

Направляемые моды круглых оптических волноводов

выполнил

студент группы ФРМ-502-О-07

Горячкин М.Ю.

Научный руководитель:

к.ф.-м.н., доцент кафедры ЭФР Болецкая Т.К.

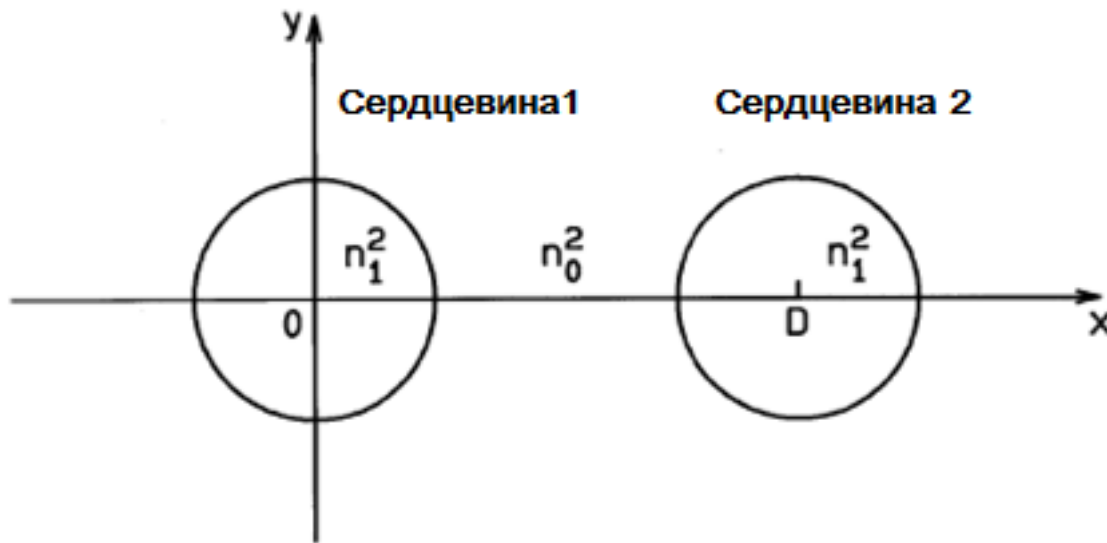
Преимущества волоконно-оптических систем связи:

- 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

Целью работы было изучить теорию
связанных волноводов.

Для достижения этой цели были
решены следующие задачи:

- Изучен вывод уравнений, из которых находится коэффициент взаимодействия.
- Выполнен расчет коэффициента взаимодействия для TE-мод и основной моды HE_{11} .



Поперечное сечение сердцевин оптических волокон, расположенных на расстоянии D друг от друга.

$$n_1 > n_0$$

$$\tilde{\mathbf{E}}_p \quad \tilde{\mathbf{H}}_p$$

$$\begin{cases} \tilde{\mathbf{E}} = A(z)\tilde{\mathbf{E}}_1 + B(z)\tilde{\mathbf{E}}_2 \\ \tilde{\mathbf{H}} = A(z)\tilde{\mathbf{H}}_1 + B(z)\tilde{\mathbf{H}}_2. \end{cases}$$

$$\begin{cases} \tilde{\mathbf{E}}_p = \mathbf{E}_p \exp(-j\beta_p z) \\ \tilde{\mathbf{H}}_p = \mathbf{H}_p \exp(-j\beta_p z). \end{cases} \quad (p = 1, 2)$$

где β_1 и β_2 – постоянные распространения волн в первом и втором волноводах.

Система уравнений для $A(z)$ и $B(z)$

$$\frac{dA}{dz} + c_{12} \frac{dB}{dz} \exp[-j(\beta_2 - \beta_1)z] + j\chi_1 A + j\kappa_{12} B \exp[-j(\beta_2 - \beta_1)z] = 0,$$

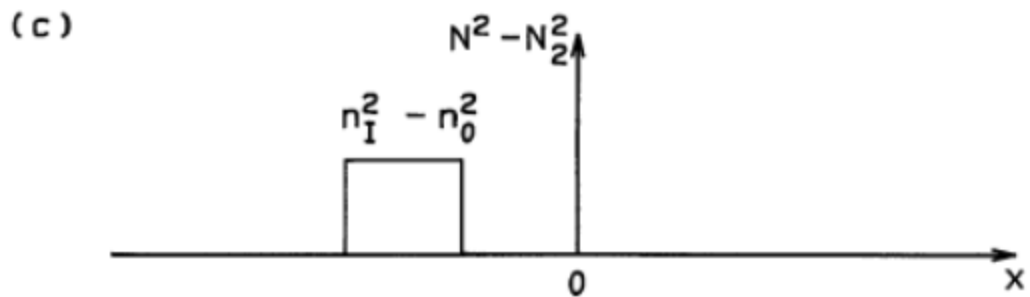
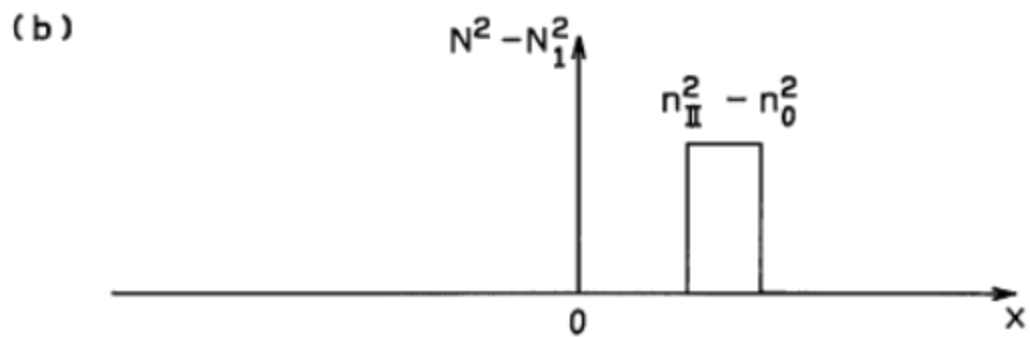
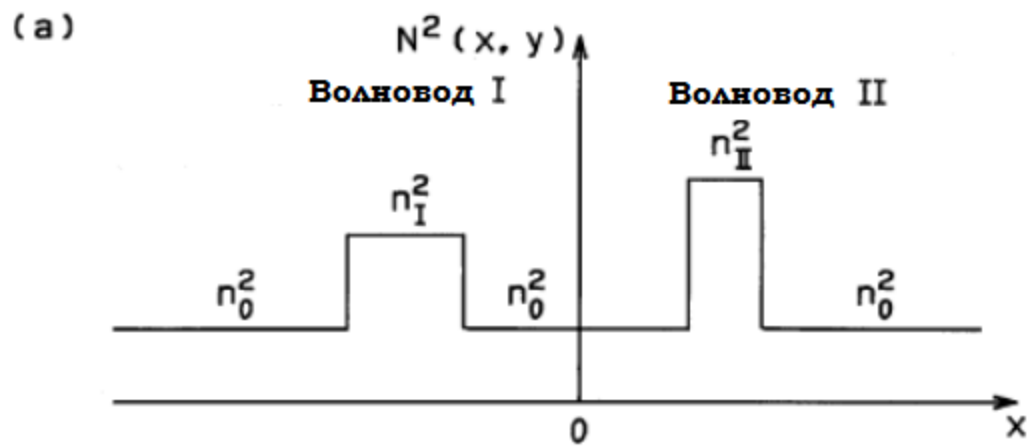
$$\frac{dB}{dz} + c_{21} \frac{dA}{dz} \exp[j(\beta_2 - \beta_1)z] + j\chi_2 B + j\kappa_{21} A \exp[+j(\beta_2 - \beta_1)z] = 0.$$

Коэффициенты

$$K_{pq} = \frac{\omega \varepsilon_0 \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (N^2 - N_q^2) \mathbf{E}_p^* \cdot \mathbf{E}_q dx dy}{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \mathbf{u}_z \cdot (\mathbf{E}_p^* \times \mathbf{H}_p + \mathbf{E}_p \times \mathbf{H}_p^*) dx dy},$$

$$C_{pq} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \mathbf{u}_z \cdot (\mathbf{E}_p^* \times \mathbf{H}_q + \mathbf{E}_q \times \mathbf{H}_p^*) dx dy}{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \mathbf{u}_z \cdot (\mathbf{E}_p^* \times \mathbf{H}_p + \mathbf{E}_p \times \mathbf{H}_p^*) dx dy},$$

$$\chi_p = \frac{\omega \varepsilon_0 \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (N^2 - N_p^2) \mathbf{E}_p^* \cdot \mathbf{E}_p dx dy}{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \mathbf{u}_z \cdot (\mathbf{E}_p^* \times \mathbf{H}_p + \mathbf{E}_p \times \mathbf{H}_p^*) dx dy}.$$



$$\frac{dA}{dz} + j\kappa_{12}B \exp[-j(\beta_2 - \beta_1)z] = 0,$$

$$\frac{dB}{dz} + j\kappa_{21}A \exp[+j(\beta_2 - \beta_1)z] = 0,$$

$$\mathbf{K} = \mathbf{K}_{21} = \mathbf{K}_{12} = \frac{\omega \varepsilon_0 \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (N^2 - N_2^2) \mathbf{E}_1^* \cdot \mathbf{E}_2 dx dy}{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \mathbf{u}_z \cdot (\mathbf{E}_1^* \times \mathbf{H}_2 + \mathbf{E}_1 \times \mathbf{H}_2^*) dx dy},$$

$$\beta_1 > 0, \beta_2 > 0$$

$$A(z) = \left[a_1 e^{jqz} + a_2 e^{-jqz} \right] \exp(-j\delta z),$$

$$B(z) = \left[b_1 e^{jqz} + b_2 e^{-jqz} \right] \exp(j\delta z),$$

$$a_1 + a_2 = A(0),$$

$$b_1 + b_2 = B(0).$$

$$A(z) = \left\{ \left[\cos(qz) + j \frac{\delta}{q} \sin(qz) \right] A(0) - j \frac{\kappa}{q} \sin(qz) B(0) \right\} \exp(-j\delta z),$$

$$B(z) = \left\{ -j \frac{\kappa}{q} \sin(qz) A(0) + \left[\cos(qz) - j \frac{\delta}{q} \sin(qz) \right] B(0) \right\} \exp(j\delta z).$$

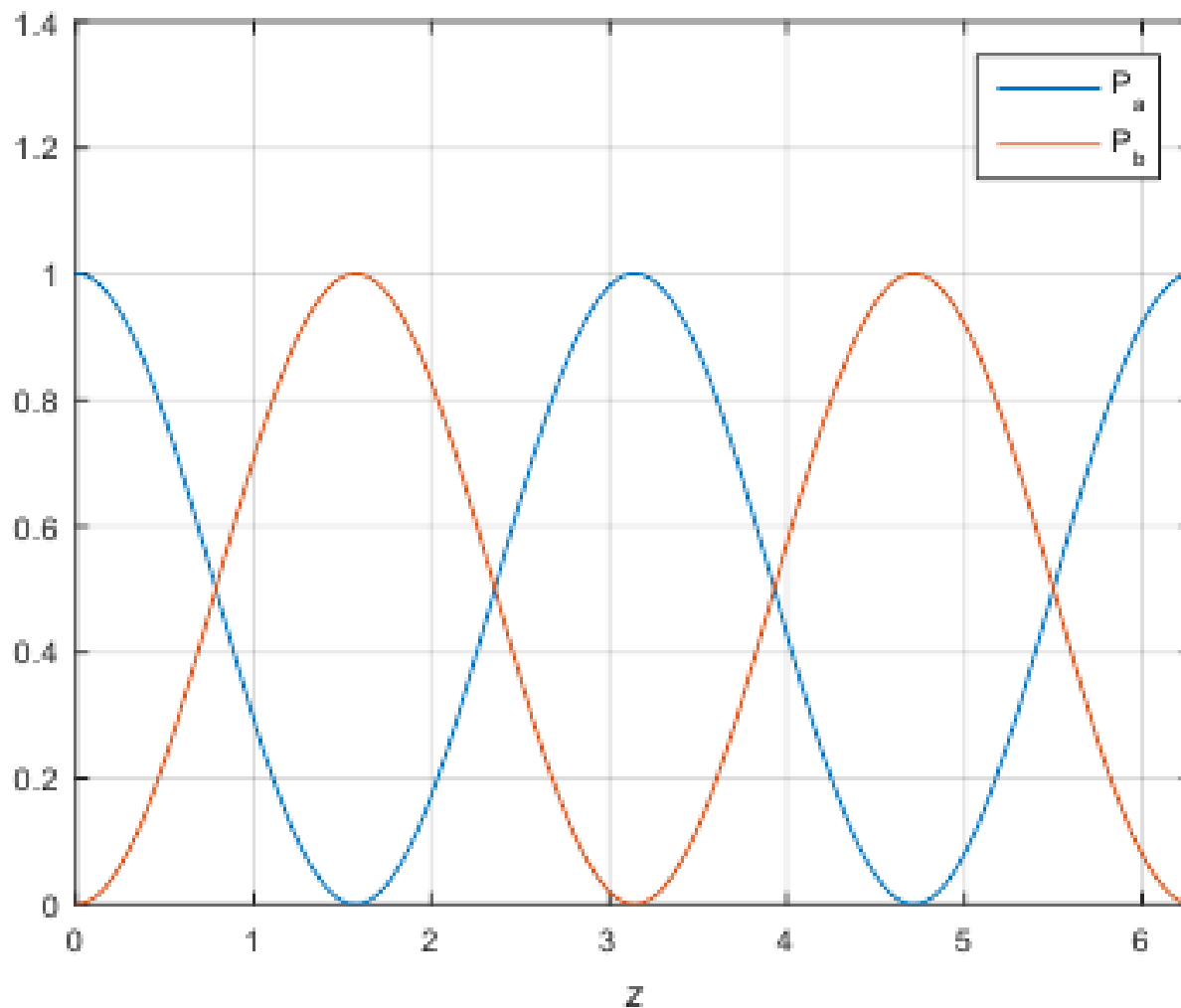
$$q = \sqrt{\kappa^2 + \delta^2}.$$

$$P_a(z) = \frac{|A(z)|^2}{|A_0|^2} = 1 - F \sin^2(qz),$$

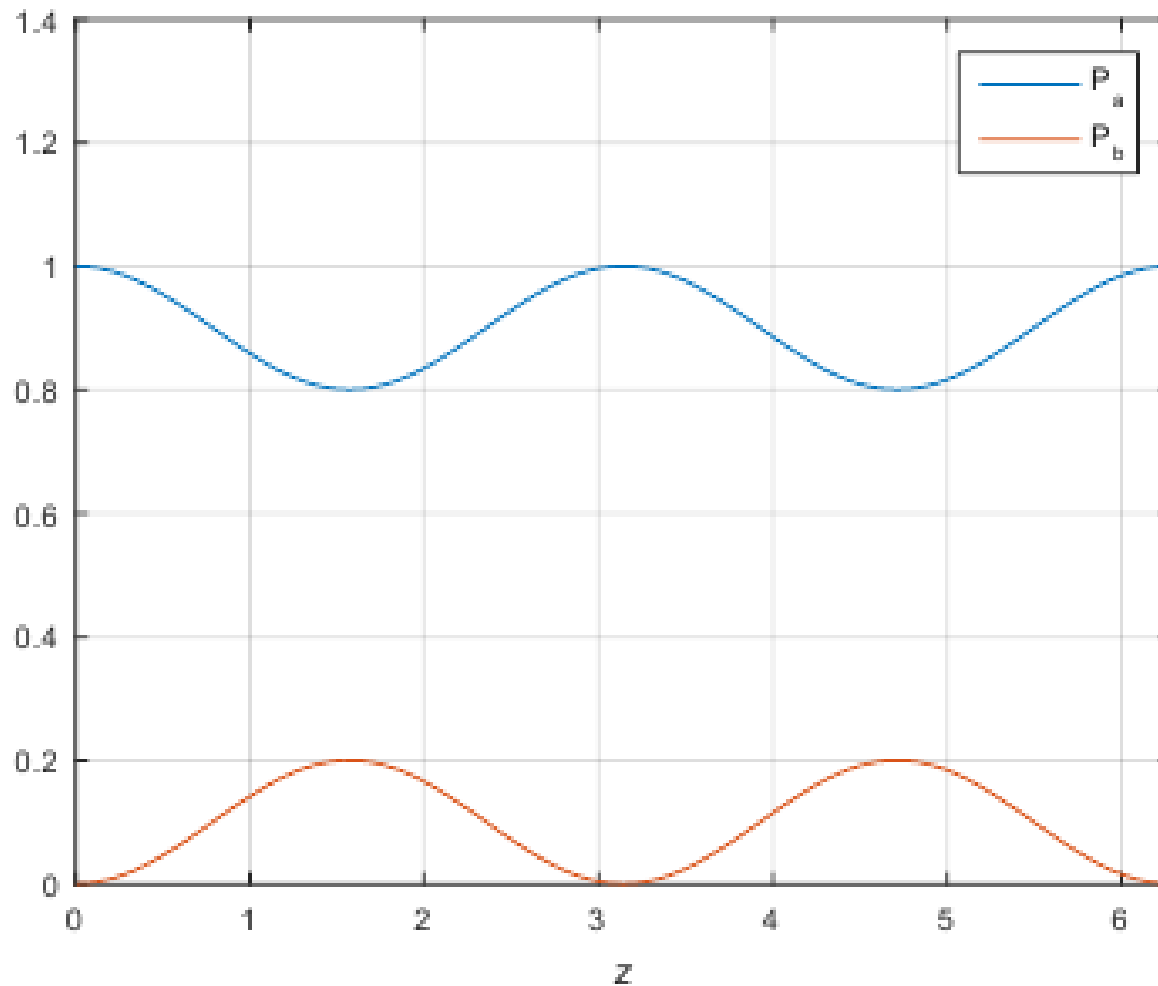
$$P_b(z) = \frac{|B(z)|^2}{|A_0|^2} = F \sin^2(qz).$$

$$F = \left(\frac{\kappa}{q} \right)^2 = \frac{1}{1 + (\delta / \kappa)^2}.$$

Зависимость мощности от нормированной длины



Зависимость мощности от нормированной длины



$$z = \frac{\pi}{2q} (2m+1) \quad (m = 0, 1, 2, \dots).$$

$$L_c = \frac{\pi}{2q} = \frac{\pi}{2\sqrt{\kappa^2 + \delta^2}}.$$

$$L_c = \frac{\pi}{2\kappa}$$

$$E_x = j\omega\mu_0 \frac{a}{u} AJ_1 \left(\frac{u}{a} r \right) \sin \theta,$$

$$E_y = -j\omega\mu_0 \frac{a}{u} AJ_1 \left(\frac{u}{a} r \right) \cos \theta,$$

$$E_x = -j\omega\mu_0 \frac{a}{w} AK_1 \left(\frac{w}{a} r \right) \sin \theta,$$

$$E_y = j\omega\mu_0 \frac{a}{w} AJ_1 \left(\frac{w}{a} r \right) \cos \theta.$$

$$u = a\sqrt{k^2 n_1^2 - \beta^2}$$

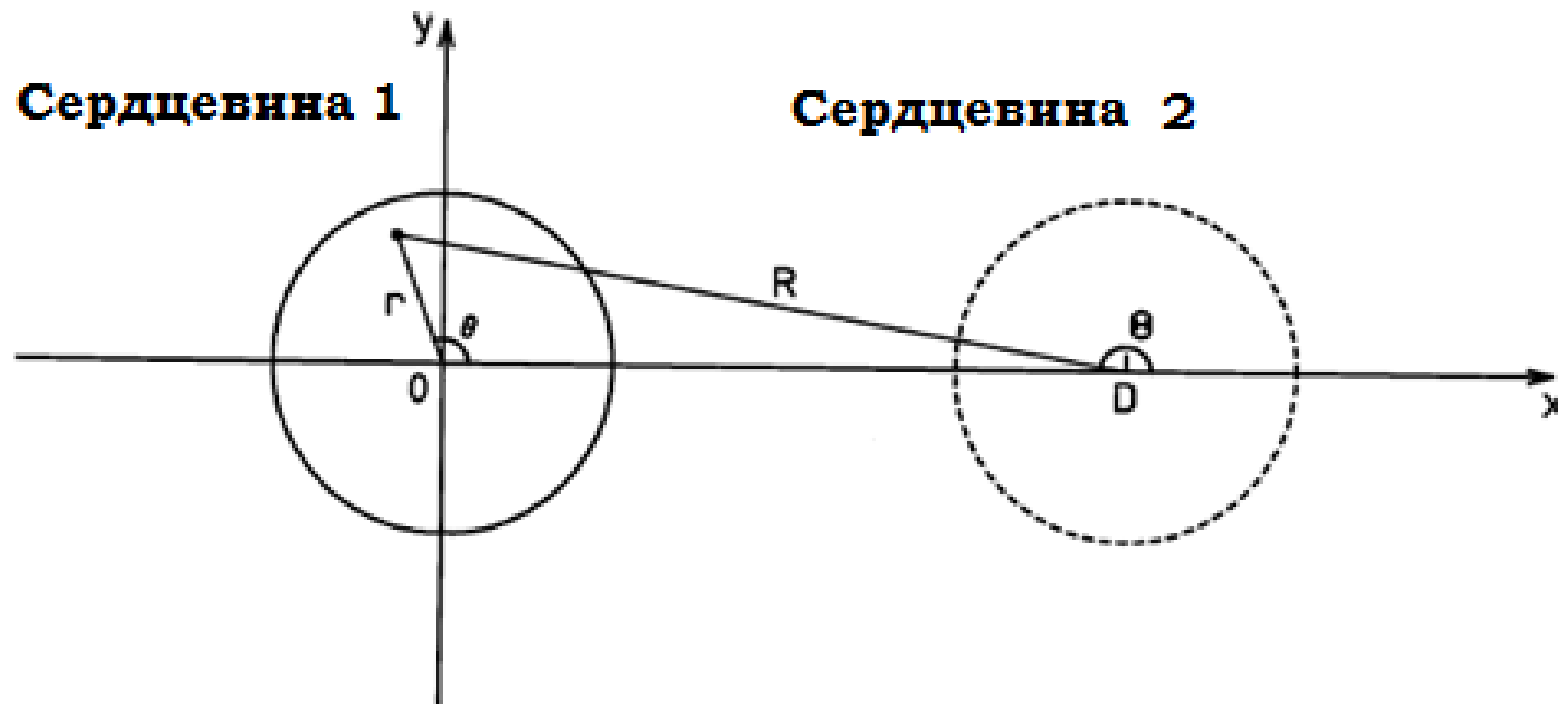
$$w = a\sqrt{\beta^2 - k^2 n_0^2}$$

$$P = \pi \omega \mu_0 \beta |A|^2 \frac{a^4 v^2}{2u^4} J_1^2(u) \frac{K_0(w) K_2(w)}{K_1^2(w)}.$$

$$v = ka \sqrt{n_1^2 - n_0^2}$$

Сердцевина 1

Сердцевина 2



$$\mathbf{E}_1^* \cdot \mathbf{E}_2 = -\omega^2 \mu_0^2 \frac{a^2}{uw} |A|^2 \frac{J_0(u)}{K_0(w)} J_1\left(\frac{u}{a} r\right) K_1\left(\frac{w}{a} R\right) \cos \theta$$

$$R = D - r \cos \theta$$

$$K_m(x) \cong \sqrt{\frac{\pi}{2x}} e^{-x}$$

$$I_m(x) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} e^{x \cos \theta} \cos m\theta d\theta$$

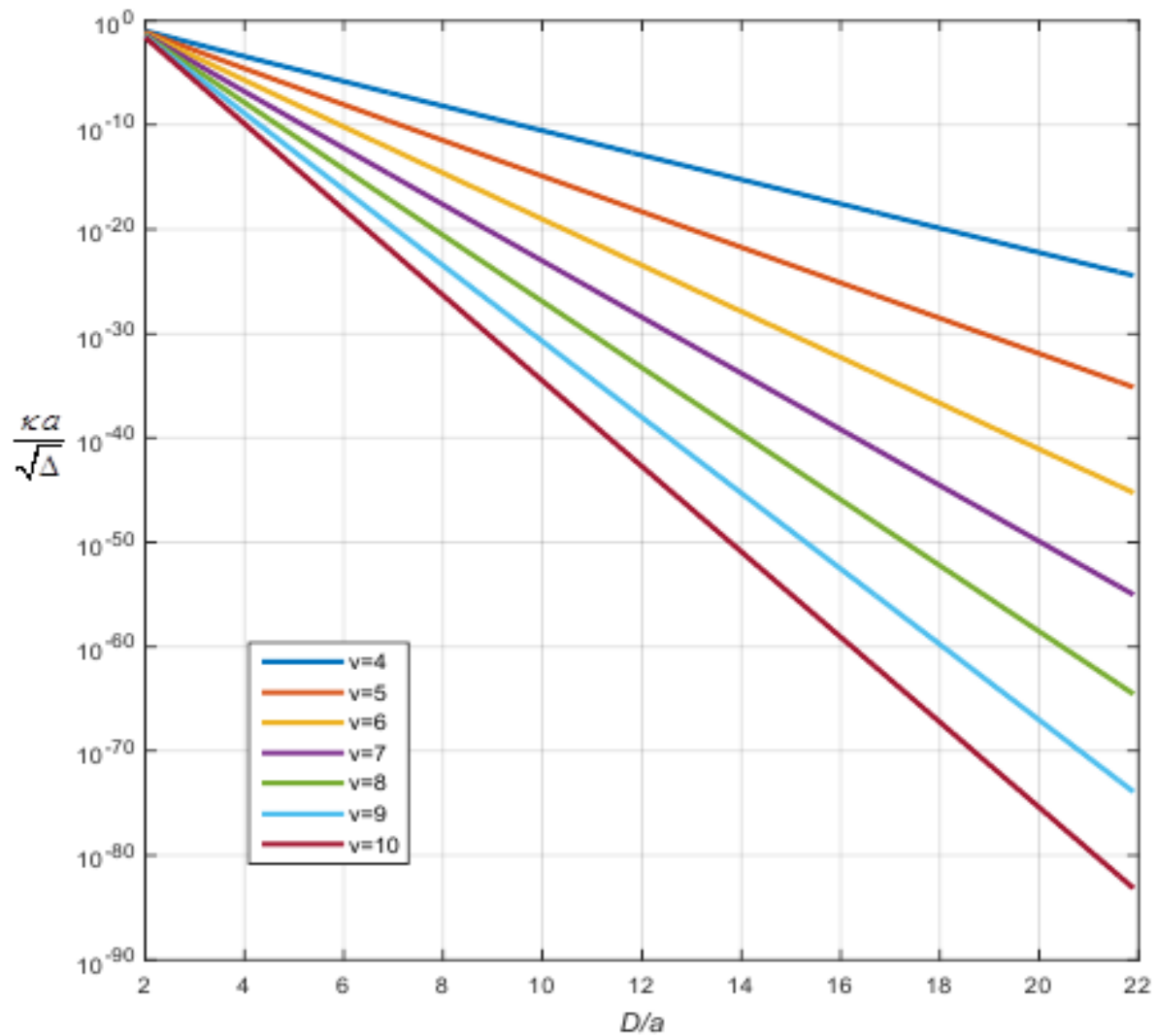
$$I_m(x) = e^{-jm\pi/2} J_m(jx)$$

$$\int_0^l J_m(\alpha t) J_m(\beta t) t dt = \frac{l [\alpha J'_m(\alpha l) J_m(\beta l) - \beta J_m(\alpha l) J'_m(\beta l)]}{\beta^2 - \alpha^2}.$$

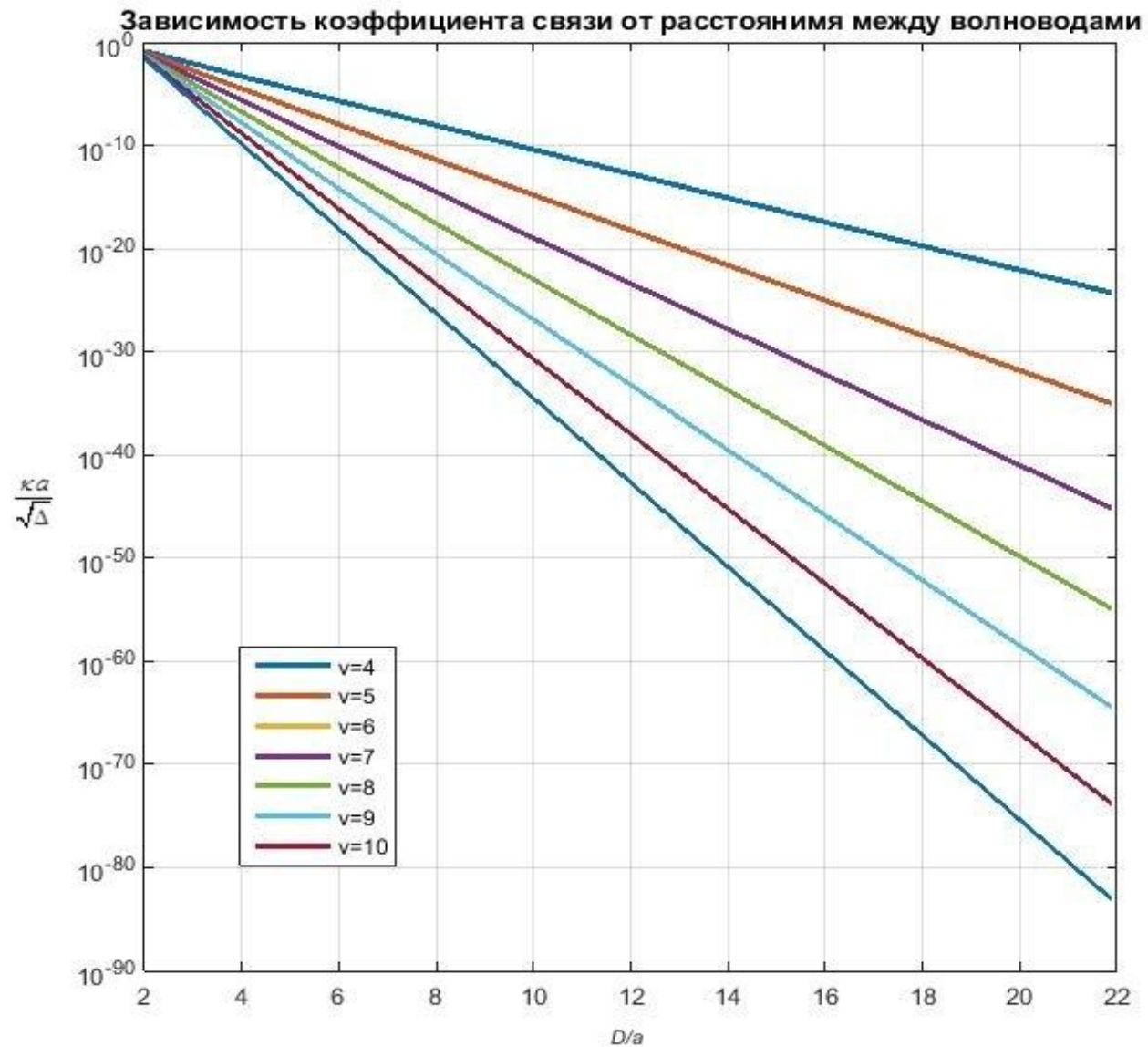
$$K = - \frac{u^3 \sqrt{\Delta} K_1(w) J_0(u)}{awv^3 J_1(u) K_0^2(w) K_2(w)} \sqrt{\frac{\pi a}{wD}} e^{-\frac{w}{a}D}$$

TE-моды

Зависимость коэффициента связи от расстояния между волноводами



HE₁₁-МОДЫ



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы:

1. Изучена теория связанных волноводов.
2. Изучен вывод уравнений, из которых находится коэффициент взаимодействия волноводов.
3. Выполнены расчеты коэффициента взаимодействия для TE-мод и основной моды HE_{11} .