

ОПТИМИЗАЦИЯ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОДНОМОДОВЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН ПО ЗАДАННОМУ ЗНАЧЕНИЮ КОЭФФИЦИЕНТА ЛОКАЛИЗАЦИИ МОЩНОСТИ

Каток В.Б., Чепелевски С.Е.

Государственный университет информационно-коммуникационных технологий,
Научно-инженерный центр линейно-кабельных сооружений, г. Киев
E-mail: lvg_katok@alfacom.net

Abstract

Katok V.B., Chepelevski S.Y. Optimization of the refractive index profile in cross-section of a single-mode optical fibre for specified value of power localization coefficient. A refractive index profile in cross-section of single-mode optical fibre for specified value of power localization coefficient and phase velocity of fundamental mode given at fixed frequency is determined by the method of synthesis. The analysis of the synthesized fibre is carried out and its characteristics are optimized.

Введение

Одномодовое оптическое волокно (ООВ) является важнейшим из компонентов волоконно-оптических линий связи. Создание ООВ с заданным коэффициентом локализации мощности направленной моды в заданном слое позволяет уменьшать потери как при сварке волокон, так и при микроизгибах. Чтобы уменьшить потери при сваривании волокон, следует увеличить значение коэффициента локализации мощности распространяющейся моды в сердцевине волокна. Посредством синтеза [1] получены ООВ с характеристиками соответствующими волокнам типа ITU-T G. 653, G.655 и увеличенным значением коэффициента локализации мощности основной моды.

Метод синтеза

Распространение электромагнитных волн в градиентных ООВ, с учетом линейно-поляризованных мод, описывается уравнением

$$\frac{d^2\Phi(R)}{dR^2} + \left[u^2 - v^2 \left(g_1(R) + \frac{(l^2 - 1/4)}{v^2 R^2} \right) \right] \Phi(R) = 0, \quad (1)$$

где $u^2 = a^2(n_1^2 k^2 - \beta^2)$ – нормированная постоянная распространения; $v^2 = a^2 k^2 n_1^2 2\Delta$ – нормированная частота; a – радиус сердцевины ООВ; β – продольная постоянная распространения; $\Delta = (n_1^2 - n_2^2)(2n_1^2)^{-1}$; n_1 – максимальное значение показателя преломления в сердцевине; n_2 – значение показателя преломления в оболочке; l – азимутальный индекс моды; $k = \omega \sqrt{\epsilon_0 \mu_0}$ – волновое число в свободном пространстве; ω – угловая частота; ϵ_0 и μ_0 –

диэлектрическая и магнитная проницаемость свободного пространства соответственно; $g_1(R)$ – функция профиля показателя преломления, подлежащая определению; R – безразмерная радиальная координата; $\Phi(R)$ – функция пропорциональная поперечным составляющим поля, удовлетворяет граничным условиям:

$$\Phi(R)|_{\rho=a+0} = \Phi(R)|_{\rho=a-0}, \quad \left. \frac{d\Phi(R)}{dR} \right|_{\rho=a+0} = \left. \frac{d\Phi(R)}{dR} \right|_{\rho=a-0} \quad (2)$$

При фиксированных параметрах k и l , для определения функции $g_1(R)$, используется метод решения обратной задачи рассеяния нерелятивистской квантовой механики [2]. В соответствии с [1] в качестве исходного рассматривалось ООВ со ступенчатым профилем показателя преломления, волновые процессы в котором описываются уравнением

$$\frac{d^2\Phi_1(R)}{dR^2} + \left[u^2 - v^2 \left(g_0(R) + \frac{l^2 - 1/4}{v^2 R^2} \right) \right] \Phi_1(R) = 0, \quad (2)$$

$\Phi_1(R)$ – функция пропорциональная поперечным составляющим электрического поля;

$g_0(R) = 0, R \in (0, 1), g_0(R) = 1, R > 1$ – функция профиля показателя преломления.

Граничные условия для $\Phi_1(R)$ аналогичны (2).

В соответствии с методикой решения обратной задачи рассеяния [2] определение закона изменения показателя преломления в поперечном сечении синтезируемого ООВ сводится к решению интегрального уравнения Гельфанда-Левитана-Марченко

$$K(R, t) = - \int_0^R K(R, y)G(y, t)dy - G(R, t) = 0, \quad (0 < y < t). \quad (3)$$

Ядро $G_m(R, t)$, в соответствии с [1], представлено интегралом Стильбеса. Интегрирование ведется по изменению спектральных функций $\xi_1(\rho)$ уравнения (2) и $\xi(\rho)$ уравнения (3)

$$G(R, t) = \int_0^\infty \Phi_1(R, p)\Phi_1(p, t)d(\xi_1(p) - \xi(p)),$$

где

$$d\xi_1(p) - d\xi(p) = \begin{cases} 0, & 0 < v^2 < p, \\ A\delta(p - p_0) - C\delta(p - p_1), & p \in (0, v^2), \\ 0, & p < 0 \end{cases}$$

где $p = u^2$, $\delta(p - p_i)$ – дельта-функция Дирака, $C = \left[\int_0^\infty \Phi_1^2(R, p_1)dR \right]^{-1}$ – нормировочный коэффициент. Нормировочный коэффициент A подлежит определению. Закон изменения

показателя преломления в поперечном сечении синтезированного ООВ определяется по формуле [2]

$$g_1(R) = g_0(R) + 2 \frac{d}{dR} K(R, R), \quad (4)$$

где $K (R , R)$ находится из уравнения (3)

Функция распределения поля распространяющейся моды $\Phi (R)$ вычисляется с помощью преобразования Повзнера–Левитана [1].

$$\Phi(R) = \Phi_1(R) \cdot \left[1 + A \int_0^R \Phi_1^2(t) dt \right]^{-1} \quad (5)$$

Для определения нормировочного коэффициента A , входящего в выражения (4), (5) используется соотношение [3]

$$\Gamma = \frac{\int_0^{R_2} [\Phi(R, p)]^2 R dR}{\int_0^{R_1} [\Phi(R, p)]^2 R dR},$$

связывающее распределение поля основной распространяющейся моды в синтезированном ООВ с коэффициентом локализации мощности этой моды, заданном на фиксированной частоте. R_1 и R_2 – границы области локализации мощности распространяющейся моды.

Численные расчеты

В качестве примера получены законы изменения показателя преломления в двух различных ООВ с разными значениями коэффициента локализации $\Gamma = 0,975$ (сплошная линия), $\Gamma = 0,955$ (пунктир), которые представлены на рис.1. Синтез проводился на нормированной частоте $V = 3,2$, при этом фазовая скорость основной моды $V_{ph} / c = 0,6925$. Значения радиуса сердцевины исходного и синтезированного ООВ совпадают. Зависимость дисперсионного параметра B от нормированной частоты V для основной LP_{01} моды приведена на рис. 2. Кружком обозначена частота отсечки следующей моды. Кривые соответствуют профилям ООВ приведенным на рис. 1. В обоих случаях диапазон одномодового режима больше, чем у исходного волокна со ступенчатым профилем показателя преломления. Распределение поля распространяющейся LP_{01} моды рассчитанное на длине волны $\lambda = 1,55$ мкм для обеих ООВ представлено на рис. 3. Максимальное значение интенсивности поля в этих ООВ смещено от оси волокна, а с увеличением расстояния – монотонно спадает. На рис. 4 для обеих синтезированных ООВ приводятся кривые зависимости диаметра модового поля от длины волны. Кружком отмечено значение частоты отсечки следующей моды более высокого порядка. На рис. 5 приводится зависимость коэффициента локализации мощности основной моды в зависимости от длины волны для обеих синтезированных ООВ.

Рис.6 иллюстрирует зависимость хроматической дисперсии M пс/(км·нм) от длины волны. Синтезированные ООВ имеют ненулевую смещенную дисперсию в диапазоне длин волн от $\lambda = 1,43$ мкм до $\lambda = 1,625$ мкм. При передаче информации в этом диапазоне длин

волн, за исключением окрестности $\lambda = 1,55$ мкм можно избежать возникающих в высокоскоростных системах передачи нежелательных нелинейных эффектов.

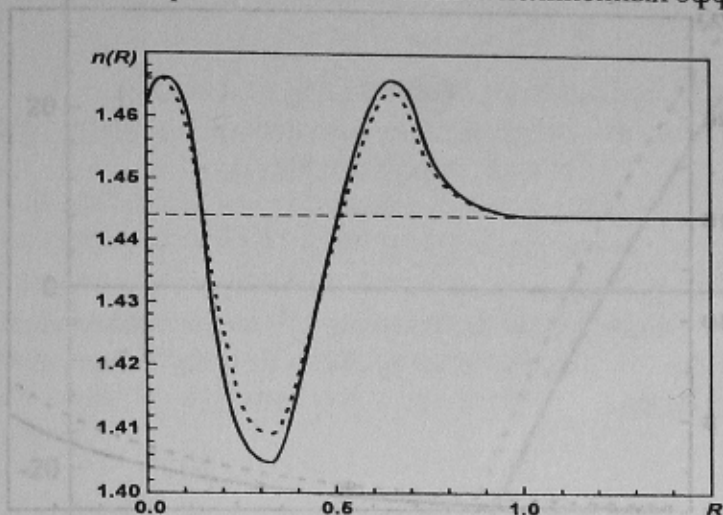


Рис. 1 – Профили изменений показателей преломления в поперечном сечении синтезированных ООВ в зависимости от изменения радиальной координаты

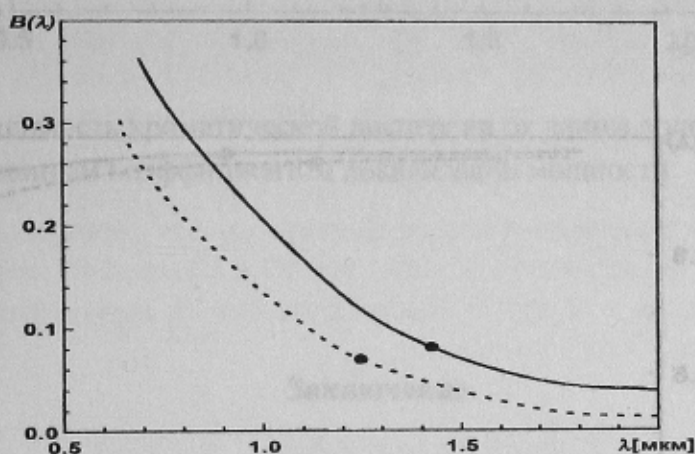


Рис. 2 – Зависимость изменения фазового параметра основной моды от длины волны. Кружком отмечено значение частоты отсечки следующей моды более высокого порядка.

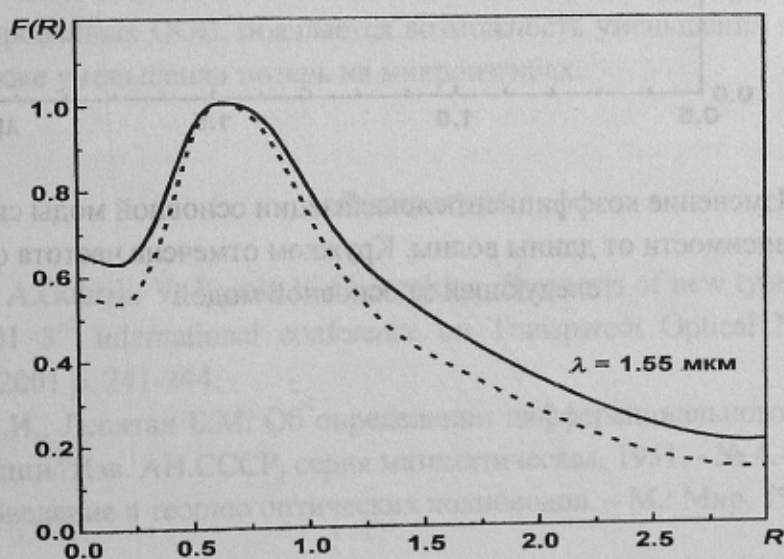


Рис. 3 – Распределение поля основной моды синтезированных ООВ рассчитанное на длине волны 1.55 мкм

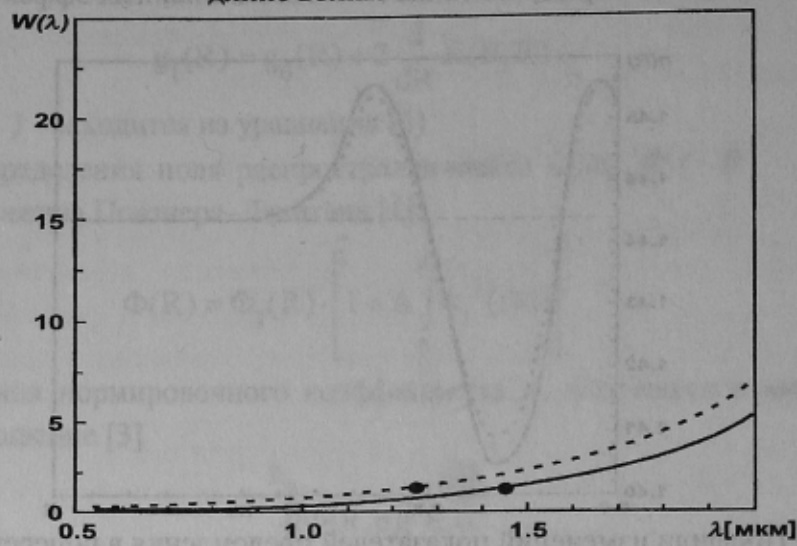


Рис. 4 – Зависимость диаметра модового поля W от длины волны.

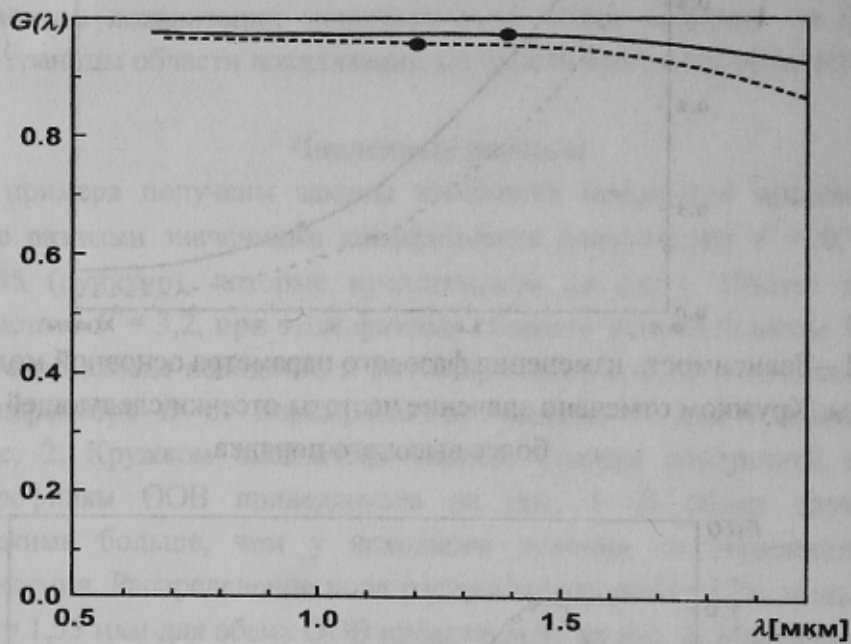


Рис. 5 – Изменение коэффициента локализации основной моды синтезированных волокон в зависимости от длины волны. Кружком отмечена частота отсечки моды, следующей за основной модой

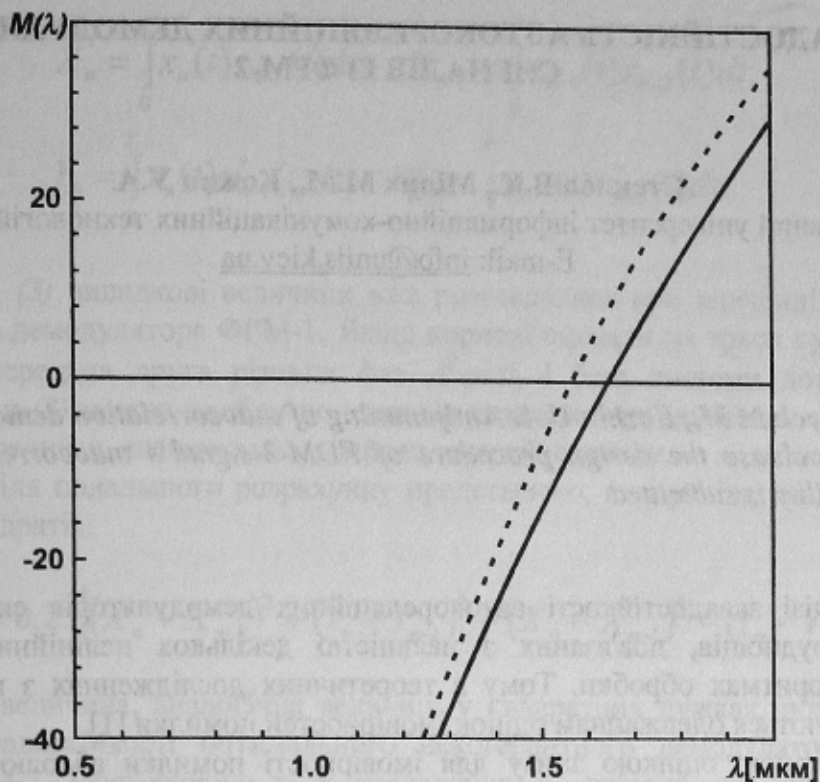


Рис. 6 – Зависимость хроматической дисперсии от длины волны для ООВ с заданным коэффициентом локализации мощности

Заключение

Полученные в результате синтеза ООВ, по своим характеристикам соответствуют волокнам типа G.655 (профиль синтезированного волокна представлен на рис.1 сплошной линией) и типа G.653 (профиль синтезированного волокна представлен на рис.1 пунктиром) по классификации ИЕС. Благодаря локализации мощности распространяющейся моды в сердцевине синтезированных ООВ, появляется возможность уменьшения потерь при сварке таких волокон, а также уменьшения потерь на микроизгибах.

Литература

1. Gomilko A., A. Gourjii, V. Katok, E. Shchepkina Synthesis of new type single-mode optic fibers// ICTON 2001 3rd International conference on Transparent Optical Networks, Cracow. Poland. June 18-21, 2001 p. 241-244.
2. Гельфанд И.И., Левитан Б.М. Об определении дифференциального оператора по его спектральной функции//Изв. АН.СССР, серия математическая, 1951. - № 4.- С. 309.
3. Адамс М. Введение в теорию оптических волноводов. – М.: Мир, 1984.- 512 с..