

А.О. Касимов¹, Н.Ш. Кусамбаева²

¹Алматинский университет энергетики и связи, г. Алматы, Казахстан

²Казахская академия транспорта и коммуникации им. М.Тынышпаева, г. Алматы, Казахстан

ВЛИЯНИЕ АПОДИЗАЦИИ СМЕННОПЕРИОДИЧЕСКОЙ БРЭГГОВСКОЙ РЕШЕТКИ НА ПОЛЯРИЗАЦИОННО-МОДОВУЮ ДИСПЕРСИЮ

Аннотация. В статье рассматривается задержка сигнала при передаче по волоконно-оптической линии связи и пути уменьшения групповых задержек при большой скорости передачи с помощью брэгговских решеток. Противоречие между необходимостью передачи сигналов по оптоволоконным линиям связи и возникающим при этом дисперсии и групповой задержки порождает проблему разработки необходимого расчета параметров сеток Брэгга. Цель исследования - снижение дисперсии за счет определения соответствующих параметров сеток Брэгга.

Существует целый ряд структур оптоволоконных решеток Брэгга, например, короткопериодные и длиннопериодные решетки, косые (slanted gratings) решетки, а также сменнопериодные – решетки с переменными чирпами (chirp gratings-чирповые решетки). Сменнопериодные решетки используются в оптических сетях, в основном для компенсации дисперсии. Изготовление сменнопериодных (чирповых) решеток состоит из сужения и изгиба оптоволоконка во время процесса нанесения и линейной растяжки фазовой маски, получаемые путем нагревания. При производстве решетки также используются чирповые фазовые маски с переменным периодом.

Ключевые слова: дисперсия, искажение, оптоволоконно, чирп, брэгговские решетки, моделирование.

• • •

Түйіндеме. Бұл мақалада талшықты-оптикалық байланыс жолымен беру кезіндегі сигналдың кідірісі және үлкен жылдамдықта сигнал беру кезінде туындайтын топтық кідірістерді брэгг торларының көмегімен азайту жолдары қарастырылған. Оптоалшықтардың бойымен сигналдарды тарату қажеттілігі, және осы кезде туындайтын дисперсия мен топтық кідірістер арасын-

дағы үйлеспешіліктер Брэгг торларының параметрлерін есептеуге қажетті мәселені шешуді тудырып отыр. Оптоталшықты Брэгг торларының көптеген құрылымдары бар, мысалы, қысқа және ұзын периодты торлар, қиғаш (slanted gratings) торлар, сонымен қатар, периоды біртекті емес – чирптері айнымалы (chirp gratings-чирпті торлар) торлар. Периоды біртекті емес торлар көбінесе дисперсияны компенсациялау үшін оптикалық желілерде қолданылады. Периоды біртекті емес (чирпті) торларды оптоталшыққа қыздыру арқылы фазалық масканы жағу және созу кезінде туындайтын тарылу мен бугілу арқылы жасайды. Торларды жасау кезінде, сондай-ақ айнымалы периоды бар чирпті фазалық маскалар қолданылады.

Түйінді сөздер: дисперсия, бұрмалану, оптоталшық, чирп, брэгг торлары, модельдеу

• • •

Abstract. The article considers the signal delay in transmission over a fiber-optic communication line and the way to reduce group delays at a high transmission rate using Bragg gratings. The contradiction between the need to transmit signals over fiber-optic communication lines and the resulting dispersion and group delay creates the problem of developing the necessary calculation of the parameters of Bragg grids. The purpose of the study is to reduce the dispersion by determining the corresponding parameters of the Bragg grids.

There are a number of structures of Bragg fiber-optic gratings, for example, short-period and long-period gratings, slanted gratings, and alternating-period gratings with variable chirps (chirp gratings-chirp gratings). Spherical period gratings are used in optical networks, mainly to compensate for dispersion. The fabrication of the intermittent (chirp) gratings consists of the narrowing and bending of the optical fiber during the application process and linear stretching of the phase mask obtained by heating. Chiral phase masks with a variable period are also used in the production of the lattice.

Keywords: dispersion, distortion, optical fiber, chirp, Bragg gratings, modeling.

Введение. Поляризационно-модовая дисперсия (PMD) является основным свойством одномодовых волокон влияющая на скорость передачи данных. PMD происходит из-за разных скоростей распространения энергий одной длины волны, но разной поляризации с перпендикулярными осями (рис.1).

Основными причинами PMD является некруглость сердцевины и влияние внешних воздействий на волокно (макро-изгиб, микро-изгиб, скручивание, и температурные изменения).



Рис. 1 PMD (дифференциальная групповая задержка) эффекты в оптоволокне

Применительно к PMD используется такое понятие как среднее значение дифференциальной групповой задержки (differential group delays – DGD) и выражаются в пикосекундах (пс). Он может быть также использован как коэффициент PMD, который связывается с квадратным корнем от расстояния и выражается в $\text{ps}/\sqrt{\text{км}}$ [1-3].

PMD (DGD) расширяет импульс передачи при прохождении по волокну. Это явление вносит искажения, увеличивая коэффициент битовых ошибок (BER) оптической системы.

Влияние PMD ограничивает скорость передачи связи. Важно учитывать значение PMD волокна, чтобы вычислить пределы скорости передачи оптического канала.

Цель исследования – компенсация (снижение) дисперсии, возникающей в оптоволоконных линиях связи за счет определения соответствующих параметров сеток Брэгга.

Функция аподизации и выбор параметров оказывает существенное влияние на отражательные компенсационные свойства брэгговских решеток. Аподизация используется для сглаживания боковых полос спектра отражения, что приводит к уменьшению дисперсии, но также, имеет важное значение амплитуда сигнала, отраженного от аподизированной брэгговской решетки. Таким образом, оптимальный профиль аподизации должен оказывать максимально благоприятное сглаживание боковых полос и максимальную отражательную способность по амплитуде. Выбор соответствующей функции аподизации может значительно изменить характеристику отраженного светового сигнала, т.е., мощность и компенсацию дисперсии, а также снизить

стоимость производства решетки. Чем больше чирп сетки, тем она длиннее, следовательно, реализовать её более трудно, а это значительно поднимает её цену. На практике, решетки используются от нескольких мм до нескольких см. Поэтому разумно предположить, что отбор функции, как и выбор соответствующих параметров аподизации для управления этой функцией нужен для получения оптимальных результатов.

Методы исследования.

Представленные Sher Shermin A. Khan и Md. S. Islam [1] профили аподизации были проанализированы для выбора функции аподизации, и управления их параметров, для того, чтобы улучшить коэффициент отражения сменнопериодических брэгговских решеток. Функции аподизации принимают следующий вид [1]:

Тангенс:

$$T(z) = 1 + \tanh \left[T \left(1 - 2 \left(\frac{z}{L_g} \right)^\alpha \right) \right] \quad (1)$$

Хэмминга:

$$T(z) = \frac{1 + H \cos \left(\frac{2\lambda z}{l} \right)}{1 + H} \quad (2)$$

Гаусс:

$$T(z) = \exp \left[-G \left(\frac{z}{L_g} \right)^2 \right] \quad (3)$$

Косинус

$$T(z) = \cos^A \left(\frac{\pi}{L_g} z \right) \quad (4)$$

Коши:

$$T(z) = \frac{1 - \left(\frac{2z}{L_g} \right)^2}{1 - \left(\frac{2Bz}{L_g} \right)^2} \quad (5)$$

Sinc

$$T(z) = \text{sinc}^X \left(\left| \frac{2 \left(z - \frac{L_g}{2} \right)}{L_g} \right|^Y \right) \quad (6)$$

Параметры α, H, G, A, B, X и Y использованы для моделирования профиля аподизации, чтобы получить лучший вариант. Их диапазоны представляются в следующем виде:

$$\alpha, T \in [1, 4], H \in [0.1, 0.9], G \in [2, 15], A \in [0.15, 2], B \in [0.2, 0.95], \\ X, Y \in [1, 6].$$

С помощью моделирования проведен анализ отраженных спектров, и доказано, что самый лучший отражающий спектр имеет решетка CFBG, аподизованная профилем Гаусса и SINC [1]. Тут не были проанализированы компенсационные свойства сеток CFBG, аподизированные этими профилями, поэтому в дальнейшем будут представлены результаты моделирования аподизованных сеток Брэгга профилями Гаусса и SINC, и их влияние на отражение, дисперсию и групповую задержку [4-6].

Построенная математическая модель в программной среде MATLAB позволила моделирование отражающего спектра, дисперсии и групповой задержки в анализируемой брэгговской решетке. Ниже представлены результаты моделирования решетки с постоянным периодом и длиной 2 см без аподизации для узкого диапазона

длин волн от 1549 нм до 1556 нм ($\lambda_D = 1550$ нм, $n_{eff} = 1,45$, число секции решетки $M = 200$, $\nu = 1$), (рис.2-4)

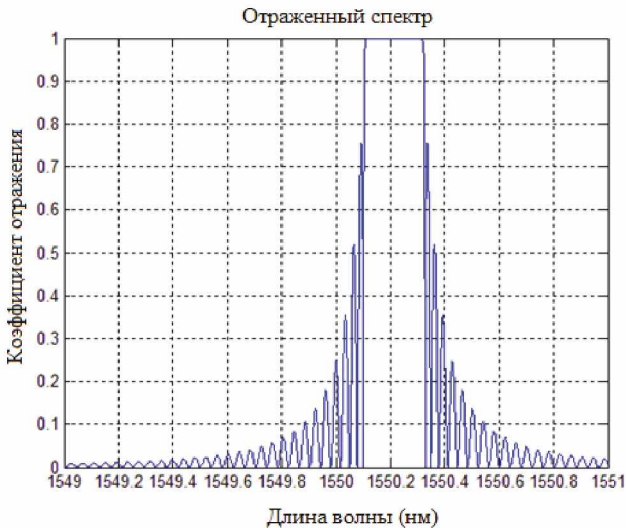


Рис. 2 Отраженный спектр FBG решетки Брэгга, длиной 2 см, $n_{eff} = 1,45$ (данные, получены из модели, выполненные в программе MATLAB).

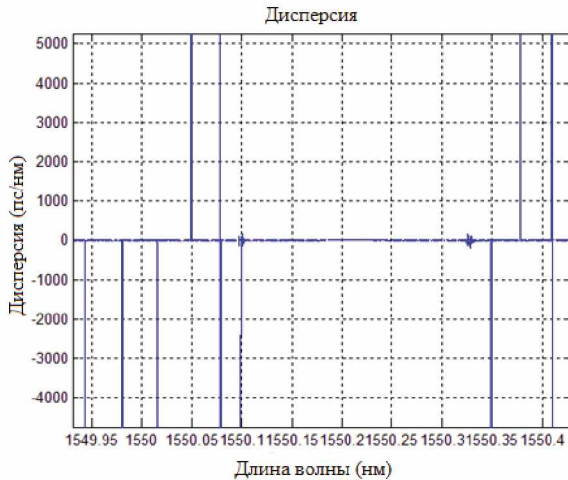


Рис.3 Дисперсия FBG вокруг длины волны решетки Брэгга, длиной 2 см, $n_{eff} = 1,45$ (данные, получены из модели, выполненные в программе MATLAB).

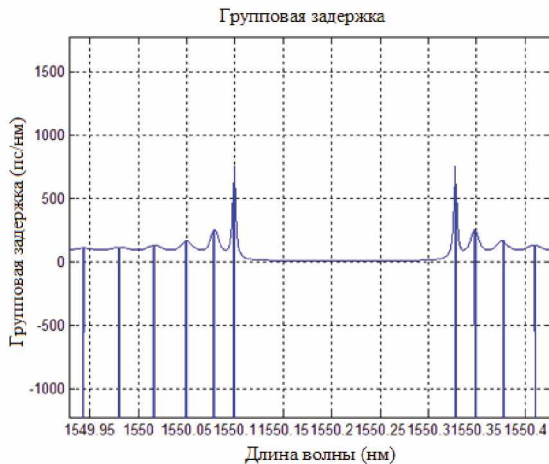


Рис.4 Групповая задержка FBG вокруг длины волны решетки Брэгга, длиной 2 см, $n_{eff} = 1,45$ (данные, получены из модели, выполненные в программе MATLAB).

Таким образом, сила отражения моделированной Брэгговской решетки принимает 100%-ный результат, поэтому решетка может называться сильной. Наклон линии зависит от групповой задержки, т.е. постоянной функцией (константа), это означает, что все волны, отраженные от решетки будут испытывать равную групповую задержку.

Для тех же параметров сетки, но включенный с чирпом ($\delta n_{eff}=2e-4, \phi=0.3e-7$), вид отражающего спектра, групповой задержки и дисперсии (рис.5-7)

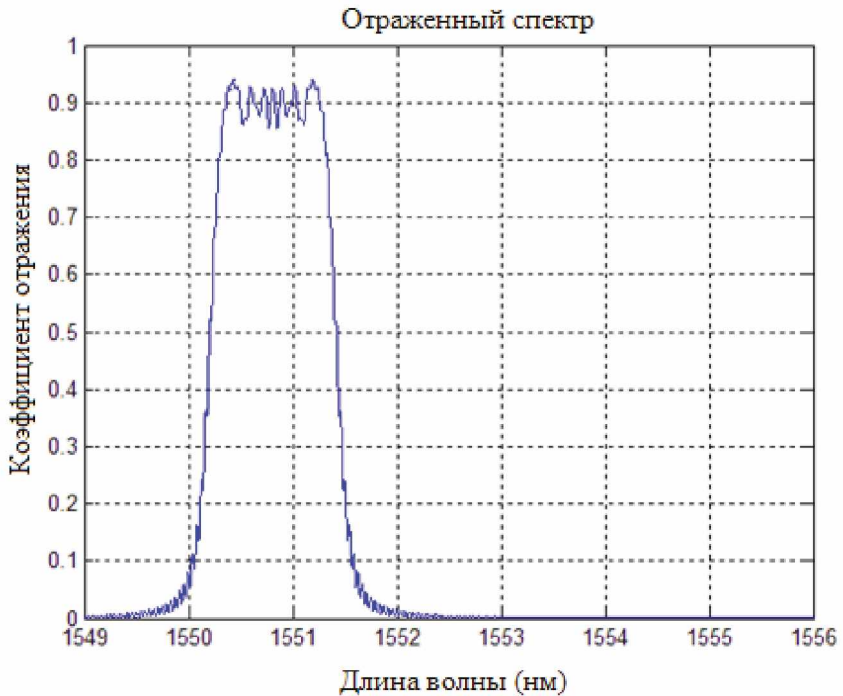


Рис.5 Отраженный спектр CFBG, длина решетки 2 см,
 $\delta n_{eff} = 2e-4, \phi = 0.3e-7$ (Результаты, получены из модели, выполненные в программе MATLAB).

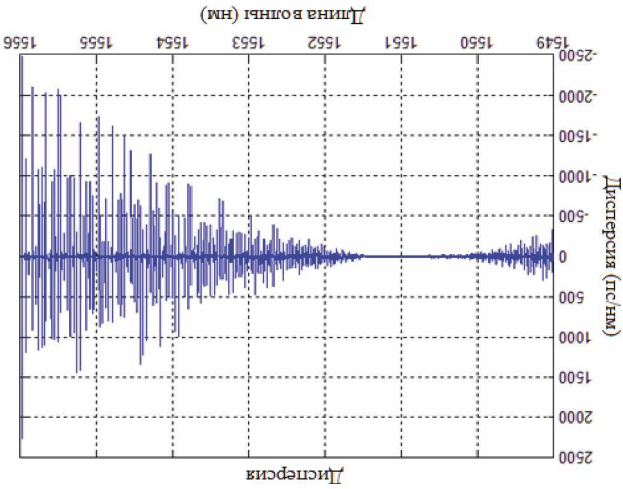


Рис. 6 Дисперсия СВГ длина решетки 2 см, $\delta n_{eff} = 2e-4$, $\phi = 0.3e-7$ (результаты, полученные в программе MATLAB).

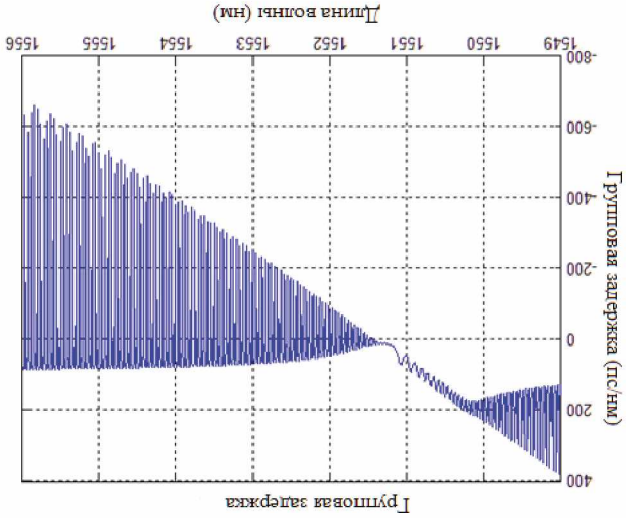


Рис. 7 Групповая задержка СВГ, длина решетки 2 см, $\delta n_{eff} = 2e-4$, $\phi = 0.3e-7$ (результаты, полученные из модели, выполненные в программе MATLAB).

Выводы. Введенные чирпы для той же самой длины сетки (2 см) вызывает уменьшение отражательных способностей, но также и приносит желаемый эффект, каким является наклон групповой задержки (рис.7). Во время передачи сигнала, волны большей длины испытывают большую положительную групповую задержку, чем волны короткой длины. Наклон групповой задержки означает, что отраженные волны от брэгговских сеток с большой длиной испытывают меньшую положительную задержку, чем волны меньшей длины, а это противоположно передачи сигнала. Таким образом, размытый (нечеткий) импульс возвращается к исходной форме, в результате чего получается компенсация дисперсии для более одной длины волны.

Список литературы

1. *Wójcik W.* Системы телекоммуникации, Люблинская политехника, ISBN: 978-83-62596-64-5, Люблин.- 2011. -
2. *Khan S., Islam S.,* Определение наилучшей функции аподизации и длины решетки линейно-решетчатой брэгговской решетки для компенсации дисперсии // Бангладешский университет инженерии и технологии / Коммуникации, 2012. - №11. -
3. *Васильев С.А., Медведков О.И., Божков А.С., Королев И.Г., Дианов Е.М.* Модификация полей оболочечных мод при растворении H₂ в волоконных световодах и ее влияние на спектральные характеристики длиннопериодных решеток», Квантовая Электроника, 36, 1, , 2006. – С. 61-66.
4. *Kharasim D., Kashaganova G., Kussambayeva N.* Повышение точности демодуляции длин волн брэгговской решетки с использованием преобразования различных алгоритмов и обнаружение центральной длины волны// 9-ая Междунар.конференция «Новые электрические и электронные технологии и их промышленная реализация» / Закопан. - Польша (Scopus). 2015 -
5. *Osadchuk Aleksandr Vasil'yevich, Osadchuk Yaroslav Osadchuk, Andzhey Smolarts, Kussambayeva N.* Датчик давления на основе реактивных свойств транзистора с отрицательным сопротивлением // Lublin-Naleczow, Pol'sha (Scopus). – 2015 [9816-72]
6. *Zabolotna N.I., Pavlov S.V. Radchenko K.O., Stasenko V.A., Voychik V., Kussambayeva N.* Диагностика эффективности системы восстановления поляризации матрицы Мюллера фазовой структуры ткани. Оптические волокна и их применение// Lyublin-Nalekyuv, Pol'sha (Scopus). - 2015 [9816-48].

References

1. *Wójcik W.* (2011) Systemy teleinformatyczne, Politechnika Lubelska, ISBN: 978-83-62596-64-5, Lublin
2. *Khan S, Islam S.* (2012) Determination of the Best Apodization Function and Grating Length of Linearly Chirped Fiber Bragg Grating for Dispersion Compensation, Bangladesh University of Engineering and Technology, Bangladesz //Journal Communications.
3. *Vasileva S.A, Medvedkov O.I, Bojkov AS, Korolev I.G, Dianov E.M.* Modifikatsiya poley obolocheknykh mod pri rastvorenii H₂ v volokonnykh svetovodakh i yeye vliyaniye na spektral'nyye kharakteristiki dlinnoperiodnykh reshotok, *Kvantovaya elektroniki*, 2006. - №36.- 1, 61-66 s.
4. *Harasim D, Kashaganova G, Kussambayeva N.* (2015) Accuracy improvement of Fiber Bragg Grating peak wavelength demodulation using wavelet transform and various center wavelength detection algorithms // 9th International Conference "New Electrical and Electronic Technologies and their Industrial Implementation" NEET 2015, which will be held in June 23-26, 2015 in Zakopane, Poland (Scopus)
5. *Alexander V. Osadchuk, Iaroslav A. Osadchuk, Andrzej Smolarz, N. Kussambayeva* (2015). Pressure transducer of the on the basis of reactive properties of transistor structure with negative resistance. *Optical Fibers and Their Applications [9816-72]* Lublin-Naleczow, Poland (Scopus)
6. *Zabolotna NI, Pavlov SV, Radchenko KO, Stasenko VA, Wójcik W, Kussambayeva N.* (2015) Diagnostic efficiency of Mueller - matrix polarization reconstruction system of the phase structure of liver tissue. *Optical Fibers and Their Applications. [9816-48]*. Lublin-Naleczow, Poland (Scopus)

Касимов А.О., e-mail: 64razak@mail.ru

Кусамбаева Н.Ш., e-mail: kussambayeva@mail.ru