

Прикладной программный продукт «ELCUT»

Дисциплина
«Программные средства профессиональной деятельности »



Лектор:

Доцент ОЭЭ ИШЭ ТПУ

Воронина Наталья Алексеевна

Характеристика пакета

- ELCUT – это современный комплекс программ для инженерного моделирования электромагнитных, тепловых и механических задач методом конечных элементов.
- ELCUT – это полноценное Windows приложение, которое разработано специально для этой платформы и полностью использует все преимущества современных компьютеров.

Пакет ELCUT

- Для применения пакета ELCUT его нужно установить на персональный компьютер. Пакет ELCUT в студенческом варианте распространяется бесплатно. Его можно скачать на сайте производителя: www.elcut.ru

Возможности пакета

○ ELCUT позволяет решать задачи по следующим темам:

- Электростатика;
- Электрическое поле переменных токов в неидеальном диэлектрике;
- Растекание токов в проводящей среде;
- Линейная и нелинейная магнитостатика;
- Магнитное поле переменных токов (с учетом вихревых токов);
- Нестационарное магнитное поле;
- Линейная и нелинейная, стационарная и нестационарная теплопередача;
- Линейный анализ напряженно-деформированного состояния;
- Связанные задачи.

Применение пакета

ELCUT широко используется в научных исследованиях, промышленности и образовании.

- Академические и прикладные научные центры используют его при моделировании физических задач, связанных с электромагнитными полями, электрическими токами, температурными полями, упругими напряжениями и деформациями, которые возникают в самых различных направлениях научных исследований.

Промышленные предприятия применяют ELCUT:

- для расчета электромагнитных параметров и тепловых режимов электрических машин, анализе магнитного поля существующих машин, либо при расчёте машин нетрадиционных конструкций;

- для анализа электрического поля в высоковольтных вводах, обмотках, изоляционных системах используется при проектировании силовых трансформаторов и других высоковольтных аппаратов.

При обучении студентов его используют при изучении таких дисциплин как:

- теоретические основы электротехники (ТОЭ),
- электрические машины,
- изоляция,
- электротехнологии,
- электроприводы,
- энергообеспечение предприятий,
- электромеханика,
- автоматизация,
- системы автоматизированного проектирования (САПР) и других.

Основы математического описания

- Основой математического описания электромагнитных полей являются уравнения Максвелла.
- Он вывел их с помощью аппарата векторного анализа, показав, что переменные электрическое и магнитное поля находятся в неразрывной взаимосвязи, совокупность которых представляет собой единое электромагнитное поле.

Основные вектора

○ Основными векторами, характеризующими электромагнитное поле, являются:

Вектора индукции $\vec{B}$ и

напряженности $\vec{H}$ магнитного поля;

Вектора смещения $\vec{D}$ и

напряженности $\vec{E}$ электрического поля;

Вектор плотности $\vec{J}$ электрического тока.

Уравнения Максвелла

- Первое уравнение Максвелла $\operatorname{rot} \bar{H} = \bar{J} + \frac{\partial \bar{D}}{\partial t},$
- Второе уравнение Максвелла $\operatorname{rot} \bar{E} = -\frac{\partial \bar{B}}{\partial t},$
- Третье уравнение Максвелла $\operatorname{div} \bar{B} = 0,$
- Четвертое уравнение Максвелла $\operatorname{div} \bar{D} = r,$

Физические пояснения

○ Первое уравнением Максвелла гласит:

Вихрь магнитного поля создается полным током, определяемым плотностью тока проводимости и тока смещения.

Ток смещения, введенный Максвеллом, возникает под действием изменяющегося во времени электрического поля. Этот ток, протекая в диэлектрике в процессе его поляризации, создает собственное поле.

- Второе уравнение Максвелла отражает закон электромагнитной индукции, открытый впервые в 1831 году Фарадеем.
- Это уравнение говорит, что любое изменение индукции магнитного поля приводит к возникновению вихревого электрического поля с электрической напряженностью $\vec{E}$

- *Третье уравнение Максвелла* – это уравнение непрерывности.
- Оно означает, что нет истоков магнитного поля, нет магнитных зарядов, что линии магнитного поля являются замкнутыми. Это уравнение является математической формулировкой взглядов Фарадея, поддержанных Максвеллом и заключающихся в том, что линии магнитного поля всегда замкнуты или, по крайней мере, не имеют ни начала, ни конца.

- Четвертое уравнение Максвелла означает, что электрическое поле образуется зарядами, плотность которых равна ρ , и линии этого поля начинаются и кончаются на этих зарядах.
- Это уравнение часто называют дифференциальной формой электростатической теоремы Гаусса.

Компонентные уравнения

○ Четыре топологических уравнения Максвелла дополняются обычно компонентными уравнениями, связывающими между собой значения векторов электромагнитного поля.

$$\bar{B} = \mu \bar{H} \quad \bar{D} = \epsilon \bar{E} \quad \bar{J} = \gamma \bar{E},$$

Решение системы уравнений Максвелла

- Уравнения решаются численными методами.
- Применительно к задачам электромеханики и энергетики широко используют метод конечных элементов (МКЭ).
- Этот метод является основой комплекса программ ELCUT.

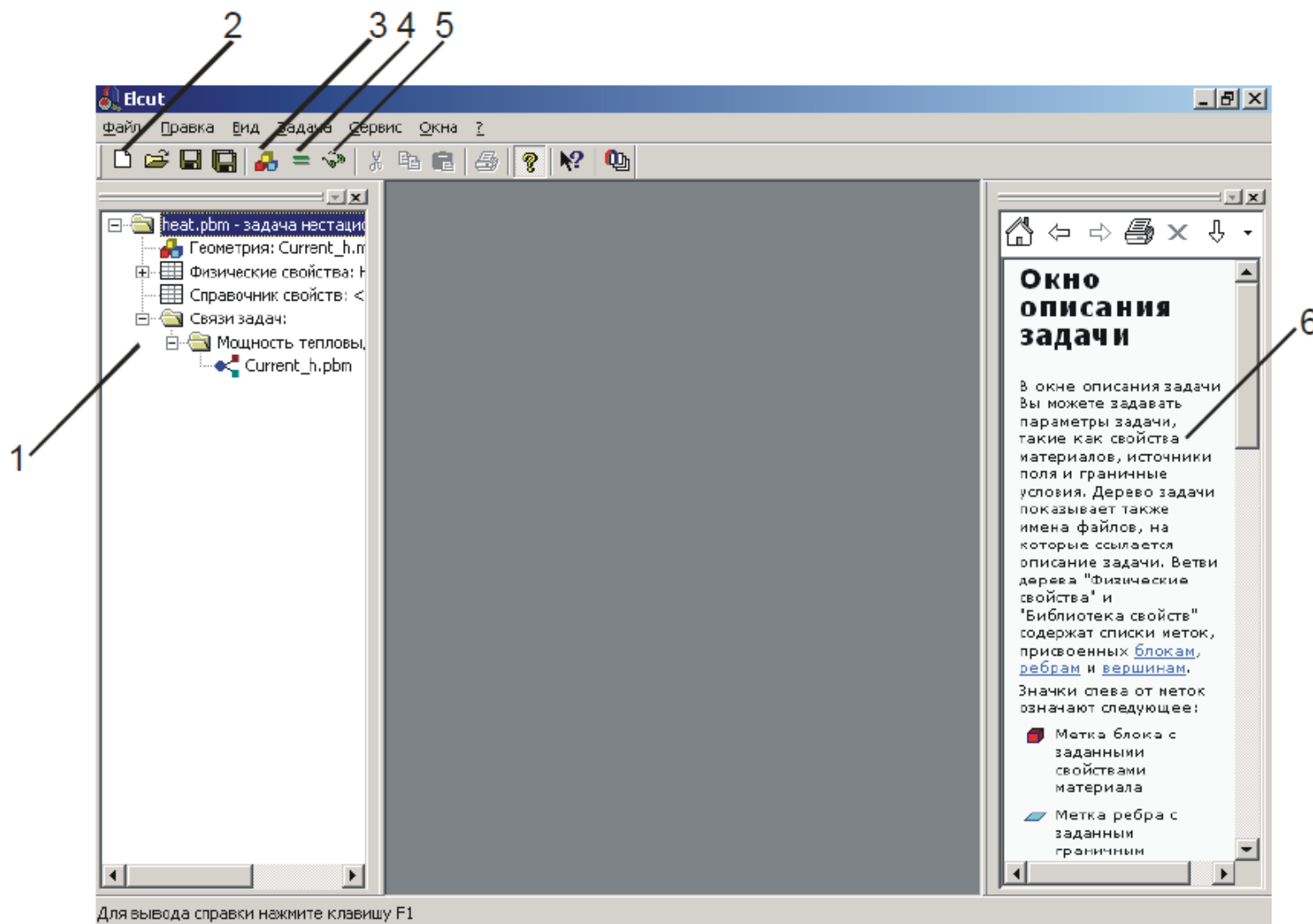
Основные принципы работы

○ Установка ELCUT

Профессиональная версия ELCUT, а также Студенческая версия, распространяемая на компакт-диске, содержит программу автозапуска *Autorun.exe*.

Студенческая версия ELCUT, свободно загружаемая с сайта www.elcut.ru, не содержит программы автозапуска.

Интерфейс ELCUT



Структура интерфейса

- В верхней части рабочего экрана расположены главное меню и кнопки, позволяющие ускорить работу программы.
- Слева от рабочего окна располагается задача, которая была активной на момент последнего закрытия программы (1).

- В правой части экрана находится справочная панель (6), панель с подсказками, которая сопровождает пользователя в течение всего времени работы с системой, автоматически вводя нужный раздел справки.
- Кнопка 2 позволяет приступить к созданию новой задачи.
- Кнопка 3 позволяет открыть модель и провести с ней редактирование.
- Кнопка 4 для решения задачи.
- Кнопка 5 позволяет просмотреть результат решения задачи.

Главное меню

- Главное меню содержит подменю:

Файл, Правка, Вид, Задача, Сервис, Окна и «?».

Каждое подменю имеет соответствующие пункты. Если в конце названия пункта имеется многоточие, то это означает, что за ним следует окно диалога, предназначенное для запроса дополнительной информации.

Выбор пункта меню осуществляется с помощью мыши или «горячих» клавиш.

Создание задачи

- Чтобы создать новую задачу, выберите позицию Создать из меню Файл и в появившемся окне Новый документ затем укажите Задача ELCUT в списке предлагаемых типов документов.
- Нажмите кнопку Готово.
- Затем в появившемся окне Создание задачи введите имя задачи и укажите путь к папке, в которой будут храниться файлы задачи.

Новый документ



Создать новый:

Задача ELCUT

Геометрическая модель

Свойства для электростатики

Свойства для магнитостатики

Свойства для теплопередачи

Свойства для электрического поля постоянных токов

Свойства для магнитного поля переменных токов

Свойства для упругости

Свойства для электрического поля переменных токов

Электрическая цепь

Готово

Отмена

Справка

Создание задачи



Введите имя и расположение новой задачи, или выберите нужную папку, пользуясь кнопкой Обзор.

Имя файла задачи:

электро 1

Создать в папке:

Обзор...

C:\PROGRA~1\TORCOO~1\ELCUT5~1.5\Exa

Использовать существующую задачу как образец

☐ Сделать новую задачу как копию образца

Выберите задачу - образец:

< Назад

Далее >

Отмена

Справка

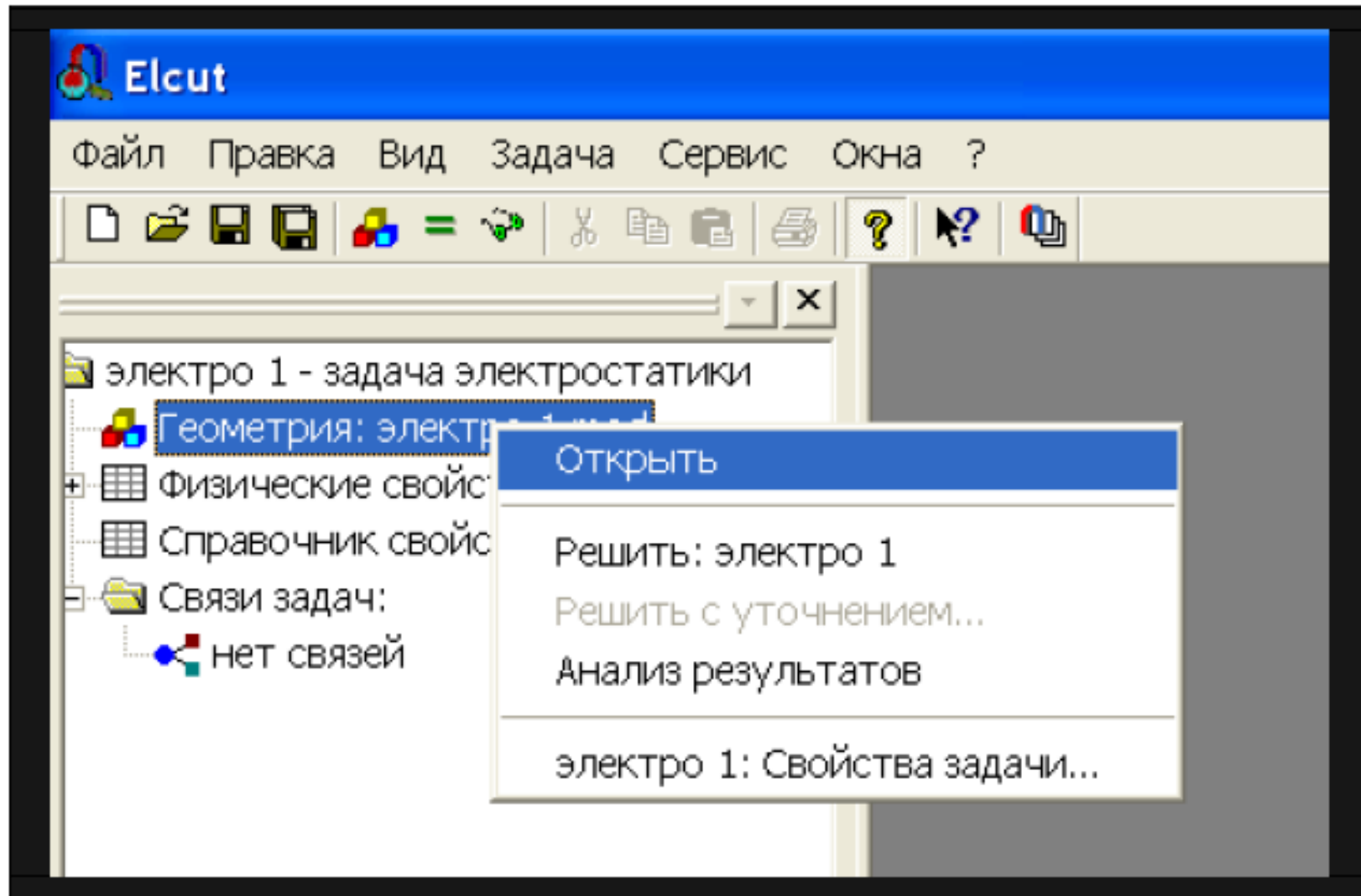
Открытая задача

- Открытая задача отображается в окне описания задачи, которое расположено слева от главного окна ELCUT.
- В окне описания задачи вы можете задавать параметры задачи, такие как свойства материалов, источники поля и граничные условия.
- Дерево задачи показывает также имена файлов, на которые ссылается описание задачи.
- Ветви дерева "Физические свойства" и "Библиотека свойств" содержат списки меток, присвоенных блокам, вершинам и ребрам модели.

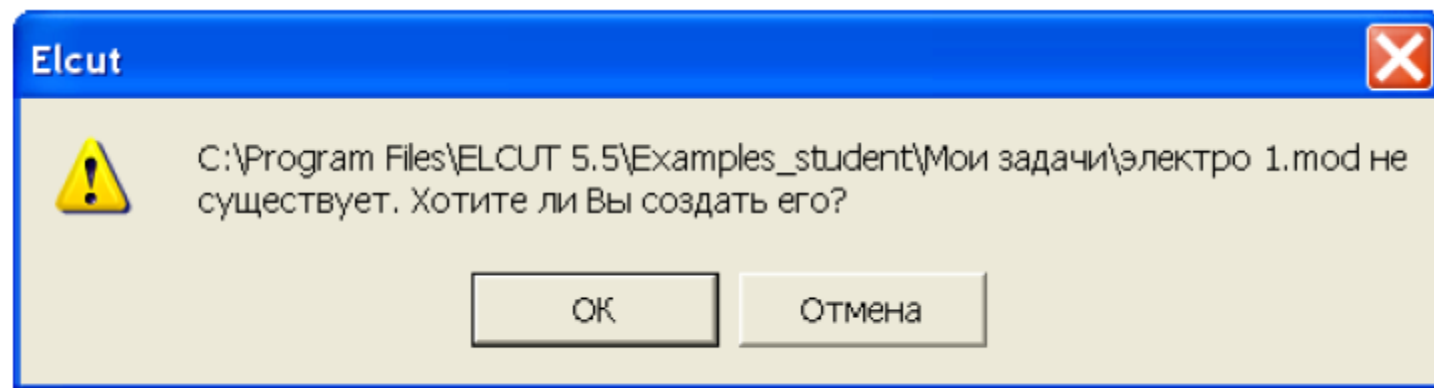
Создание модели

- Создание модели начинается с описания геометрии конструкции возбуждающей поле. Для этого нужно правой кнопкой мыши щелкнуть по полю Геометрия в дереве задачи в раскрывшемся меню выбрать Открыть.

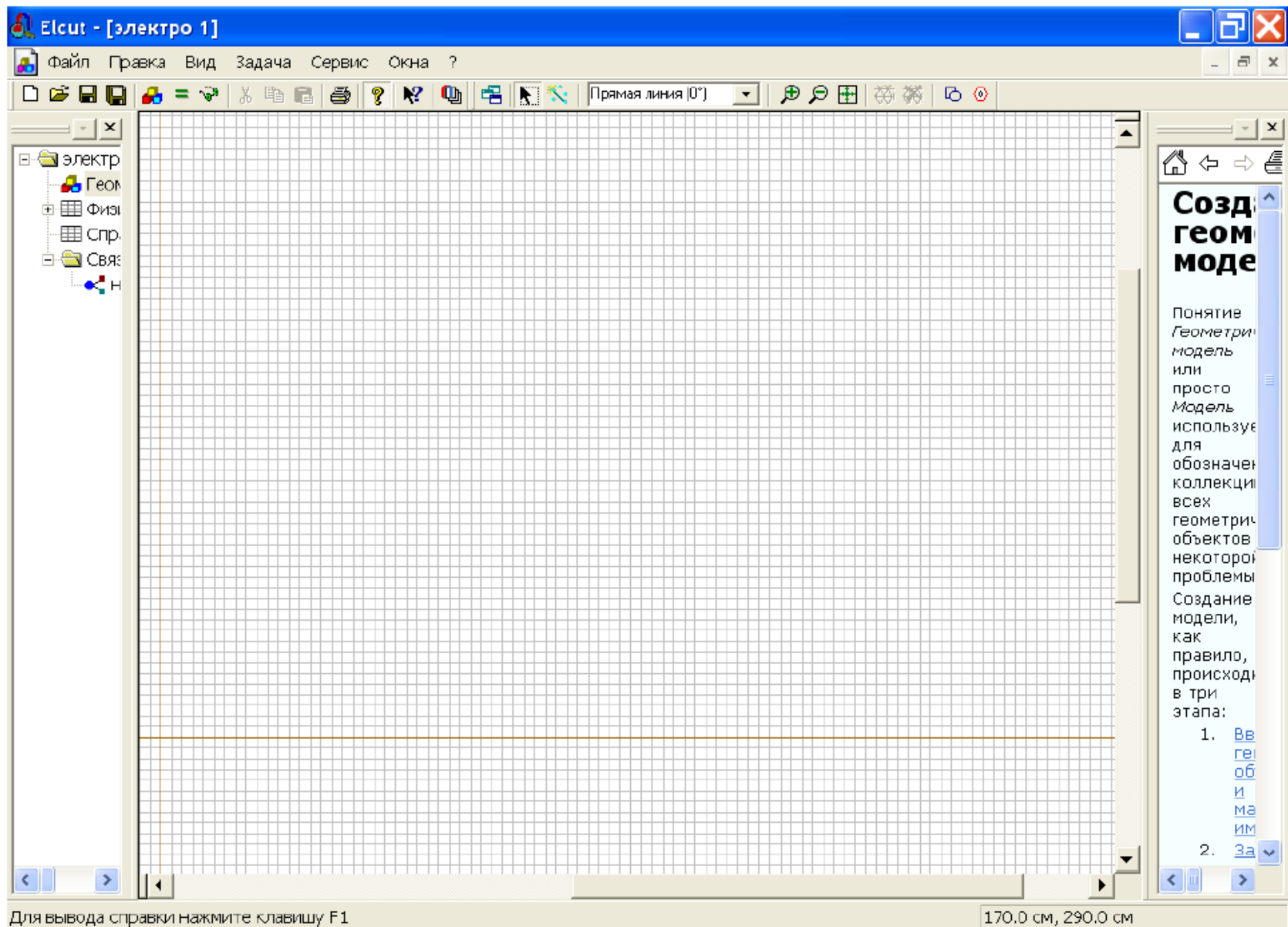
Описание геометрии модели



Поскольку файла с геометрической модели еще нет, то появится окно с соответствующим сообщением.



В данном случае следует щелкнуть по кнопке ОК. После чего откроется окно работы с моделью.



Описание конструкции

- После того как создано поле для геометрического представления модели, следует приступить к описанию конструкции. Для этого, прежде всего, нужно поместить указатель мышки над полем редактора, запустить контекстную команду *Сетка привязки*. На экран будет выведен диалог.

Сетка привязки



☒ Привязать к сетке ☒ Показать сетку

Шаги

По горизонтали: (м)

По вертикали: (м)

☐ Не квадратные ячейки

☐ Масштабировать вместе с окном

OK

Отмена

Позиция начальной точки

Горизонтальная: (м)

Вертикальная: (м)

- Рекомендуется всегда использовать режим привязки к сетке и выводить саму сетку на экран. Команда Масштабировать вместе с окном включает или отключает изменение видимого размера ячеек сетки в процессе масштабирования изображения и позволяет определить размеры расчетной области. Уточним, что имеется в виду

- Как известно, распространение электромагнитного поля в свободном пространстве неограниченно. Естественно, что решить задачу для бесконечного пространства численными методами невозможно. Учитывая, что напряженность электрического поля быстро падает с увеличением расстояния от источника, вполне достаточно, чтобы границы решения задачи имели линейные размеры, превышающие размеры источника поля в 3-5 раз.

Расчетная область

- Ограниченное пространство, для которого производится расчет поля, называется расчетной областью. Расчетная область может быть выделена любой геометрической фигурой: квадратом, прямоугольником или окружностью (в зависимости от геометрии задачи). Фигура строится из отрезков линий, чаще всего прямых. Эти линии принято называть *ребрами*. Концы ребер называются *вершинами*.

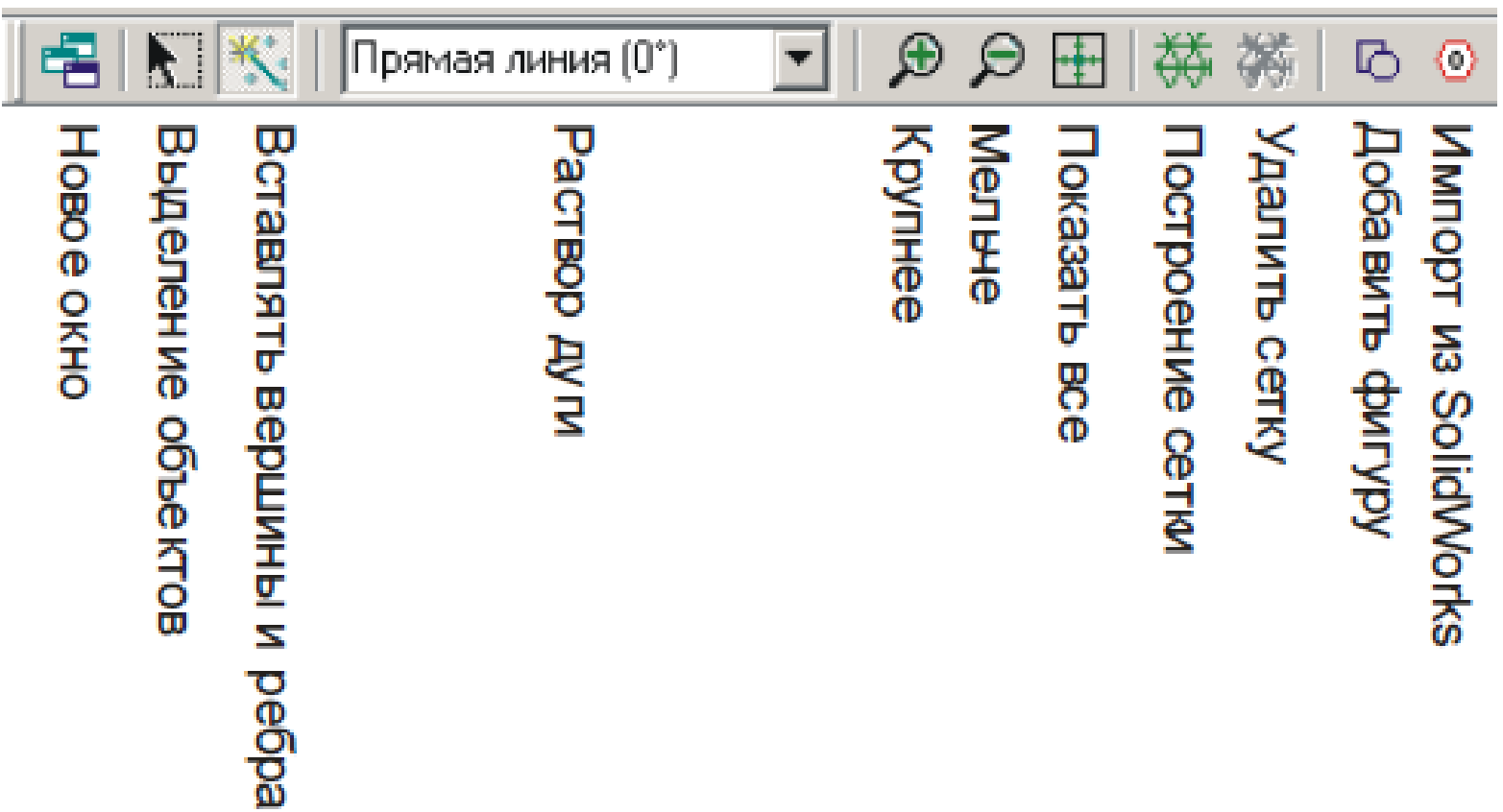
Геометрия расчетной области

- Построение геометрии расчетной области осуществляется с помощью небольшого, но довольно простого и гибкого инструментария. Как уже было отмечено основными графическими примитивами, которые можно строить являются *вершина*, *ребро*, *фигура*

Инструменты для построения расчетной области

- Все инструменты для построения сосредоточены в панели *Модель*, которая выводится на экран только после активизации (щелчка мышкой по рабочей области) графического редактора.

Графический редактор



Примечание

- Следует отметить, что ELCUT снабжен лишь базовыми возможностями построения двумерной графики. Его возможностей хватит для построения несложного рисунка. Если рисунок сложный, состоит из большого количества элементов, то его проще выполнить в специализированном графическом пакете, например AutoCAD, а затем импортировать в ELCUT. Для импортирования нужно сохранить исходный чертеж в формате DXF, после чего запустить Файл / Импорт DXF.

1. Построение ребра

○ Для создания нового ребра необходимо действовать по алгоритму:

1. Нажмите кнопку на панели инструментов Вставлять вершины и ребра или клавишу INS, чтобы перейти в режим вставки.

2. Укажите раствор нового ребра в окне Раствор дуги Выберите одно из значений, находящихся в выпадающем списке (прямая линия, четверть круга, половина круга, три четверти круга).

3. В начальной точке создаваемого ребра нажмите левую кнопку мышки и не отпуская ее, перетащите указатель к конечной точке. В процессе перетаскивания следует обращать внимание на координаты текущей точки, отображаемые в статус-строке в выбранных по чертежу единицах измерения.

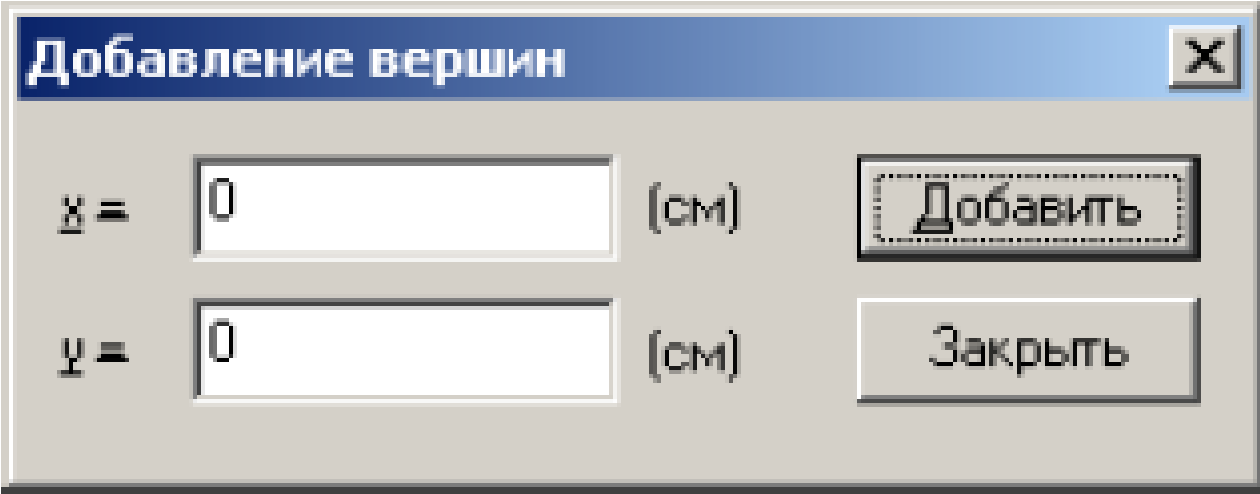
2. Построение вершины

○ Чтобы создать новую вершину необходимо действовать по алгоритму:

1. Выберите команду Вставлять вершины и ребра на панели инструментов, чтобы перейти в режим вставки.
2. Передвиньте указатель мышки в точку, где нужно создать новую вершину, и дважды быстро нажмите левую кнопку мыши.

Другой путь

- Из меню Правка выберите Добавить вершины
- Введите координаты новой вершины и нажмите кнопку Добавить.



Добавление вершин

x = 0 (см)

y = 0 (см)

Добавить

Закреть

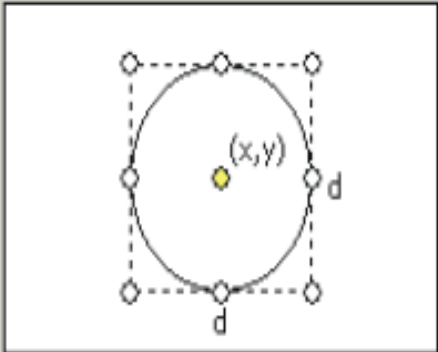
3. Вставка фигуры

- Вставка фигуры позволяет ускорить процесс создания геометрии, путем ввода стандартных геометрических фигур: круга, прямоугольника, эллипса. Их ввод осуществляется запуском команды Добавить фигуру из панели Модель. На экране появится диалог.

Добавить фигуру ? X

Фигура: Круг

Схема



Размер

$d =$ 30

Позиция

$x =$ 250 $y =$ 200

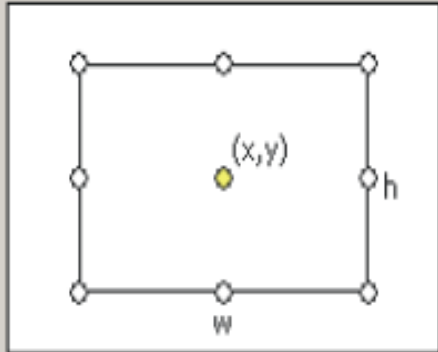
$\gamma_{\text{гол}} =$ 45

Добавить Закрыть

Добавить фигуру ? X

Фигура: Прямоугольник

Схема



Размер

$w =$ 30 $h =$ 25

Позиция

$x =$ 250 $y =$ 200

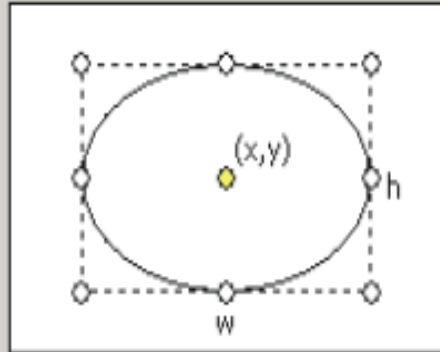
$\gamma_{\text{гол}} =$ 45

Добавить Закрыть

Добавить фигуру ? X

Фигура: Эллипс

Схема



Размер

$w =$ 30 $h =$ 25

Точность: Высокая (60 дуг)

Позиция

$x =$ 250 $y =$ 200

$\gamma_{\text{гол}} =$ 45

Добавить Закрыть

- После выполнения вышеперечисленных процедур построение геометрической модели полностью завершено. Сохраняем ее нажатием комбинации клавиш Ctrl+S, либо через меню Файл. ELCUT сохранит геометрическую модель с расширением *.mod.
- Следующим этапом в создание модели является связь физических свойств с геометрическими объектами модели.

Описание физических свойств модели

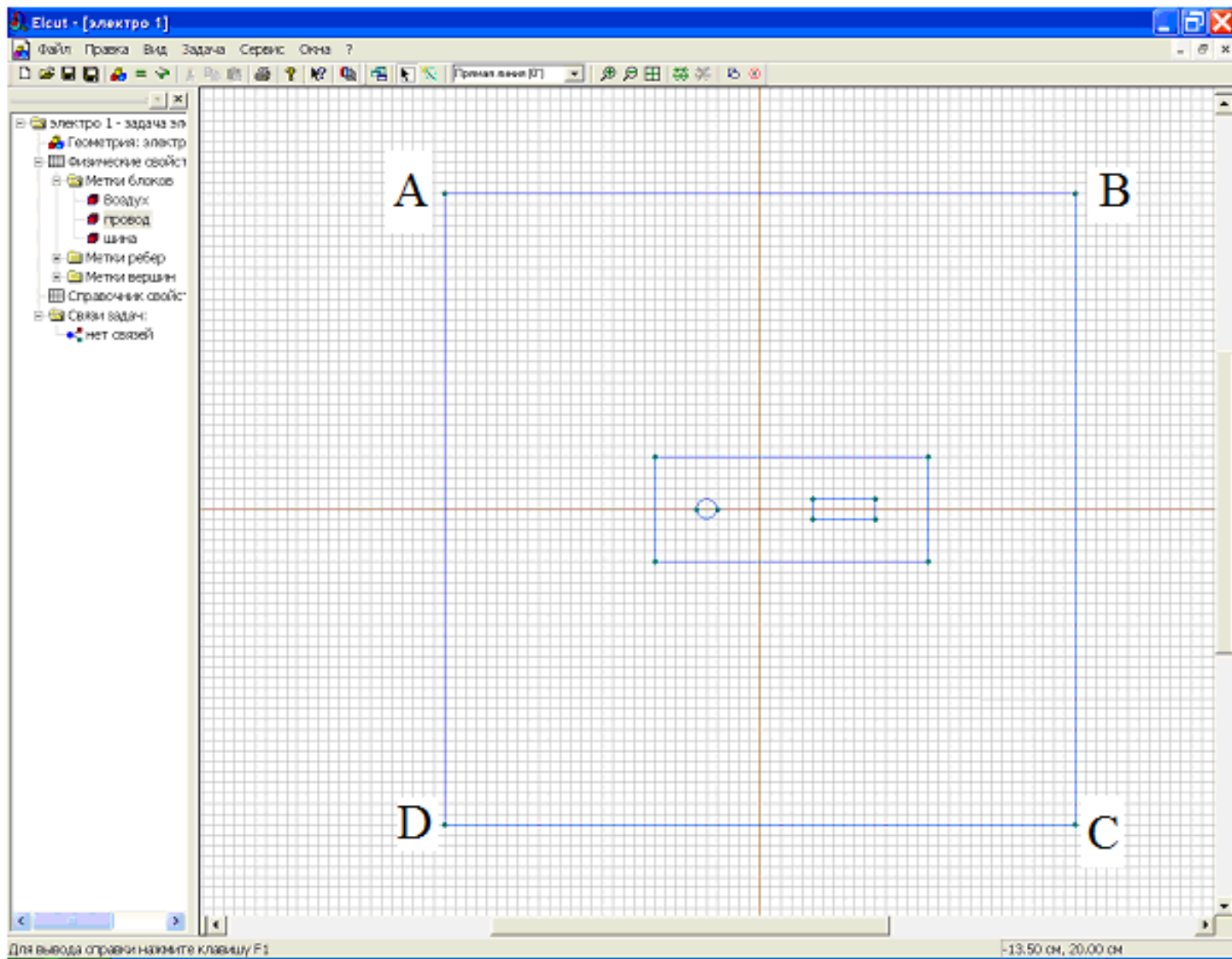
- После того как геометрия модели определена, осуществляют описание физических свойств элементов и объектов модели.

- *Проводится это в два этапа:*

1. Необходимо присвоить имена геометрическим объектам, с помощью *меток*;

2. Метки необходимы для того, чтобы пользователь мог обращаться к конкретному элементу модели для описания свойств его материала, или описания источников поля, а также граничных условий.

Пример задачи



- В данном случае блоками являются область задачи, ограниченная квадратом ABCD, область воздушного пространства, охватывающего диэлектрик с заключенными в него проводниками и сами проводники.
- В рассматриваемой задаче содержатся три материала с различными свойствами: воздух, диэлектрик и проводники.
- Выберем следующие имена меток *Воздух*, *Диэлектрик*, *Провод*, *Шина*.

Этап присвоение меток

○ Для присвоения меток блокам необходимо:

1. Щелкнуть мышью внутри прямоугольника ABCD. Блок станет выделенным заливкой красного цвета.

2. Открыть левой кнопкой меню Правка/Свойства.

3. После появления формы Свойства выделенных объектов, в окно Метка поместите имя метки, в данном случае Воздух.

Свойства выделенных объектов 

Блок | **Статистика**

Метка

Шаг дискретизации

☒ Автоматический

☐ Ручной:

Площадь

$S = 835 \text{ см}^2$

Сетка конечных элементов

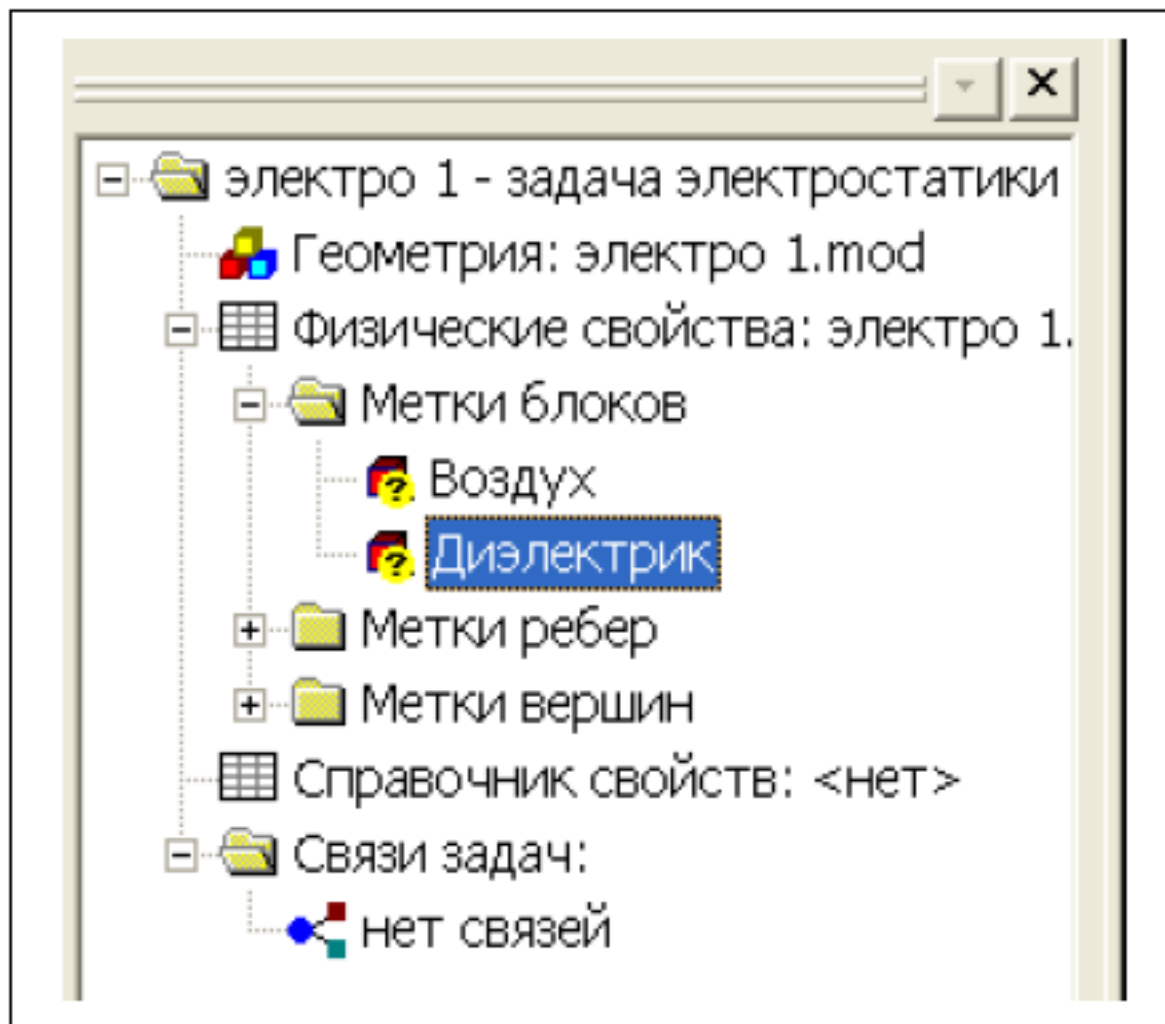
Нет сетки

4. На этом нажатием кнопки ОК следует закончить диалог.

Точно так же нужно поступить с блоком *Диэлектрик*.

Блокам *Провод* и *Шина* метки можно не присваивать. Объясняется это тем, что эти блоки представляют собой проводники. Как известно электростатическое поле внутри проводников отсутствует, т.е. рассчитывать его нет смысла.

В окне описания задачи в разделе Метки блоков появятся метки



- Кроме меток блоков нужно присвоить метки ребрам а, в общем случае, и вершинам. Метки рёбер используются для задания граничных условий на внешних и внутренних границах области. В данном случае нужно задаются граничные условия для ребер.

Метки рёбер

1. Щелкните ребро *DA*, правой кнопкой вызовете контекстное меню, а в нем выберете Свойства (Alt+Enter) и пометьте его как *Лево*.

2. Точно так же присвойте метки правому ребру области задач. Назовите его, например, *Право*. Правое и левое ребро, в дальнейшем, будет рассматриваться как конденсатор, создающий электрическое поле с напряженностью E . Верхнее и нижнее ребро области в решении не участвуют, и, поэтому, соответствующие им метки можно не создавать.

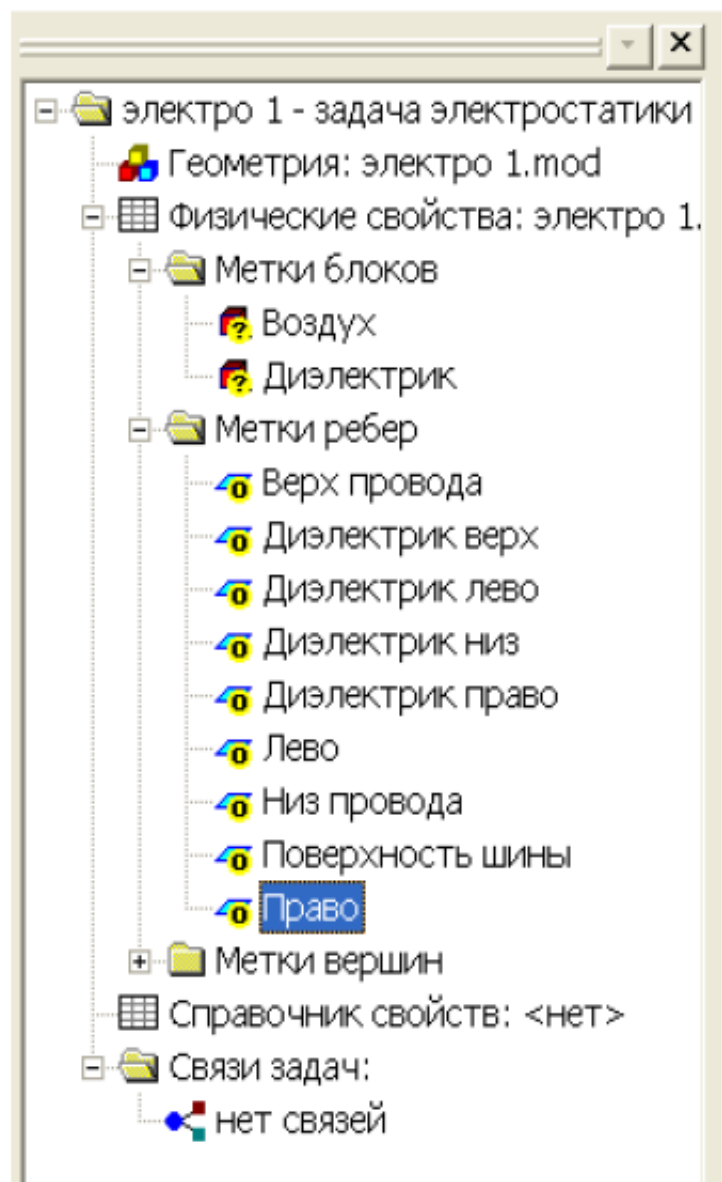
3. Присвойте метки четырём ребрам диэлектрика. Например, дайте им имена *Диэлектрик*, а именно, *Диэлектрик лево*, *Диэлектрик право*, *Диэлектрик низ*, *Диэлектрик верх*.

4. Присвойте метки верхнему и нижнему ребру провода. Дайте им имена *Верх провода* и *Низ провода*.

5. Таким же образом можно выделить отдельные ребра шины и присвоить им метки, но можно это сделать сразу для всех ребер. Для этого удерживая кнопку Ctrl выделите все ребра шины. Войдите в меню Правка/Свойства (Alt+Enter) и пометьте все 4 ребра одной меткой *Поверхность шины*.

После того, как указанные метки будут созданы к дереву задачи, добавятся метки с флажками, означающими, что описание меток не закончено.

Метки модели



Этап определения физических свойств

- Для задания физических свойств, дважды щелкнем в окне описания задачи по метке *Воздух*.
- В появившемся окне Свойства метки воздух введем диэлектрическую проницаемость воздуха ($\epsilon_x=1$) и плотность электрического заряда в воздухе (для данной задачи $\rho=0$).

- Поскольку воздух это изотропный диэлектрик, то его относительная диэлектрическая проницаемость в разных направлениях является постоянной величиной, что ELCUT отразит автоматическим появлением $\epsilon_y=1$.
- Рассматриваемую задачу удобно решать в Декартовой системе координат, поэтому оставим раздел Координаты без изменения

Свойства метки блока - Воздух



Общие

Диэлектрическая проницаемость

$\epsilon_x =$

1

☒ Относительная

$\epsilon_y =$

1

☐ Абсолютная

☐ Анизотропный диэлектрик

Координаты

☒ Декартовы

☐ Полярные

Плотность электрического заряда

$\rho =$

0

(Кл/м³)

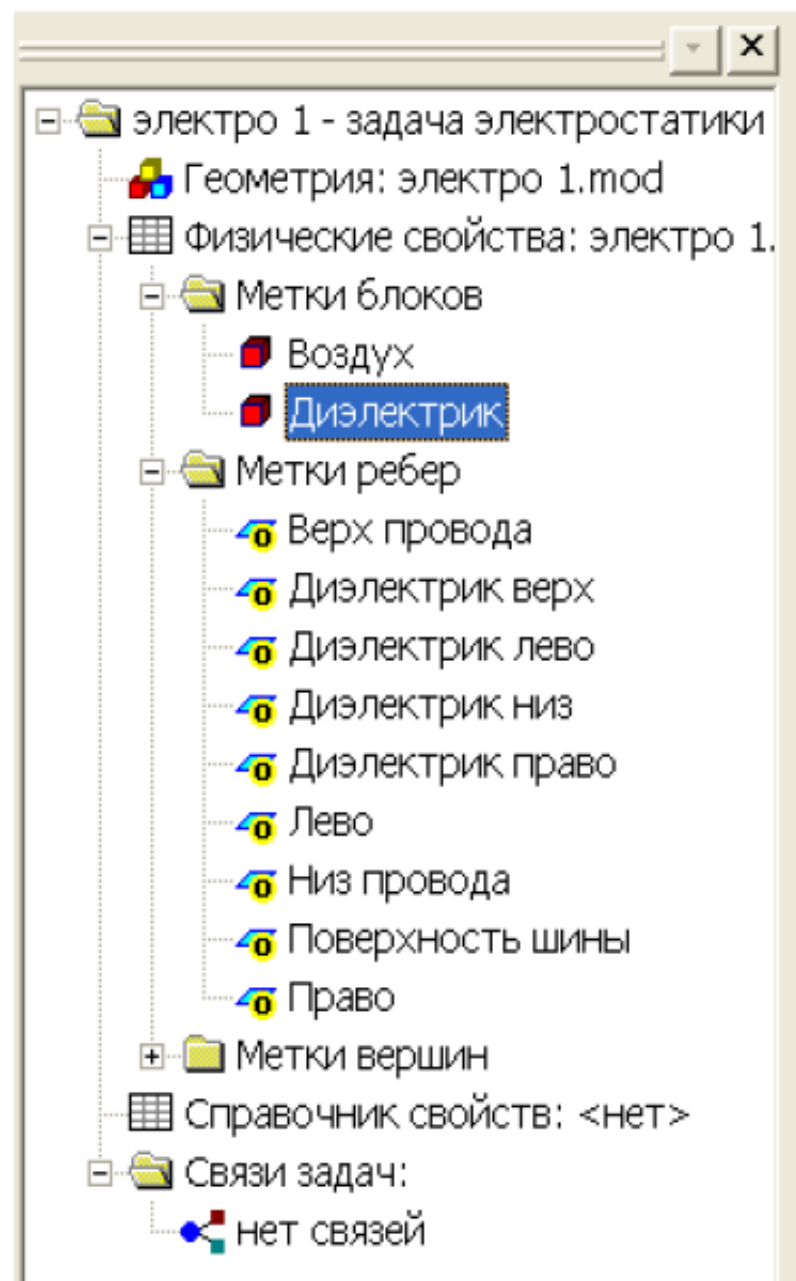
f

OK

Отмена

Справка

- То же самое необходимо проделать для блока *Диэлектрик*. Разница заключается только в том, что для него $\varepsilon_x=4$.
- Обратите внимание, что значки стоящие рядом с именами меток, в окне описания задачи, изменились. Это говорит о том, что физические свойства метки определены.



Граничные условия

○ Для того, чтобы смоделировать эквивалентное поле создаваемое по условию задачи внешним источником будем считать, что оно создается эквивалентным конденсатором образованным ребрами DA и DB.

1. Определим эквивалентную плотность зарядов на этих ребрах. Для этого на ребре с меткой *Лево* задается граничное условие Неймана

плотность зарядов на поверхности
определяют по формуле: $\sigma = \varepsilon \varepsilon_0 E_0$

○ Дважды щелкнув левой кнопкой мыши на соответствующем элементе дерева задачи, открывают окно Свойства метки – Лево. Устанавливают флажок Поверхностный заряд. Щелкнув левой кнопкой мыши в графу, вводят с клавиатуры соответствующее число. При вводе необходимо вводить числа через точку, иначе система выдаст сообщение об ошибке. После этого диалог для данной задачи завершается.

○ Для метки *Право*, вводят заряд той же величины, но с обратным знаком.

Ввод значения плотности заряда

Свойства метки ребра - Лево

Общие

☐ Потенциал: $U = U_0$
 $U_0 =$ (В)

☒ Поверхностный заряд: $D_n = \sigma$ ($\Delta D_n = \sigma$)
 $\sigma =$ (Кл/м²)

☐ Изолированный проводник (равный потенциал)

☐ Четная периодичность: $U_1 = U_2$
☐ Нечетная периодичность: $U_1 = -U_2$

OK Отмена Справка

f

Потенциал ребер

- Для меток *Верх провода* и *Низ провода* в окне Потенциал U запишем 10000 В.

Свойства метки ребра - Верх провода

Общие

☒ Потенциал: $U = U_0$
 $U_0 =$ (В)

☐ Поверхностный заряд: $D_n = \sigma$ ($\Delta D_n = \sigma$)
 $\sigma =$ (Кл/м²)

☐ Изолированный проводник (равный потенциал)

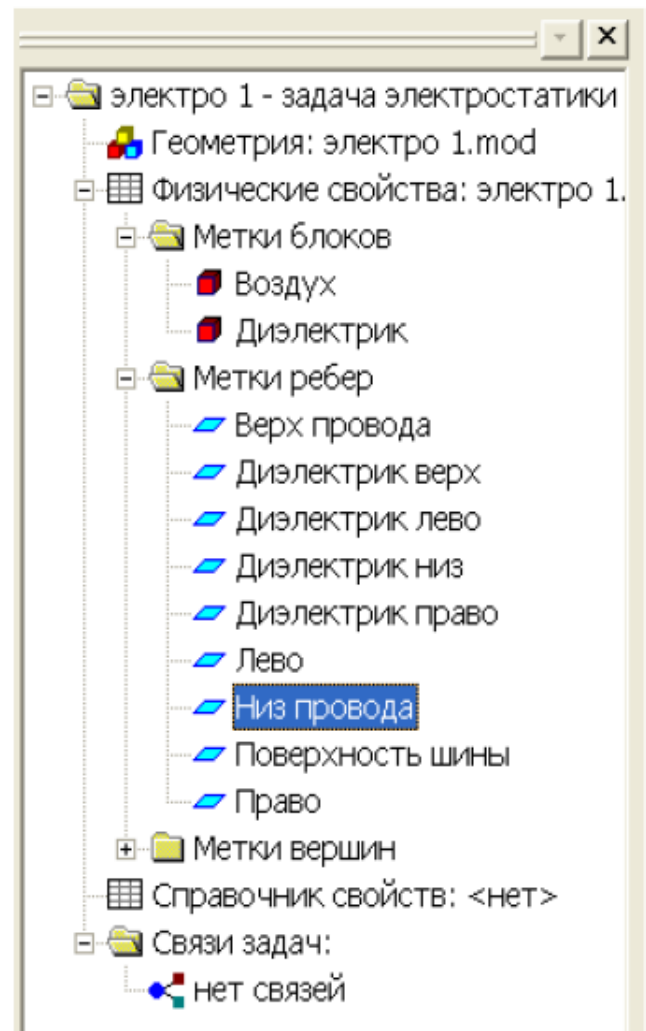
☐ Четная периодичность: $U_1 = U_2$
☐ Нечетная периодичность: $U_1 = -U_2$

OK Отмена Справка

○ Потенциал ребра *Поверхность шины* устанавливаются равной нулю. Шина в данном случае моделируется одним ребром, поэтому потенциал вводится один раз.

○ В отличие от шины модель диэлектрика образована четырьмя ребрами. В этом случае нужно определить поверхностную плотность заряда каждого ребра отдельно, хотя понятно, что на всех ребрах она одинакова и так же равна нулю

- После того, как метки полностью определены, вид флажков меток ребер изменится



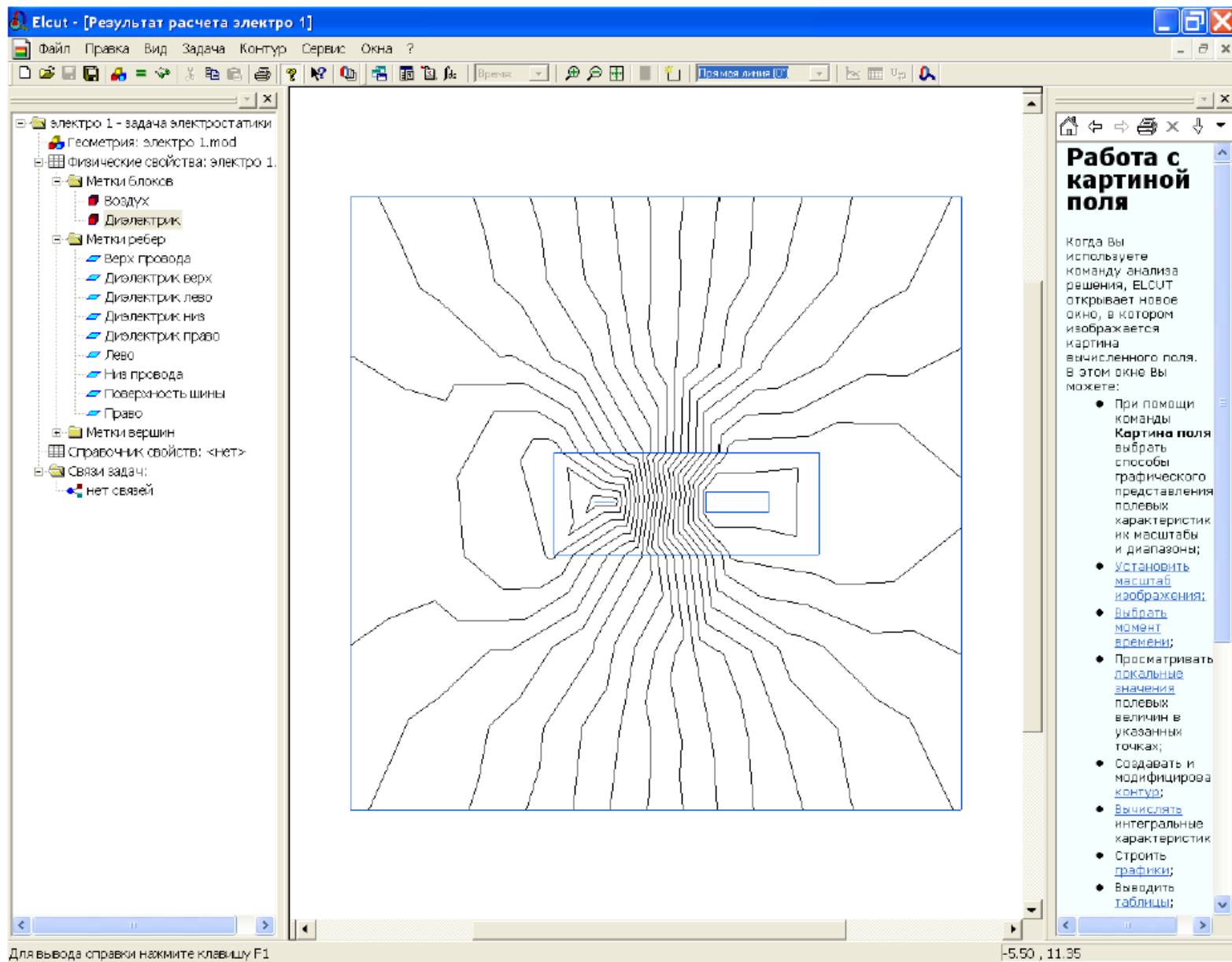
Создание сетки

- После того, как метки созданы и определены, приступают к созданию сетки. Сетка образована узлами. Линии, соединяющие узлы делят всю область задачи на отдельные участки, поле в которых можно считать независимым от координат. Для каждой ячейки программа определяет параметры поля.

- Электрическое поле в проводниках отсутствует, поэтому решение задачи целесообразно проводить только для диэлектриков, это позволит сэкономить число ячеек сетки.
- Для того, чтобы создать сетку выделим блок *Воздух*, и в контекстном меню Построить сетку/в выделенных блоках.
- Такую же процедуру проводят с блоком диэлектрик.
- Шаг узлов программа создает автоматически.

Решение задачи

- Для того что бы приступить к решению следует нажать кнопку = (решатель программы), расположенную на панели инструментов.
- После двукратного щелчка по кнопке ДА появится картина поля, точнее множество эквипотенциалей.
- На этом решение задачи не заканчивается.



Анализ результатов решения

○Начинается процесс анализа решения, который, состоит:

1. В определение ограничения на шаг сетки на вид картины поля (т.е. в определение точности решения).

2. определении параметров смоделированной картины поля исследуемого объекта.

3. Для этого необходимо изменять исходные данные в соответствии ТЗ, т.е. вернуться к описанию задачи.

Открыть задачу

- Для этого служит кнопка Открыть модель



1. Для определения точности решения необходимо уменьшить шаг сетки. Если при этом у поверхности проводников не происходит изменение направления поля, то решение найдено достаточно точно.

2. Далее определяют требуемые параметры.

Спасибо за внимание!