

**Омский государственный университет им. Ф.М.
Достоевского**

КАФЕДРА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ И РАДИОФИЗИКИ

**ПРИБЛИЖЁННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЁТОВ
ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВОЛНОВОДОВ**

Выполнил студент группы ФРМ-302-О_07
Андреев В.В.

Научный руководитель к.ф.-м.н., доцент
Болецкая Т.К.

г. Омск - 2013

Приближённые методы расчётов

- Метод сведения прямоугольного волновода к двум планарным волноводам;
- Метод эффективного показателя преломления.

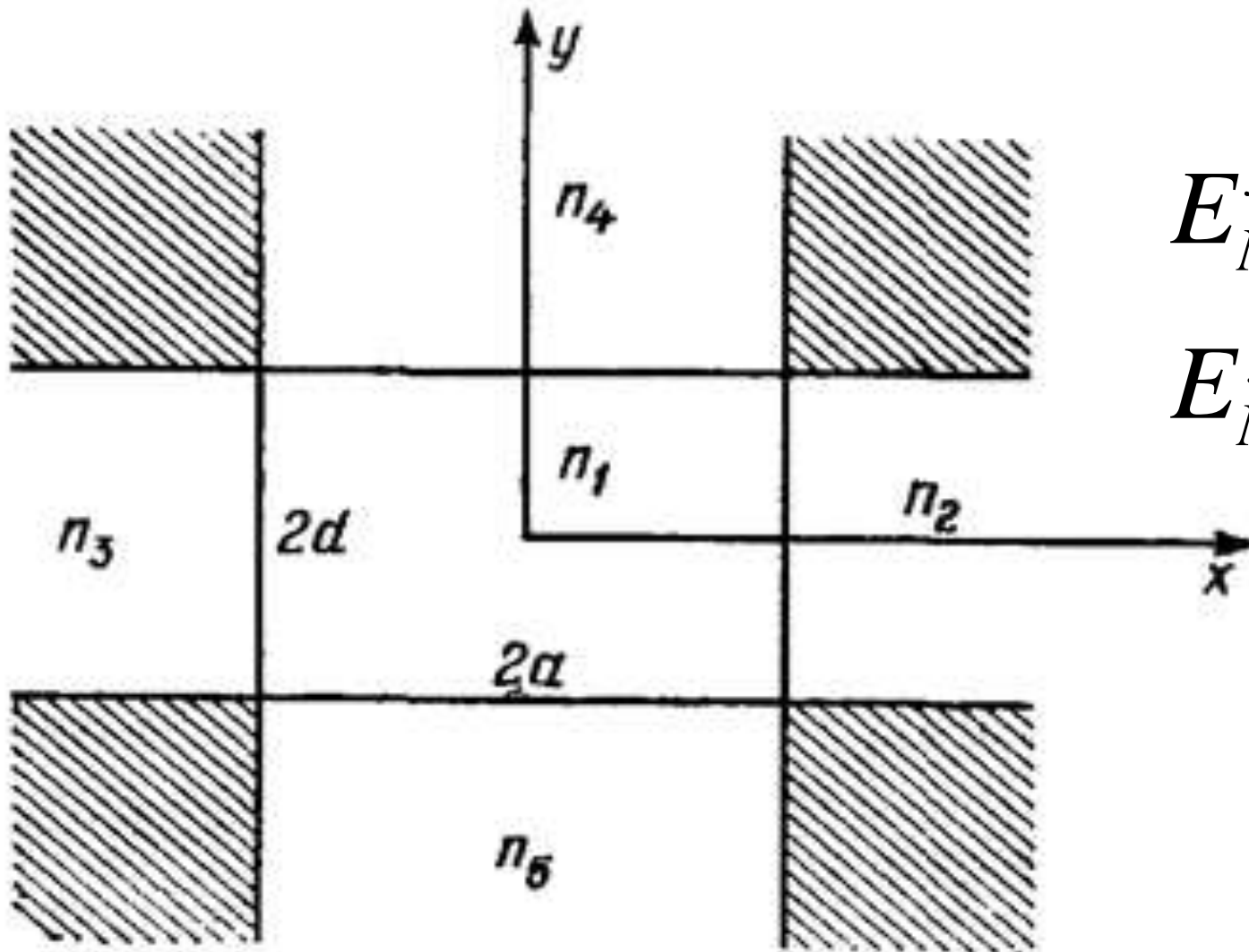
Цели

- Вычислить постоянные распространения волн, распространяющихся в прямоугольном диэлектрическом волноводе приближёнными методами.
- Сравнить полученные результаты с результатами метода Гоэлла.

Задачи

- Изучить приближённые методы расчёта прямоугольных диэлектрических волноводов;
- Написать программы, реализующие эти методы.

Прямоугольный внедрённый волновод



E_{NM}^x -МОДЫ

E_{NM}^y -МОДЫ

Будем искать решения системы уравнений Максвелла в виде:

$$\vec{E} = \vec{E}_0(x, y)e^{-i(\omega t - \beta z)}; \quad (1)$$

$$\vec{H} = \vec{H}_0(x, y)e^{-i(\omega t - \beta z)}; \quad (2)$$

Волновое уравнение в области 1

$$\frac{\partial^2 E_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E_z}{\partial y^2} + h_1^2 E_z = 0, \quad (3)$$

$$h_1^2 = \frac{\omega^2}{c^2} n_1^2 - \beta^2 = k^2 n_1^2 - \beta^2,$$

k – волновое число для вакуума.

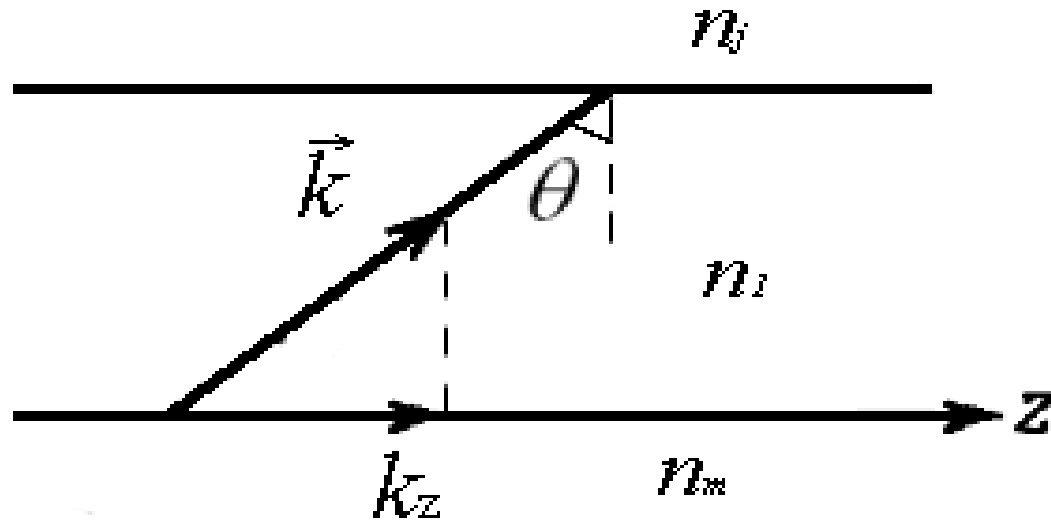
E_z и H_z в области 1

$$E_z = A \cos(k_x (x + \xi)) \cos(k_y (y + \eta)), \quad (4)$$

$$H_x = 0,$$

$$H_z = -\frac{\omega \varepsilon_0 n_1^2 k_y A}{k_x \beta} \sin(k_x (x + \xi)) \sin(k_y (y + \eta)). \quad (5)$$

Лучевое рассмотрение слабонаправляемых мод



$$\sin \theta_{np} = \frac{n_j}{n_1} \approx 1 \quad \rightarrow \quad \theta_{np} \approx 90^\circ; \quad \theta \approx 90^\circ;$$

$$\beta = k_z = kn_1 \sin \theta; \quad \beta \approx kn_1.$$

E_x и E_y в области 1

$$E_x = -\frac{iA(\beta^2 + k_y^2)}{k_x\beta} \sin(k_x(x + \xi)) \cos(k_y(y + \eta)); \quad (6)$$

$$E_y = \frac{ik_y A}{\beta} \cos(k_x(x + \xi)) \sin(k_y(y + \eta)). \quad (7)$$

$$k_x / \beta \ll 1, \quad k_y / \beta \ll 1 \quad E_y \ll E_z \ll E_x. \quad (*)$$

Т.о. это E_{NM}^x -моды.

Волновое уравнение в области 2

$$\frac{\partial^2 E_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E_z}{\partial y^2} + h_2^2 E_z = 0, \quad (8)$$

$$h_2^2 = \frac{\omega^2}{c^2} n_2^2 - \beta^2 = k^2 n_2^2 - \beta^2.$$

В области 2

$$E_z = A \cos(k_x (a + \xi)) \sin(k_y (y + \eta)) e^{-\gamma_2(x-a)}, \quad (9)$$

$$H_x = 0,$$

$$H_z = \frac{\omega \varepsilon_0 n_2^2 A k_y}{\beta \gamma_2} \cos(k_x (a + \xi)) \sin(k_y (y + \eta)) e^{-\gamma_2(x-a)}, \quad (10)$$

$$\gamma_2^2 = k_y^2 - h_2^2.$$

В области 3

$$E_z = A \cos(k_x (\xi - a)) \sin(k_y (y + \eta)) e^{\gamma_3(x+a)}, \quad (11)$$

$$H_x = 0,$$

$$H_z = -\frac{\omega \varepsilon_0 n_3^2 A k_y}{\beta \gamma_3} \cos(k_x (\xi - a)) \sin(k_y (y + \eta)) e^{\gamma_3(x+a)}, \quad (12)$$

$$\gamma_3^2 = k_x^2 - h_3^2.$$

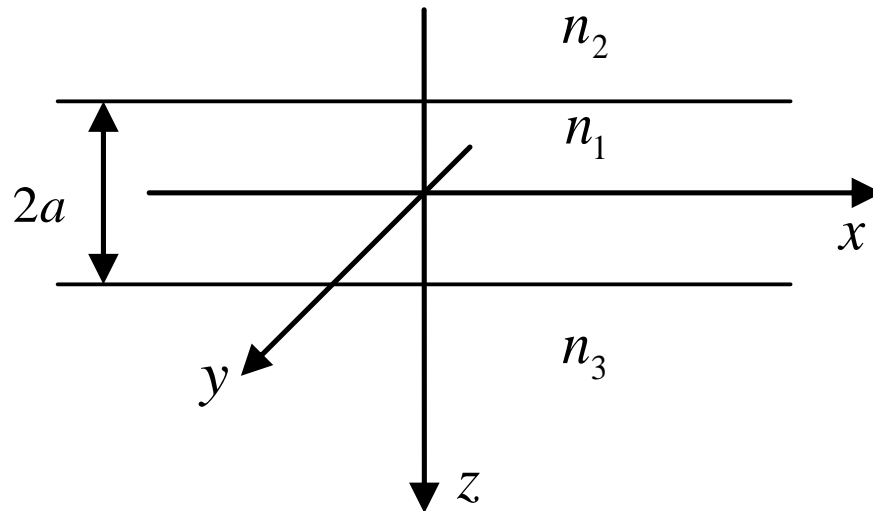
Из условия непрерывности продольных составляющих напряжённостей магнитного поля на границах областей 1 и 2, 1 и 3:

$$\sin(k_x(a + \xi)) = -\frac{n_2^2 k_x}{n_1^2 \gamma_2} \cos(k_x(a + \xi)), \quad (13)$$

$$\sin(k_x(\xi - a)) = \frac{n_3^2 k_x}{n_1^2 \gamma_3} \cos(k_x(\xi - a)). \quad (14)$$

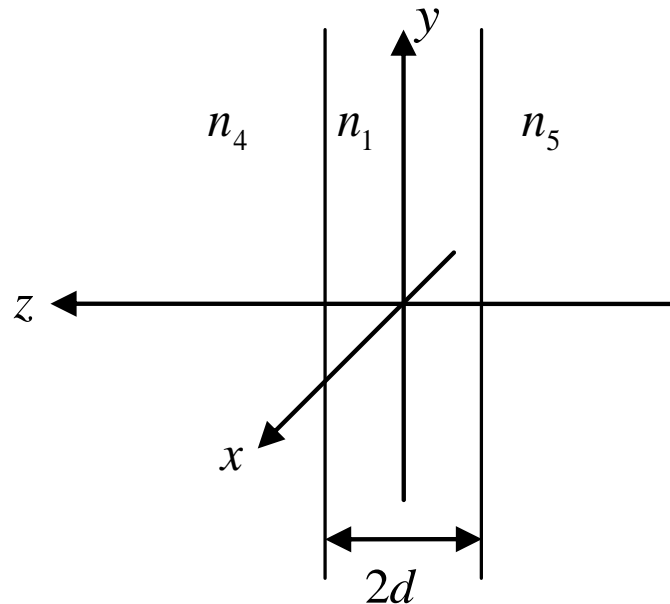
Первое дисперсионное уравнение

$$\operatorname{tg} 2k_x a = \frac{n_1^2 k_x (n_3^2 \gamma_2 + n_2^2 \gamma_3)}{n_2^2 n_3^2 k_x^2 - n_1^4 \gamma_2 \gamma_3}. \quad (15)$$



Второе дисперсионное уравнение

$$\operatorname{tg} 2k_y d = \frac{(\gamma_4 + \gamma_5) k_y}{k_y^2 - \gamma_4 \gamma_5}. \quad (16)$$



Вычисление постоянных распространения

$$\beta = \sqrt{k^2 n_1^2 - k_x^2 - k_y^2}.$$

Метод эффективного показателя преломления

$$n_{eff} = \sqrt{n_1^2 - \left(\frac{k_x}{k}\right)^2}, \quad (17)$$

$$\beta = \sqrt{k^2 n_{eff}^2 - k_y^2}. \quad (18)$$

Выполнение расчётов

$$\mathbf{B} = \frac{kd}{\pi} \sqrt{\frac{n_1^2}{n_2^2} - 1}, \quad (19)$$

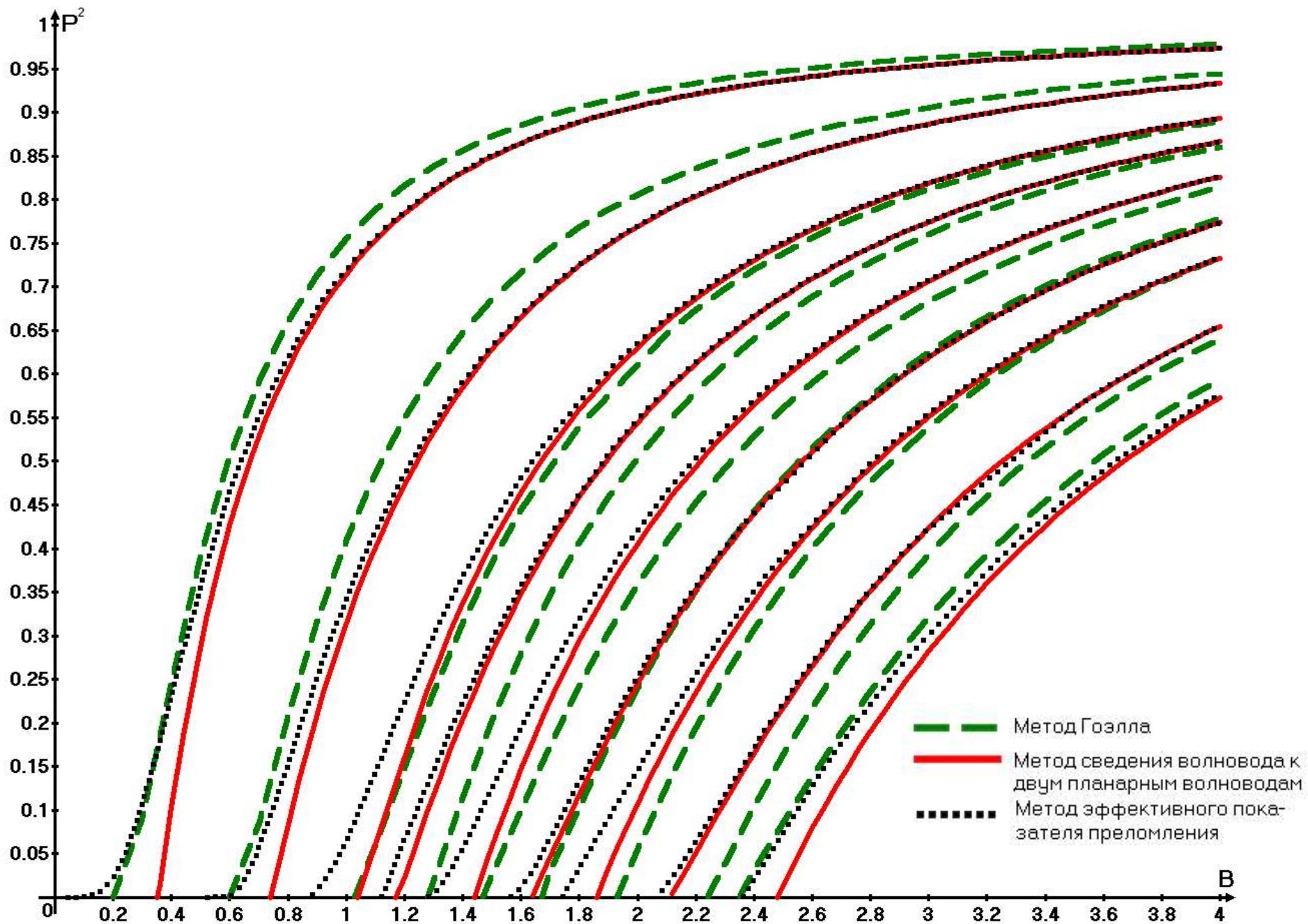
$$\mathbf{P}^2 = 1 - \frac{(k_x^2 + k_y^2) d^2}{\pi^2 \mathbf{B}^2}. \quad (20)$$

Характеристики волновода

$$n_1 = 2.234;$$

$$n_2 = n_3 = n_4 = n_5 = 2.214;$$

$$2a = 2d = 5 \text{ мкм.}$$



Заключение

- При выполнении работы были изучены приближённые методы расчёта прямоугольных диэлектрических волноводов: метод сведения прямоугольного волновода к двум планарным и метод эффективного показателя преломления.
- С помощью приближённых методов вычислены постоянные распространения.
- Выполнено сравнение с результатами, полученными методом Гоэлла.

Список использованной литературы

- **Унгер, Х.** Планарные и волоконные оптические волноводы / Унгер Х.; Перевод с англ. В.В. Шевченко – М.: Мир, 1980. – 640 с.
- **Адамс, М.** Введение в теорию оптических волноводов / Адамс М.; Перевод с англ. С.Г. Кривошлыкова – М.: Мир, 1984. – 513 с.
- **Лазарев, Ю. М.** Моделирование процессов и систем в Matlab / Ю. М. Лазарев. – СПб.: Питер, 2005. – 512 с.
- **Андреев, В. В.** Расчёт электромагнитных полей в прямоугольных диэлектрических волноводах. Выпускная квалификационная работа на степень бакалавра. / В.В. Андреев. – Омск, 2013. – 34 с.

Спасибо за внимание!