

Лабораторная работа «Магнитное поле коаксиального кабеля»

Цель работы – Исследовать магнитное поле коаксиального кабеля в системе компьютерного двумерного моделирования электромагнитных полей ELCUT.

Загрузка системы моделирования ELCUT 5.xx.

Запуск программы осуществляется из меню **Пуск** (рисунок 1):

Пуск ► Программы ► TOR Coop ► ELCUT 5.2 ► ELCUT 5.xx Student.

После загрузки появится рабочий стол ELCUT (рисунок 2).

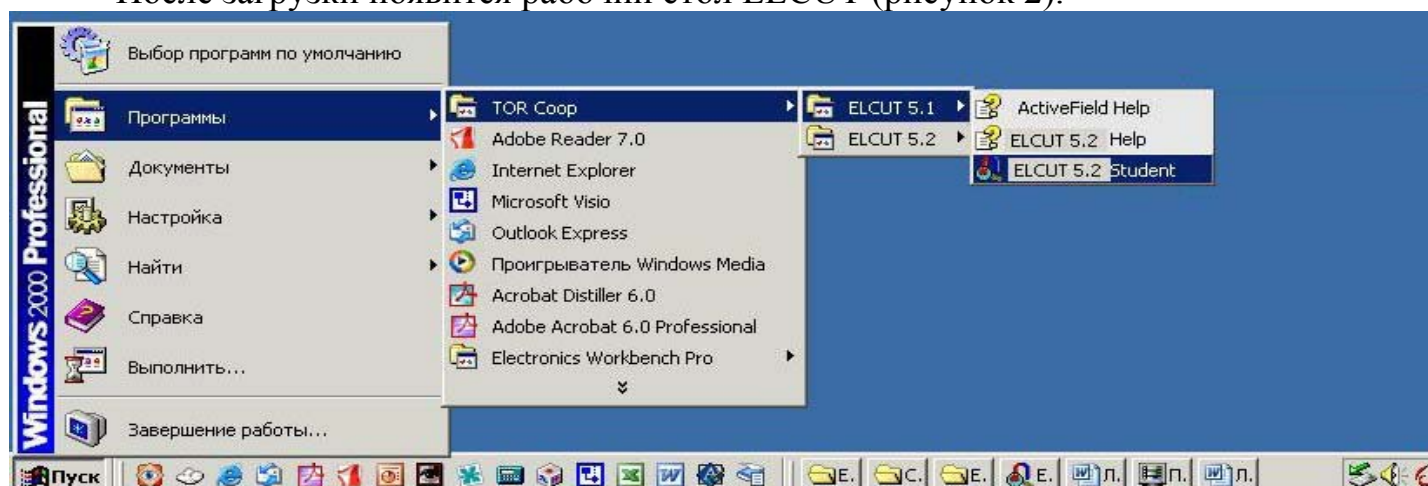


Рисунок 1 - Запуск системы моделирования ELCUT 5.2

1 Постановка задачи

1.1 Выбрать в строке меню **Файл/Создать**, а в окне **New - Задача ELCUT/Ok**.

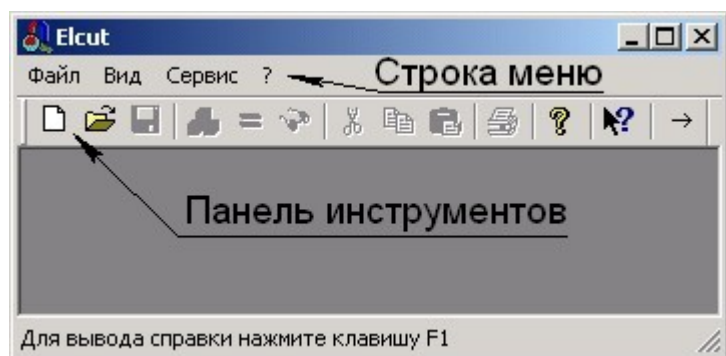


Рисунок 2 - Рабочий стол ELCUT

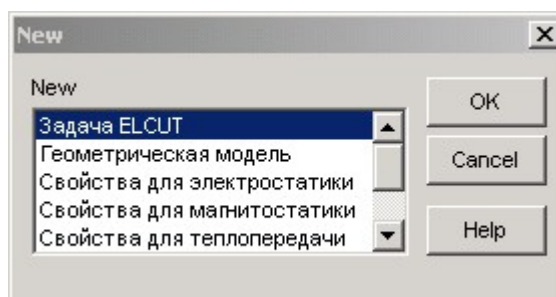


Рисунок 3 – Окно создания новой задачи ELCUT

1.2 В появившемся окне **Создание задачи** (рисунок 4) Задать **Имя файла** по шаблону <Аббревиатура дисциплины>-<лабораторная работа №1> _<группа>-<вариант>, например: **TOE-LR2_BAE06-30**.

Для сохранности результатов работы файл задачи следует **Создать новую папку**, например, на диске **D:**, разрешенным для сохранения рабочих файлов системным администратором, например, (**D:\BAE-06**). Открыть и создать папку для результатов работы можно посредством кнопки **Обзор**, щелчок мышки по которой открывает окно выбора и создания рабочей папки – **Создание новой задачи** (рисунок 5).

После выбора папки и имени файла (**Тип файла** должен быть ***.pbm**) следует нажать в этом окне кнопку **Создать**.

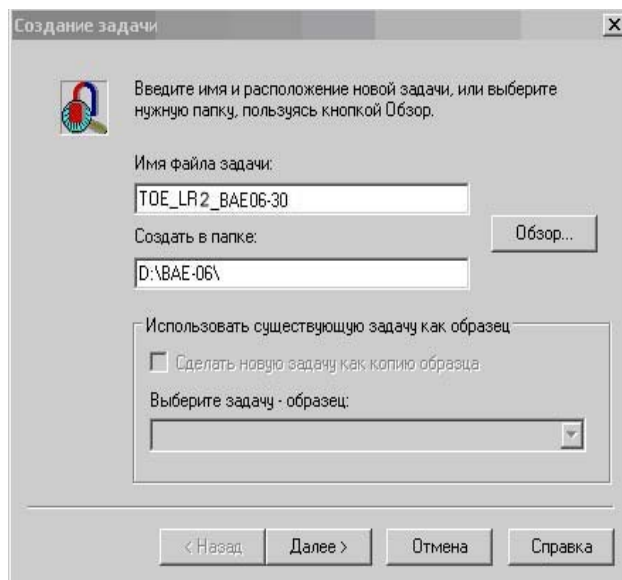


Рисунок 4 – Окно создания задачи

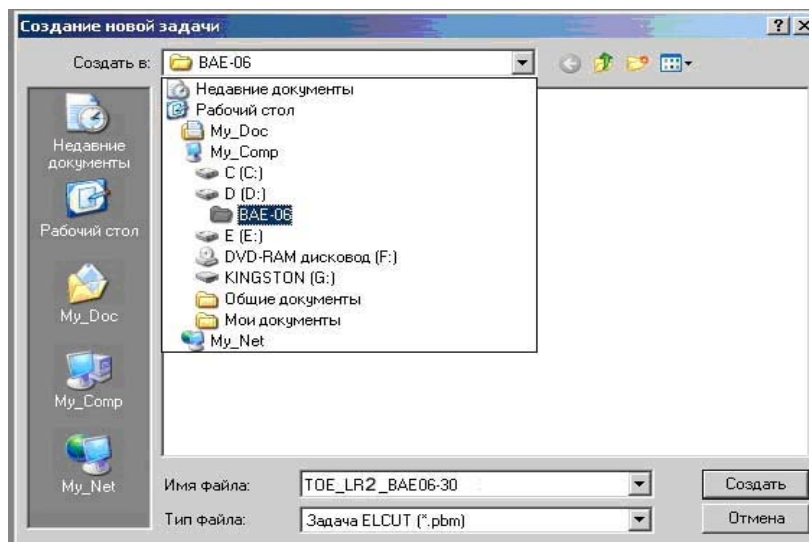


Рисунок 5 – Выбор и создание рабочей папки и имени файла

В окне **Создание задачи** (рисунок 4), должны отражаться введенное имя файла (**TOE-LR2_BAE06-30**) и выбранная папка (**D:\BAE-06**).

Если имена файла и папки отражены не правильно, то следует вернуться, выбрав кнопку **<Назад**, а если верно, то щелкнуть по кнопке **Далее>**.

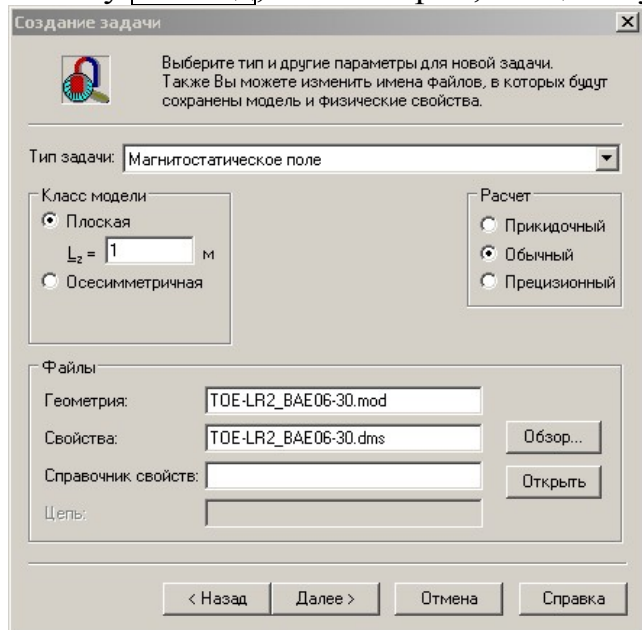


Рисунок 6 – Ввод параметров новой задачи

1.3 В окне **Ввод параметров новой задачи** (рисунок 6) в соответствии с заданием выбрать, например,

Тип задачи: **Магнитостатическое поле**,

Класс модели: **Плоская**,

$L_z = 1$ м (глубина контура по оси Z)

Расчет: **Обычный**.

При этом в нижней части окна в опции

Файлы будут приведены имена файлов

Геометрия: **TOE-LR2_BAE06-30.mod**

Свойства: **TOE-LR2_BAE06-30.dms**.

Если в окне ввода все отражено верно, то изменять здесь что-либо еще не нужно и следует нажать кнопку **Далее>**. В противном случае вернуться **<Назад**.

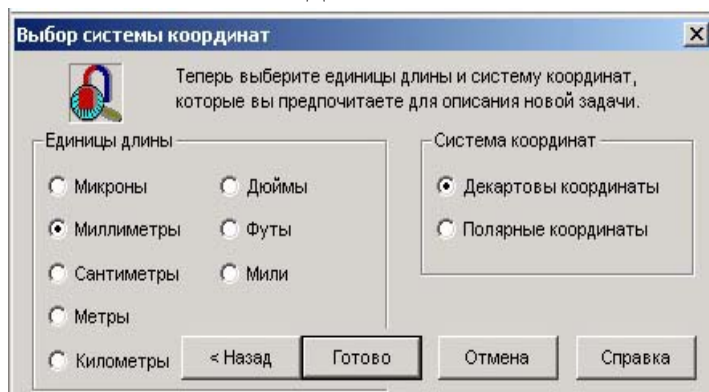


Рисунок 7 – Выбор системы координат

1.5 После щелчка по кнопке **Готово** на панели задач рабочего стола появятся свойства создаваемой задачи (рисунок 8).

1.4 В окне **Выбор системы координат** в опциях **Единицы длины** и **Система координат** отметить наиболее удобную единицу длины, например, **Миллиметры**, и согласно плоской задаче **Декартовы координаты**. И, если есть уверенность в правильности сделанных выборов, подтвердить **Готово**, а в противном случае вернуться **<Назад** для изменений.

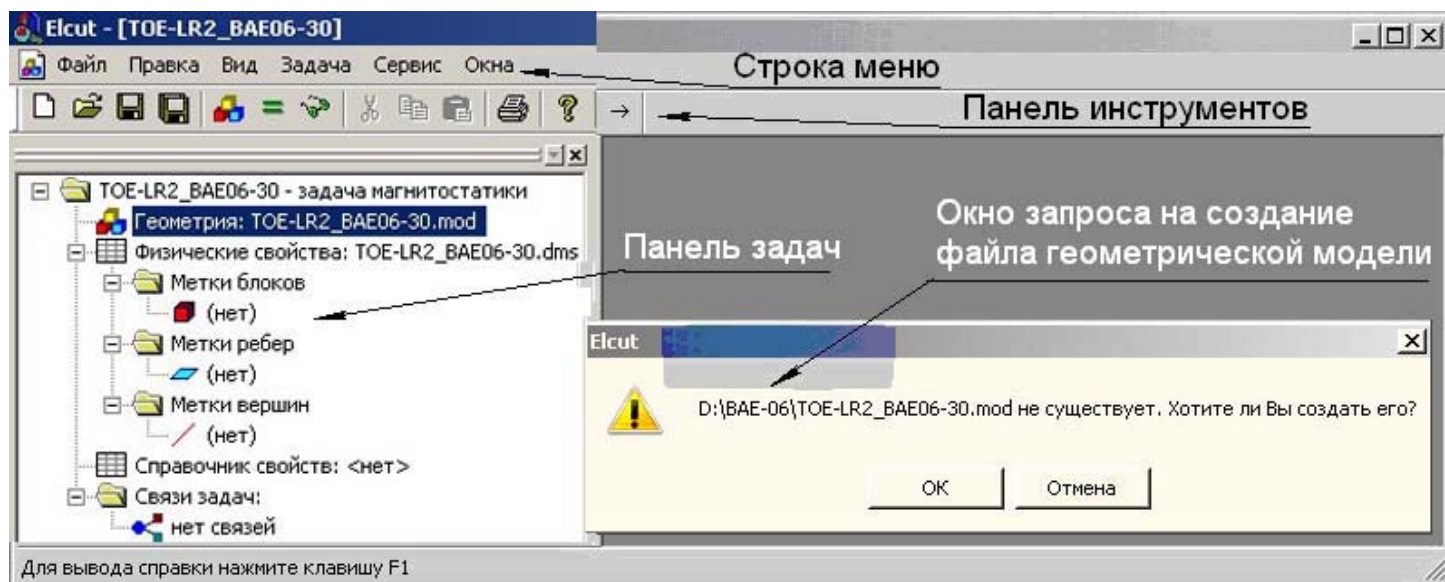


Рисунок 8 – Рабочий стол с панелью задач и окном запроса на создание файла геометрической модели

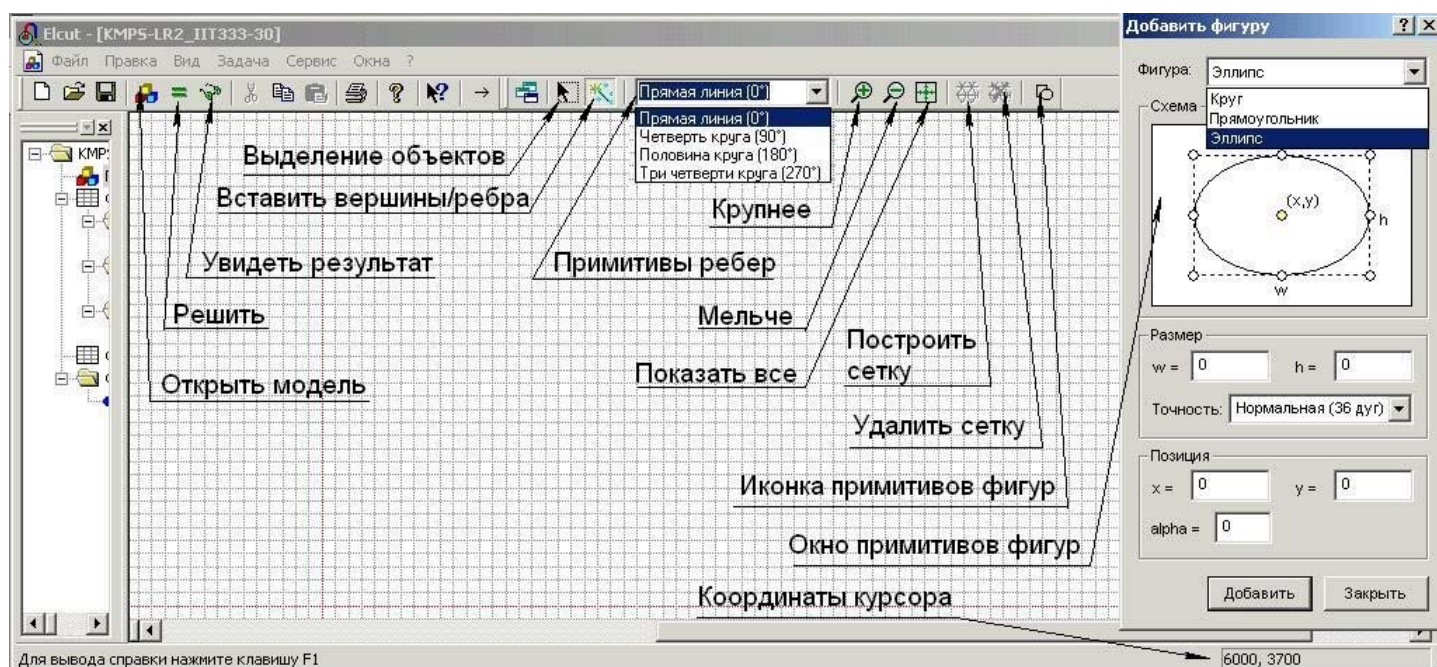


Рисунок 9 – Окно и инструменты геометрической модели

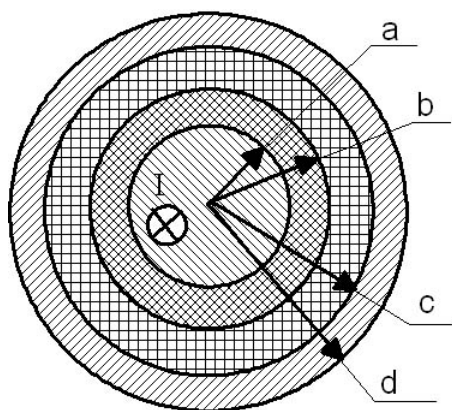


Рисунок 10 - Объект исследования

На панели задач дважды щелкнуть по строке **Геометрия: TOE-LR2_BAE-30.mod** или выбрать в строке меню: **Правка/Геометрическая модель** и подтвердить кнопкой **Ок** в окошке **Elcut** (рисунок 8) создание файла геометрической модели: **D:\BAE-06\TOE-LR2_BAE06-30**.

В результате на рабочем столе **ELCUT** появится окно геометрической модели и в панель инструментов добавятся иконки (рисунок 9).

2 Построение геометрической модели

2.1 На рисунках 10 и 26 приведена поперечное сечение коаксиального кабеля с двухслойной изоляцией, размеры которого приведены в таблице исходных данных.

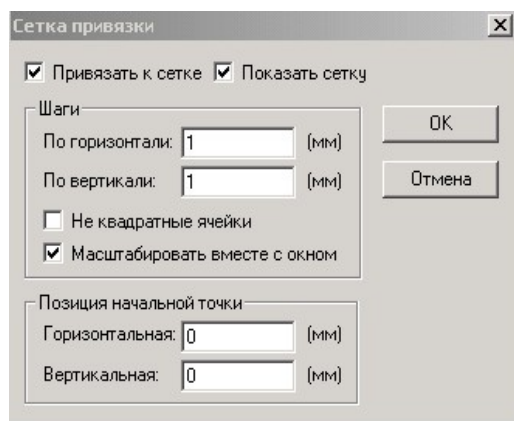






Рисунок 11 – Оптимизация сетки привязки

Если выбрана опция ☒ **Привязать к сетке**, то координаты вершин будут кратны шагам сетки, а для построения координат вершин с координатами, не кратными шагам сетки нужно эту опцию отменить. Точные координаты вершин можно задавать через строку меню: **Правка/Добавить вершины...** . При этом вершины не привязываются к сетке.

Для коаксиального кабеля согласно задания (рисунки 10 и 28) выбраны параметры сетки геометрической модели, показанные на рисунке 11.

2.2 На панели инструментов взять инструмент  - **Вставить Вершины/Рёбра**. Щелкнув по стрелке примитивов ребер  (рисунки 9) выбрать тип ребра (**Прямая линия (0°)**, **Четверть круга (90°)**, **Половина круга (180°)**, **Три четверти круга (270°)**). Целесообразно воспользоваться ребром **Половина круга (180°)**. Поместить указатель (курсор)  в поле чертежа с нужными координатами вершины, которые отображаются в правом нижнем углу строки состояния (рисунки 9), и нажать левую кнопку мыши. Удерживая кнопку мыши, переместить указатель  с вытягиваемой линией (ребром) в конечную точку (вершину) и отпустить кнопку мыши.

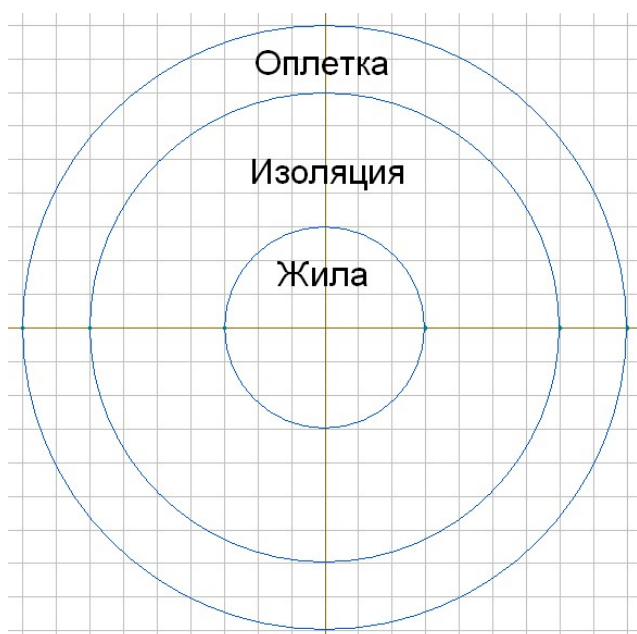





Рисунок 12 – Геометрическая модель

Геометрическая модель должна содержать те области модели, которые отличаются магнитными проницаемостями и источниками полей – электрическими токами. Таких областей три: оплетка, изоляция и жила (рисунки 12).

2.2 В соответствии с размерами области моделирования при помощи иконок  **<Крупнее>** и  **<Мельче>** следует оптимизировать размеры окна геометрической модели по критерию наиболее полного использования его площади.

Выбор шага сетки выполняется из строки меню: **Правка/Сетка привязки...** . В окне **Сетка привязки** устанавливаются требуемые **Шаги**, например, **По горизонтали 1 (мм)** и **По вертикали 1 (мм)**, а также **Позиция начальной точки**, к примеру **Горизонтальная 0 (мм)** и **Вертикальная 0 (мм)** (рисунки 11).

Для точного построения модели следует вводить координаты вершин из строки меню: **Правка/Добавить вершины...**, а затем соединить их ребрами.

Если объект моделирования можно представить простейшими фигурами (круг, прямоугольник, эллипс), то можно воспользоваться иконкой  **<Добавить фигуру>** и в окне **Добавить фигуру** (рисунки 9) задать размеры и координаты центра фигуры.

В случае коаксиального кабеля можно выбрать **Круг**, задать его диаметр и позицию центра (0, 0).

Действуя таким образом построить геометрическую модель (рисунки 12) (надписи приведены на рисунке для пояснения и в окне геометрической модели ELCUT не отображаются).

Примечание. Для своевременного завершения работы отчет о ней в электронном виде в формате документа Word составляется одновременно с выполнением работы. Требования к отчету приведены в п.7.

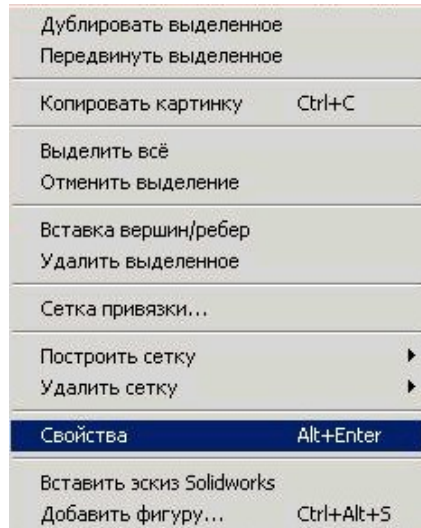


Рисунок 13 – Свойства выделенного объекта

3 Параметры блоков

3.1 Поместить мышку на нужный блок и выделить его нажатием левой кнопки. Щелкнуть правой кнопкой мыши на выделенном блоке и в появившемся меню выбрать **Свойства**.

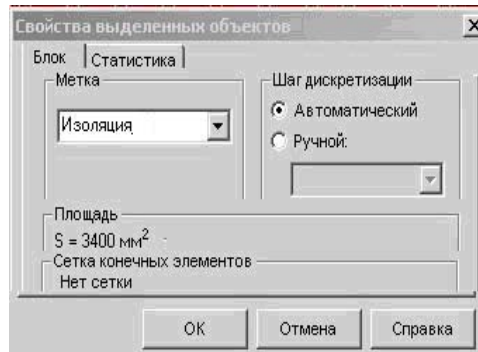


Рисунок 14 – Свойства блока

В окне **Свойства выделенных объектов** выбрать или дописать, например, в опцию **Метка** **Изоляция**, а **Шаг дискретизации** принять ☒ **Автоматический** и кликнуть **Ок**.

Таким образом, следует именовать метки оставшихся блоков: **Оплетка**, **Жила**.

3.2. В левой панели свойств задачи (модели) раскрыть папку **Метки блоков** и задать свойства тех блоков, которые отмечены знаком

3.2.1 После двойного щелчка по метке **Изоляция** в появившемся окне (рисунок 15) **Свойства метки блока - Изоляция** задать опцию **Магнитная проницаемость** μ_x и μ_y равной 1, отметив ☒ **Относительная** и **Координаты** ☒ **Декартовы**.

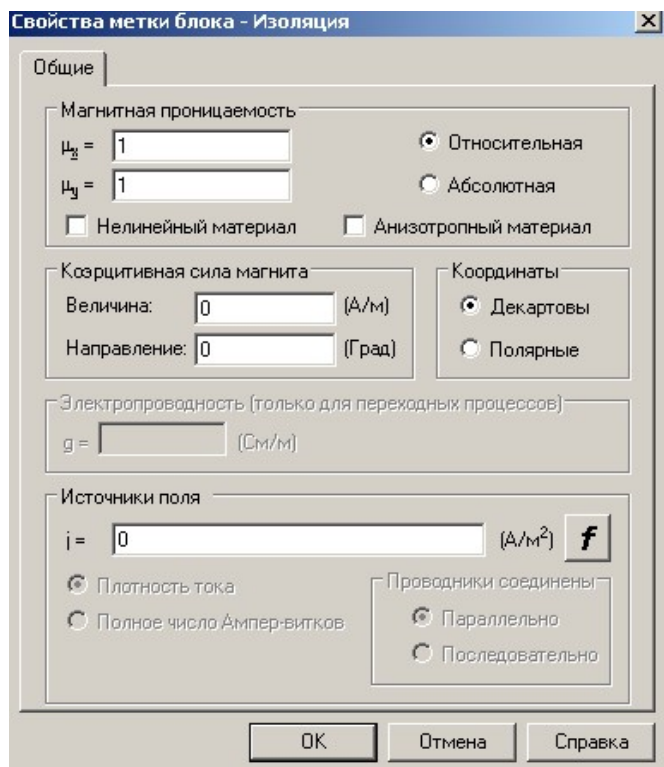


Рисунок 15 – Задание свойств блоков без источников магнитного поля

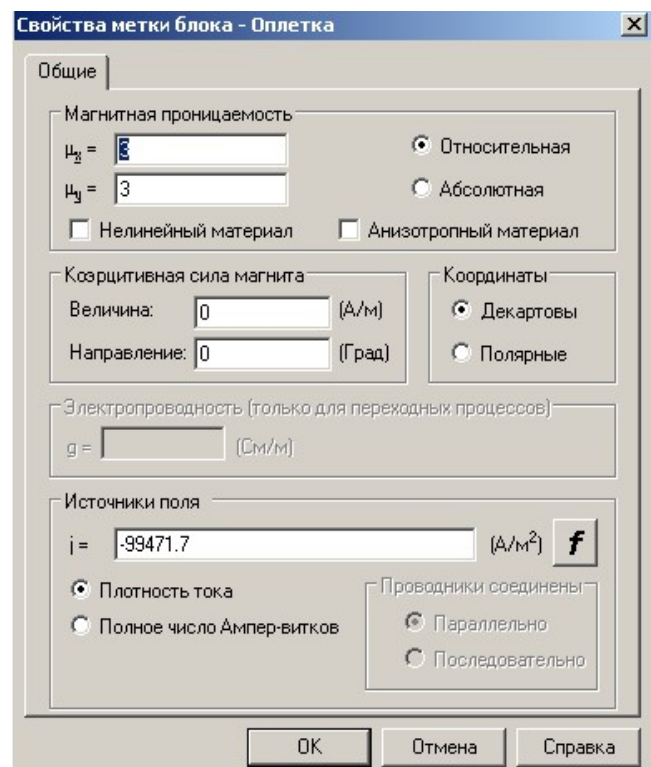


Рисунок 16 – Задание свойств блоков с источниками магнитного поля

Для жилы и оплетки перед вводом источников поля следует подсчитать плотности тока в жиле $\mathbf{j}_a = \mathbf{I} / \pi a^2$ и оплетке $\mathbf{j}_d = \mathbf{I} / \pi (d^2 - c^2)$. Учитывая, что токи в жиле и оплетке противоположны по направлению, знаки у **Источников поля**, должны быть противоположными, например, $\mathbf{j}_a = 353678 \text{ A/m}^2$ и $\mathbf{j}_d = -99471.7 \text{ A/m}^2$ (рисунок 16).

4 Граничные условия (параметры ребер)

Поскольку вне коаксиального кабеля магнитного поля от токов в кабеле нет, то наружную поверхность оплетки можно считать границей области моделирования (ГОМ), на которой векторный магнитный потенциал равен нулю $\mathbf{A}=\mathbf{0}$ (рисунок 17).

4.1 Левой кнопкой мыши выделяется ребро (синий цвет линии меняется на красный), соответствующее внутреннему слою оплетки. Удерживая клавишу <Ctrl>, выделить всю окружность. Затем по нажатию правой кнопки выбирать в появившемся меню пункт **Свойства** (рисунок 13). В окне **Свойства выделенного объекта - Метка** (рисунок 17) записать **Оплетка-ГОМ** и **Ok**.

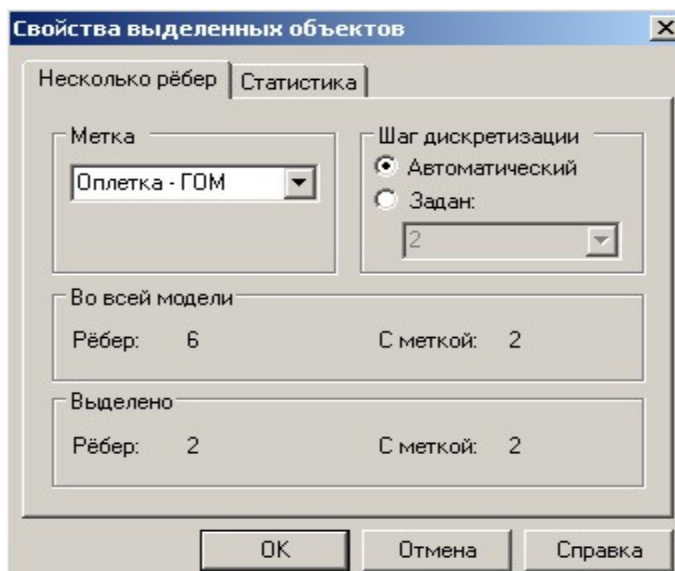


Рисунок 17 - Задание меток ребер

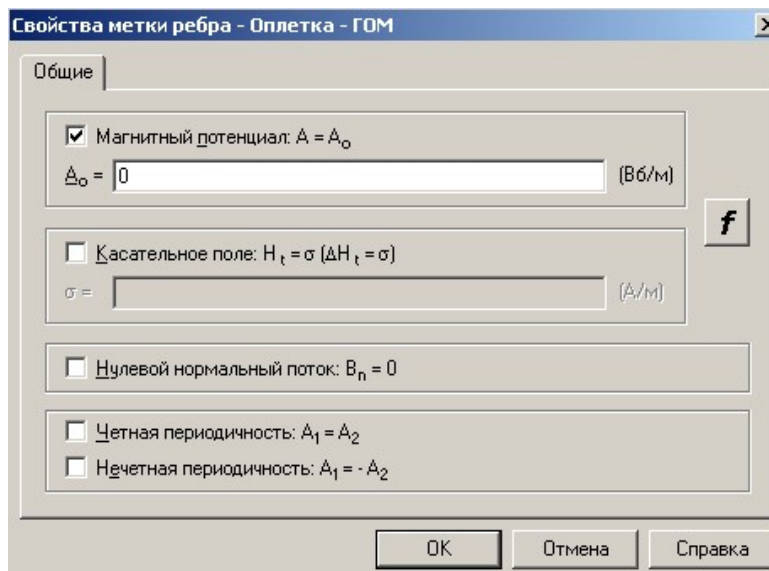


Рисунок 18 – Задание свойств ребер

4.2 На остальных поверхностях границ раздела сред с отличающимися магнитными проницаемостями имеет место однородное граничное условие Неймана $\mathbf{H}_\tau=\mathbf{0}$, которое принимается компьютерной системой моделирования по умолчанию.

4.3 Открыть папку **Метки ребер** в панели свойств модели. Дважды щелкнуть по метке ребра **Оплетка-ГОМ** и в окне **Свойства метки ребра – Оплетка-ГОМ** (рисунок 18) отметить галочкой ☒ **Магнитный потенциал $\mathbf{A}=\mathbf{A}_0$** и задать $\mathbf{A}_0=\mathbf{0}$. Не изменяя других опций закрыть окно **Ok**.

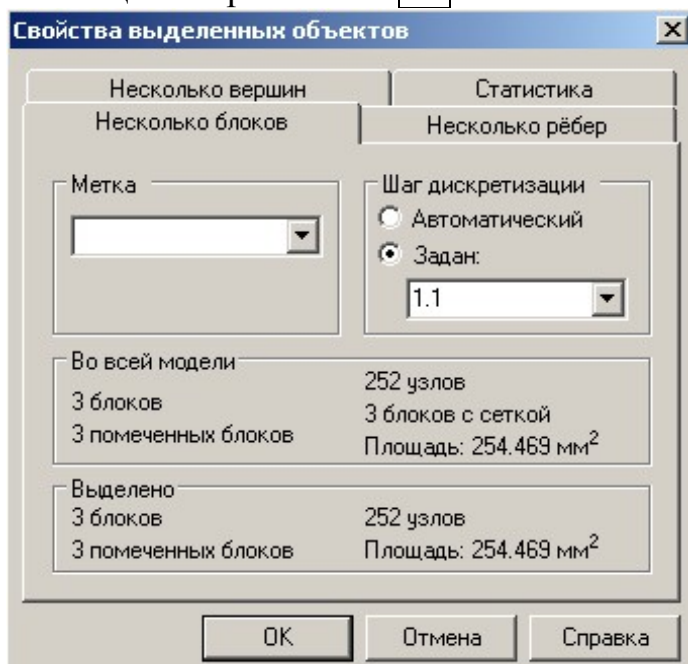


Рисунок 19 – Модель с сеткой конечных элементов

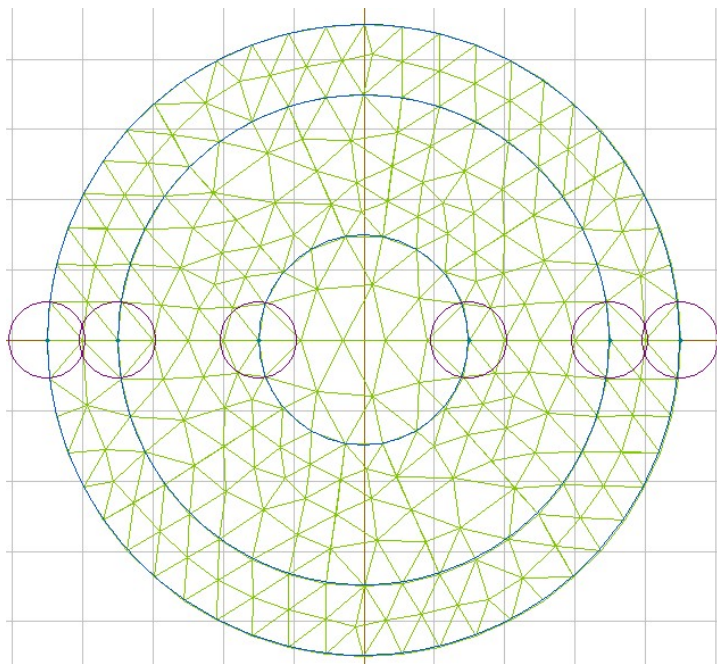


Рисунок 20 – Геометрическая модель с Сеткой конечных элементов

5 Построение сетки конечных элементов

Построить сетку конечных элементов для модели можно выбрав опцию меню **Правка/Построить сетку/Во всех блоках** или выделив блок и нажав правую кнопку мыши **Построить сетку/Во всех блоках**.

5.1 С целью уменьшения погрешности расчета необходимо максимизировать количество узлов сетки конечных элементов (255 узлов для студенческой версии ELCUT). Для этого следует выделить все блоки нажав одновременно клавиши **<Ctrl+A>**. Затем после щелчка по правой кнопке мыши, выбрать пункт **Свойства выделенных объектов/Несколько блоков/Шаг дискретизации/ \odot Задан** и указать шаг сетки примерно 10 % - **1.1** (мм) от наибольшего размера модели (рисунок 19).

Повторяя пп. 5.1, максимизировать число узлов до доступного количества.

Геометрическая модель с сеткой конечных элементов приведена на рисунке 20. Для копирования рисунка в отчет Для копирования картины поля в отчет следует в строке меню выбрать: **Правка/Копировать видимую картинку**.

5 Расчет поля выполнить выбрав на панели инструментов или из строки меню **Задача/Решить ТОЕ-LR2_ВАС06-30**. Если решение не начинается, то следует проверить свойства блоков, ребер и

Специальный индикатор отражает продвижение процесса решения задачи и по окончании появится окно с сообщением:

ТОЕ-LR2_ВАС06-30 решение закончено. Хотите взглянуть?

Если нажать **Да**, то появится черно-белая картина поля (левая половина рисунка 21).

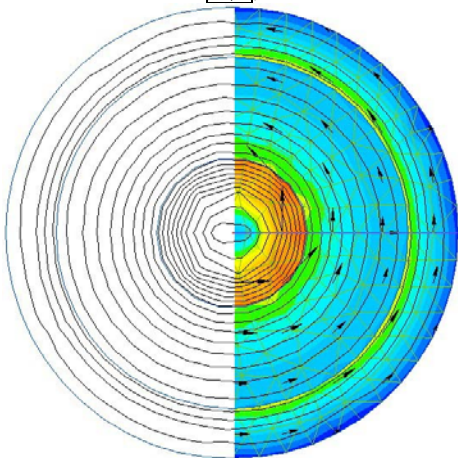


Рисунок 21 – Картина поля

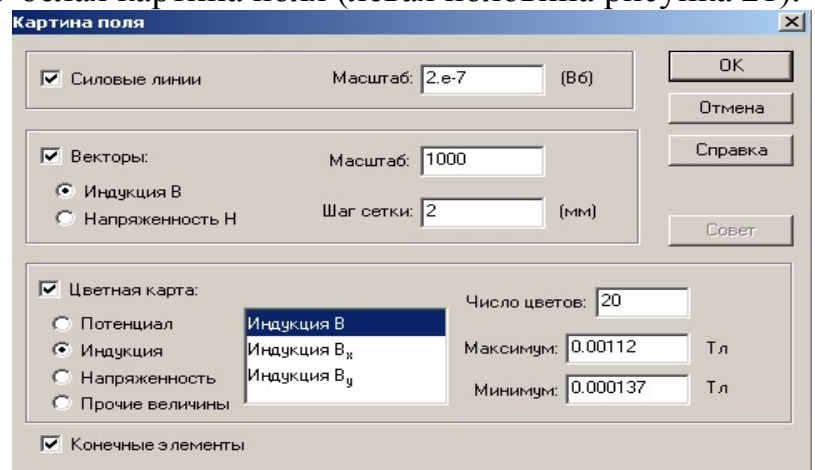


Рисунок 22 – Картина поля

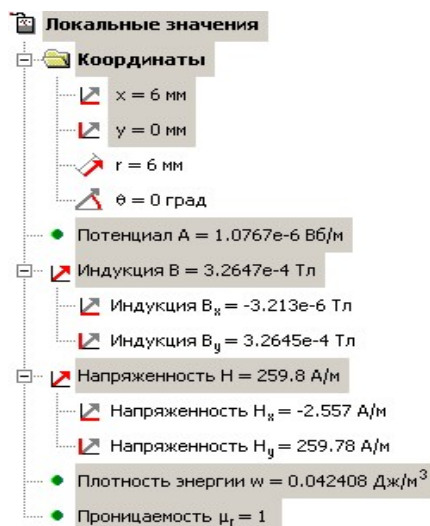


Рисунок 23 – Локальные значения

6 Анализ результатов решения

6.1 Картина поля.



Для придания ей большей информативности картине поля наступить на картину поля мышкой и, щелкнув правой кнопкой, выбрать в меню **Картина поля**.

В появившемся окне **Картина поля** (рисунок 21) отметить галочками:

☒ **Силовые линии**, ☒ **Векторы**, ☒ **Цветная карта** ☒ **Индукция**, ☒ **Конечные элементы** и после щелчка мышкой по **ОК** появится выразительная картина поля (правая половина рисунка 21).

Для копирования картины поля в отчет следует в строке меню выбрать: **Правка/Копировать картинку**.

6.2 Локальные значения

Выбрать в меню **Вид/Локальные значения...** или щелкнуть по иконке  <Локальные значения>, поместить измерительный инструмент  на поле модели в контрольные точки, проанализировать и занести в отчет для двух точек: координаты ХУ, векторный магнитный потенциал, магнитную индукцию, напряженность магнитного поля, плотность энергии, проницаемость. После выделения (удерживая клавишу <Ctrl>) требуемых величин скопировать в отчет через буфер обмена (правой клавишей мыши).

6.3 Интегральные значения



Используя инструмент  <Добавить к контуру>, а лучше, выбрав в строке меню: **Контур/Ввод линий...**, построить видимую линию контура (линия со стрелкой на рисунке 21) с координатами [0;0; d;0]. При помощи инструмента  <Интегральный калькулятор> или, выбрав в строке меню: **Вид/Интегральные значения...**, проанализировать и занести в отчет интегральные значения следующих величин: длина контура, пондеромоторная сила, магнитодвижущая сила и магнитный поток (рисунок 24).



Рисунок 24 –
Интегральные значения

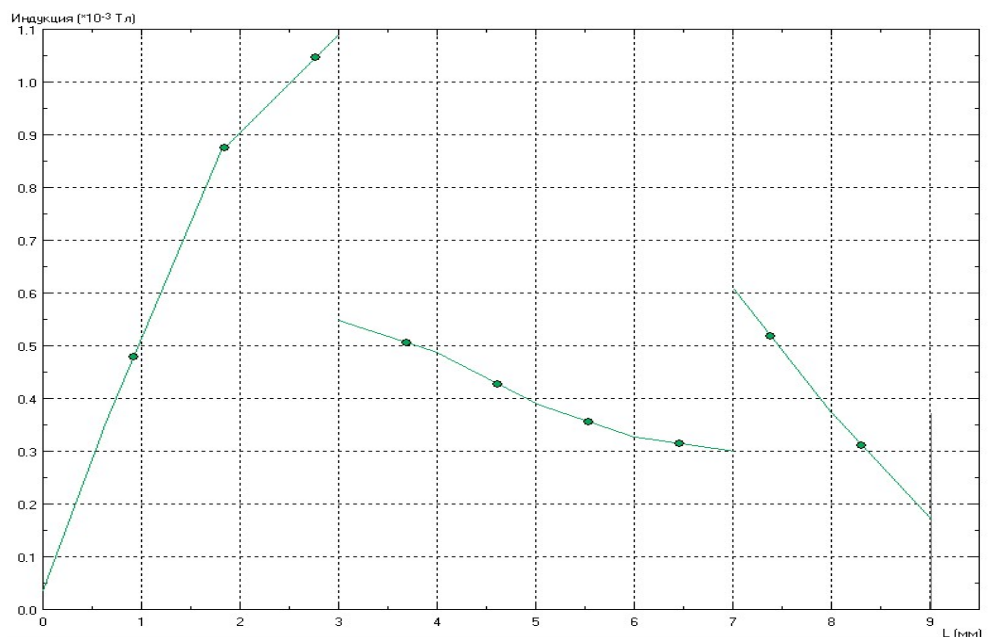


Рисунок 25 – Диаграмма зависимости индукции магнитного поля от длины контура

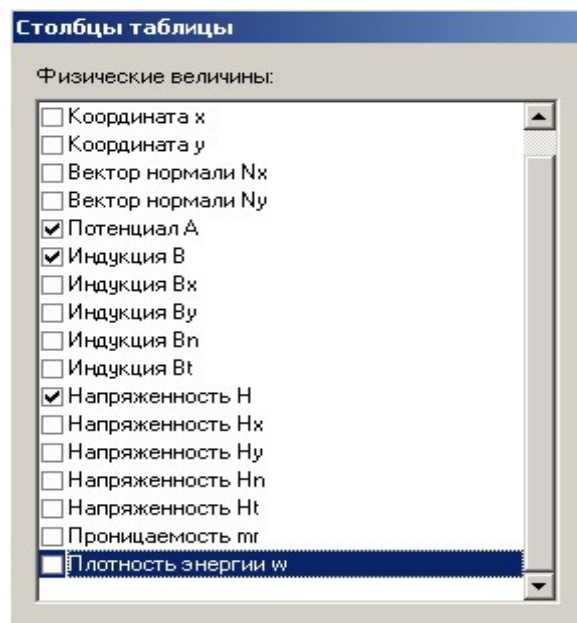




Рисунок 26 – Выбор столбцов

6.4 Графики.

Выбрать в меню **Вид/График** или щелкнуть по иконке . В поле чертежа появится диаграмма. Занести в отчет графики напряженности, индукции и векторного потенциала магнитного поля в функции длины контура (рисунок 25).

6.5 Таблица.

Выбрать в меню **Вид/Таблица** или . В поле чертежа появится таблица значений физических величин. В таблице необходимо оставить только те значения, для которых построены графики (расстояние, потенциал (напряжение), напряженность и смещение электрического поля).

Выбор столбцов в меню: **Вид/Столбцы** (рисунок 25).

Примечание. Картина поля, результаты анализа (локальные и интегральные значения), графики и таблица копируются в отчет через буфер обмена.

6.6 Повышение точности моделирования

Поскольку в студенческой версии ELCUT количество узлов сетки конечных элементов ограничено, то, с целью уменьшения погрешности, необходимо уменьшить область моделирования. Для этого следует использовать симметрию конструкции коаксиальной системы проводников, вырезав и оставив только небольшой сектор, удалив большую часть области моделирования (рисунок 27).

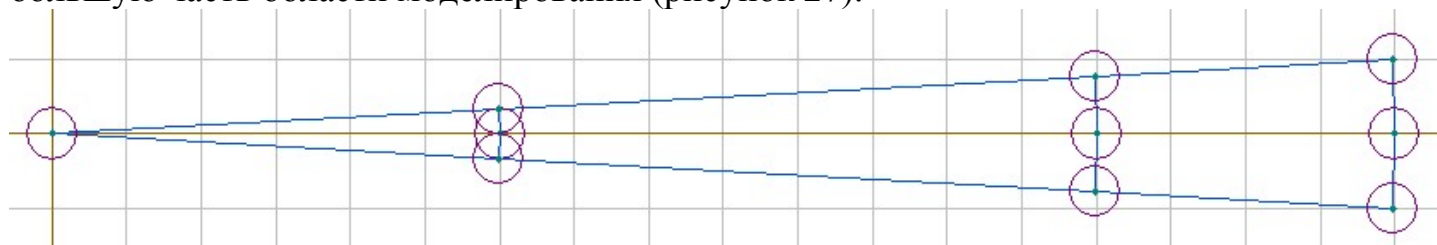


Рисунок 27 – Геометрическая модель для уточненного моделирования

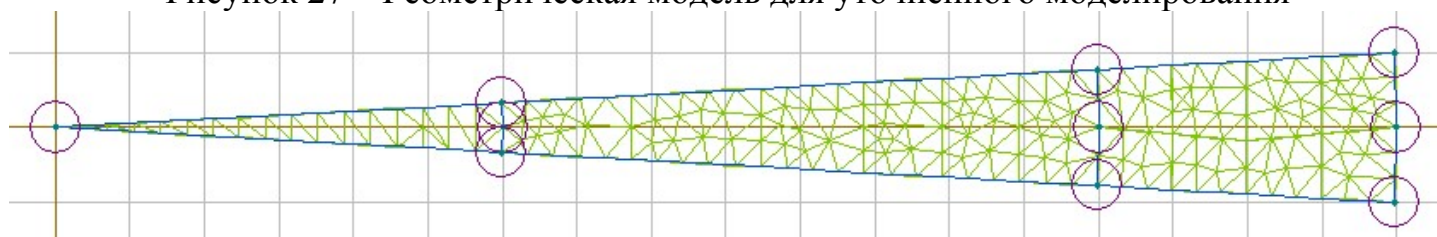


Рисунок 28 – Геометрическая модель с сеткой конечных элементов

Оставив без изменения свойства блоков и ребер (п. 3 и п. 4), еще раз выполнить расчет (п. 5 и п. 6) и построить зависимость индукции поля от расстояния (рисунок 29)

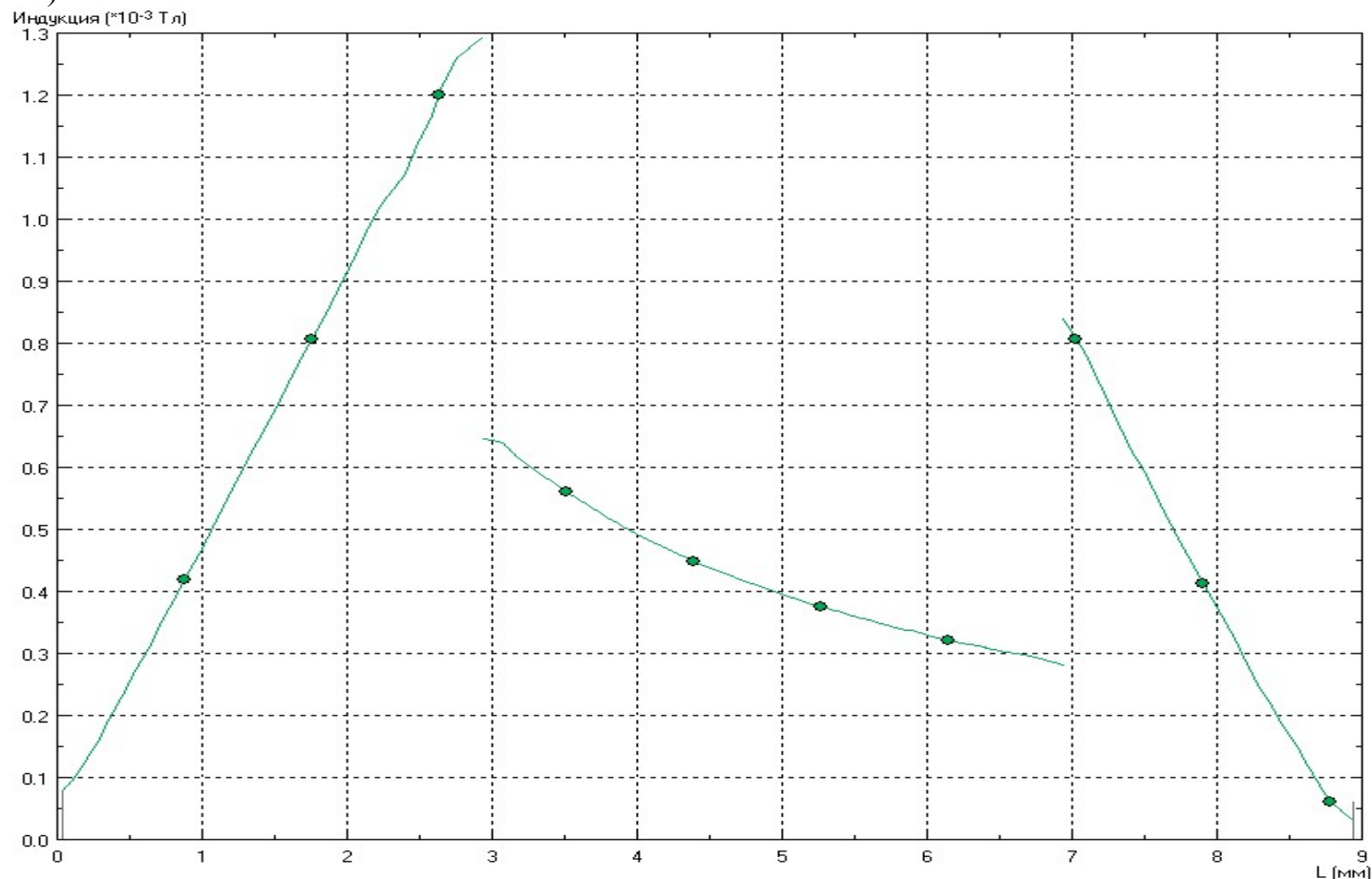


Рисунок 29 - Диаграмма зависимости индукции магнитного поля от длины контура для сектора

6.7 Анализ результатов расчета и моделирования

Результаты моделирования в системе ELCUT и аналитического расчета, выполненного на практических занятиях, свести в таблицу, подсчитать погрешность моделирования по отношению к расчету, проанализировать и сделать выводы.

Расстояние, м	Напряженность H , А/м				Индукция B , Тл			
	a	b	c	d	a-	a+	c-	c+
Расчет								
Модель 1								
Погрешность 1								
Модель 2 (пп.6.6)								
Погрешность 2								

Таблица 1 – Результаты расчета и моделирования

7 Требования к отчету

7.1 Отчет предоставляется в электронном виде в формате документа Word.

7.2 Отчет должен содержать:

- титульный лист;
- исходные данные (вид модели, вывод уравнений Пуассона и Лапласа для ЭСП);
- геометрическую модель с сеткой конечных элементов;
- картину поля;
- локальные значения в 2-х точках;
- интегральные значения в контуре;
- графики 3-х величин (напряженности, индукции и векторного потенциала магнитного поля;
- таблицу значений для графиков;
- выводы по работе.

7.3 Представить по выполненной работе следующие файлы:

- TOE-LR2_BAE09-30.doc - отчет в виде документа Word;
- TOE-LR2_BAE09-30.pbm - описание задачи ELCUT;
- TOE-LR2_BAE09-30.mod - геометрическая модель;
- TOE-LR2_BAE09-30.dms - описание свойств материалов модели;
- TOE-LR2_BAE09-30.res - результаты расчета.

8 Защита лабораторной работы

8.1 К защите допускается студент, выполнивший лабораторную работу и представивший отчет в полном объеме.

8.2 Работа защищается каждым студентом индивидуально в письменном виде. На защите необходимо показать знание теории электрического поля и практических навыков работы с системой моделирования по методу конечных элементов ELCUT.

9 Контрольные вопросы

9.1 Магнитное поле (МП)

- напряженность и индукция МП, магнитная проницаемость;
- магнитный поток и его непрерывность. Закон полного тока;
- раскрытие ротора в декартовой системе координат;
- законы Ампера и Био-Саварра-Лапласа;
- скалярный и векторный магнитные потенциалы;
- уравнения Пуассона и Лапласа для векторного магнитного потенциала;

- граничные условия в магнитном поле;
- индуктивность собственная и взаимная;
- индуктивность цилиндрического проводника;
- индуктивность двухпроводной линии;
- энергия и силы МП.

9.4 Работа с системой моделирования ELCUT:

- постановка задачи;
- построение геометрической модели и сетки конечных элементов;
- задание свойств блоков (материалов), источников полей;
- задание свойств ребер (граничных условий);
- анализ решения задачи.

10 Исходные данные

Посредством коаксиальной системы проводников (КСП) (коаксиального кабеля) с двухслойной изоляцией к источнику ЭДС E подключен резистор R .

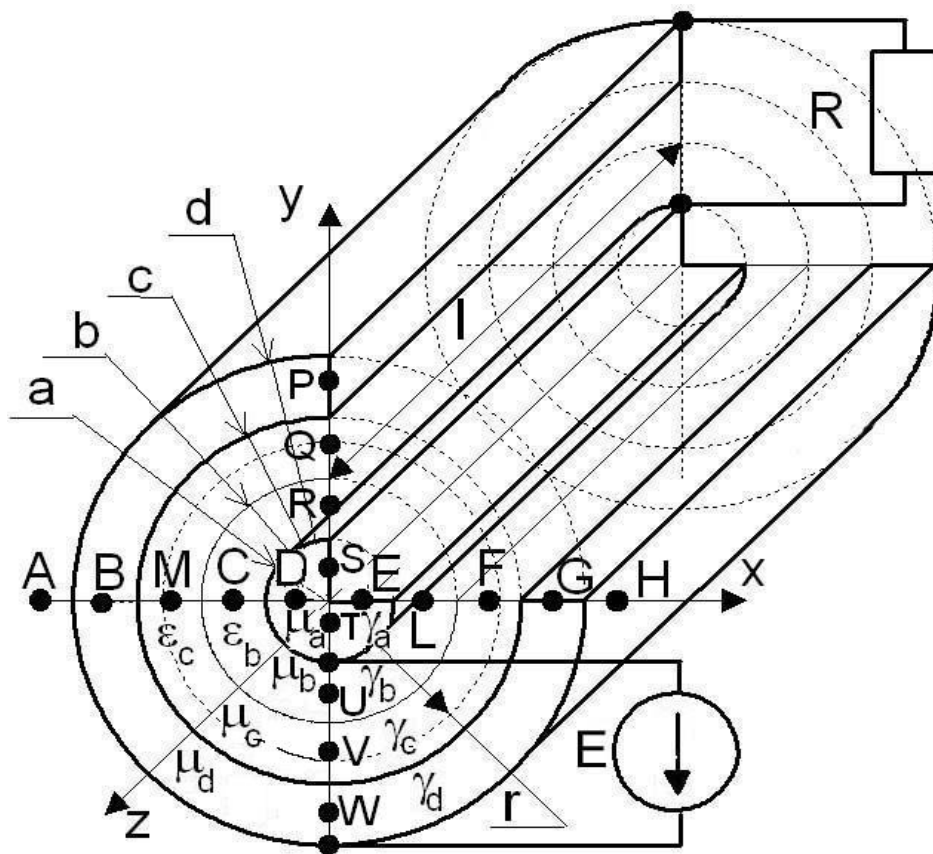


Рисунок 28 – Конструкция КСП

Конструкция КСП - коаксиального кабеля - (рисунок 1):

a, b, c и d - наружные радиусы центрального проводника (жилы), слоев изоляции и наружного проводника (оплетки);

l - длина КСП ($l \gg d$);

ϵ_b и ϵ_c - относительные диэлектрические проницаемости слоев изоляции из диамagnetика и парамагнетика;

$\mu_a, \mu_b, \mu_c, \mu_d$ и $\gamma_a, \gamma_b, \gamma_c, \gamma_d$ относительные магнитные проницаемости и удельные проводимости жилы, изоляции и оплетки;

ϕ_d - потенциал оплетки;

τ - линейная плотность заряда;

Положение контрольных точек (рисунок 26):

B и G - внутри внешнего проводника (оплетки) d ($|x_B| = |x_G| = (c+d)/2$);

M и F - в слое изоляции c ($|x_M| = |x_F| = (b+c)/2$);

C и L - в слое изоляции b ($|x_C| = |x_L| = (a+b)/2$);

D и E - внутри центрального проводника (жилы) a ($|x_D| = |x_E| = a/2$);

P и W - внутри внешнего проводника (оплетки) d ($|y_P| = |y_W| = (c+d)/2$);

Q и V - в слое изоляции c ($|y_Q| = |y_V| = (b+c)/2$);

R и U - в слое изоляции b ($|y_R| = |y_U| = (a+b)/2$);

S и T - внутри центрального проводника (жилы) a ($|y_S| = |y_T| = a/2$).

Таблица 1 – Варианты исходных данных (АЭ № 1-30, БАЭ № 31-60)

№	Размеры				Линейная плотность заряда	Относительная диэлектрическая проницаемость		Потенциал оплетки	Ток	Проводимость				Относительная магнитная проницаемость		Частота	Контрольные точки для построения векторных диаграмм
	a	b	c	d	τ	ε _б	ε _с	Φ _д	I	γ _а	γ _д	γ _б	γ _с	μ _а	μ _д	f	
1	2	4	6	9	6	5	3	0	10	61	12	1	150	3	2	150	В, М
2	3	6	8	10	8	6	3	10	12	60	14	2	148	4	3	160	В, F
3	1	2	4	7	11	3	6	20	8	59	16	3	146	2	2	170	В, Q
4	1	2	5	6	14	8	3	30	6	58	18	4	144	3	4	180	В, V
5	4	6	8	10	22	7	2	40	15	57	20	5	142	5	2	190	G, C
6	5	8	10	12	12	3	1	50	20	56	22	6	140	2	5	200	G, L
7	5	9	11	13	9	2	4	60	24	55	24	7	138	6	2	210	G, R
8	2	4	6	8	14	4	2	70	10	54	26	8	136	3	2	220	G, U
9	3	5	8	10	11	5	8	80	12	53	28	9	134	4	2	230	P, М
10	2	5	7	9	12	3	2	90	8	52	30	10	132	2	4	240	P, F
11	2	6	8	10	13	2	3	100	7	51	32	11	130	3	2	250	P, Q
12	1	3	6	9	14	4	2	110	1	50	34	12	120	3	4	260	P, V
13	3	6	8	10	12	3	4	120	11	49	36	13	118	3	5	270	W, C
14	3	6	9	11	10	4	5	130	14	48	38	14	116	3	5	280	W, L
15	3	7	9	12	10	2	4	140	12	47	40	15	114	5	2	290	W, R
16	5	8	11	13	10	1	4	150	22	62	10	16	112	2	4	300	W, U
17	5	9	12	14	12	2	3	160	18	45	44	17	110	4	2	310	D, C
18	5	7	9	11	8	3	2	170	20	44	46	18	108	5	3	320	D, R
19	3	5	8	10	6	4	6	180	12	43	48	19	106	3	2	330	D, L
20	2	5	7	9	10	2	1	190	10	42	50	20	104	2	3	340	D, U
21	2	4	6	8	20	3	2	200	11	41	52	21	102	3	2	350	E, М
22	3	6	8	10	15	4	3	210	15	40	54	22	100	4	3	360	E, F
23	3	6	9	11	12	3	1	220	13	39	56	23	98	6	2	370	E, Q
24	4	7	9	11	10	4	8	230	16	38	58	24	96	4	2	380	E, V
25	4	6	8	12	8	2	3	240	20	37	60	25	94	2	3	390	S, C
26	3	5	7	10	14	5	3	250	24	36	62	26	92	6	2	400	S, L
27	4	7	9	12	20	5	1	260	28	35	64	27	90	3	2	410	S, Q
28	3	6	8	10	16	2	6	270	22	34	66	28	88	2	3	420	S, V
29	3	6	9	12	16	2	8	280	20	33	68	29	86	6	2	430	T, М
30	4	8	10	12	20	4	1	290	12	32	70	30	84	2	4	440	T, F
31	2	4	6	9	10	1	4	10	20	49	49	31	82	2	5	450	T, Q
32	3	6	8	10	12	2	3	20	24	48	48	32	80	4	2	460	T, V
33	1	2	4	7	8	3	2	30	10	47	47	33	78	5	2	470	В, C
34	1	2	5	6	6	4	6	40	12	62	62	34	76	3	2	480	В, L
35	4	6	8	10	10	2	1	50	8	45	45	35	74	2	3	490	В, R
36	5	8	10	12	20	3	2	60	7	44	44	36	72	3	2	500	В, U
37	5	9	11	13	15	4	5	70	1	43	43	37	70	4	4	510	G, М
38	2	4	6	8	12	3	1	80	11	42	42	38	68	6	2	520	G, F
39	3	5	8	10	10	4	8	90	14	41	41	39	66	4	3	530	G, Q
№	a	b	c	d	τ	ε _б	ε _с	Φ _д	I	γ _а	γ _д	γ _б	γ _с	μ _а	μ _д	f	Точки

№	a	b	c	d	τ	ε_b	ε_c	φ_d	I	γ_a	γ_d	γ_b	γ_c	μ_a	μ_d	f	Точки
40	2	5	7	9	8	2	3	100	12	40	40	40	64	2	2	540	G, V
41	2	6	8	10	14	5	3	110	22	39	39	41	62	6	4	550	P, C
42	1	3	6	9	20	5	1	120	18	38	38	42	50	3	2	560	P, L
43	3	6	8	10	16	2	6	130	20	37	37	43	48	2	4	570	P, R
44	3	6	9	11	16	2	8	140	12	36	36	44	46	6	2	580	P, U
45	3	7	9	12	20	4	1	150	10	35	35	45	44	2	5	590	W, M
46	5	8	11	13	6	5	3	160	11	22	62	46	42	3	2	600	W, F
47	5	9	12	14	8	6	3	170	15	18	45	47	40	4	3	610	W, Q
48	5	7	9	11	11	3	6	180	13	20	44	48	38	4	2	620	W, V
49	3	5	8	10	14	8	3	190	16	12	43	49	36	3	2	630	D, M
50	2	5	7	9	22	7	2	200	20	14	42	50	34	5	2	640	D, F
51	2	4	6	8	12	3	1	210	24	16	41	51	32	2	4	650	D, L
52	3	6	8	10	9	2	4	220	28	18	40	52	30	6	2	660	D, V
53	3	6	9	11	14	4	2	230	22	20	39	53	28	3	5	670	E, C
54	4	7	9	11	11	5	8	240	20	22	38	54	22	4	2	680	E, L
55	3	5	8	10	12	2	8	250	12	24	37	55	20	4	3	690	E, R
56	2	5	7	9	13	4	1	260	10	26	36	56	18	2	4	700	E, U
57	2	4	6	8	14	5	3	270	12	28	35	57	16	3	2	710	S, M
58	3	6	8	10	12	6	3	280	8	30	34	58	14	3	4	720	S, F
59	3	6	9	11	10	3	6	290	6	32	33	59	12	3	5	730	S, R
60	5	7	9	11	10	8	3	300	15	34	32	60	10	3	5	740	S, U
T	3	5	7	9	1	3	2	5	10	24	37	70	8	2	3	200	T, F
№	a	b	c	d	τ	ε_b	ε_c	φ_d	I	γ_a	γ_d	γ_b	γ_c	μ_a	μ_d	f	Точки