

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра Электротехники и электрооборудования предприятий

ОТЧЕТ

по лабораторной работе № 1

Электрическое поле коаксиального кабеля

Выполнили студенты гр. ИИТ-3хх

Подписи, дата

И.О.Фамилия

И.О.Фамилия

Проверил, доцент

С.В.Чигвинцев

Уфа 2008

Цель работы: Приобретение навыков моделирования электрического поля в диэлектрике в системе двумерного моделирования ELCUT и сравнение с результатами аналитических расчетов.

1 Основные формулы и уравнения модели

1.1 Исходные уравнения общей модели Максвелла

Уравнение электромагнитной связи

$$\text{rot}\bar{\mathbf{E}} = \nabla \times \bar{\mathbf{E}} = -\frac{\partial \bar{\mathbf{B}}}{\partial t} = 0. \quad (1)$$

Уравнение непрерывности

$$\text{div}\bar{\mathbf{D}} = \nabla \bar{\mathbf{D}} = \rho. \quad (2)$$

Уравнение, описывающее свойства сред (материалов)

$$\mathbf{D} = \varepsilon_0 \varepsilon \bar{\mathbf{E}} + \bar{\mathbf{D}}_r = \varepsilon_0 \varepsilon \bar{\mathbf{E}}. \quad (3)$$

Граничные условия Неймана и Дирихле

$$\mathbf{E}_\tau = 0, \quad \mathbf{D}_n = \sigma \quad \text{и} \quad \varphi_d = U. \quad (4)$$

Вспомогательное уравнение

$$\bar{\mathbf{E}} = -\text{grad}\varphi = -\nabla\varphi. \quad (5)$$

1.2 Уравнения модели

Для анизотропной ($\varepsilon_x \neq \varepsilon_y \neq \varepsilon_z$) и изотропной сред ($\varepsilon_x = \varepsilon_y = \varepsilon_z$)

$$\text{div}(\varepsilon_0 \varepsilon \text{grad}\varphi) = \nabla(\varepsilon_0 \varepsilon \nabla) = -\rho \quad \text{и} \quad \text{div}(\text{grad}\varphi) = \nabla^2 \varphi = -\rho / \varepsilon_0 \varepsilon. \quad (6)$$

Двухмерная модель для анизотропной и изотропной сред

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon_0 \varepsilon_x \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon_0 \varepsilon_y \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right) = -\rho \quad \text{и} \quad \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = -\rho / \varepsilon_0 \varepsilon. \quad (8)$$

2 Геометрическая модель

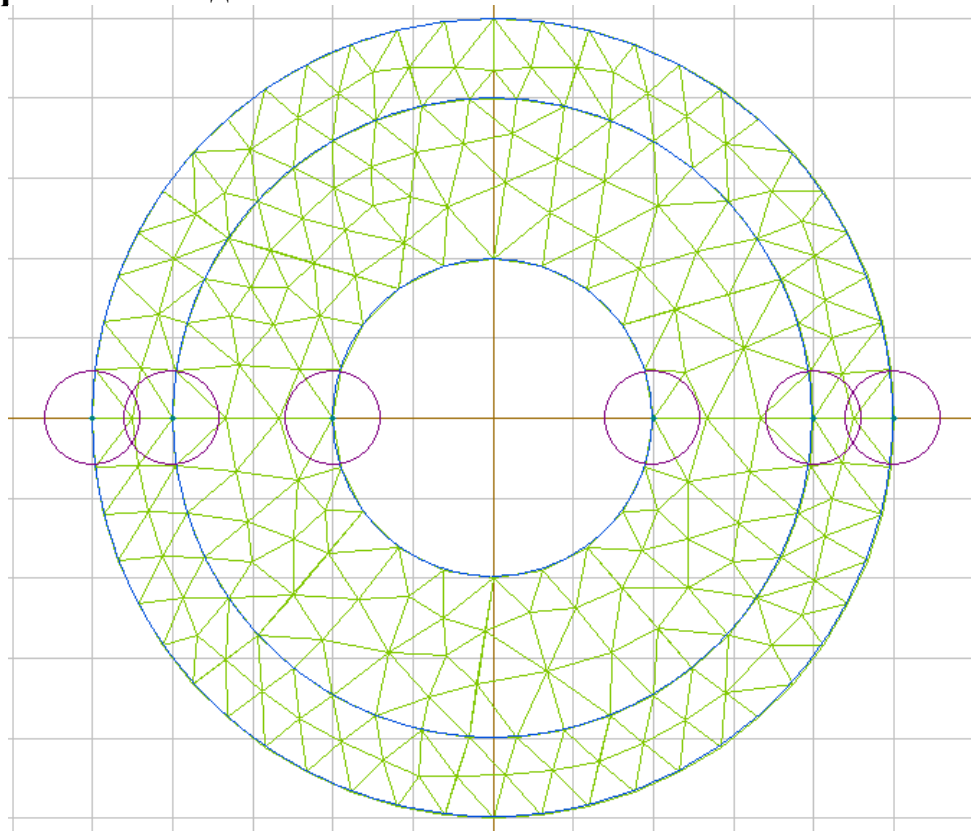


Рисунок 1 – Геометрическая модель с сеткой конечных элементов

3 Картина поля

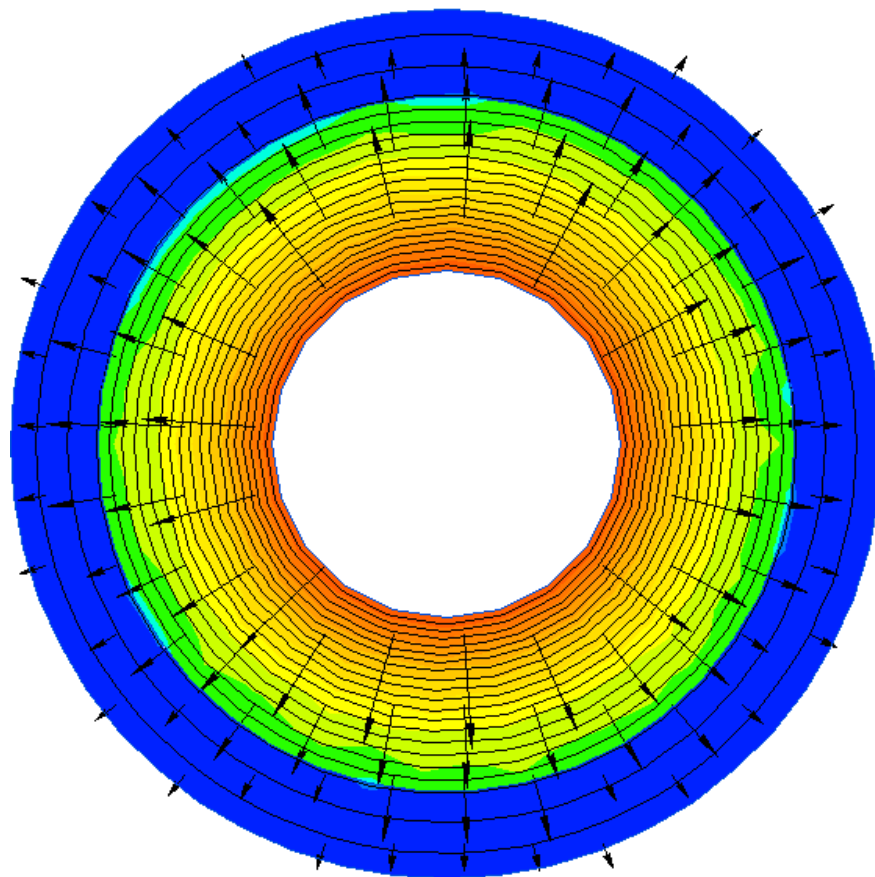


Рисунок 2 – Картина поля с эквипотенциальными линиями и векторами напряженности электрического поля

4 Локальные значения в точке F.

Расчет радиуса контрольной точки $R_F = (b+c)/2 = (4+5)/2 = 4.4$ мм.

| | | | |
|-------------------------------|--------------|-----------|---------------------|
| Координаты контрольной точки | x | 0.0045 | м. |
| | y | 0.0000 | м. |
| Напряжение | U | 10.001 | В. |
| Напряженность | E | 1.9911 | В/м. |
| Смещение | D | 7.052e-11 | Кл/м ² . |
| Плотность энергии | w | 7.02e-11 | Дж/м ³ . |
| Диэлектрическая проницаемость | ϵ_r | 4. | |

5 Интегральные значения

| | | | |
|-----------------------|------------|-----------|-------|
| Длина контура | L | 0.003 | м. |
| Электрический заряд | Qs | -2.91e-16 | Кл. |
| Механическая сила | f | 8.099e-13 | Н. |
| Поверхностная энергия | Ws | 1.62e-12 | Дж/м. |
| Разность потенциалов | ΔU | 0.014692 | В. |

6 Графики зависимостей потенциала (напряжения), напряженности поля и смещения от длины контура.

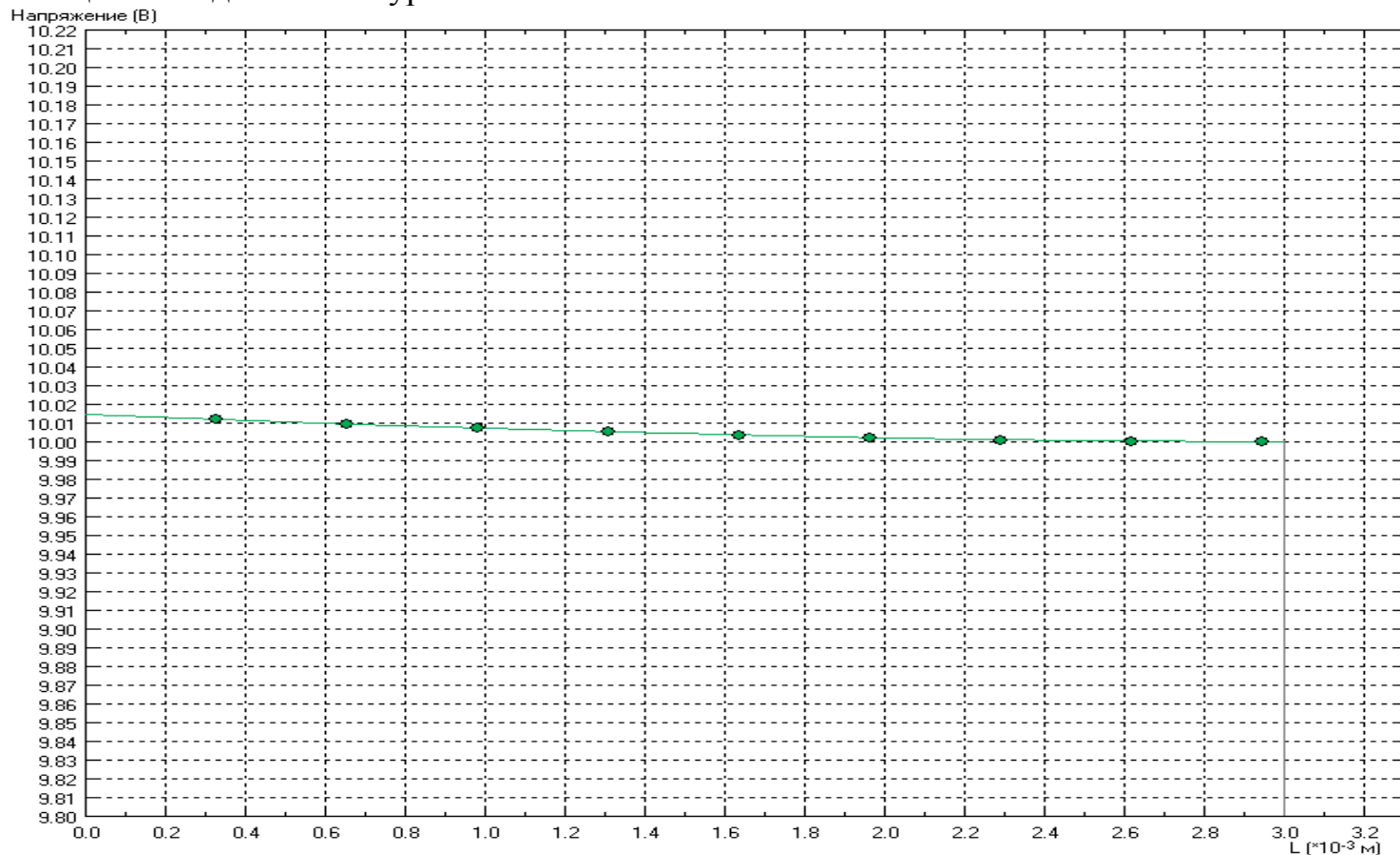


Рисунок 3 – Диаграмма зависимости потенциала от длины контура

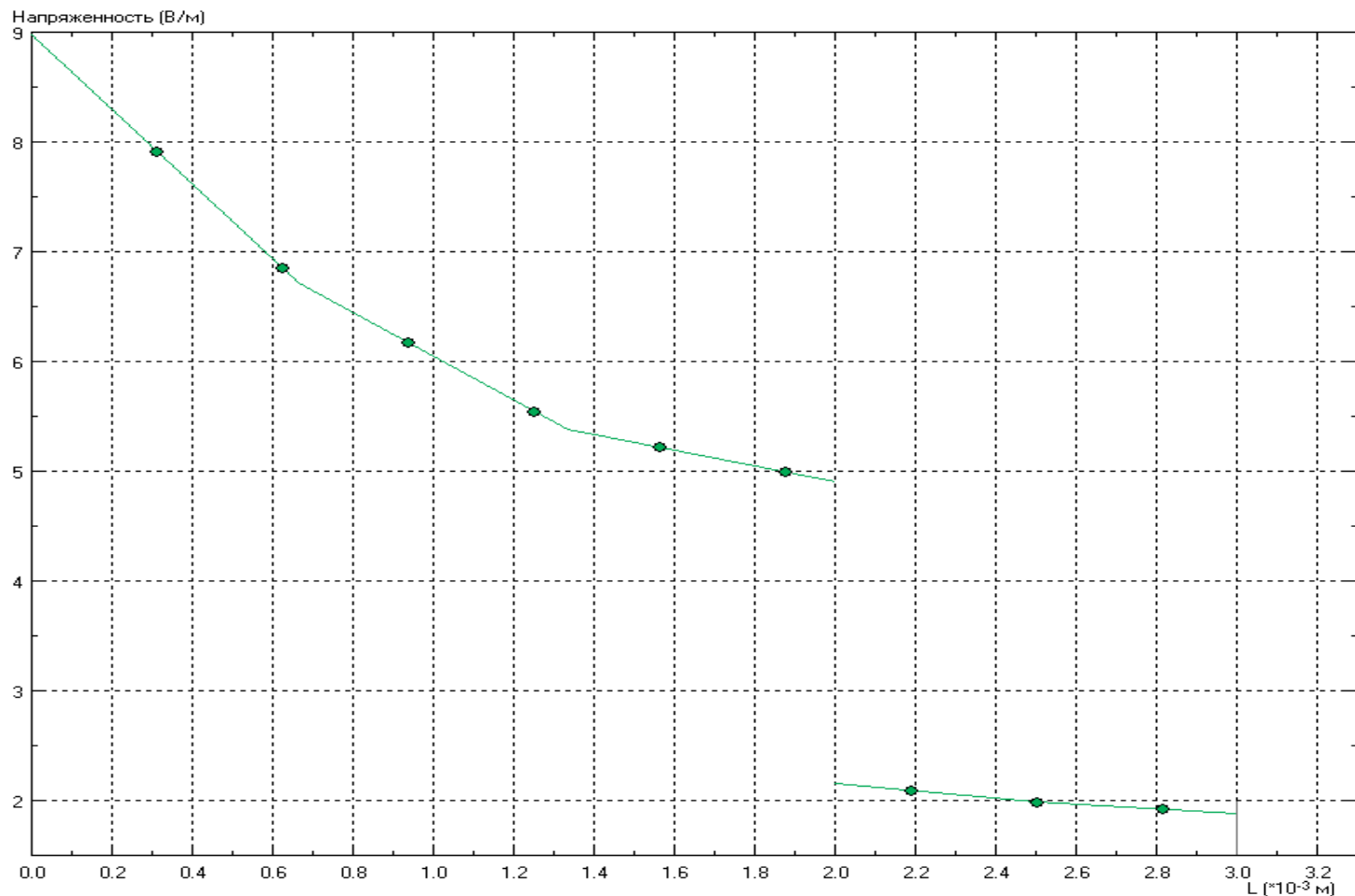


Рисунок 4 – Диаграмма зависимости напряженности электрического поля от длины контура

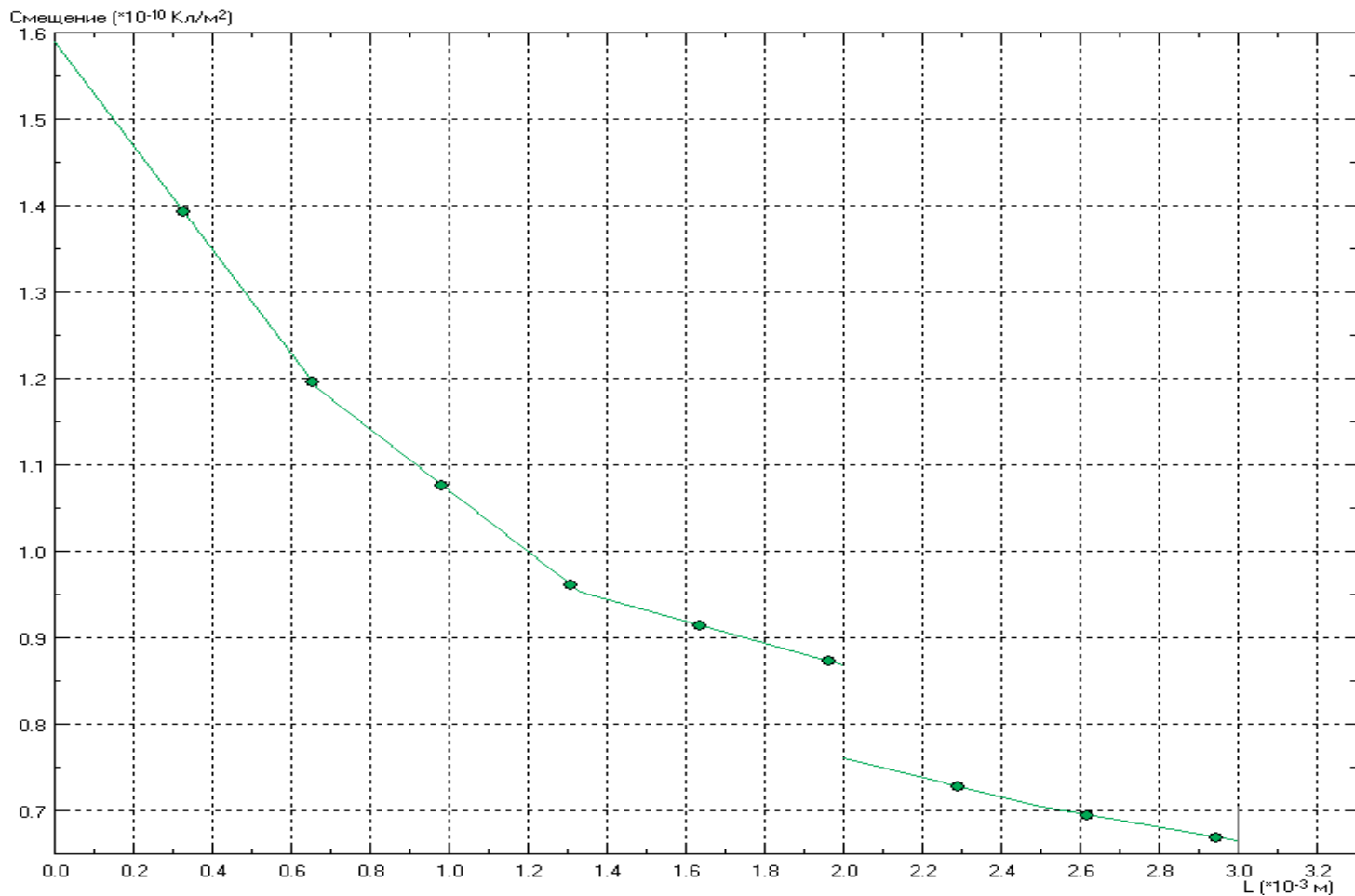


Рисунок 5 – Диаграмма зависимости смещения от длины контура

7 Значения физических величин для диаграмм

Таблица 1 – Значения длины контура, потенциала, напряженности поля и смещения

| L, м | U, В | E, В/м | D, Кл/м ² |
|------------|---------|---------|----------------------|
| 0.00000 | 10.0144 | 8.97881 | 1.59000e-10 |
| 0.00015000 | 10.0132 | 8.46883 | 1.49969e-10 |
| 0.00030000 | 10.0121 | 7.95884 | 1.40938e-10 |
| 0.00045000 | 10.0109 | 7.44886 | 1.31907e-10 |
| 0.00060000 | 10.0098 | 6.93888 | 1.22876e-10 |
| 0.00075000 | 10.0088 | 6.54602 | 1.15919e-10 |
| 0.00090000 | 10.0079 | 6.24686 | 1.10622e-10 |
| 0.00105000 | 10.0070 | 5.94771 | 1.05324e-10 |
| 0.00120000 | 10.0061 | 5.64857 | 1.00027e-10 |
| 0.00135000 | 10.0052 | 5.37059 | 9.51044e-11 |
| 0.00150000 | 10.0045 | 5.26179 | 9.31778e-11 |
| 0.00165000 | 10.0037 | 5.15300 | 9.12512e-11 |
| 0.00180000 | 10.0030 | 5.04421 | 8.93248e-11 |
| 0.00195000 | 10.0022 | 4.93543 | 8.73985e-11 |
| 0.00210000 | 10.0018 | 2.11755 | 7.49968e-11 |
| 0.00225000 | 10.0015 | 2.07012 | 7.33169e-11 |
| 0.00240000 | 10.0012 | 2.02268 | 7.16369e-11 |
| 0.00255000 | 10.0008 | 1.97992 | 7.01223e-11 |
| 0.00270000 | 10.0006 | 1.94649 | 6.89383e-11 |
| 0.00285000 | 10.0003 | 1.91306 | 6.77543e-11 |
| 0.00300000 | 10.0000 | 1.87963 | 6.65703e-11 |

Таблица 2 – Результаты моделирования и расчетов

| | Напряженность E, В/м | | | | Смещение D, Кл/м ² | | | | Потенциал φ, В | | | |
|---------------|----------------------|----|----|---|-------------------------------|----|----|---|----------------|----|----|---|
| Расстояние, м | a | b- | b+ | c | a | b- | b+ | c | a | b- | b+ | c |
| Расчет | | | | | | | | | | | | |
| Модель 1 | | | | | | | | | | | | |
| Погрешность 1 | | | | | | | | | | | | |

8 Выводы

1 При построении геометрической модели установлено, что наиболее простым методом является использование готовых примитивов (круга).

2 В результате построения сетки установлено, что для увеличения количества узлов необходимо задавать вручную шаг дискретизации сетки конечных элементов, начав примерно со значения $0.1 \cdot C$.

3 При анализе диаграммы смещения установлено, что недостаточное количество узлов приводит к разрыву графика смещения на $0.1 \cdot 10^{-10}$ Кл/м², что приводит к 13.3 % относительной погрешности.

4

5

