

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

Магнитное поле коаксиального кабеля

Выполнил студент гр. БАЭ-11-0х

Подпись, дата

И.О.Фамилия

Проверил, доцент

Уфа 2012

С.В.Чигвинцев

Цель работы: Приобретение навыков моделирования магнитного поля коаксиальной системы проводников в системе двумерного моделирования ELCUT и сравнение с результатами аналитических расчетов.

1 Основные формулы и уравнения модели

Уравнение электромагнитной связи общей модели Максвелла

$$\text{rot} \bar{\mathbf{H}} = \nabla \times \bar{\mathbf{H}} = \bar{\delta} + \frac{\partial \bar{\mathbf{D}}}{\partial t} = \bar{\delta}. \quad (1)$$

Уравнение непрерывности

$$\text{div} \bar{\mathbf{B}} = \nabla \bar{\mathbf{B}} = 0. \quad (2)$$

Уравнение, описывающее свойства сред (материалов)

$$\bar{\mathbf{B}} = \mu_0 \mu \bar{\mathbf{H}} + \bar{\mathbf{B}}_r. \quad (3)$$

Граничные условия Неймана и Дирихле

$$\mathbf{H}_\tau = 0 \text{ и } \mathbf{A}_{\text{ГОМ}} = 0. \quad (4)$$

Вспомогательное уравнение

$$\bar{\mathbf{B}} = \text{rot} \bar{\mathbf{A}} = \nabla \bar{\mathbf{A}}. \quad (5)$$

Уравнения модели для нелинейных анизотропных ($\mu_x \neq \mu_y \neq \mu_z$) и изотропных ($\mu_x = \mu_y = \mu_z$) сред и материалов

$$\text{rot} \left(\frac{1}{\mu_0 \mu} \text{rot} \bar{\mathbf{A}} \right) = \nabla \times \left(\frac{1}{\mu_0 \mu} \nabla \times \bar{\mathbf{A}} \right) = \bar{\delta} \text{ и } \text{rot}(\text{rot} \bar{\mathbf{A}}) = \nabla^2 \bar{\mathbf{A}} = -\bar{\delta} / \mu_0 \mu. \quad (6)$$

1.3 Двухмерная модель для анизотропных и изотропных сред и материалов

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\mu_0 \mu_x} \frac{\partial \bar{\mathbf{A}}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{\mu_0 \mu_y} \frac{\partial \bar{\mathbf{A}}}{\partial y} \right) = -\bar{\delta} \text{ и } \frac{\partial^2 \bar{\mathbf{A}}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{\mathbf{A}}}{\partial y^2} = -\bar{\delta} / \mu_0 \mu. \quad (7)$$

2 Геометрическая модель

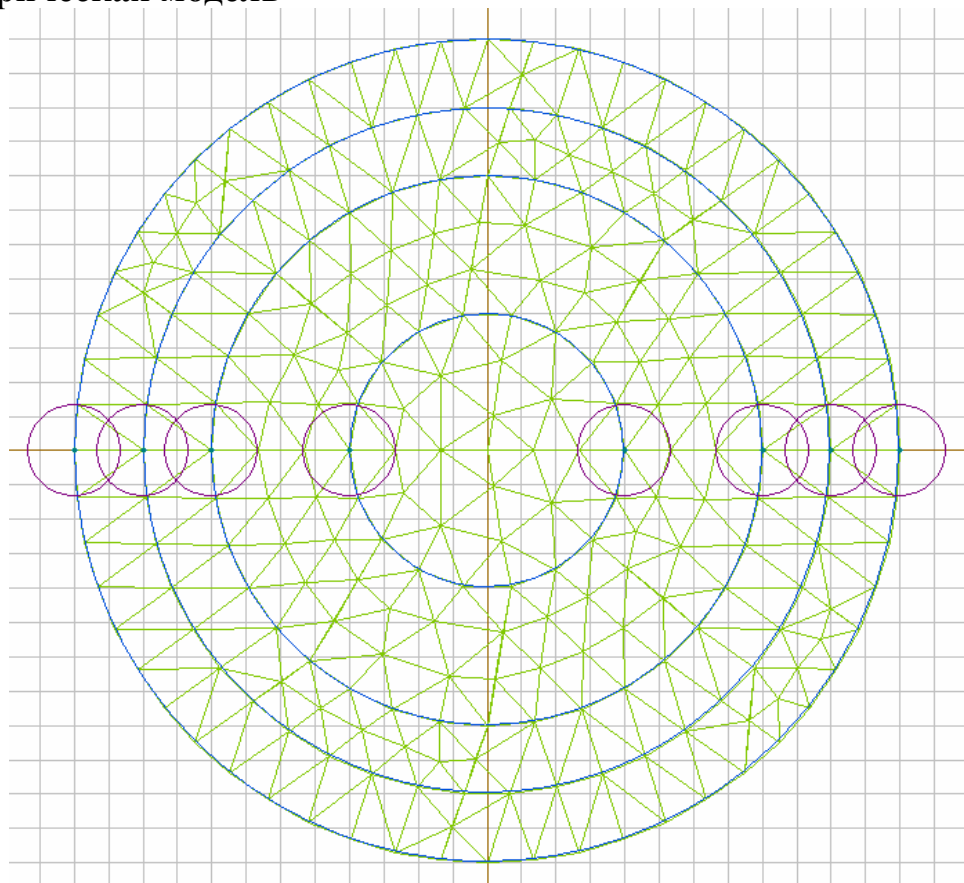


Рисунок 1 – Геометрическая модель с сеткой конечных элементов

3 Картина поля

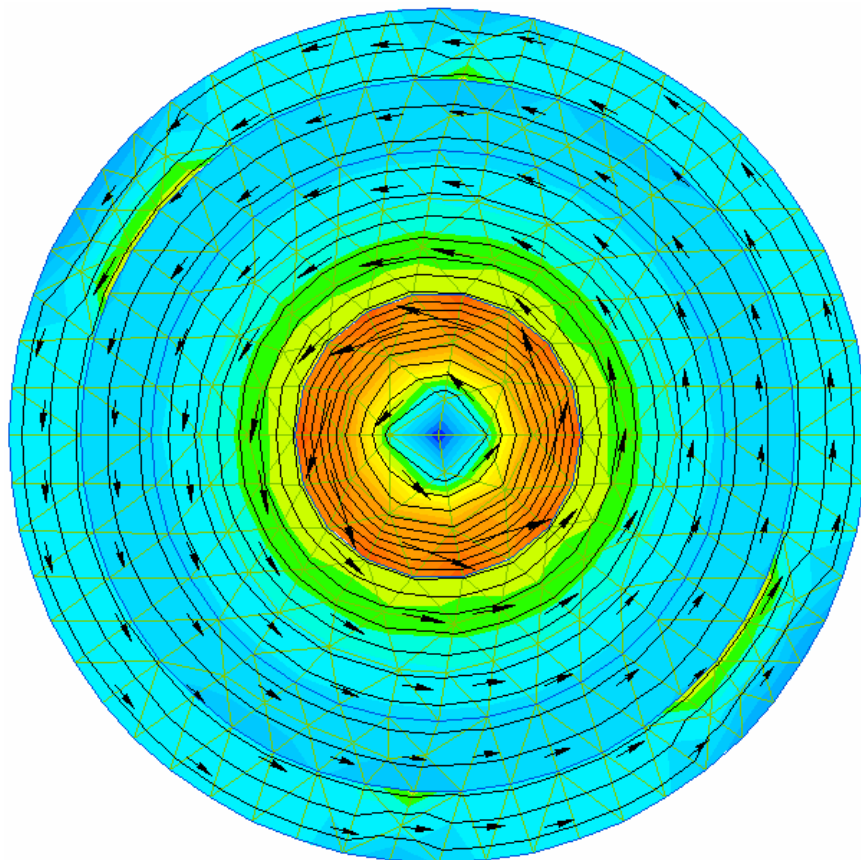


Рисунок 2 – Картина поля с эквипотенциальными линиями и векторами магнитной индукции

4 Локальные значения в точках E и F.

Координаты контрольных точек E {1; 0} и F {5.5; 0}.

Координаты контрольной точки	E			F		
	x	1	мм	x	5.5	мм
	y	0	мм	y	0	мм
Векторный потенциал	A	7.5802e-6	Вб/м	A	5.2916e-7	Вб/м
Индукция	B	0.0019499	Тл	B	0.0010622	Тл
Напряженность	H	775.84	А/м	H	281.75	А/м
Проницаемость	μ	2		m	3	

5 Интегральные значения

Длина контура	L	5.9699	мм
Физические величины			
Пондеромоторная сила	f	0.0037686	Н
Магнитодвижущая сила	F	-0.021706	А
Магнитный поток	F	-8.404e-6	Вб
Поверхностная энергия	Ws	0.0075374	Дж/м

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

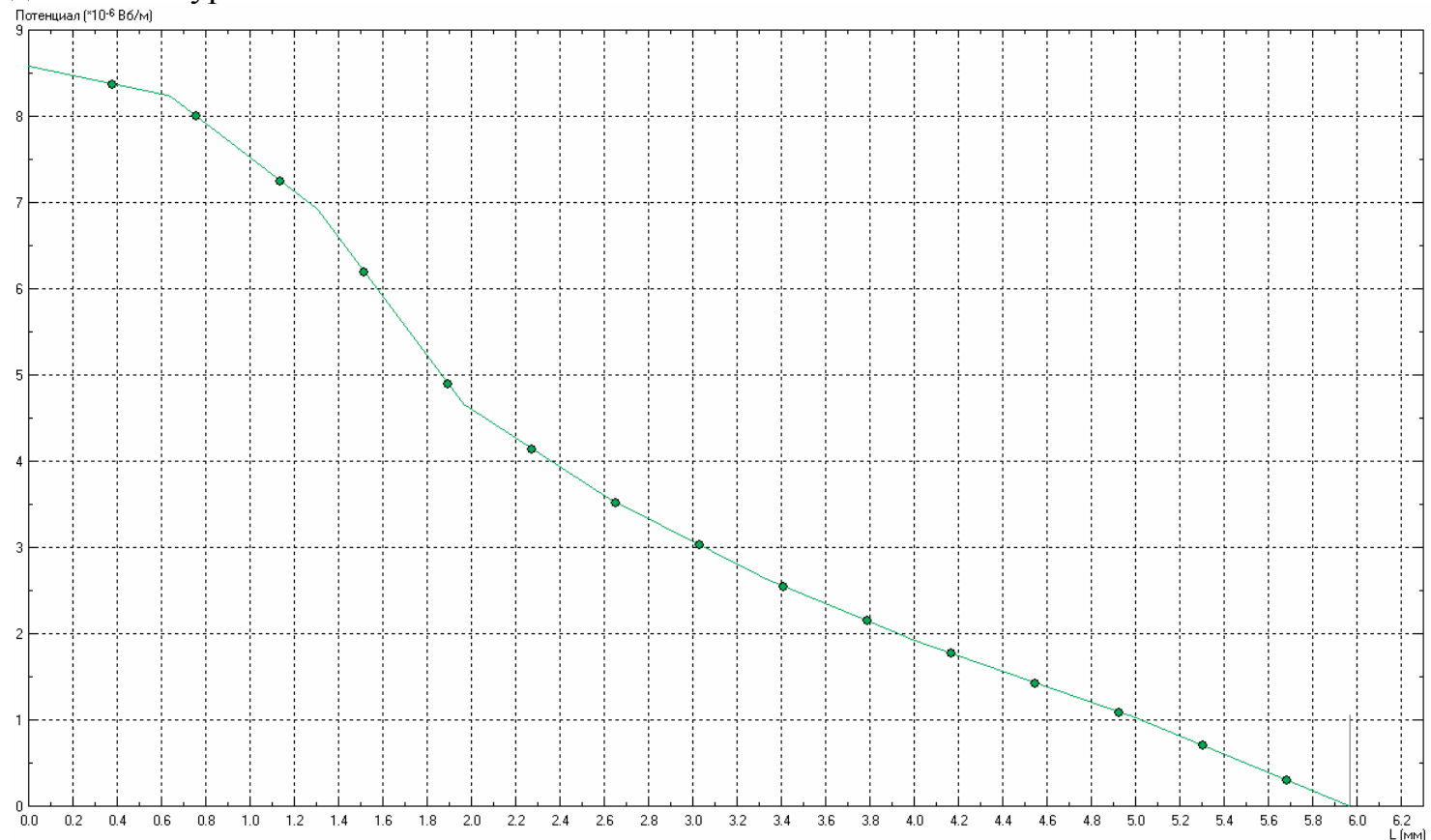


Рисунок 3 – Диаграмма зависимости Векторного потенциала от длины контура

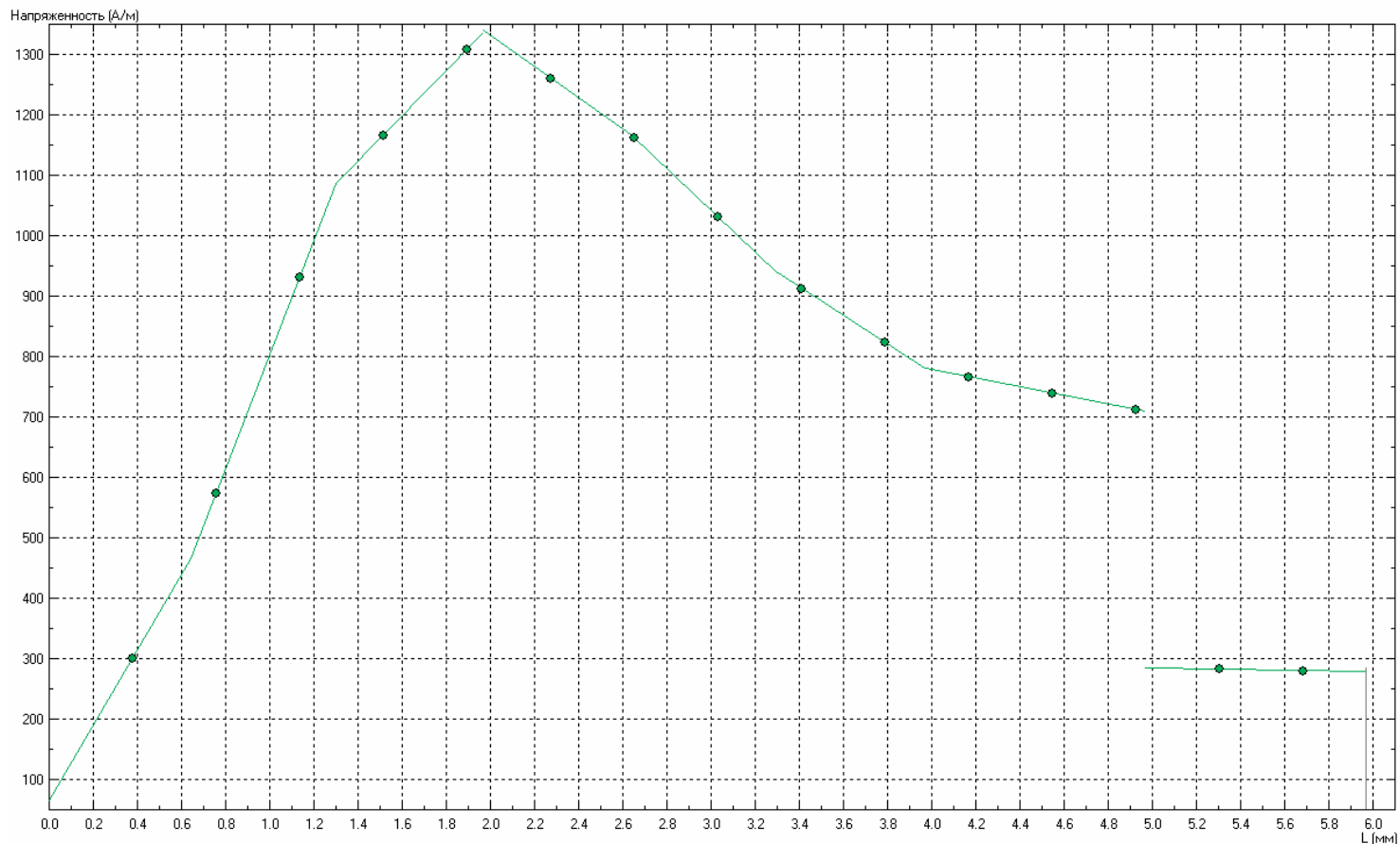


Рисунок 4 – Диаграмма зависимости напряженности магнитного поля от длины контура

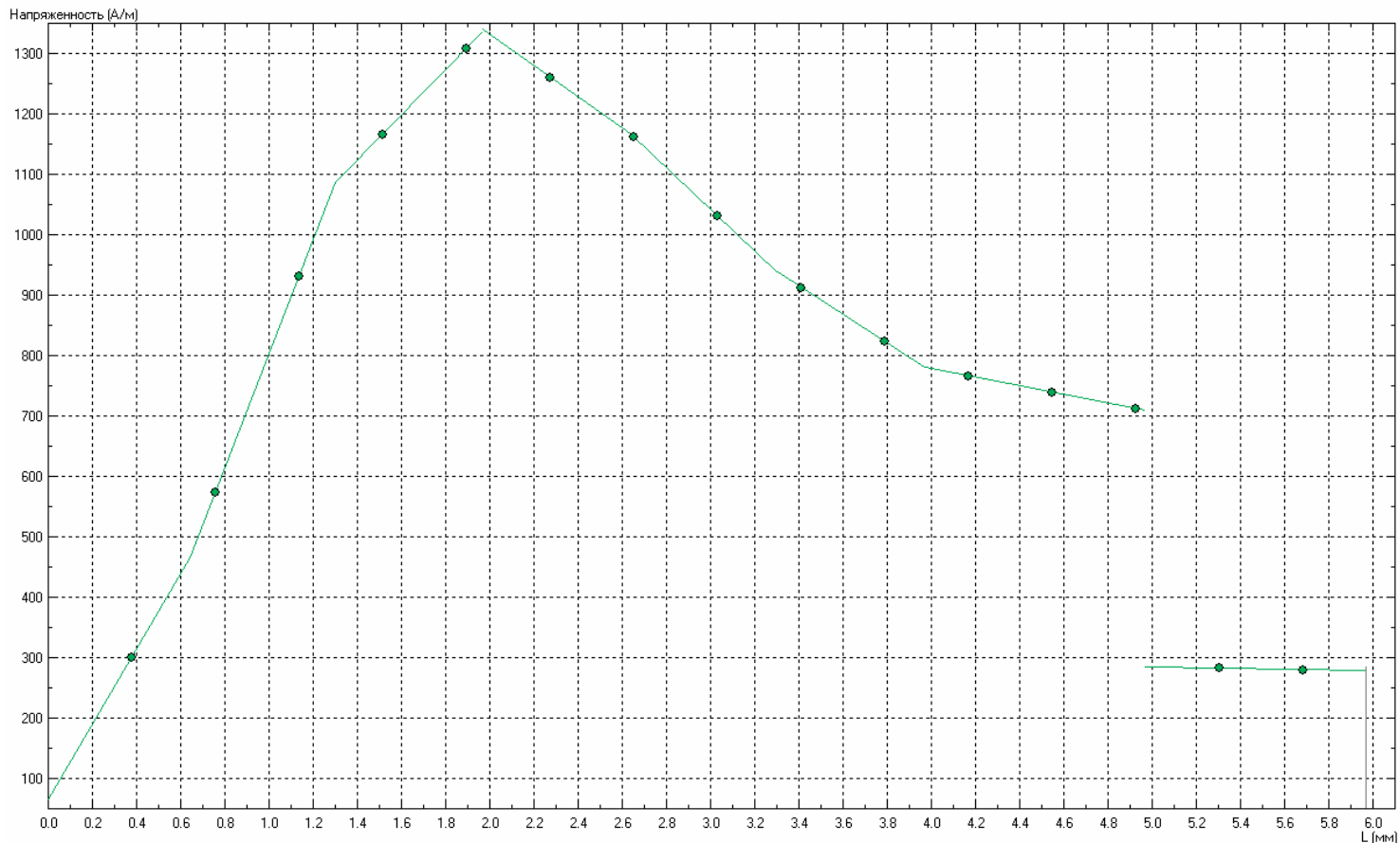


Рисунок 5 – Диаграмма зависимости магнитной индукции от длины контура

7 Значения физических величин для диаграмм

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

L (мм)	A (Вб/м)	B (Тл)	H (А/м)	m	w (Дж/м ³)
0.00000	8.55417e-6	2.20731e-4	87.8262	2.00000	0.00969299
0.299249	8.40041e-6	6.22138e-4	247.541	2.00000	0.0770022
0.598497	8.20212e-6	0.00110500	439.665	2.00000	0.242915
0.897746	7.70137e-6	0.00176514	702.326	2.00000	0.619851
1.19699	7.11286e-6	0.00246945	982.562	2.00000	1.21319
1.49624	6.27370e-6	0.00280933	1117.80	2.00000	1.57013
1.79549	5.25267e-6	0.00309030	1229.59	2.00000	1.89990
2.09474	4.44832e-6	0.00164323	1307.64	1.00000	1.07437
2.69324	3.47767e-6	0.00143986	1145.80	1.00000	0.824898
2.99249	3.08571e-6	0.00130954	1042.10	1.00000	0.682339
3.29491	2.69043e-6	0.00117883	938.085	1.00000	0.552923
3.59098	2.37266e-6	0.00109258	869.449	1.00000	0.474972
3.89023	2.04993e-6	0.00100357	798.613	1.00000	0.400731
4.18948	1.77106e-6	9.55377e-4	760.265	1.00000	0.363170
4.48873	1.50316e-6	9.28627e-4	738.978	1.00000	0.343117
4.78798	1.23525e-6	9.01879e-4	717.693	1.00000	0.323636
5.08723	9.48829e-7	0.00106871	283.484	3.00000	0.151481
5.38647	6.31075e-7	0.00106254	281.847	3.00000	0.149737
5.68572	3.14315e-7	0.00105726	280.447	3.00000	0.148253
5.98266	0.00000	0.00105202	279.058	3.00000	0.146788

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 Результаты сравнения расчетов и моделирования

	Напряженность H , А/м				Индукция B , Тл			
Расстояние, м	a	b	c	d	a-	a ₊	c-	c ₊
Расчет								
Модель								
Погрешность								

4

5

6