

Лабораторная работа №1

Построение геометрии

Цель работы: ознакомиться с правилами и инструментами создания геометрических моделей в программе ELCAT

1. *Общие положения*
2. *Создание новой задачи*
3. *Настройка общих параметров задачи*
4. *Построение геометрии*
 - 4.1. *Построение ребра*
 - 4.2. *Построение вершины*
 - 4.3. *Вставка фигуры*
 - 4.4. *Выделение элементов геометрии*
 - 4.5. *Удаление объектов геометрии*
 - 4.6. *Редактирование объектов геометрии*
 - 4.7. *Отмена/Возврат команд*
 - 4.8. *Импорт геометрии*
5. *Задания к лабораторной работе №1.*

1. *Общие положения*

Геометрическая модель – это набор геометрических объектов, с заданными связями между элементами набора и свойствами материалов, источниками поля, граничными условиями.

Основными типами геометрических объектов модели являются *вершина*, *ребро* и *блок*.

Вершина представляет собой точку на плоскости. Координаты такой точки могут быть введены пользователем вручную или вычислены как координаты пересечения пары рёбер. С каждой вершиной можно связать *шаг дискретизации* и *метку*. Величина шага дискретизации задает примерное расстояние между соседними узлами сетки конечных элементов поблизости от данной вершины. Метка вершины используется для задания, к примеру, линейного источника поля или нагрузки.

Ребро представляет собой отрезок прямой или дугу окружности, соединяющие две вершины. Ребра модели не пересекают друг друга. Создаваемое новое ребро разбивается на части каждой лежащей на нем вершиной модели и каждой точкой пересечения с уже существующим ребром модели. В точках пересечений автоматически создаются новые вершины, которые в свою очередь делят на части уже существующие ребра. С каждым ребром может быть связана метка.

Блок представляет собой связную подобласть плоскости модели, внешняя граница которой образована последовательностью рёбер. Внутри блоков могут находиться дыры. Каждая из границ, отделяющих блок от внутренних дыр, образовывается либо последовательностью рёбер, либо одной изолированной вершиной. В каждом блоке, входящем в расчетную область, должна быть построена

сетка конечных элементов. Кроме этого, поскольку в непомеченных блоках расчет поля не производится даже при наличии сетки конечных элементов, с блоком, входящим в расчетную область, **должна быть** обязательно связана *метка*. Сетку конечных элементов можно построить в любом наборе блоков модели. Ее плотность зависит от значений связанных с вершинами модели *шагов дискретизации*, которые можно либо рассчитать автоматически, либо задать для отдельных вершин вручную. Связанная с блоком *метка*, используется для, например, описания физических свойств среды или задания распределенных *источников поля*.

Метка представляет собой текстовую строку длиной до 16 символов. Метки позволяют ассоциировать геометрические объекты модели (блоки, ребра и вершины) с численными значениями физических свойств реальных объектов: свойств материалов, нагрузок и граничных условий. Метка не может начинаться с пробела, а пробелы в конце метки игнорируются. Заглавные и строчные буквы считаются различными.

Шаг дискретизации задает примерное расстояние между соседними узлами сетки конечных элементов вблизи вершины геометрической модели. Задавая шаги дискретизации, можно управлять густотой сетки конечных элементов и, тем самым, точностью решения в тех или иных частях расчетной области.

2. Создание новой задачи

После запуска ELCUT рабочий экран программы имеет вид, показанный на рис. 1.1.

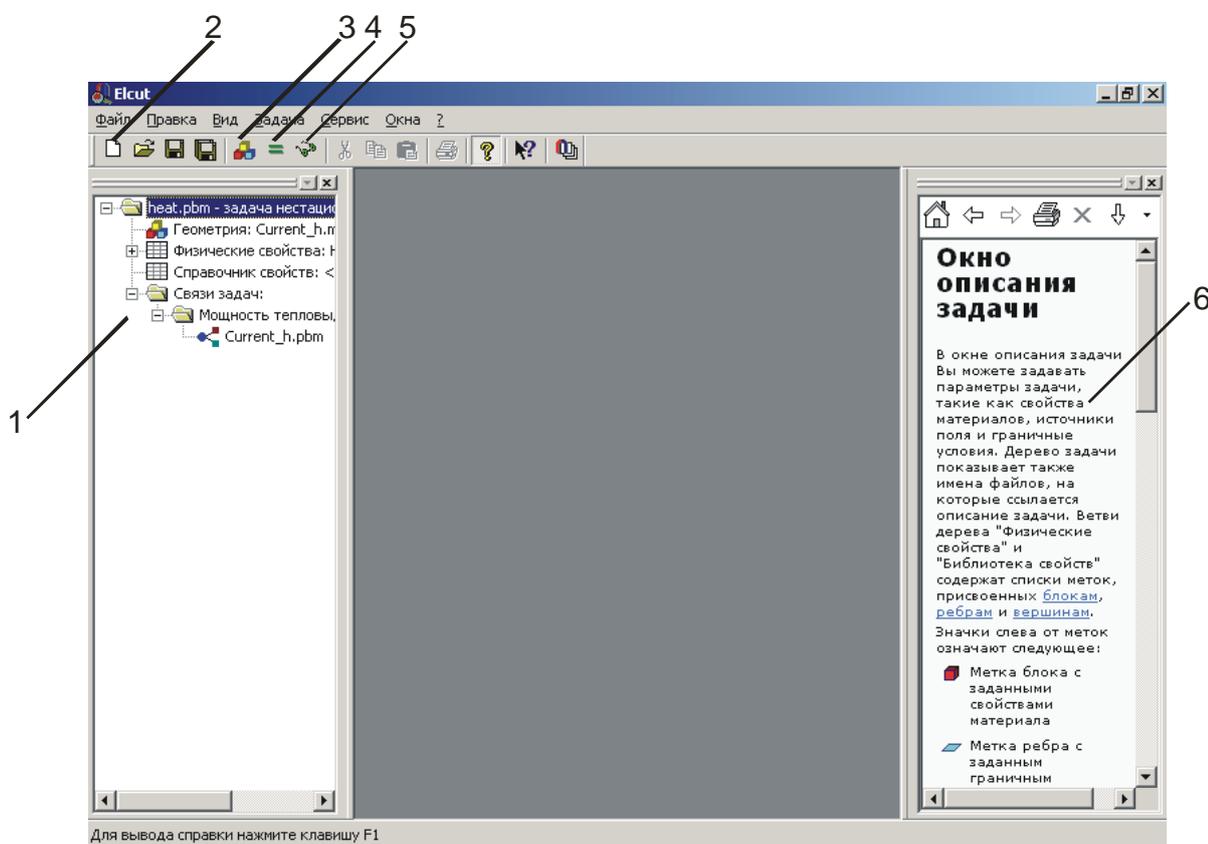


Рис. 1.1.Рабочий экран ELCUT после загрузки

Слева расположена задача, которая была активной на момент последнего закрытия программы (1), справа справочная информация (6).

Для создания новой задачи, следует щелкнуть по кнопке Создать (2) (см. рис. 1.1). На экран будет выведен диалог, показанный на рис. 1.2.

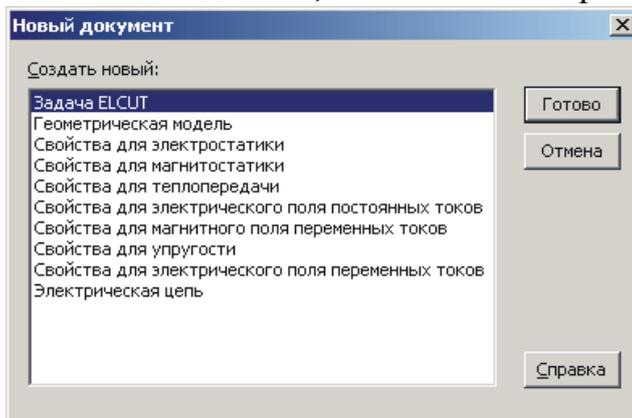


Рис. 1.2. Диалог Новый документ

В нем следует выбрать пункт “Задача ELCUT” и щелкнуть по кнопке Готово. Далее программа выведет запрос на ввод названия и расположения файла с задачей (см. рис. 1.3.).

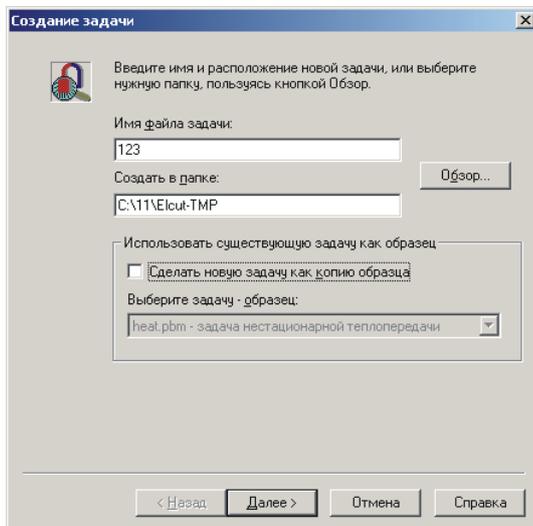


Рис.1.3. Диалог Создание задачи

Основной файл задачи имеет расширение *rbm*. В процессе вывода диалогов на экран соответствующим образом меняется содержание справочного окна (см. рис. 1.1). Для перехода в него следует щелкнуть по кнопке Справка. После указания пути и названия файла, программа выведет запрос о других параметрах задачи (см. рис. 1.4).

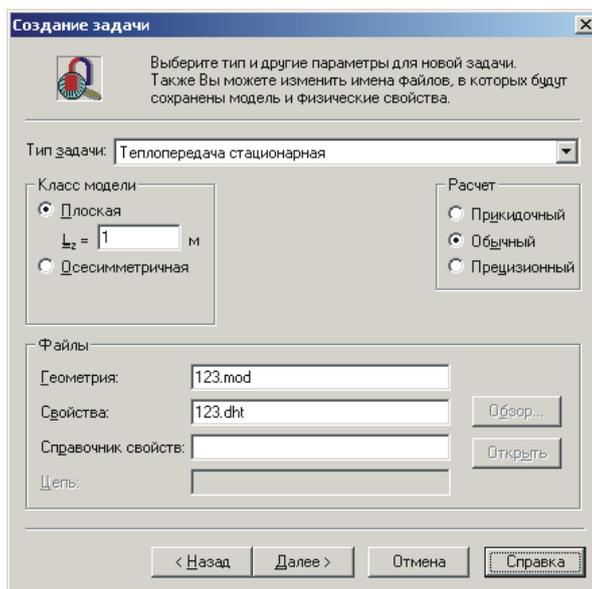


Рис. 1.4. Диалог Создание задачи

Работа с диалогом, показанным на рис. 1.4. следует особое внимание обратить на зону Класс модели. Модель может быть **Плоской** или **Осесимметричной** (см. рис. 1.5).

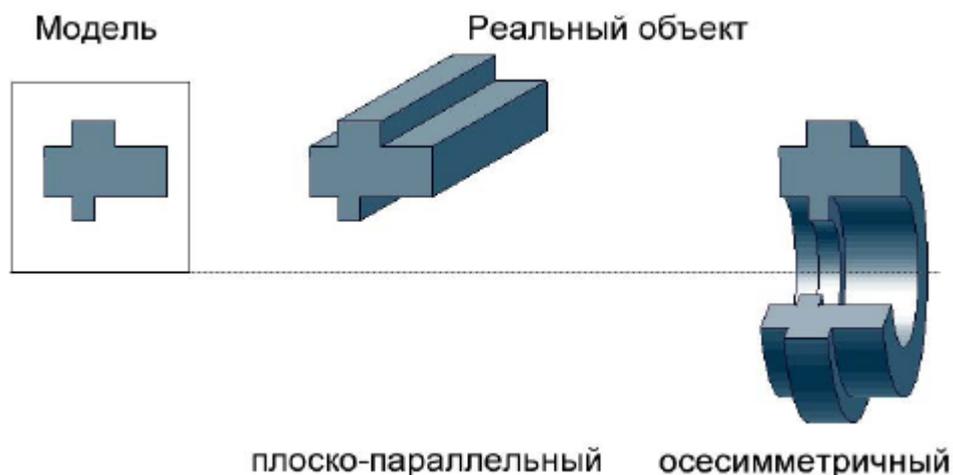


Рис. 1.5. Различия в классе модели

Осесимметричные модели симметричны относительно оси Z , которая уходит от пользователя, с поверхности вглубь экрана. По умолчанию, глубина плоско-параллельной модели принимается равной 1 м.

После ввода этих данных ELCUT запрашивает информацию о единицах измерения и координатах. Единицы представлены диапазоном от микронов до километров. Работая со студенческой версией ELCUT лучше выбрать миллиметры, т.к. данная версия позволяет ставить только 200 узлов сетки конечных элементов. После щелчка по кнопке Готово, задача будет выведена в левую часть рабочего экрана ELCUT.

3. Настройка общих параметров задачи

Общие параметры задачи, ее тип, единицы измерения, точность решения можно *изменить* в процессе работы. Для этого в блоке задачи (1) (см. рис. 1.1) следует выделить ее название и запустить контекстную команду Свойства (запускается из списка контекстных команд выводимого нажатием на правую кнопку мышки). После запуска команды на экран выводится диалог, показанный на рис. 1.6.

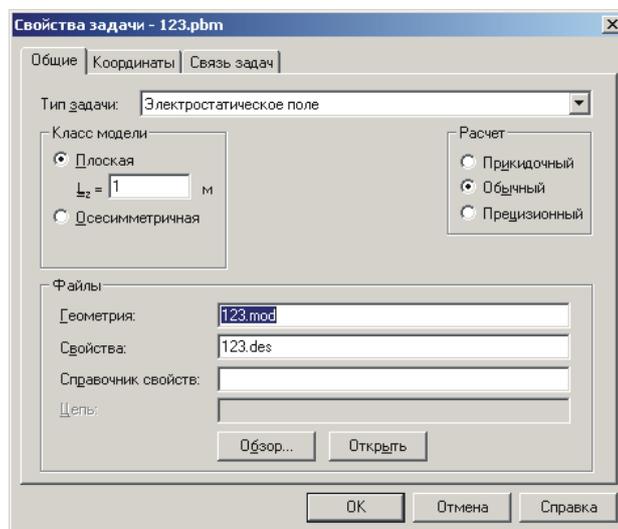


Рис. 1.6. Диалог Свойства задачи

Перед началом работы можно настроить координатную сетку и включить привязку к ней. Для этого следует поступить следующим образом.

1. Открыть графический редактор ELCUT. Для этого в блоке задачи (1) (см. рис. 1.1.) выделить строку **Геометрия: НазваниеЗадачи** и щелкнуть по кнопке Открыть модель (3) (см. рис. 1.1.). Появится запрос “Файл с моделью не существует. Хотите ли Вы создать его?”, на который следует ответить “Да”.

2. Разместив указатель мышки над полем редактора, запустить контекстную команду **Сетка привязки**. На экран будет выведен диалог, показанный на рис. 1.7.

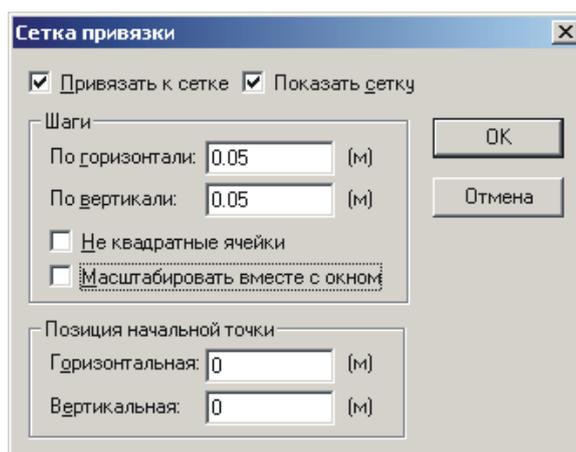


Рис. 1.7. Диалог настройки параметров сетки

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.

4. Построение геометрии

В ELCUT геометрия строится в пространстве графического редактора с помощью небольшого, но довольно простого и гибкого инструментария.

Основными графическими примитивами, которые можно построить являются вершина, ребро, фигура.

Каждый элемент отрисовывается с помощью соответствующего инструмента. Все инструменты сосредоточены в панели **Модель** (см. рис. 1.8), которая выводится на экран только после активизации (щелчка мышкой по рабочей области) графического редактора.

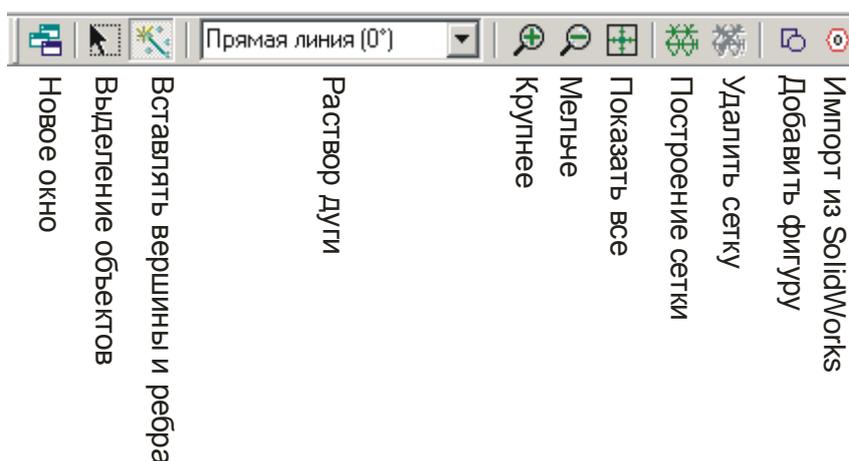


Рис. 1.8. Инструменты панели Модель

Назначение кнопок понятно из их названий. Методика применения большинства функций интуитивно понятна и не нуждается в особых комментариях.

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**.

4.1. Построение ребра

Для создания нового ребра необходимо действовать по алгоритму:

1. Нажмите кнопку на панели инструментов **Вставлять вершины и ребра** (см. рис. 1.8) или клавишу **INS**, чтобы перейти в *режим вставки*.
2. Укажите раствор нового ребра в окне **Раствор дуги** (см. рис. 1.8). 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..

4.2. 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 в мышки точку, где нужно создать новую вершину, и дважды быстро нажмите левую кнопку мыши.

Или:

1. Из меню **Правка** выберите **Добавить вершины**.

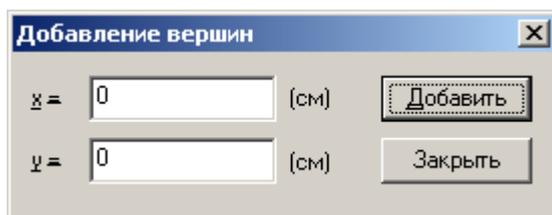


Рис. 1.9. Интерфейс ввода координат вершины

2. Введите координаты новой вершины и нажмите кнопку **Добавить**.

4.3. 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** (см. рис. 1.8.). На экране появится диалог, показанный на рис. 1.10.

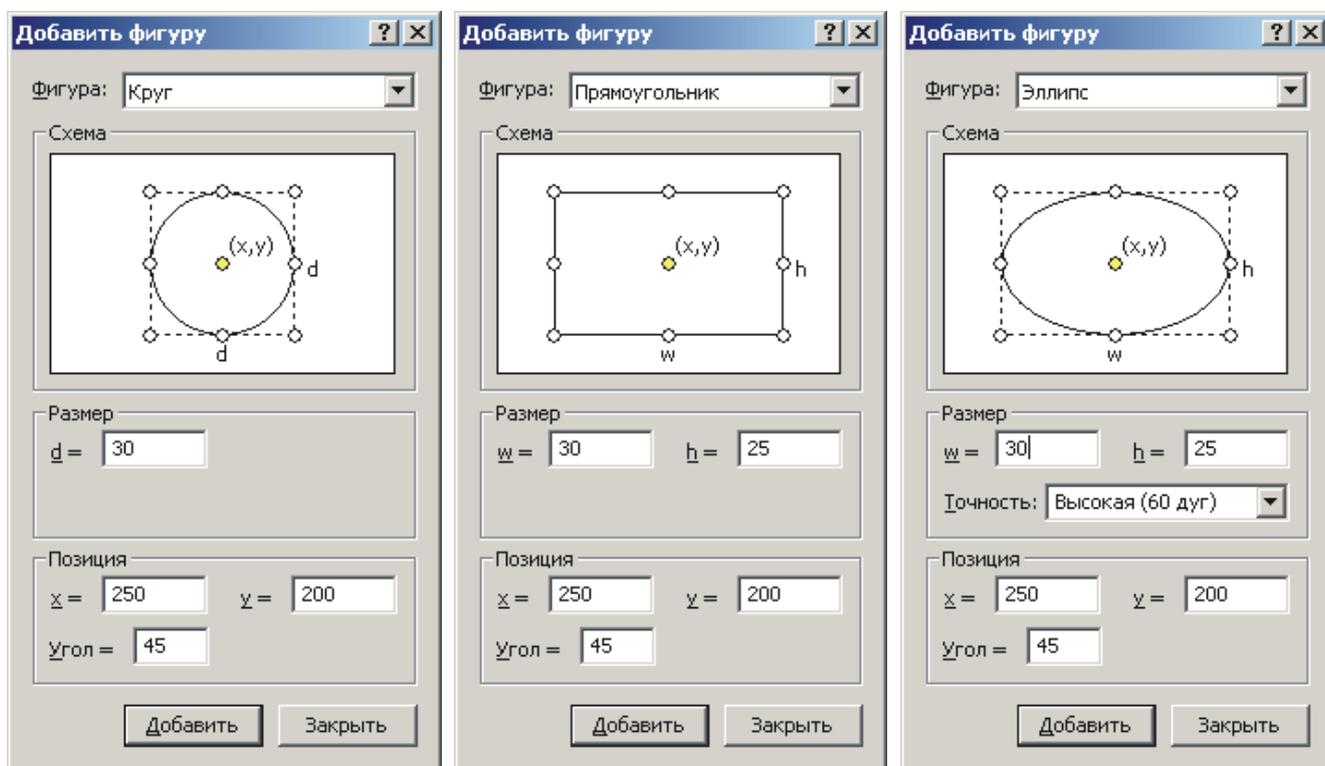


Рис. 1.10. Диалог Вставка фигуры

В диалоге нужно выбрать тип фигуры, указать базовые размеры, позицию центра (для прямоугольника это точка пересечения диагоналей) и угол. Угол определяет поворот фигуры относительно центральной точки против часовой стрелки.

4.4. Выделение элементов геометрии

Для выделения объектов необходимо щелкнуть по кнопке **Выделение объектов** (см. рис. 1.8), а затем щелкнуть по выделяемому объекту или выделить группу с помощью рамки.

Щелчок внутри блока не выделяет ребра или вершины, принадлежащие к границе этого блока. Аналогично, щелчок в середине ребра не выделяет его концевые вершины.

Кроме того, при выделении одной из меток в окне описания задачи все геометрические объекты с такой меткой становятся выделенными.

Один и тот же набор выделенных объектов используется со всеми окнами модели. Поэтому, когда модель отображается в нескольких окнах, элементы выделяются во всех этих окнах одновременно.

Графический редактор ELCUT поддерживает горячие клавиши: CTRL+A – выделить всё; CTRL+D – снять выделение.

Снять выделение с элемента группы или добавить элемент к группе можно CTRL+щелчек мышкой по элементу.

4.5. Удаление объектов геометрии

Для того чтобы удалить один или группу объектов их нужно выделить и нажать кнопку **Del** на клавиатуре.

Если некоторые из вершин являются точками соприкосновения двух ребер, являющихся продолжениями друг друга, после удаления этих вершин такие ребра склеиваются, превращаясь в единственное ребро. Удаление любой другой неизолированной вершины всегда влечет за собой удаление всех примыкающих к ней ребер.

4.6. Редактирование объектов геометрии

Под редактированием понимают действия по изменению уже созданных объектов геометрии.

ELCUT позволяет *копировать, вырезать, дублировать и перемещать* выделенные объекты.

Копирование, вырезание и вставка осуществляются как обычно с помощью кнопок стандартной панели инструментов. Но вставка производится в то место на экране, где находился объект во время копирования или вырезания. Задать точку вставки нельзя. Этот способ удобен при переносе объектов из одного файла модели в другой. Наиболее эффективным является **Дублирование** и **Перемещение** объектов, в которых можно задать точные расстояния смещения по X и Y.

Дублирование осуществляется по алгоритму.

1. Выделить любой набор объектов.
2. Выбрать команду **Дублировать выделенное** из меню **Правка** или контекстного меню.
3. Когда на экране появится диалог **Размножение объектов** (см. рис. 1.11), выбрать метод преобразования, ввести его параметры и нажать **ОК**.

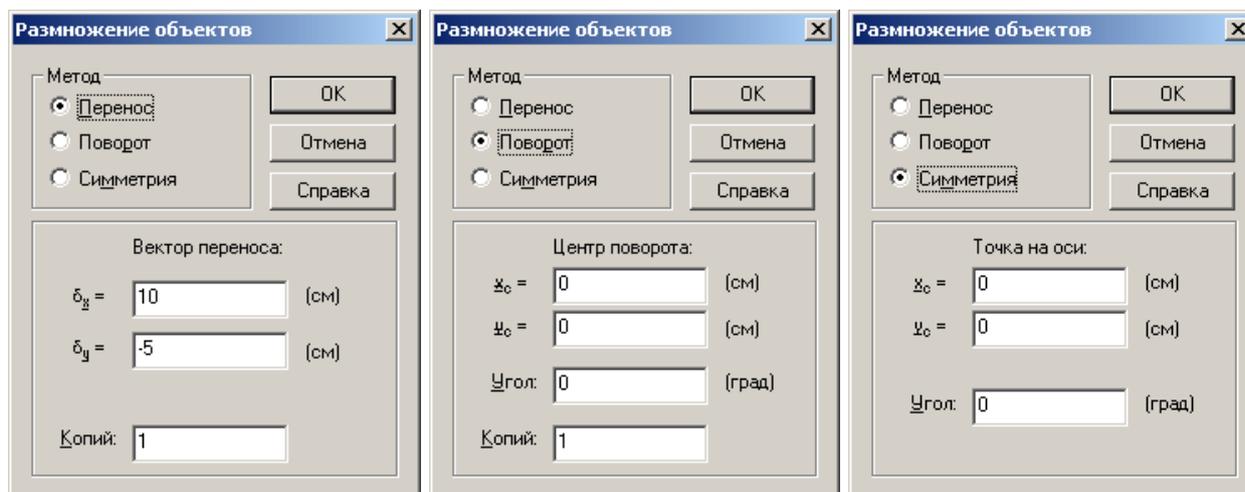


Рис. 1.11. Диалог Размножение объектов для разных методов дублирования .

Операция копирования сохраняет все явно заданные свойства исходных объектов, включая метки и шаги дискретизации. Не копируется только сетка конечных элементов.

Первая копия любого объекта модели всегда является результатом выбранного преобразования, примененного к самому объекту. При одновременном создании нескольких копий, каждая из последующих копий является результатом этого преобразования, примененного к предыдущей копии.

Чтобы **переместить** выделенные объекты, выберите команду **Передвинуть выделенное** из меню **Правка** или контекстного меню. Появится диалог для ввода параметров (см. рис. 1.12), похожий на аналогичный диалог, выводимый при дублировании. Отличием является команда **Масштабирование**.

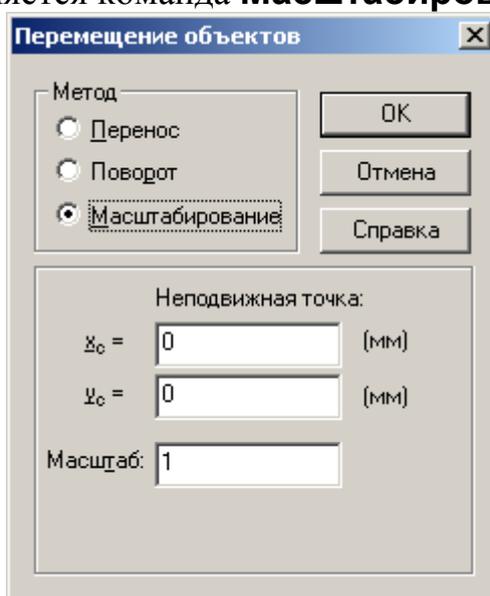


Рис. 1.12. Диалог Перемещение объектов

Успешная операция перемещения сохраняет все метки и шаги дискретизации. Сетка конечных элементов сохраняется в блоках, форма которых при перемещении не изменяется.

В ходе дублирования или перемещения возможны следующие команды.

Смещение — параллельный перенос выделенных объектов на заданный вектор. При копировании можно задать несколько копий. Это означает многократное повторение операции с объектом, являющимся результатом предыдущего переноса.

Поворот — поворот выделенных объектов вокруг указанной точки на заданный угол. При копировании можно задать несколько копий. Угол поворота указывается в градусах. Положительное значение угла соответствует направлению против часовой стрелки.

Симметрия — симметричное отображение выделенных объектов относительно оси симметрии, проходящей через заданную точку под заданным углом к оси X. Это преобразование применяется только для копирования объектов. Задать несколько копий нельзя. Параметры – координаты точки и угол от оси абсцисс до оси симметрии в градусах.

Масштабирование — увеличение или уменьшение выделенных объектов относительно заданной точки, называемой центром подобия. Это преобразование применяется только для перемещения объектов. Параметры - координаты центра подобия и коэффициент растяжения или сжатия. При растяжении коэффициент должен быть больше, а при сжатии - меньше единицы.

Имеется также упрощенный способ перемещения или копирования геометрических объектов – перетаскивание. Оно осуществляется по алгоритму.

1. Выделить перемещаемые объекты.
2. Разместить указатель над выделенной *линией* и нажать *Правую* кнопку мышки.
3. Не отпуская кнопку переместить указатель и движущиеся за ним объекты в новое место.
4. Отпустить кнопку и из появившегося меню выбрать вариант действия программы (*Передвинуть со связями, Передвинуть без связей, Копировать, Отменить*). Если выбран вариант *Передвинуть со связями*, то примыкавшие к передвинутому объекту ребра автоматически будут продлены или обрезаны, для того чтобы сохранить общий контур фигуры. Вариант *Передвинуть без связей* просто передвигает объект в новое место.

Если выделить *вершину*, то это позволит растянуть или сжать примыкающие к ней ребра. Если в процессе перетаскивания использовать *левую* кнопку мышки, то этот процесс будет автоматически проходить в режиме *Передвинуть со связями*.

4.7. Отмена/Возврат команд

Для этих действий можно использовать следующие горячие клавиши:

CTRL+Z – отменить;

CTRL+Y – вернуть.

По умолчанию ELCUT “помнит” последние 25 действий. Можно увеличить это число до 100 или уменьшить до 0 (в целях экономии оперативной памяти). Для изменения стека необходимо из меню **Правка** запустить команду **Настройка**

отмены. Далее появится простой интерфейс для ввода нового числа (**Глубина буфера отмены команд**).

4.8. Импорт геометрии

Помимо непосредственного задания геометрии модели средствами графического диалога в ELCUT имеется возможность импорта геометрической модели или ее части из файла в формате DXF, который создан в любой современной САПР программе, например AutoCAD.

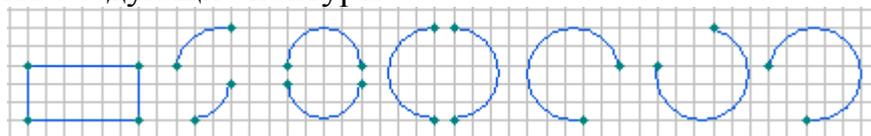
Для импорта модели следует действовать по алгоритму.

1. Создать чертеж в САПР.
2. Сохранить чертеж в формате DXF.
3. В программе ELCUT из меню **Файл** запустить команду **Импорт DXF**.
4. В появившемся стандартном диалоге **Открыть** найти требуемый файл и загрузить его.
5. Вершины на концах и пересечениях ребер ELCUT проставит сам.

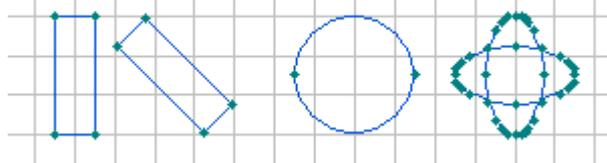
Можно создавать модель в ELCUT, сохранить ее в формате **DXF (Файл/Экспорт модели)** и загрузить в САПР. Кроме этого можно экспортировать КЭС в виде текстового файла для обработки в собственном или стороннем решателе. В составе дистрибутива ELCUT имеется утилита для импорта таких файлов в программу MATLAB, в формате, совместимом с пакетом расширения для работы с дифференциальными уравнениями в частных производных Partial Differential Equations Toolbox (PDE Toolbox).

5. Задания к лабораторной работе №1.

1. Создать новую задачу с типом “Теплопередача стационарная”. Единицы измерения миллиметры.
2. Настроить шаг сетки равным 2 мм.
3. Отключить масштабирование сетки вместе с окном.
4. Построить следующие контуры.



5. С помощью команды **Вставить фигуру** построить следующие контуры.



6. Продемонстрировать методы выделения объектов.
7. Продемонстрировать методы копирования и вставки объекта.
8. Продемонстрировать процедуру размножения объектов (Перенос).
9. Продемонстрировать процедуру размножения объектов (Поворот).
10. Продемонстрировать процедуру размножения объектов (Симметрия).
11. Продемонстрировать перемещения размножения объектов (Масштабирование).
12. Продемонстрировать функцию перетаскивания объектов.
13. Нарисовать сложный контур (выдается преподавателем).

Лабораторная работа №2

Простановка меток, приложение нагрузок, построение сетки

Цель работы: ознакомиться с назначением, правилами и инструментами создания меток, приложения нагрузок и построения сетки конечных элементов

1. *Общие положения*
2. *Простановка меток*
3. *Приложение нагрузок*
4. *Простановка шагов дискретизации*
5. *Вывод сетки*
6. *Пример пошагового решения задачи стационарной теплопроводности*
7. *Задания к лабораторной работе №2*

1. Общие положения

Геометрическая модель – это набор геометрических объектов, с заданными связями между элементами набора и свойствами материалов, источниками поля, граничными условиями. В лабораторной работе №1 были рассмотрены методы создания чертежа (геометрии), в данной работе рассмотрены методы указания параметров среды, в которой находится изучаемый объект и свойств материалов, из которых он сделан.

Для того, что бы ELCUT отличал элементы геометрии друг от друга и “понимал” какими свойствами они обладают, объектам модели присваиваются собственные названия – *метки*. Присвоенные метки отображаются в блоке задачи. Если свойства объекта описываются, то ему необходимо предварительно присвоить метку. Ребра и блоки должны иметь метку обязательно, иначе решение задачи даже не начнется.

У каждого объекта есть два типа свойств – геометрические и физические. Первые вызываются контекстной командой **Свойства** из графического редактора, вторые такой же командой, но уже из блока задачи.

2. Простановка меток

Метка ставится на любой объект геометрии – вершину, ребро, блок. При этом ELCUT автоматически понимает, какой объект какого типа обрабатывается. Алгоритм простановки меток довольно прост: выделить объект или группу однотипных объектов, щелчком правой кнопки мышки вызвать контекстное меню и запустить команду **Свойства**. Далее в появившемся диалоге (см. рис. 2.1) указать название метки.

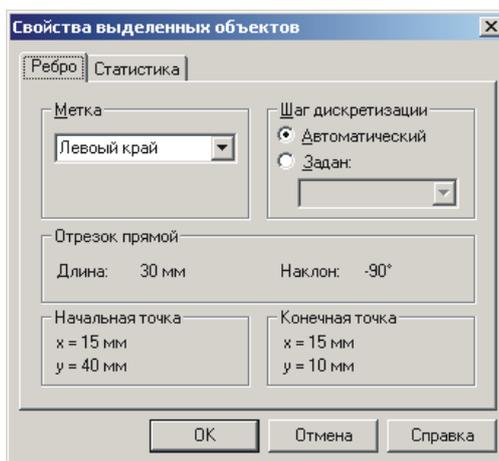


Рис. 2.1. Диалог присвоения метки

Затем в появившемся диалоге (см. рис. 2.1) ввести название метки. Новая метка выводится в блоке задачи (см. рис. 2.2.) в каталог, который соответствует типу обрабатываемого объекта.

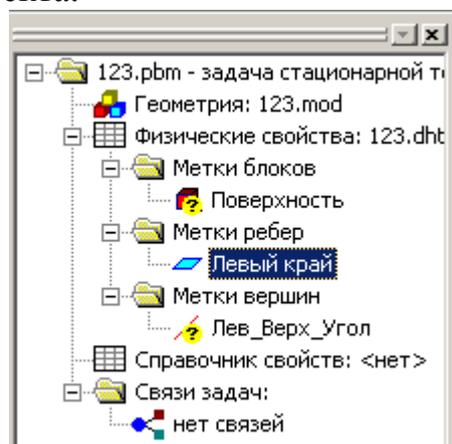


Рис. 2.2. Блок задачи

Метка не может начинаться с пробела, а пробелы в конце метки игнорируются. Заглавные и строчные буквы считаются различными. Название может вводиться как на английском, так и на русском языке, но количество символов не должно превышать шестнадцать.

3. Приложение нагрузок

Нагрузкой в САЕ (Computer Aided Engineering) программах называют совокупность значений параметров и граничных условий, действующих в рамках анализируемой модели.

Каждому помеченному (названному) объекту геометрии присваиваются значения физических величин, которые он обозначает. Например, если с ребра температура уходит конвективно, то указывают значение коэффициента конвекции; если блок проводит электрический ток, то указывают его проводимость и пр. Правильная постановка нагрузок является залогом точного решения задачи.

Для присвоения физических значений необходимо в блоке задачи (см. рис. 2.2.) выделить помеченный объект и вызвать контекстную команду **Свойства**. В зависимости от типа задачи (электрическая, тепловая, пр.), так же типа выделен-

ного объекта (блок, ребро, вершина) содержание выведенного диалога будет разным. На рис. 2.3. показаны диалоги при тепловой задаче для блока, ребра и вершины.

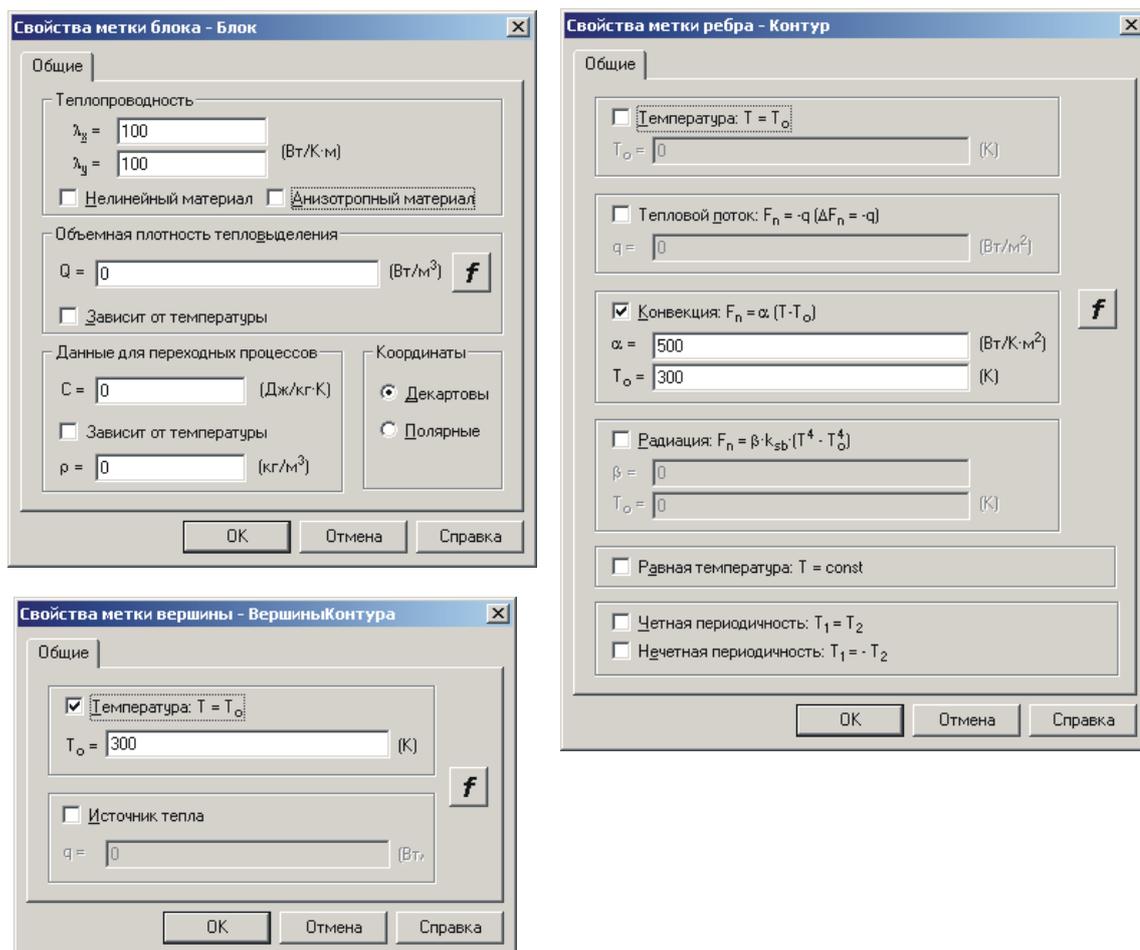


Рис. 2.3. Физические свойства блока, ребра и вершины в тепловой задаче

Нужно обратить внимание, что вызывать команду свойства нужно при выделении объекта именно в блоке задачи, а не в графическом редакторе. Иначе будут выведены другие – геометрические свойства.

Знак **f** означает то, что в текстовое окно можно ввести формулу, по правилам аналогичным вводу формул в языке программирования Visual Basic. После нажатия этой кнопки выводится раздел справочной информации, в котором описывается методика ввода формул.

Некоторые значения нельзя задать ни конкретным числом, ни формулой. Они в справочной литературе представлены в виде графиков и таблиц. ELCUT “знает” параметры такого типа и при попытке их ввода выводит на экран соответствующий интерфейс (рис. 2.4.)

На данных формах некоторые параметры нуждаются в особых комментариях.

1. *Нелинейный материал* – материал, теплопроводность которого меняется с изменением температуры.
2. *Анизотропный материал* – материал, свойства которого меняются в зависимости от направления изменения параметра.
3. *Ортотропный материал* – материал с постоянной теплопроводностью.

4. Изотропный материал – материал, параметры которого (например, теплопроводность и теплоемкость) зависящими от температуры.
5. Параметр T_0 в блоках **Конвекция** и **Радиация** – температура окружающей среды. Измеряется в Кельвинах ($0^\circ\text{C} = 273^\circ\text{K}$).
6. *Равная температура* – данным условием помечаются ребра, на которых температура принимает постоянное, но заранее неизвестное значение. Ребро, описанное условием равной температуры, не должно соприкасаться с любым ребром, где температура задана

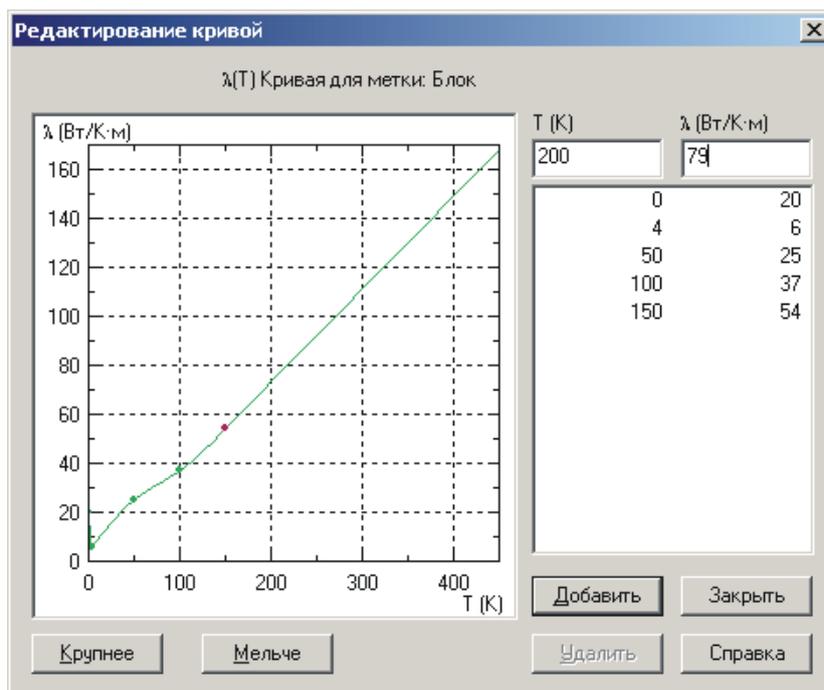


Рис. 2.4. Интерфейс ввода табличных величин

Каждая точка на графике (см. рис. 2.4.) вводится следующим образом:

- в текстовые окна, расположенные в правом верхнем углу формы, вводим соответствующую пару чисел;
- нажимаем кнопку, **Добавить**;

Если выделить ранее введенную строку, то появится кнопка **Изменить**, которая сохраняет, введенные пользователем изменения.

4. Простановка шагов дискретизации

Решение всех типов задач программа ELCUT проводит методом конечных элементов. Одной из важнейших составляющих данного метода является расчет и наложение на геометрию сетки конечных элементов. Густота или разреженность сетки регулируется таким параметром как *Шаг дискретизации* (см. рис. 2.1).

Чем плотнее сетка, тем точнее полученные результаты, но и тем дольше программа выполняет расчет. При грамотной настройке можно сгущать сетку в местах сильной неоднородности поля и разряжать в зонах стабильного параметра. Сгущать сетку в задачах теплопроводности можно в зонах, например, приближенных к источникам тепла.

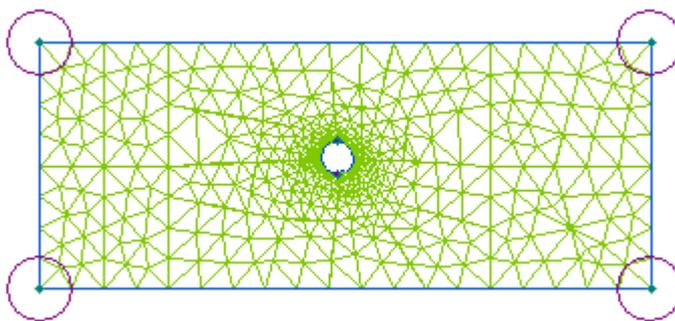


Рис.2.5. Сгущение конечноэлементной сетки вокруг источника тепла.

Шаг дискретизации можно не задавать, т.к. ELCUT сам рассчитывает его параметр. Если пользователь не согласен с предложением программы или хочет задать шаг самостоятельно, то это можно сделать в диалоге **Свойства выделенных объектов** (рис. 2.6), для вызова которого необходимо выделить объект или группу объектов, а затем запустить контекстную команду **Свойства**.

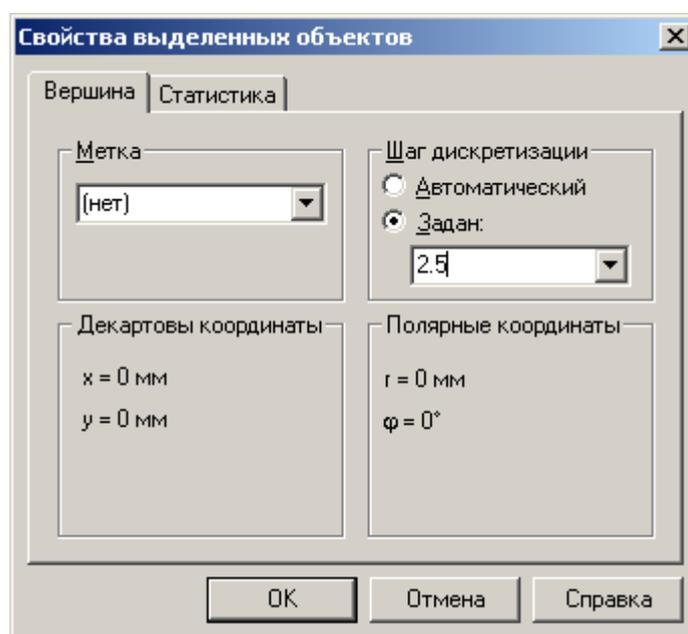


Рис. 2.6. Диалог **Свойства выделенных объектов**

Зона шаг дискретизации одинакова для всех типов элементов модели (вершин, ребер, блоков). Если необходимо ввести собственное значение следует щелкнуть по слову **Задан** и ввести число в текстовое окно, расположенное под этим словом. Дробные значения вводятся через точку.

Собственный шаг дискретизации можно ставить любому объекту модели. Новые значения отменяют старые без запросов на подтверждение. Например, если указан шаг в вершинах ребра, а затем вводится другое значение для самого ребра, то сетка будет строиться на основе последнего числа.

В студенческой версии ELCUT можно построить сетку, в которой не более 250 узлов. В профессиональной версии количество узлов может исчисляться миллионами. Чем больше узлов, тем точнее решение задачи.

5 Вывод сетки

Сетка строится по площадям блоков. Наиболее простым и методом вывода сетки является следующий:

1. Выделить блоки, в которых необходимо поставить сетку (несколько блоков можно выделить, удерживая нажатой кнопку **Ctrl** и щелкая по ним мышкой).
2. Щелкнуть по кнопке **Построение сетки** в меню **Модель** (см. рис. 1.8).

Так же дать команду на построение сетки можно из ниспадающего меню **Правка** командой **Поставить сетку**. Далее сетка строится автоматически.

Если после вывода сетки пользователь изменил геометрию модели или шаг дискретизации на каком-либо объекте, то сетка удаляется автоматически и для ее вывода нужно запустить соответствующую команду вновь. Чем больше узлов сетки, тем дольше она ставится. Задержки в данном процессе становятся заметными при числе узлов большем 300'000.

В панели **Модель** имеется кнопка удалить сетку. Если на момент ее запуска выделен блок с сеткой, то сетка будет удалена только из него. Если на момент запуска нет выделенных блоков, то сетка будет удалена из всех блоков сразу.

6. Пример пошагового решения задачи стационарной теплопроводности

Рассмотрим последовательность действий, которая необходима для решения следующей задачи. Дана металлическая пластина с размерами $1 \times 2 \times 0,1$ см. Левый нижний угол пластины нагревают от внешнего источника тепла. Определить температуру в каждой точке поверхности пластины в условиях стационарного режима теплопроводности.

Параметры.

Блок. Теплопроводность пластины 75 (Вт/К·м),

Ребра. С границ тепло уходит конвективно ($\alpha=50$ Вт/К·м², $T_0 = 293^\circ\text{K}$)

Вершина. Точечный источник тепла $q = 100$ Вт/м.

Выполнение.

1. Запустить программу ELCUT.
2. Щелкнуть по кнопке **Создать** (№2 на рис. 1.1.).
3. В появившемся диалоговом окне выбрать **“Задача ELCUT”**. Нажать **Готово**. Нажать **Далее**.
4. Присвоить файлу, в котором будет храниться задача название. Например, lab02. Нажать **Далее**.
5. Выбрать тип задачи **Теплопередача стационарная** и указать толщину пластины (Lz) 0.001 м. Нажать **Далее**.
6. Выбрать единицы измерения **“см”**. Нажать **Готово**.
7. В блоке задачи выделить строку **Геометрия: lab02.mod** и щелкнуть по кнопке **“Открыть модель”** (№3 см. рис. 1.1).
8. Разместив указатель мышки над клетчатым полем графического редактора, щелкнуть правой ее кнопкой и запустить команду **Сетка привязки**.
9. Задать шаг сетки равным 1 см и отключить масштабирование координатной сетки вместе с окном (см. рис. 1.7).

10. В графическом редакторе нарисовать прямоугольник со сторонами 1 и 2 см.
11. Выделить вершину левого нижнего угла, присвоить ей метку “**Источник**”. Для этого после выделения запустить контекстную команду **Свойства**.
12. Выделить все четыре ребра и присвоить им метку “**Ребра**”. Для этого после выделения запустить контекстную команду **Свойства**.
13. Щелкнув мышкой внутри прямоугольника, выделить его площадь и присвоить метку **Плоскость**. В том же диалоге указать ручной шаг дискретизации, равный 0.15.
14. Выделив в блоке задачи строку **Плоскость** запустить контекстную команду **Свойства**. В появившемся диалоге указать, что Теплопроводность равна 75.
15. Выделив в блоке задачи строку **Ребра**, запустить контекстную команду **Свойства**. В появившемся диалоге выбрать зону **Конвекция** и указать, что $(\alpha=50 \text{ Вт/К}\cdot\text{м}^2, T_0 = 293^\circ\text{К})$.
16. Выделив в блоке задачи строку **Источник**, запустить контекстную команду **Свойства**. В появившемся диалоге выбрать зону **Источник тепла** и указать, что $(q = 100 \text{ Вт/м})$.
17. Выделить плоскость прямоугольника и, щелкнув по **кнопке Построение сетки** (см. рис. 1.8), заполнить плоскость сеткой конечных элементов.
18. Далее щелкнуть по кнопке **Сохранить все файлы** (см. рис. 2.7) задачи в **Общей панели** инструментов или из ниспадающего меню **Файл** запустить аналогичную команду.

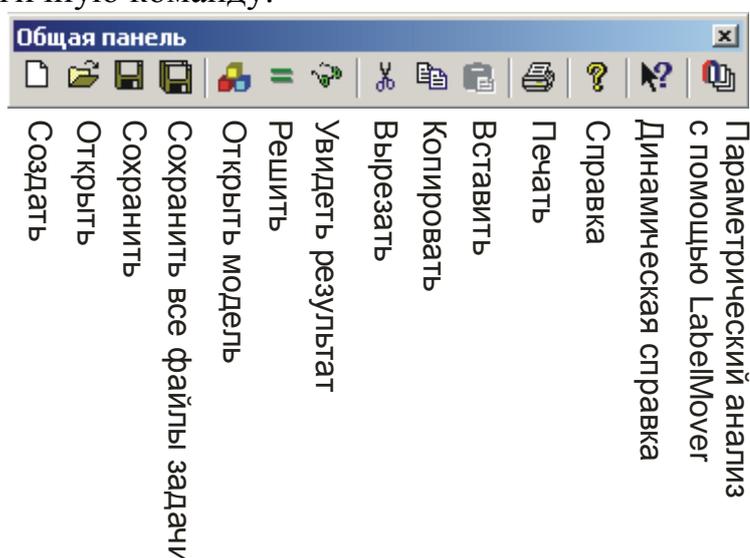


Рис. 2.7. Содержание Общей панели инструментов

19. Щелкнуть по кнопке **Решить** из общей панели инструментов (см. рис. 2.7).
20. Если все было сделано правильно, то на экране появится температурное поле, показанное на рис. 2.8.

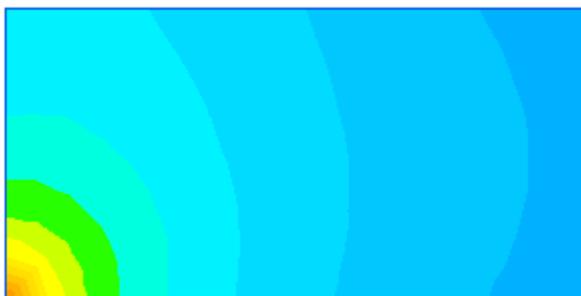


Рис. 2.8. Распределение температуры по плоскости

Расчет задачи и обработка результатов будут рассмотрены на следующих лабораторных занятиях.

7. Задания к лабораторной работе №2

1. Повторить пример из пункта 6.
2. Продемонстрировать методику простановки меток для блоков, ребер и вершин.
3. Продемонстрировать методику приложения нагрузок к блоку, ребру и вершине.
4. Продемонстрировать методику настройки и вывода сетки конечных элементов на модель.
5. Опираясь на пример из пункта 6 рассчитать аналогичную задачу по геометрии и параметрам, которые даст преподаватель.

Лабораторная работа №3

Проведение расчета и анализ результатов

Цель работы: ознакомиться с процедурой выполнения расчета, а так же инструментами анализа и визуализации результата.

1. *Запуск решения задачи*
2. *Анализ результатов решения*
 - 2.1. *Картина поля*
 - 2.2. *Локальные полевые значения*
 - 2.3. *Редактирование контуров*
 - 2.4. *Графики*
 - 2.5. *Таблицы*
 - 2.6. *Таблицы и графики во времени*
3. *Много оконный режим работы с ELCUT*
4. *Задания к лабораторной работе №3*

1. *Запуск решения задачи*

После создания геометрии, простановки меток, приложения нагрузки и расчета сетки, можно преступать к решению задачи. Запуск этого процесса выполняется всего двумя щелчками мышки. Первый раз щелкаем по кнопке **Сохранить все файлы задачи**, второй – по кнопке **Решить** (см. рис. 1.1 (№4) или рис. 2.7).

Скорость расчета прямо пропорционально зависит от количества узлов конечноэлементной сетки и числа шагов по времени (для нестационарных задач). По сравнению с аналогичными пакетами других разработчиков ELCUT работает от 20 до 50 раз быстрее, за счет оптимизированных алгоритмов.

Если нагрузка приложена неправильно, то ELCUT выведет сообщение с описанием ошибки и не преступит к процессу счета.

2. *Анализ результатов решения*

Для того чтобы приступить к просмотру и анализу результатов решения задачи, необходимо запустить из меню **Задача** команду **Анализ результатов** или щелкнуть по кнопке **Увидеть результат** (см. рис. 2.7).

ELCUT позволяет представить решение задачи несколькими способами:

- картины поля,
- локальные полевые значения,
- интегральные величины,
- мастера вычисления параметров,
- графики и таблицы в пространстве,
- графики и таблицы во времени,
- схема присоединенной электрической цепи.

Любая картинка или физическая величина, отображаемая при анализе результатов решения, может быть скопирована в буфер обмена для дальнейшего использования в каком-нибудь текстовом редакторе.

Набор физических величин, которые могут быть отображены в виде картины поля, зависит от типа задачи.

Например, в задачи теплопроводности в картине поля можно увидеть:

1. Температура T в любой точке поверхности.
2. Вектор плотности теплового потока.
3. Теплопроводность.

2.1. Картина поля

Цветная карта показывает распределение на плоскости значения выбранной физической величины. Цветная карта сопровождается цветовой шкалой, показывающей соответствие между цветом и значением физической величины.

Можно выводить на экран картину поля сразу несколькими способами для получения наиболее ясного представления.

Можно одновременно работать с несколькими разными картинками поля для одной и той же задачи. Чтобы открыть новое окно, следует щелкнуть по кнопке **Новое окно** в панели **Анализ результатов** (см. рис. 3.1).

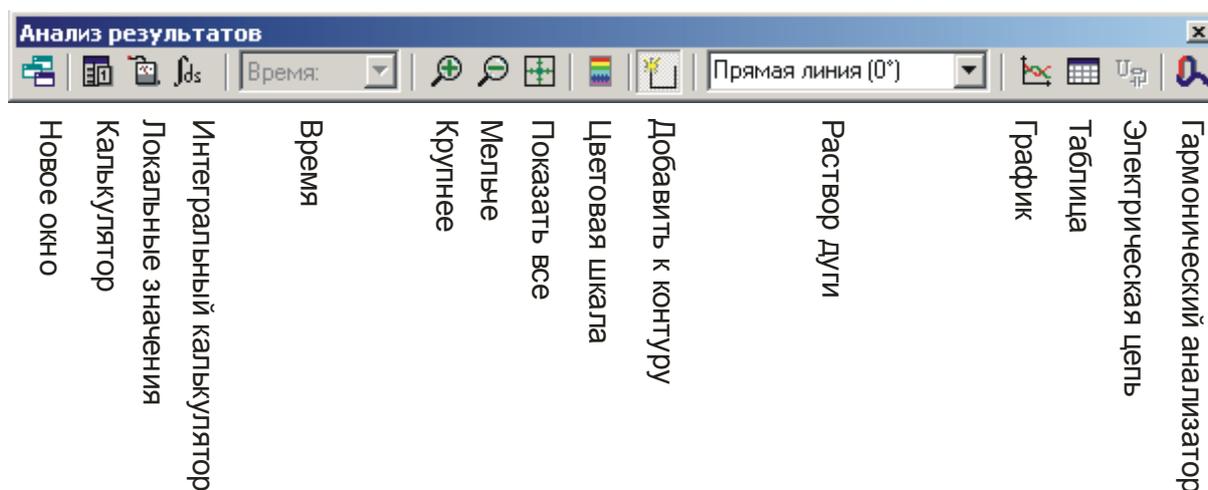


Рис. 3.1. Панель **Анализ результатов**

После того, как задача решена, в окне анализа результатов автоматически отображается картина поля, используемая по умолчанию (см. рис. 3.2). Чтобы изменить вид картины, нужно из контекстного меню выбрать команду **Картина поля** или в меню **Вид** запустить команду с таким же названием.

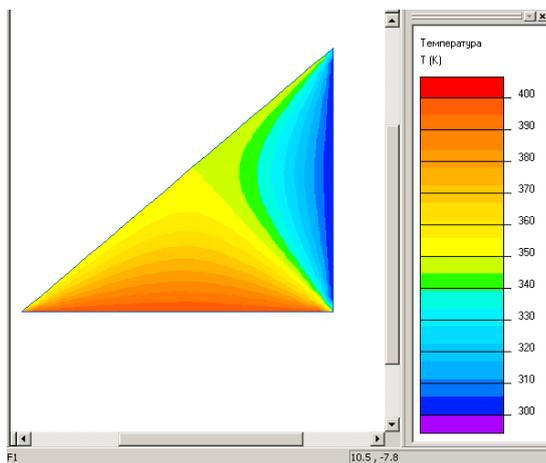


Рис. 3.2. Картина поля для тепловой задачи. Нижнее ребро 400 К, левое - 350 К, правое – 300 К.

После запуска контекстной команды **Картина поля**, в случае решения задачи теплопроводности на экран выводится диалоговое окно, показанное на рис. 3.3.

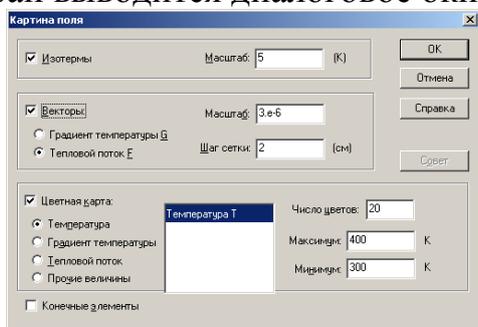


Рис. 5.3. Диалоговое окно Картина поля.

Элементы окна имеют следующее назначение.

Изотермы – выводит линии равной температуры

Векторы – выводит стрелки, показывающие направление убывания температуры.

Цветная карта – выводит цветную заливку в контур. Если галочку снять, то будут выведены только изотермы и векторы.

Треугольная пластина с разными температурами по ребрам с изотермами и векторами имеет вид, показанный на рис. 3.4.

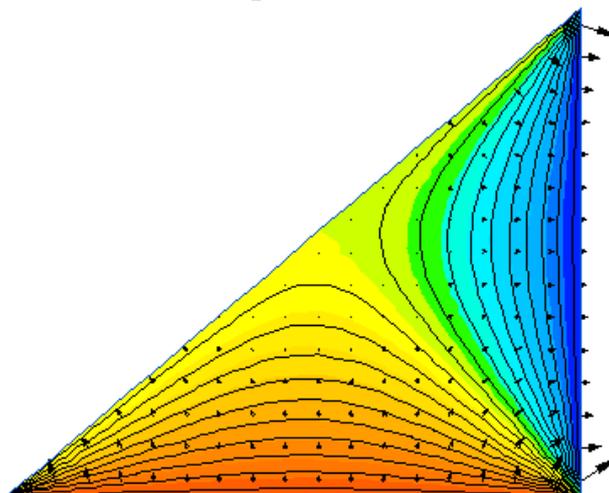


Рис. 3.4. Картина поля с изотермами и векторами теплового потока.

В зависимости от типа задачи результаты и инструменты их обработки меняются. В частности для других типов задач окно **Картина поля** будет содержать другие элементы.

Работая с этим окном особое внимание следует обратить на кнопку **Совет**. Если поставить курсор в поле, в которое нужно ввести значение параметра и пользователь не знает какое число вводить, то щелчок по кнопке выведет в текущее поле такое значение, которое рекомендует программа, исходя из имеющихся данных. Наиболее подходящие величины для полей **Минимум** и **Максимум**, вычисляются для видимой в данный момент на экране части изображения.

В нестационарных задачах картина поля изображается для определенного момента времени. В окне на панели инструментов выводится текущий момент времени. Вы можете выбрать другой момент времени в выпадающем списке (см. рис. 3.5).

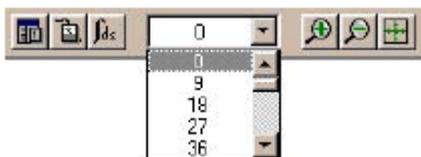


Рис. 3.5. Выбор момента времени.

При первом показе отображается конечный момент времени. Картины поля, графики и таблицы пересчитываются автоматически при изменении момента времени.

Картина поля является самым наглядным и, зачастую, основным результатом расчета.

2.2 Локальные полевые значения

Локальные полевые значения – это значения определенных параметров в конкретных точках рассчитанного поля. Для их вывода нужно на панели **Анализ результатов** (см. рис. 3.1.) щелкнуть по кнопке **Локальные значения**, а затем щелкнуть по интересующей точке поля (см. рис. 3.6).

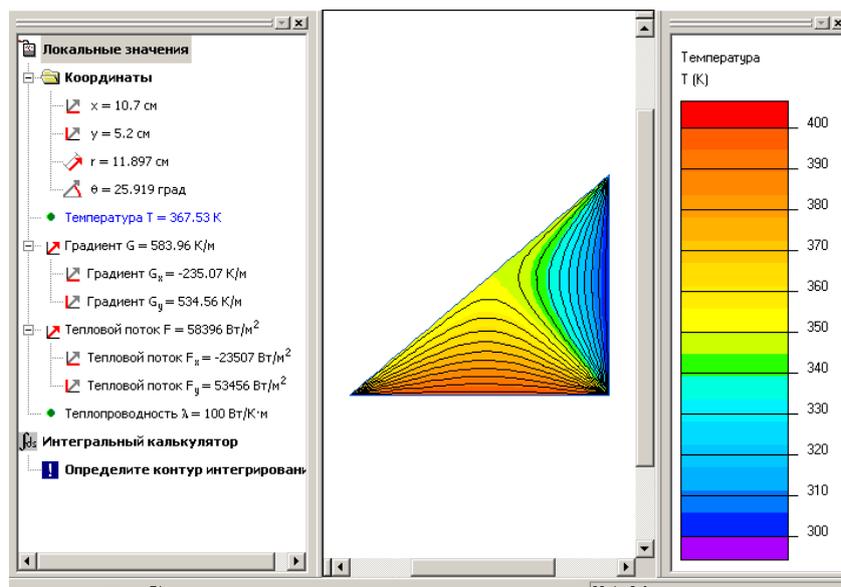


Рис. 3.6. На рабочем экране присутствует калькулятор локальных полевых значений.

Работая в блоке локальных значений можно:

1. Дважды с интервалом в 3 щелкнуть по координате X или Y и ввести координаты требуемой с клавиатуры, а не искать ее мышкой.
2. Дважды щелкнув по названию параметра дать команду на вывод его значений на карту поля.

Интегральный калькулятор выводит значения, общие для определенной зоны анализируемой поверхности. Например, среднюю температуру, разность температур, площадь поверхности, средний тепловой поток и пр. Для ввода контура нужно воспользоваться командами из ниспадающего меню **Контур** (рассмотрено ниже).

Кроме прочего в калькуляторе есть три мастера.

1. **Мастер индуктивности**
2. **Мастер емкости**
3. **Мастер импеданса** вычисляет импеданс проводников (полное комплексное сопротивление переменному току).

После двойного щелчка по строке с соответствующим названием, ELCUT выводит несколько диалоговых окон для ввода специальных параметров, а затем выводит результат дополнительного расчета.

2.3 Редактирование контуров

Контуром называется направленная ломаная линия, состоящая из отрезков прямых и дуг окружностей.

Контур в ELCUT используются для:

1. Построения графиков изменения физических величин вдоль контура (смотрите раздел "*Графики*");
2. Вычисления линейных, поверхностных и объемных (для замкнутых контуров) интегралов (смотрите раздел "*Вычисление интегралов*");

3. Табличного вывода распределения поля вдоль контура на экран, в буфер обмена и в текстовый файл (смотрите раздел "*Таблицы физических величин вдоль контура*");

Правила, действующие для контуров, заключаются в следующем:

1. Контур не может пересекать сам себя.
2. Замкнутые и разомкнутые контуры различаются.
3. Замкнутые контуры используются для вычисления интегралов и средних значений.

Контур изображается при помощи направленных отрезков и дуг либо, если он замкнут и положительно ориентирован (против часовой стрелки), – в виде залитого цветом многоугольника.

ELCUT позволяет создавать и модифицировать контур только в окне картины поля.

Команды для работы с контуром сосредоточены в меню **Контур**. Оно появляется только тогда, когда становится активным окно с картиной поля. В начале работы над контуром бывают активны команды **Ввод линий** (ввод линий по координатам), **Добавить (Линия/Ребро/Блок)** – наиболее удобный и простой инструмент построения (переключение на отрисовку дуг происходит в списке растворов дуги как при построении геометрии). После начала работы или построения контура становятся активными **Замкнуть**, **Сменить направление**, **Отменить последнюю линию**, **Удалить все**.

На рис. 3.7. изображено температурное поле с линейный контур. Вдоль линии контура значение температуры уменьшается. Совокупность значений температуры лежащее под линией контура ELCUT может обрабатывать отдельно от других, например, построить график изменения температуры в осях длина – температура.

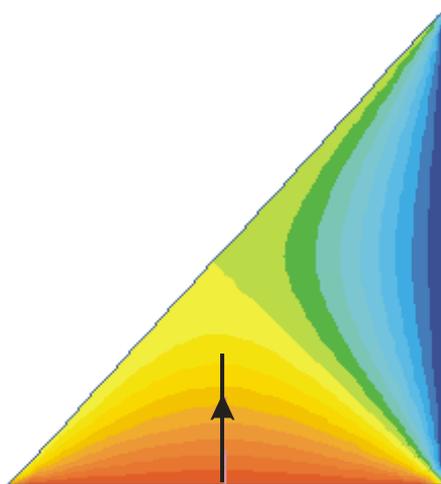


Рис. 3.7. Линейный контур на картине поля

На одной цветовой карте может быть только 1 контур. Если нужно рассмотреть несколько различных контуров, то необходимо открыть новое окно. О работе с несколькими окнами рассказывается в п.п. 3.

Для того, что бы получить значения, описывающие фрагмент или полную площадь геометрии, например среднюю температуру поверхности, необходимо провести контур по ребрам модели и замкнуть его соответствующей командой из меню **Контур**.

2.4. Графики

График строится только по указанному контуру. т.е. программа выводит изменение параметра по линии и направлению контура в зависимости от координаты X (линейное измерение длины контура от 0 до конца, согласно направлению в единицах измерения чертежа). Для его построения нужно создать контур и щелкнуть по кнопке **График** в панели **Анализ результатов** (см. рис. 3.1.). На экране появится график с параметром по умолчанию и окно (см. рис. 3.8), в котором можно выбрать другой уже рассчитанный параметр.

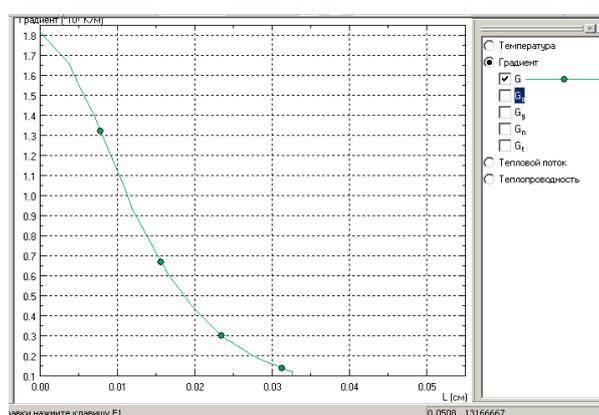


Рис. 3.8. График и окно Обозначения кривых.

Для получения разных контуров и графиков нужно открывать новые окна результатов. Переключение между окнами осуществляется нажатием **Ctrl+Tab**. Если потеряется окно Обозначения кривых, то его можно вывести нажав на кнопку **Цветовая шкала** (см. рис. 3.1.). Некоторые дополнительные настройки можно получить из контекстного меню на графике, запустив команду кривые на графике.

2.5. Таблицы

Данные точек, накрытых контуром можно представить не только в виде графика, но и в виде таблицы. Для этого следует щелкнуть по кнопке **Таблица** в панели **Анализ результатов** (см. рис. 3.1) или запустить, находясь в окне с графиком, контекстную команду **Таблица**.

L (cm)	x (cm)	y (cm)	N_x	N_y	T (K)	G (K/m)	G_x (K/m)	G_y (K/m)	G_z (K/m)	G_t (K)
0.00000	26.0670	0.00000	0.999504	0.0315070	400.000	328.575	0.755458	328.574	11.1075	328.3
0.815193	26.0613	0.814788	0.999504	0.0315070	397.324	327.904	2.46611	327.895	12.7959	327.6
1.63039	26.0356	1.62958	0.999504	0.0315070	394.647	327.243	4.17677	327.216	14.4843	326.9
2.44558	26.0099	2.44436	0.999504	0.0315070	392.009	323.744	6.57445	323.677	16.7693	323.3
3.26077	25.9842	3.25915	0.999504	0.0315070	389.383	319.537	9.03340	319.409	19.0925	318.9
4.07596	25.9585	4.07394	0.999504	0.0315070	386.808	314.822	9.95993	314.664	19.8691	314.1
4.89116	25.9329	4.88873	0.999504	0.0315070	384.294	308.330	11.5435	308.114	21.2455	307.5
5.70667	25.9072	5.70384	0.999504	0.0315070	381.743	302.259	13.7880	301.945	23.2945	301.3
6.52154	25.8815	6.51830	0.999504	0.0315070	379.368	293.584	15.8289	293.157	25.0575	292.5
7.33673	25.8558	7.33309	0.999504	0.0315070	376.977	285.357	16.7311	284.866	25.6981	284.1
8.15193	25.8301	8.14788	0.999504	0.0315070	374.725	275.955	17.6717	275.389	26.3396	274.6
8.96712	25.8044	8.96267	0.999504	0.0315070	372.559	265.840	18.6358	265.186	26.9817	264.4
9.78231	25.7787	9.77745	0.999504	0.0315070	370.428	255.249	19.3677	254.514	27.3770	253.7
10.5975	25.7531	10.5922	0.999504	0.0315070	368.400	243.177	19.7323	242.375	27.3590	241.6
11.4127	25.7274	11.4070	0.999504	0.0315070	366.403	231.139	19.9591	230.275	27.2045	229.5
12.2279	25.7017	12.2218	0.999504	0.0315070	364.604	219.330	19.6043	218.452	26.4773	217.7
13.0431	25.6760	13.0366	0.999504	0.0315070	362.928	208.002	20.8268	206.957	27.3370	206.1
13.8583	25.6503	13.8514	0.999504	0.0315070	361.265	196.421	22.0453	195.180	28.1839	194.3
14.6735	25.6246	14.6662	0.999504	0.0315070	359.656	184.071	23.2248	182.599	28.9664	181.7
15.4887	25.5990	15.4810	0.999504	0.0315070	358.347	171.005	23.9751	169.316	29.2978	168.4
16.3039	25.5733	16.2958	0.999504	0.0315070	357.039	157.979	24.7254	156.032	29.6292	155.1

Рис.3.9. Таблица по контуру

На экран будет выведена таблица (см. рис. 3.9) со всеми числовыми значениями, которые можно отобразить на графике – линейные единицы длины контура и все рассчитанные, для данного контура параметры.

Можно добавлять новую точку на конкретном расстоянии от начала контура. Для этого нужно запустить контекстную команду **Создать**.

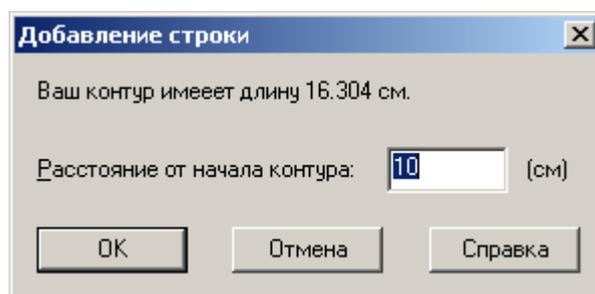


Рис.3.10. Диалог ввода новой точки на контуре.

Далее появится диалог, показанный на рис. 3.10. В нем нужно ввести расстояние от начала контура и ELCUT сам рассчитает значения всех параметров в ней.

2.6. Таблицы и графики во времени

График во времени

В *нестационарных* задачах, в которых параметры меняются с течением времени, например, при нагреве, можно анализировать графики изменения различных величин во времени. Чтобы открыть новый график, находясь на картинке поля, щелкните по кнопке **График** из панели инструментов **Анализ результатов**.

Если же вы правым щелчком мыши по картинке поля откроете контекстное меню, и там выберете команду **График во времени**, то появится график во времени для той точки, которую вы указали мышью.

Если находясь на графике запустить контекстную команду **Кривые на графике**, то будет выведено диалоговое окно, показанное на рис. 3.11, в котором можно задать координаты точки и изменение параметра в ней будет выведено отдельной линией на общий график.

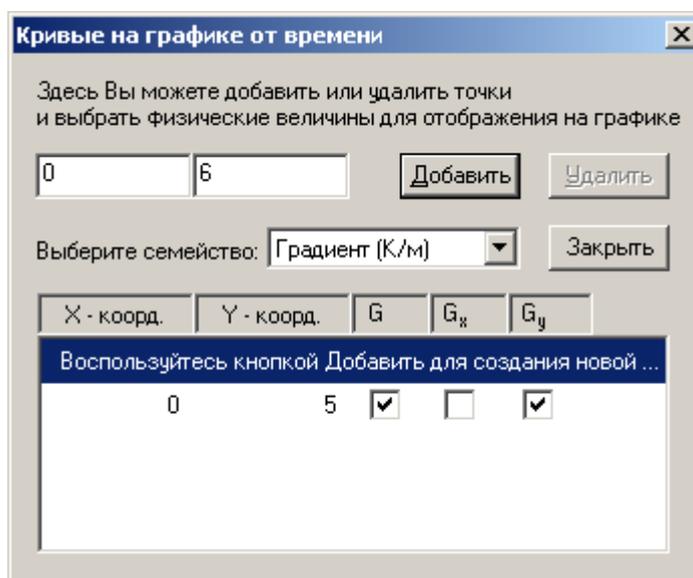


Рис. 3.11. Диалог для ввода координат точки для графика во времени

В окне графика во времени одновременно могут быть показаны кривые для нескольких точек. В свою очередь, для каждой точки вы можете указать индивидуальный набор физических величин (кривых на графике). Физические величины разделены на группы по их размерности, например, температура, градиент температуры и тепловой поток. Нельзя одновременно показать на одном графике изменение во времени физических величин из разных групп.

В начале создания нестационарной задачи ELCUT запрашивает временной интервал и шаг в сек. После расчета можно вывести на график значения на выбранный момент времени, согласно шагу (от 0 до 230 сек с шагом 0,5 сек). Выбор осуществляется из списка **Время** (см. рис. 3.5.)

Таблица во времени

Если известны координаты интересующей точки, то можно увидеть значения рассчитанных параметров во времени.

Для этого, находясь в *Таблице* (в таблицу можно попасть из графика через кнопку или контекстную команду), нужно запустить контекстную команду **Таблица во времени**. Появится диалог, показанный на рис. 3.12.

Координаты точки:		x =	y =				
Время (с)	T (К)	G (К/м)	Gx (К/м)	Gy (К/м)	F (Вт/м ²)	Fx (Вт/м ²)	
0	0	0	0	0	0	0	
0,5	291.136	165.537	165.002	13.2964	2483.06	2475.04	
1	291.136	165.537	165.002	13.2964	2483.06	2475.04	
1,5	291.136	165.537	165.002	13.2964	2483.06	2475.04	
2	291.136	165.537	165.002	13.2964	2483.06	2475.04	
2,5	291.136	165.537	165.002	13.2964	2483.06	2475.04	
3	291.136	165.537	165.002	13.2964	2483.06	2475.04	

Рис. 3.12. Таблица во времени для конкретной точки

В нем в окна “x=” и “y=” нужно ввести координаты точки, нажать ОК и получить значения рассчитанных параметров для этой точки для каждого временного шага. На рис. 3.12. первый столбец отсчитывает секунды.

3. Много оконный режим работы с ELCUT

После решения задачи на экран выводится цветная картина поля, которая является стартовой точкой анализа результатов. ELCUT дает возможность открыть несколько независимых окон с полем. Это удобно, например, в том случае, когда нужно нарисовать несколько различных контуров.

Для того, что бы открыть новое независимое окно следует щелкнуть по кнопке **Новое окно** в панели **Анализ результатов** (см. рис. 3.1).

Если на экране в момент запуска команды **Новое окно** был какой-либо другой объект анализа, то ELCUT откроет его копию для последующего независимо редактирования.

Каждое новое окно отображается в ниспадающем меню **Окна**. Перемещаться между окнами можно с помощью данного меню или нажимая **Ctrl+Tab**.

4. Задания к лабораторной работе №3

1. Составить и решить задачу, показанную на рис. 3.2. (толщина 1 см, катеты по 2 см, теплопроводность пластины 45 Вт/К·м).
2. Вывести на экран картину поля градиента температуры.
3. Вывести на экран картину поля температуры с наложенными изотермами.
4. Вывести на экран картину поля температуры с наложенными векторами.
5. Показать температуру в точке (1, 0.5).
6. Нарисовать контур, показанный на рис. 3.7.
7. Вывести график изменения температуры по линии контура.
8. Вывести таблицу изменения температуры по линии контура.
9. Найти среднюю температуру по поверхности пластины (для этого нужно нарисовать замкнутый контур по ребрам треугольника).
10. Открыть новое окно с полем температуры и нарисовать контур аналогичный показанному на рис. 3.7, но направленный в противоположном направлении. Построить график и таблицу значений.
11. Продемонстрировать переключение между всеми окнами задачи.

Лабораторная работа №4

Решение задач теплопроводности

Цель работы: ознакомиться с процедурой выполнения расчета в целом на примере решения некоторых стандартных задач теплотехники.

1. Задача №1.
2. Задача №2.
3. Задача №3.
4. Задание к лабораторной работе №4.

1. Задача №1

Дан стальной цилиндр с известными размерами и температурами на внутренней и внешней стенках. НАЙТИ распределение температуры в нутрии его стенки.

Геометрия представлена на рис. 4.1.

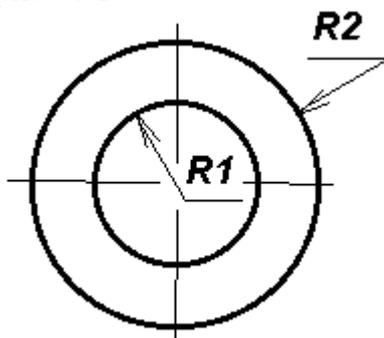


Рис. 4.1. Рисунок к задаче №1

Исходные данные:

$$R1 = 20 \text{ мм}$$

$$R2 = 40 \text{ мм}$$

Стенка сделана из стали, коэффициент теплопроводности $\lambda = 45,4 \text{ Вт/(м*К)}$.

Температура на внутренней поверхности цилиндра $T1 = 293 \text{ К}$

Температура на внешней поверхности цилиндра $T2 = 313 \text{ К}$

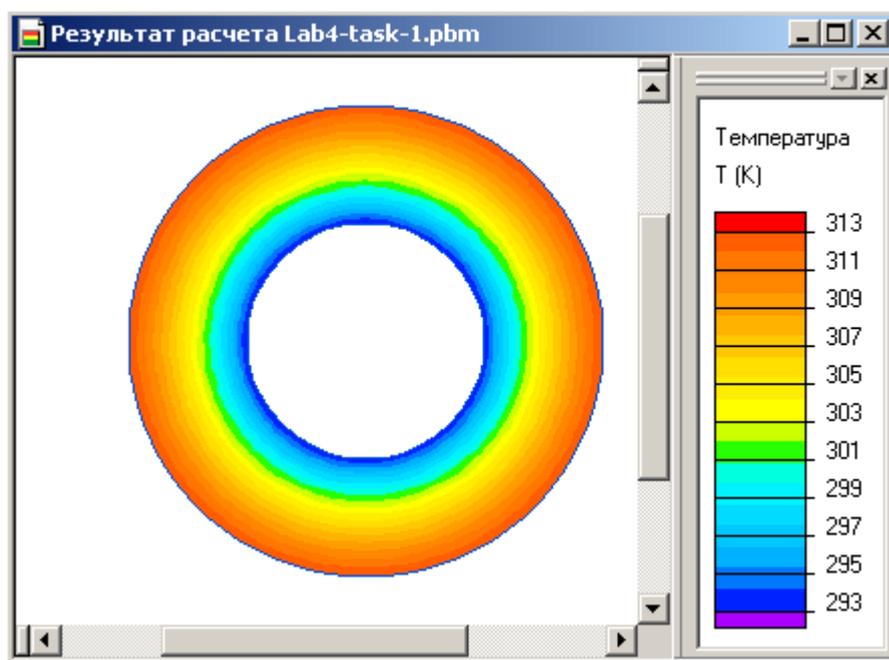


Рис. 4.2. Решение задачи №1.

Решение должно быть представлено цветной картиной поля, пример которой изображен на рис. 4.2. и графиком изменения температуры по радиусу стенки

Примечание. Следует обратить внимание, что в данной постановке не рассматривается взаимодействие цилиндра с окружающей средой, т.е. мы имеем дело с граничными условиями первого рода.

2. Задача №2

Дана стальная стенка, разделяющая две среды. Например, стальная кружка с кипятком. НАЙТИ распределение температуры по толщине стенки при передаче сквозь нее тепла.

Геометрия задачи показана на рис. 4.3.

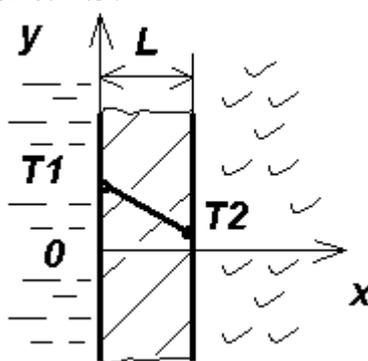


Рис. 4.3. Рисунок к задаче №2

Исходные данные:

Стенка сделана из стали, коэффициент теплопроводности $\lambda = 45,4 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$.

Температура на внутренней поверхности стенки $T_1 = 373 \text{ К}$.

Температура на внешней поверхности стенки $T_2 = 293 \text{ К}$.

Толщина стенки $L = 10 \text{ мм}$.

Решение должно быть представлено цветной картиной поля и графиком изменения температуры по толщине стенки.

3. Задача №3

Дана стальная стенка, разделяющая две среды. НАЙТИ распределение температуры по толщине стенки с учетом конвективной передачи тепла (т.е. при граничных условиях третьего рода).

Геометрия задачи показана на рис. 4.4.

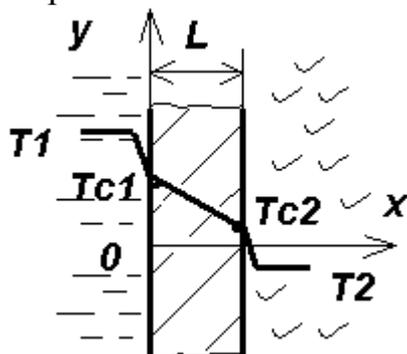


Рис. 4.4. Рисунок к задаче №3

Исходные данные:

Стенка сделана из стали, коэффициент теплопроводности $\lambda = 45,4 \text{ Вт}/(\text{м}^*\text{К})$.

Температура жидкости $T_1 = 373 \text{ К}$.

Коэффициент теплоотдачи от жидкости к стенке $\alpha_1 = 240 \text{ Вт}/(\text{м}^*\text{К})$

Температура наружного воздуха $T_2 = 293 \text{ К}$.

Коэффициент теплоотдачи от стенки в воздух $\alpha_2 = 12 \text{ Вт}/(\text{м}^*\text{К})$

Толщина стенки $L = 10 \text{ мм}$.

Решение должно быть представлено цветной картиной поля и графиком изменения температуры по толщине стенки.

Примечание. Температура будет изменяться незначительно, поэтому картина поля будет одноцветной. Изменение параметра лучше смотреть с помощью графика.

Почему распределение температуры здесь отличается от предыдущей задачи. Так и должно быть. В задаче 2 мы задали температуру на внешней поверхности, но не указали как она там создается (наверное интенсивное омывание холодной средой). Здесь же мы рассчитали температуру на внешней поверхности в условиях естественной конвекции. Если реально налить кипятка в стальную кружку, то поверхность кружки будет горячей.

3. Задание к лабораторной работе №4

Решить с помощью программы ELCUT описанные в данной лабораторной работе три задачи. В качестве результатов должны быть представлены картина поля температуры и градиента с изотермами и векторами, график и таблица.