

**Анализ изменений характеристик  
диэлектрических волноводов, вызванных  
механическими напряжениями, методом  
конечных элементов**

**выполнена**

**студентом группы ФРМ-602-О-07**

**Шефер К. И.**

**Научный руководитель:**

**к.ф.-м.н., доцент кафедры ЭФР**

**Болецкая Т. К.**

## Цель работы:

- Исследование изменения характеристик диэлектрических волноводов вследствие механических напряжений

## Задачи:

- Изучить элементы теории упругости, необходимые для проведения анализа изменения характеристик диэлектрических волноводов, вызванных механическими напряжениями.
- Изучить метод конечных элементов в применении к расчету механических напряжений.
- Написать программу в среде Matlab для расчета механических напряжений

# Виды полосковых волноводов

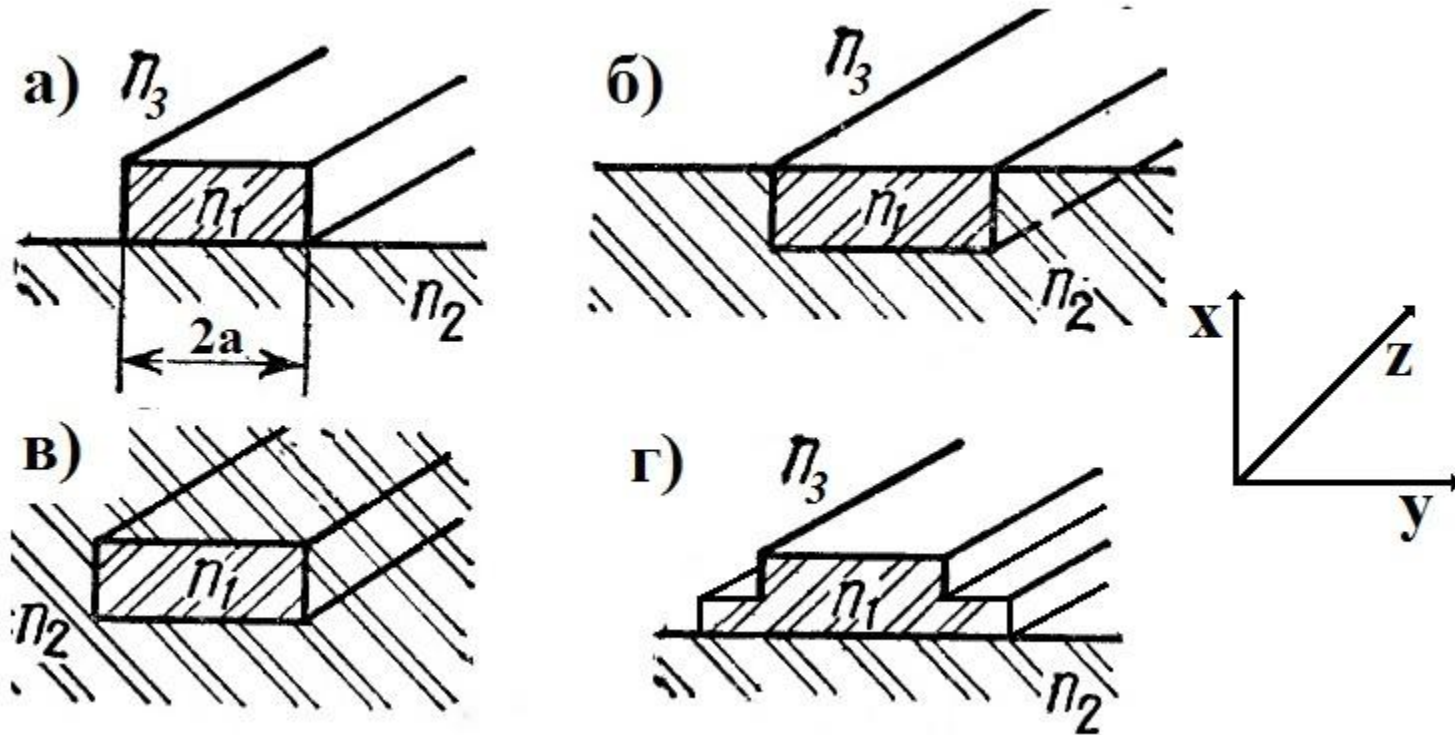


Рис. 1 Основные виды полосковых волноводов:

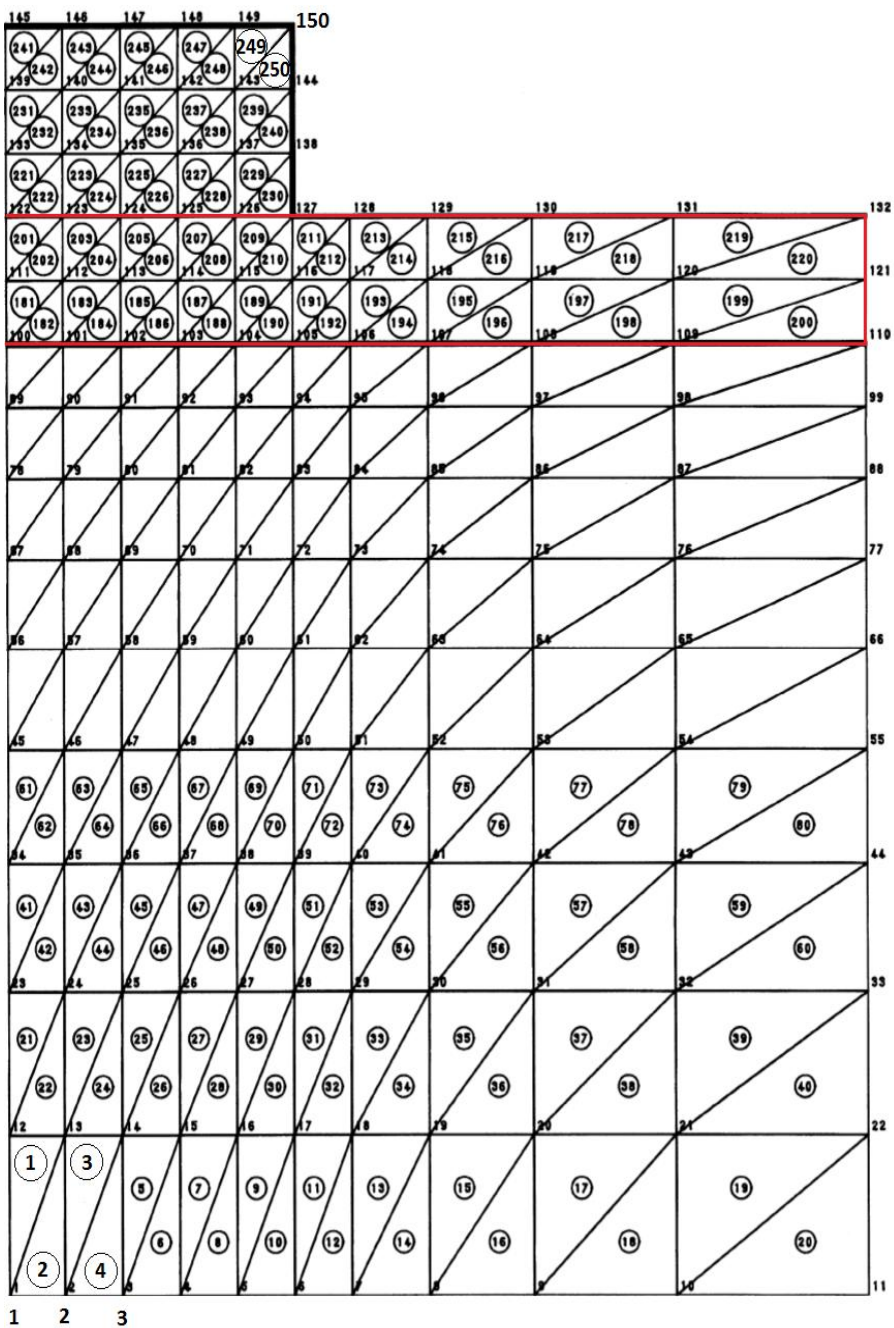
- а) приподнятый волновод, б) погруженный волновод,  
в) утопленный волновод, г) гребенчатый волновод.

$$\begin{cases} \varepsilon_z = 0 \\ \varepsilon_{xz} = 0 \\ \varepsilon_{yz} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \sigma_z = 0 \\ \sigma_{xz} = 0 \\ \sigma_{yz} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \frac{E}{(1-\nu^2)} [\varepsilon_x + \nu\varepsilon_y] - \frac{\alpha E \Delta T}{(1-\nu)}, \\ \sigma_y &= \frac{E}{(1-\nu^2)} [\nu\varepsilon_x + \varepsilon_y] - \frac{\alpha E \Delta T}{(1-\nu)}, \\ \sigma_{xy} &= \frac{E}{2(1+\nu)} \varepsilon_{xy}. \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{\partial u}{\partial x}, \\ \varepsilon_y &= \frac{\partial w}{\partial y}, \\ \varepsilon_{xy} &= \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}, \end{aligned} \quad (4)$$



$N=250$  – треугольников

$m=150$  – узлов

Рис. 2 Разбиение сечения волновода на элементы.

$$\begin{cases} u(x, y) = p_0^e + p_1^e x + p_2^e y \\ w(x, y) = q_0^e + q_1^e x + q_2^e y \end{cases} \quad (5)$$

$$A\{d\} = \{H\} + \{f_L\} \quad (6)$$

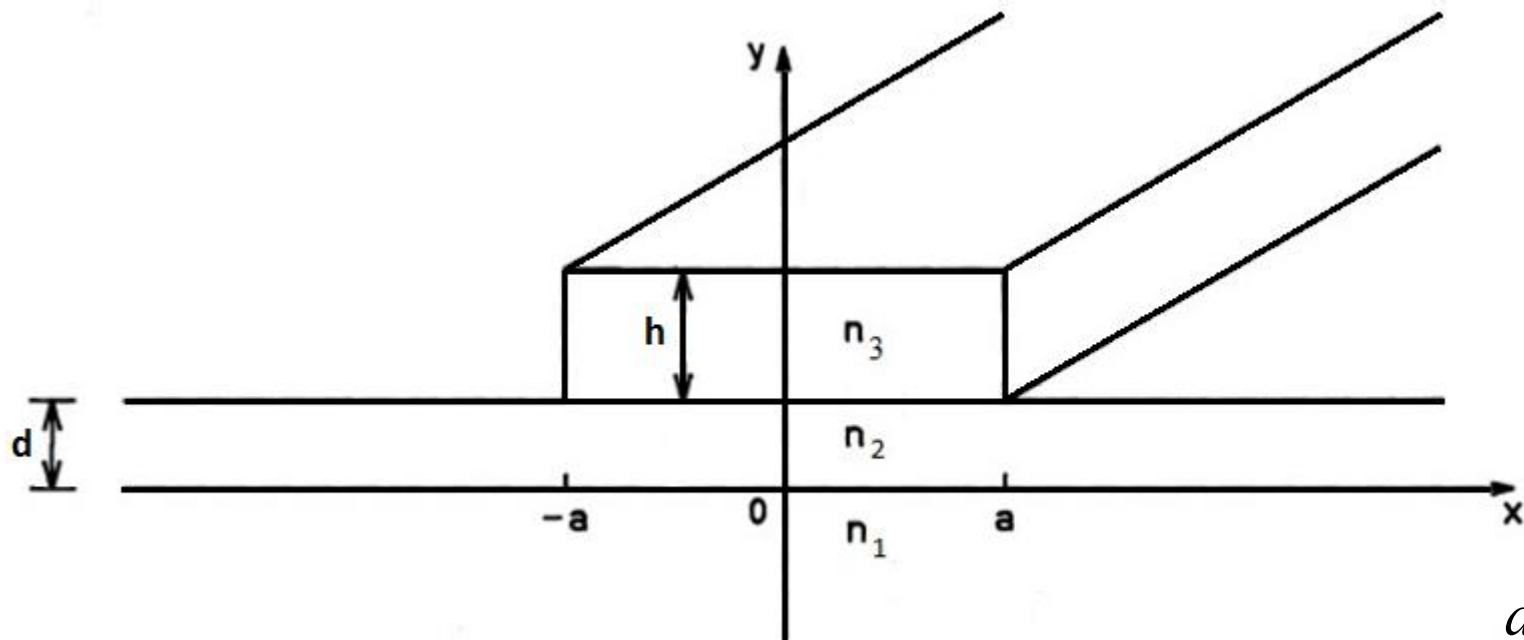
$$\{d\} = A^{-1}[\{H\} + \{f_L\}] \quad (7)$$

$$\{\sigma^e\} = D_e \left[ B_e \{d^e\} - \{\varepsilon_0^e\} \right] \quad (8)$$

$$\begin{bmatrix}
1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\
0 & 1 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\
\vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\
0 & 0 & \dots & A_{2i-2,2i-2} & A_{2i-2,2i-1} & A_{2i-2,2i} & \dots & A_{2i-2,2n-1} & A_{2i-2,2n} \\
0 & 0 & \dots & A_{2i-1,2i-2} & A_{2i-1,2i-1} & A_{2i-1,2i} & \dots & A_{2i-1,2n-1} & A_{2i-1,2n} \\
0 & 0 & \dots & A_{2i,2i-2} & A_{2i,2i-1} & A_{2i,2i} & \dots & A_{2i,2n-1} & A_{2i,2n} \\
\vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\
0 & 0 & \dots & A_{2n-1,2i-2} & A_{2n-1,2i-1} & A_{2n-1,2i} & \dots & A_{2n-1,2n-1} & A_{2n-1,2n} \\
0 & 0 & \dots & A_{2n,2i-2} & A_{2n,2i-1} & A_{2n,2i} & \dots & A_{2n-1,2n-1} & A_{2n,2n}
\end{bmatrix}
\begin{pmatrix}
u_1 \\
w_1 \\
\vdots \\
w_{i-1} \\
u_i \\
w_i \\
\vdots \\
u_n \\
w_n
\end{pmatrix}
=
\begin{pmatrix}
0 \\
0 \\
\vdots \\
F_{2i-2} \\
F_{2i-1} \\
F_{2i} \\
\vdots \\
F_{2n-1} \\
F_{2n}
\end{pmatrix} \quad (9)$$

где  $\{F\} = \{H\} + \{f_L\}$





$$a = 1 \text{ мкм}$$

$$h = 0.6 \text{ мкм}$$

$$d = 0.6 \text{ мкм}$$

Рис. 3 Гребенчатый волновод.

Область	Материал	Модуль Юнга кг/мм <sup>2</sup>	Коэф. Пуассона	Изменение температуры(°C <sup>-1</sup> )	показатель преломления
Подложка	GaAs	8700	0.31	$6.4 \times 10^{-6}$	3.37
Пленка	GaAlAs	8620	0.315	$5.8 \times 10^{-6}$	3.36
Покровный слой	SiO <sub>2</sub>	7830	0.186	$5.4 \times 10^{-7}$	1.444

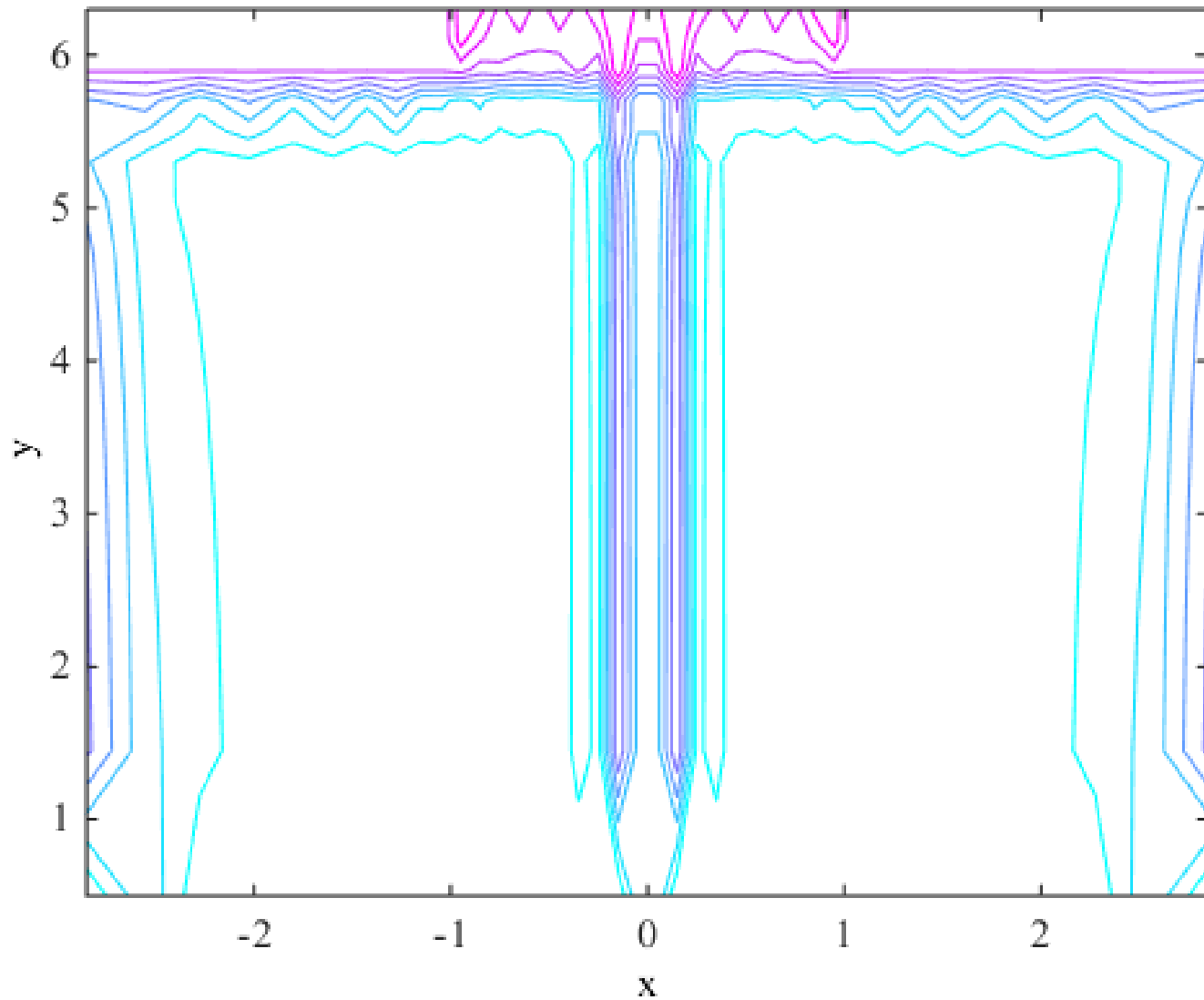


Рис. 4 Распределение компонент  $\sigma(x)$  тензора напряжения.

# Заключение

- Изучены элементы теории упругости, необходимые для проведения анализа изменения характеристик диэлектрических волноводов, вызванных механическими напряжениями.
- Изучен метод конечных элементов в применении к расчету механических напряжений.
- Написана программа в среде Matlab для расчета механических напряжений.

# Список литературы

- **Адамс М.** Введение в теорию оптических волноводов / Адамс М.; Перевод с англ. С.Г. Кривошлыкова. – М.: Мир, 1984. – 512 с.
- **Дональд Дж. Стерлинг** Техническое руководство по волоконной оптике/ Дональд Дж. Стерлинг; Перевод с англ. А. Московченко. – М.: Лори, 1998. – 181 с.
- **Р. Хансперджер** Интегральная оптика/ Р. Хансперджер; Перевод с англ. В. Ш. Берикашвили, А. Б. Мещерякова под редакцией В. А. Сычугова. – М.: Мир, 1985. – 193 с.
- **К. Okamoto** Fundamentals of Optical Waveguides / К. Okamoto; Second edition. – J.: Elsevier, 2006. – 578 с.
- **Унгер Х. Г.** Планарные и волоконные оптические волноводы; перевод с англ. Под редакцией В. В. Шевченко. – М.: Мир, 1980. – 646 с.
- **Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц** Теория упругости; –М.: Главная редакция физико- математической литературы, 1987. – 246 с.
- **Д. В. Сивухин** Общий курс физики механика; –М.: 1979. – 520 с.