

Применение метода распространения луча для расчета интенсивности световой волны в диэлектрическом волноводе с изгибом

Студент гр. ФРМ-502-О-07
Горячкин Максим Юрьевич

Введение

- Преимущества волоконно-оптических систем связи:
- Невосприимчивость к электромагнитным помехам (ЭМП)
- Отсутствие риска «короткого» замыкания или замыкания на землю
- Безопасность работы в окружении горючих веществ (топлива)
- Безопасность, связанная с радиоперехватом или подслушиванием
- Малые потери при передаче
- Большая пропускная способность
- Малые размеры и вес
- Малая стоимость, использование доступных материалов

Цель работы

Рассчитать распределение
интенсивности световой волны в
диэлектрическом волноводе с изгибом

Задачи:

1. Изучить метод распространения луча.
2. Написать программу в среде Matlab для выполнения расчета распределения интенсивности световой волны в оптическом волокне с изгибом.

Уравнение Гельмгольца

$$\Delta E + k^2 n^2(x, y, z)E = 0 \quad (1)$$

Напряженность электрического поля

$$E(x, y, z) = \phi(x, y, z) \exp(-j\beta z) \quad (2)$$

$$\beta \approx kn_0 \quad (3)$$

Уравнение на функцию ϕ :

$$\frac{\partial \phi}{\partial z} = -j \frac{1}{2kn_0} \nabla^2 \phi - jk [n - n_0] \phi \quad (4)$$

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2}$$

Разность квадратов показателей
преломления:

$$n^2 - n_0^2 \cong 2n_0 (n - n_0) \quad (5)$$

$$n \rightarrow N = n - j\kappa \quad (6)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial z} = -j \frac{1}{2kn_0} \nabla^2 \phi - \alpha \phi - jk [n(x, z) - n_0] \phi \quad (7)$$

$$\alpha = k\kappa$$

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} \quad (8)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial z} = (\mathbf{A} + \mathbf{B}) \phi \quad (9)$$

$$\mathbf{A} = -j \frac{1}{2kn_0} \nabla^2 \quad (10)$$

$$\mathbf{B} = -\alpha(x, z) - jk [n(x, z) - n_0] \quad (11)$$

$$\phi(x, z+h) = \exp\left[h\mathbf{A} + \frac{h}{2}(\mathbf{B}(z) + \mathbf{B}(z+h))\right]\phi(x, z) \quad (12)$$

$$\exp(h\mathbf{A} + h\mathbf{B}) \cong \exp(h\mathbf{A})\exp(h\mathbf{B}) \quad (13)$$

$$\phi(x, z+h) = \exp\left(\frac{h\mathbf{A}}{2}\right)\exp\left[\frac{h}{2}(\mathbf{B}(z) + \mathbf{B}(z+h))\right]\exp\left(\frac{h\mathbf{A}}{2}\right)\phi(x, z) \quad (14)$$

$$\phi\left(x, z + \frac{h}{2}\right) = \exp\left(\frac{h\mathbf{A}}{2}\right)\phi(x, z) = F^{-1}\left[\exp\left(-\frac{j\delta\gamma h}{2}\right)F\{\phi(x, z)\}\right] \quad (15)$$

$$\delta\gamma = \left[k^2 n_0^2 - (2\pi\rho)^2\right]^{1/2} - kn_0 \quad (16)$$

Для вычисления $\phi(x, z+h)$ нужно:

1. Выполнить вычисления по формуле:

$$\phi\left(x, z + \frac{h}{2}\right) = \exp\left(\frac{h\mathbf{A}}{2}\right)\phi(x, z) = F^{-1}\left[\exp\left(-\frac{j\delta\gamma h}{2}\right)F\{\phi(x, z)\}\right] \quad (15)$$

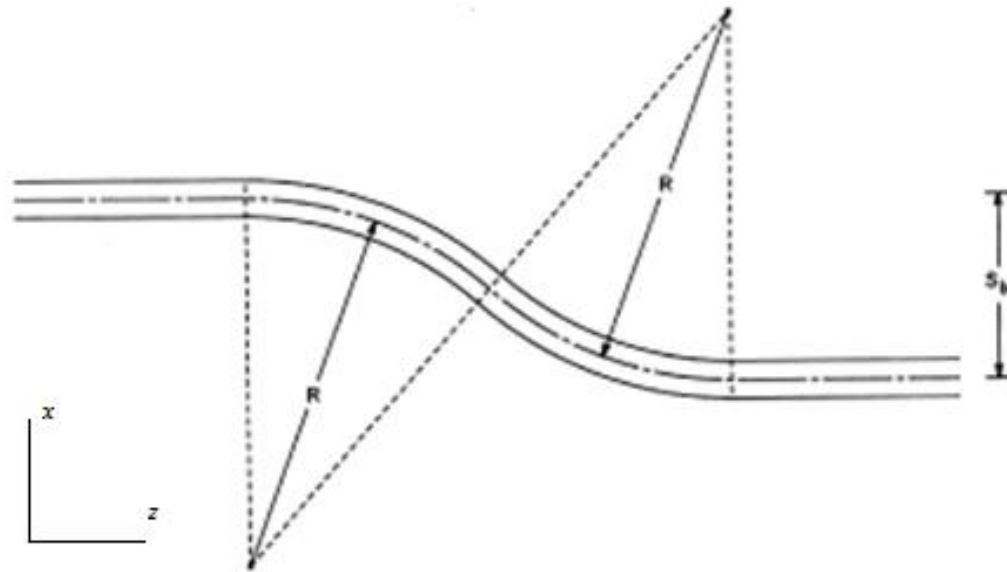
2. Умножить полученный результат на экспоненту, содержащую операторы **V**:

$$\bar{\phi}\left(x, z + \frac{h}{2}\right) = \exp\left\{\frac{h}{2}[\mathbf{V}(z) + \mathbf{V}(z+h)]\right\} \phi\left(x, z + \frac{h}{2}\right) \quad (17)$$

3. Выполнить вычисления по формуле (15),
в которой z заменяется на $z + h/2$,
а $z + h/2$ заменяется на $z + h$:

$$\phi(x, z + h) = \exp\left(\frac{h\mathbf{A}}{2}\right) \bar{\phi}\left(x, z + \frac{h}{2}\right) = F^{-1} \left[\exp\left(-\frac{j\delta\gamma h}{2}\right) F \left\{ \bar{\phi}\left(x, z + \frac{h}{2}\right) \right\} \right] \quad (18)$$

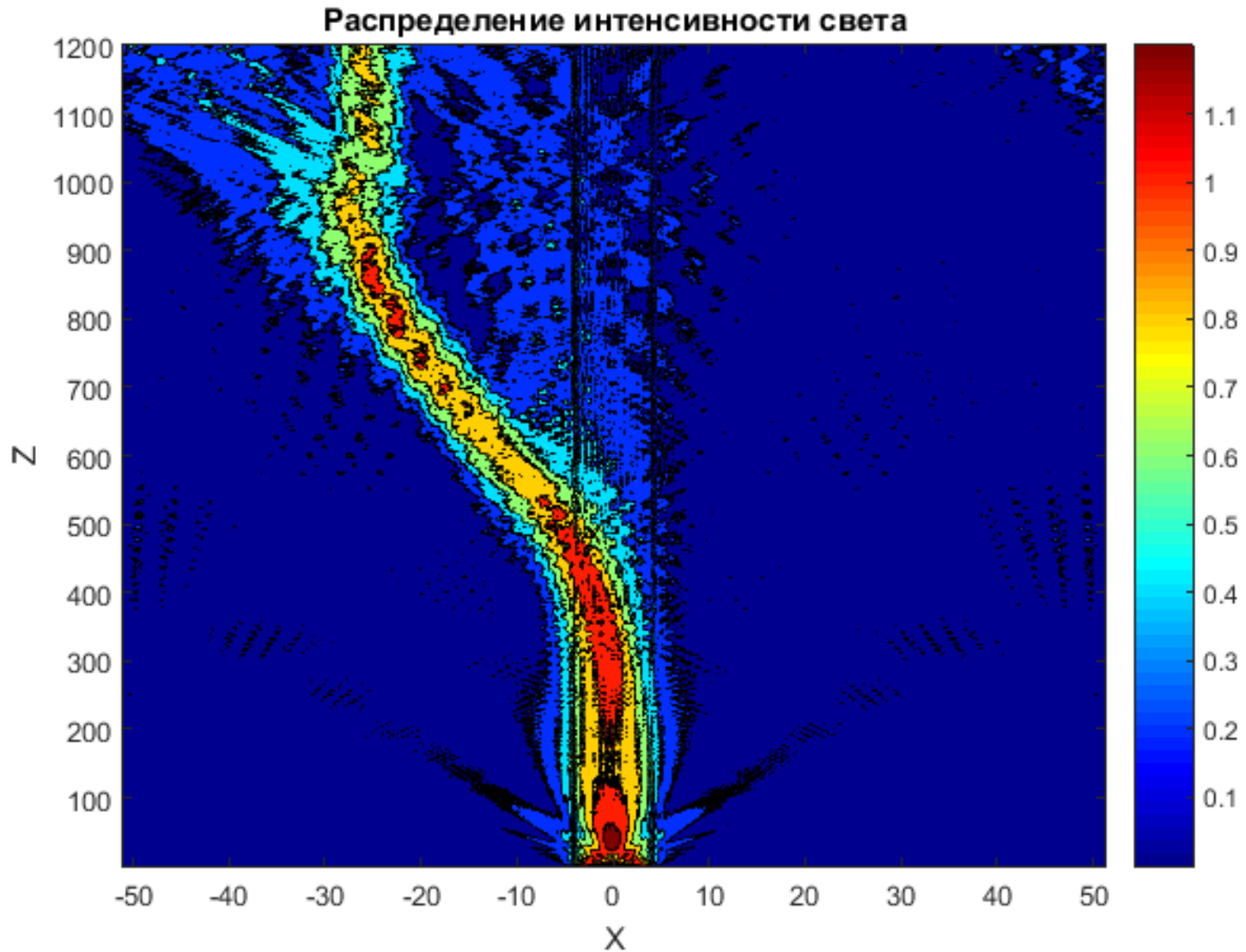
Оптический волновод с изгибом



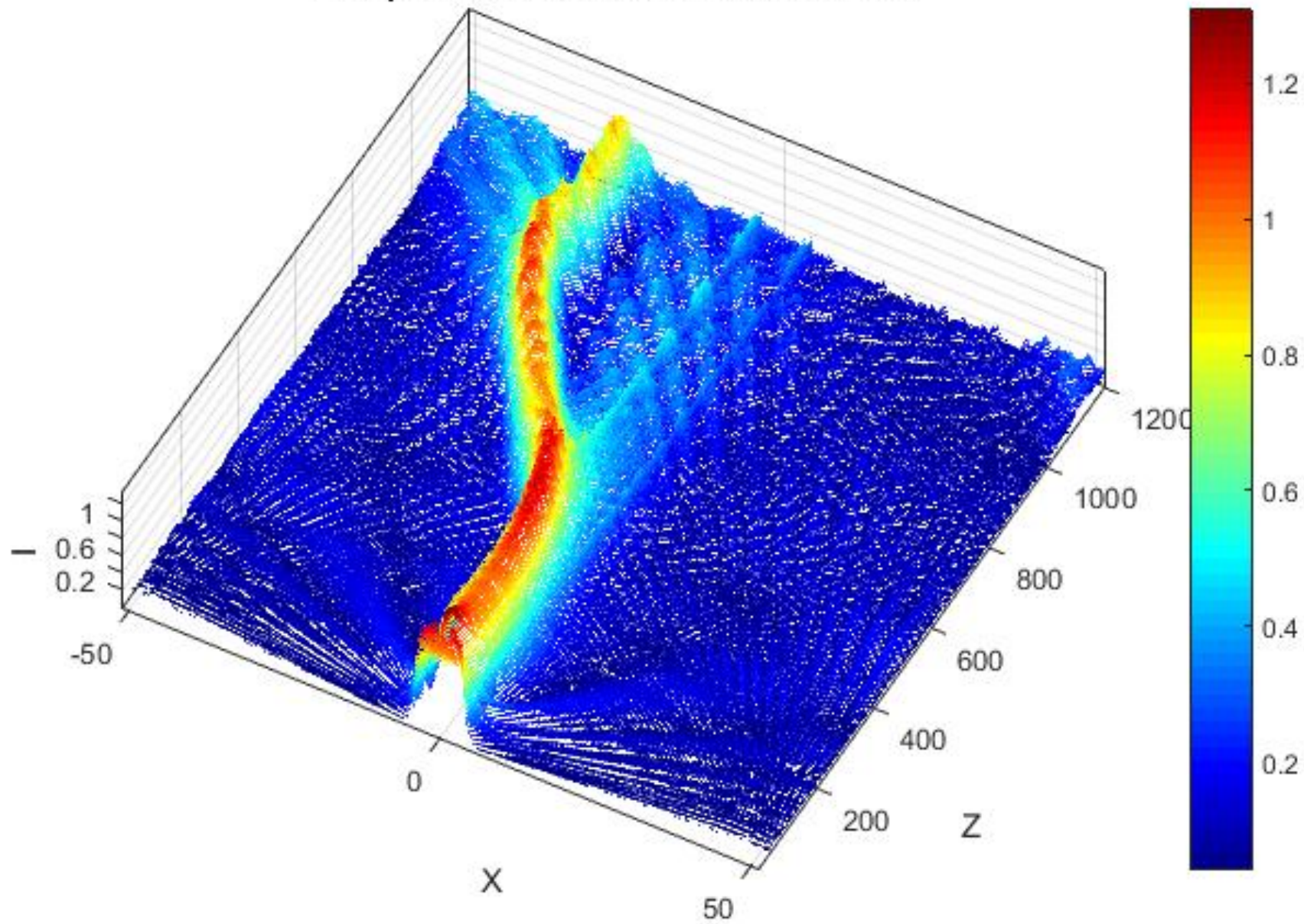
Для расчета использовались следующие значения:

- Радиус волновода $a = 8$ мкм;
- Координаты по оси x в мкм: $x \in (-51.2; 51.2)$;
- Координаты по оси z в мкм: $z \in (0; 1100)$;
- Радиус кривизны: $R = 10000$ мкм;
- $S_b = 25$ мкм;
- Показатель преломления среды, окружающей волноводный канал: $n_0 = 2.214$;
- Показатель преломления волновода: $n = 2.2206$;
- Шаг по оси z : $h = 0.2$ мкм;
- Шаг по оси x : $\Delta x = 0.2$ мкм.

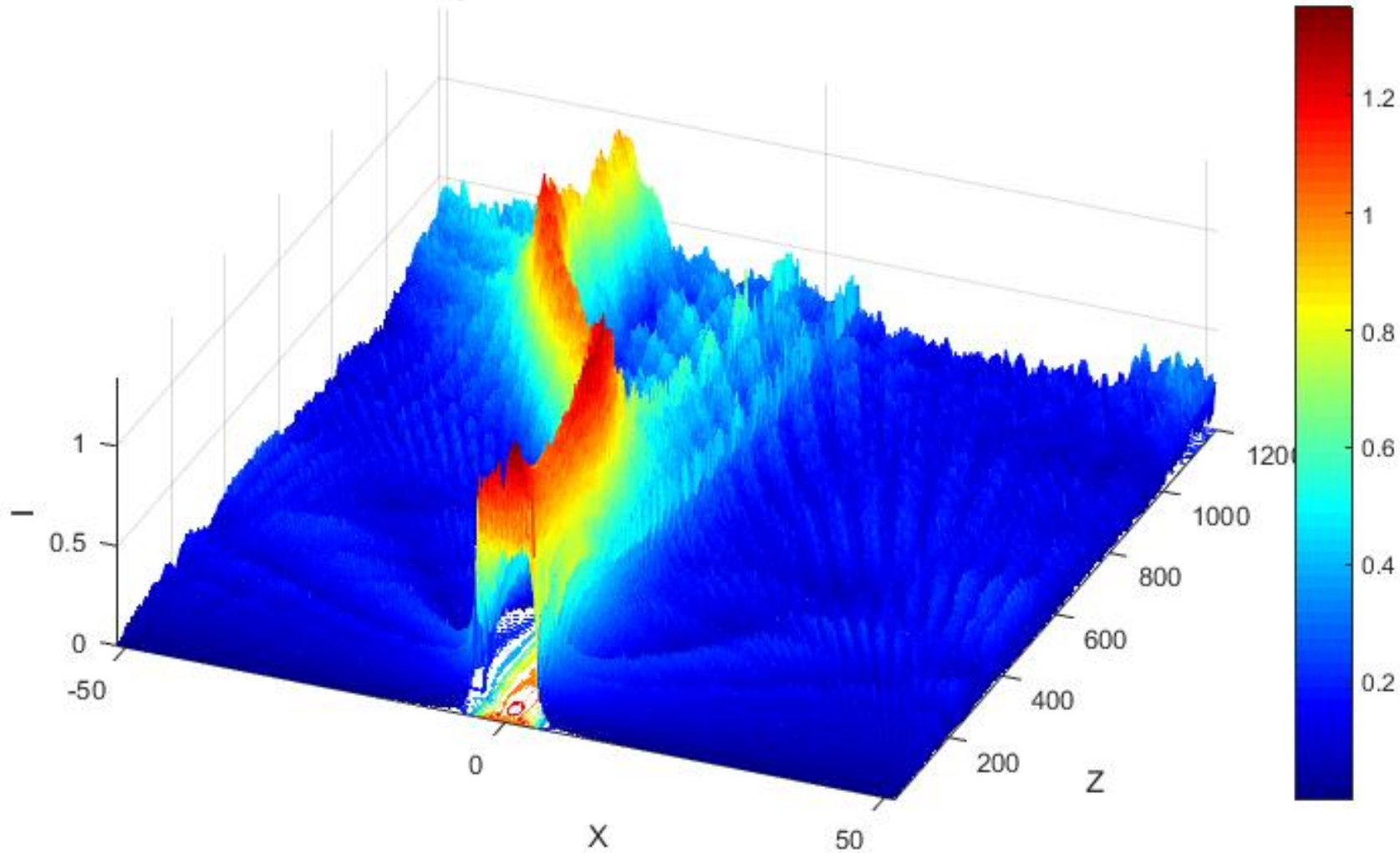
Результаты расчета



Распределение интенсивности света



Распределение интенсивности света



Результаты расчета

$$V = 22571$$

$$V_B = 10539$$

$$V / V_B = 2.1417$$

$$V / V_B = 3.3 \text{ дБ}$$

Заключение

- В ходе выполнения работы изучен метод распространения луча. Написана программа в среде Matlab, с помощью которой рассчитана интенсивность световой волны, распространяющейся в волноводе с изгибом.
- Вычислены потери энергии волны при распространении ее в волноводе вследствие выхода волны за пределы волноводного канала.

Список литературы

- **Katsunari Okamoto**, Fundamentals of Optical Waveguides/ Katsunari Okamoto,; 2006. – 561 с.
- **Унгер Х.-Г.**, Планарные и волоконные оптические волноводы/ Унгер Х.-Г.; Oxford University Press, 1977. – 656 с.
- **Дмитриев С.А., Слепов Н.Н.**, Волоконно-оптическая техника: история, достижения, перспективы: сборник статей под ред. Дмитриева С.А., Слепова Н.Н. – М.: Изд.-во «Connect», 2000. – 376 с.
- **Гауэр, Дж.**, Оптические системы связи / Дж. Гауэр. – М.: Радио и связь, 1989. –504 с.
- **Hutcheson, L. D., I. A. White, and J. J. Burke**, Comparison of bending losses in integrated optical circuits.; Opt. Lett. 5: 1980, 276–278.
- **Neumann, E. G., and R. Nat**, Curved dielectric optical waveguides with reduced transition loss.; IEE Proc., Pt. H 129: 1982, 278–280.