: 10.1109/ISEMA49699.2021.9508330

2 **K. M. Dwivedi, G. Trivedi and S. K. Khijwania.** Teoreticheskoye issledovaniye i optimizatsiya apodizirovannoy volokonnoy breggovskoy reshetki dlya odinochnykh i kvaziraspredelennykh prilozheniy monitoringa sostoyaniya konstruktsiy [Theoretical study and optimization of apodized fiber bragg grating for single and quasi-distributed structural health monitoring applications] [Text] - Mezhdunarodnaya konferenciya radioelektroniki, Bratislava, Slovakia, 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/radioelektronika49387.2020.9092399.

3 **Orlikov L. N.** Tekhnologiya priborov opticheskoj elektroniki i fotoniki : uchebnoe posobie [Technology of optical electronics and photonics devices: textbook] [Text]- Tomsk: Tomskij gosudarstvennyj universitet sistem upravleniya i radioelektroniki, 2012. – 87 c.

4 **Rybakov N.A.** Modelirovanie processa rasprostraneniya elektromagnitnyh voln po opticheskomu voloknu: uchebnoe posobie [Modeling the process of propagation of electromagnetic waves along an optical fiber: a tutorial] [Text] - Perm' : Permskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 2011. – 68 p.

5 **Ahmanov, S. A.** Fizicheskaya optika : uchebnik [Physical optics: textbook] / - Moskva : Moskovskij gosudarstvennyj universitet imeni M.V. Lomonosova, 2004. - 656 c. – ISBN 5-211-04858-H. – [Text] - Cifrovoj obrazovatel'nyj resurs IPR SMART: [sajt]. - URL: https://www.iprbookshop.ru/13050.html

6 **Meshcheryakova, N. E.** Fizika. Optika: uchebnoe posobie [Physical optics: textbook] / N. E. Meshcheryakova. – Volgograd : Volgogradskij institut biznesa, 2009. – 70 c. – ISBN 978-5-9061-7251-8. [Text] – Cifrovoj obrazovatel'nyj resurs IPR SMART: [sajt]. - URL: https://www.iprbookshop.ru/11358.html

7 **Zvontsov, A., Neftissov, A., Kirichenko, L** Analiz peredatochnyh harakteristik pokazatelej prelomleniya i nelinejnyh effektov v opticheskih voloknah na primere hromaticheskoj dispersii [Analysis of the transfer characteristics of refractive indices and nonlinear effects in optical optical fibers using the example ofchromatic dispersion] [Text] - *SIST 2024 - 2024 ieee 4th international conference on smart information systems and technologies, proceedings*, 2024. P. 548–553

8 **Krivoruchko V.A., Zvontsov A.S.** Upravlenie fizicheskim urovnem infokommunikacionnoj setevoj modeli ISO OSI [Management of info-

communication network ISO OSI model's physical level] [Text].- nauchnyj zhurnal M.:Sovremennaya gumanitarnaya akademiya, –2014. №10. – P. 57–69

9 **Zvontsov A. S, Kislov A.P.** Metrologicheskoe obespechenie passivnyh komponentov volokonno-opticheskih linij svyazi [Metrological support of passive components of fiber-optical communication lines] [Tekst]: nauchnyj zhurnal vestnik Torajgyrov universiteta, – 2021. №3. – P. 50–62

10 **Olzhas Talipov. Alexandr Kislov, Alexandr Neftissov, Alexey Zvontsov, Lalita Kirichenko** Metrologicheskoe obespechenie passivnyh komponentov volokonno-opticheskih linij svyazi dlya opredeleniya parametrov effektivnoj dliny mnogomodovogo trakta s uchetom dispersionnyh harakteristikMetrological [Support of Passive Components of Fiber-Optical Communication Lines for Determining the Parameters of the Effective Length of a Multi-Mode Tract Taking Into Account Dispersional Characteristics] [Text] – 2022 Smart Information Systems and Technologies (SIST) 28–30 April, 2022, Nur-Sultan, Kazakhstan P . 482–486

Поступило в редакцию 14.10.24
Поступило с исправлениями 21.10.24
Принято в печать 04.12.24

***А. С. Звонцов*[1], Ә. Б. Сағындық[2], *Л. Н. Есмаханова*[3], *Ж. Е. Шукаманов*[4], *Ж. Б. Исабеков*[5]**
[1,2,5]Торайғыров университет, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.
[3,4]М. Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті,
Қазақстан Республикасы, Тараз қ.
14.10.24 ж. баспаға түсті.
21.10.24 ж. түзетулерімен түсті.
04.12.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

ХРОМАТИКАЛЫҚ ДИСПЕРСИЯ МЫСАЛЫН ПАЙДАЛАНУ ӨРІСТІҢ КӨРСЕТКІШТЕРІНІҢ ЖӘНЕ СЫЗЫҚТЫ ЕМЕС ӘСЕРЛЕРДІҢ ӨТКІЗУ ТАЛДАУ

Мақалада толқындық оптиканың негізгі сипаттамаларының бірі дисперсияның физикалық негізі анықталған және көрсетілген.

Жарықтың толқын ұзындығы ұлғайған сайын сыну көрсеткіші параболалық заңға сәйкес төмендейтіні көрсетілді – бұл іргелі принцип көрінетін жарықтың толқын ұзындығының диапазоны үшін де, инфрақызыл сәулелену үшін де жарамды.

Шыны талшықта сигналды беру үшін лазерлік толқындық сәулеленудің қатаң монохроматикалық көзін пайдалану мүмкін емес екені анықталды.

Осы мақсаттар үшін толқындар пакеті деп аталатын белгілі бір жиіліктегі және сәйкесінше физикалық ұзындықтардың белгілі бір диапазоны бар толқындар тобы қолданылады.

Берілген толқындық пакет ақпаратты беру жолында белгілі бір жылдамдықпен қозғалады, оны уақыттың кез келген нақты сәтінде табуға болады.

Бұл жұмыста номиналды толқын ұзындығына жақын орта ығысуды көрсететін фазалық жылдамдықты және толқын пакетінің дисперсиясының өзгеруін ескеретін топтық жылдамдықты ажыратамыз.

Тасымалдау дисперсиясының сипаттамаларының өзгеруін көрсететін мысал ретінде инфрақызыл диапазондағы мөлдірлік терезелеріне сәйкес келетін және оптикалық телекоммуникациялық жүйелерде кеңінен қолданылатын 850, 1300 және 1550 нм толқын ұзындығына жақын дифференциалды өзгерістер алынды.

Бұл жұмыста номиналды толқын ұзындығына жақын орта ығысуды көрсететін фазалық жылдамдықты және толқын пакетінің дисперсиясының өзгеруін ескеретін топтық жылдамдықты ажыратамыз.

Кілтті сөздер: дисперсиялық сипаттамалар, сыну көрсеткіші, градиенттік талшық, толқындық пакет, топтық жылдамдық, фазалық жылдамдық, әлсіреу коэффициенті.

**A. S. Zvontsov*[1], *A. B. Sagyndyk*[2], L. Yesmakhanova[3], Zh. Shukamanov[4], J. B. Issabekov[5]

[1,2,5]Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

[3,4]M. Kh. Dulaty Taraz Regional University, Republic of Kazakhstan, Taraz

Received 14.10.24

Received in revised form 21.10.24

Accepted for publication 04.12.24

ANALYSIS OF TRANSFER CHARACTERISTICS AND NONLINEAR EFFECTS IN OPTICAL GUIDES USING CHROMATIC DISPERSION

The article defines and shows the physical basis of dispersion, one of the main characteristics of wave optics.

It is shown that with increasing wavelength of light, the refractive index decreases according to a parabolic law - this fundamental principle is true for both the visible light range and infrared radiation.

It is determined that it is impossible to use a strictly monochromatic source of laser radiation waves in fiberglass for signal transmission.

For these purposes, a group of waves with a certain frequency, and accordingly with a certain range of physical lengths, called a wave packet, is used.

As an example showing the change in the transfer dispersion characteristics, differential changes near wavelengths of 850, 1300 and 1550 nm were taken, corresponding to the transparency windows in the infrared range and widely used in optical telecommunication systems.

A given wave packet moves in the information transmission path at a certain speed, which can be found at any particular moment in time.

In this work, the phase velocity is distinguished, showing the average movement near the nominal wavelength and the group velocity, taking into account the change in the dispersion of the wave packet.

Keywords: dispersion characteristics, refractive index, graded-index fiber, wave packet, group velocity, phase velocity, attenuation coefficient.

Теруге 04.12.2024 ж. жіберілді. Басуға 30.12.2024 ж. қол қойылды.
Электронды баспа
29.9 Mb RAM
Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.
Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова
Корректор: А. Р. Омарова, Д. А.Кожас
Тапсырыс №4317

Сдано в набор 04.12.2024 г. Подписано в печать 30.12.2024 г.
Электронное издание
29.9 Mb RAM
Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.
Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова
Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас
Заказ № 4317

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған
Торайғыров университеті
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы
Торайғыров университеті
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.
67-36-69
E-mail: kereku@tou.edu.kz
www.vestnik-energy.tou.edu.kz