

ВВЕДЕНИЕ

Современный этап развития науки и техники предопределяет огромный поток информации, а с тем и огромные возможности самосовершенствования для каждого инженера-выпускника вуза. Сегодня выпускник должен уметь мыслить многомерно и творчески. Стало уже недостаточно, а в большей степени практически невозможно строить свои умозаключения, основываясь только на традиционных методах расчета. Все более престижным и значимым считается умение использовать современные компьютерные методы расчета. Ни одна современная разработка не обходится без компьютерного моделирования и численных исследований, поэтому инженер, владеющий современным инструментарием, выглядит более достойно.

В данной работе приводятся практические примеры использования компьютерных методов расчета применительно к деталям поршневых двигателей внутреннего сгорания. Практические примеры приведены в виде лабораторных работ и 6 приложений. Все расчеты проводятся в программной среде *Ansys Workbench*. В основе проведения численных расчетов в программной среде *Ansys Workbench* лежит метод конечных элементов (МКЭ). К студенту, впервые берущего в руки данное пособие, предъявляется одно требование – знание теории МКЭ и методов расчета деталей двигателя внутреннего сгорания.

Изложенный в пособии материал будет способствовать формированию у студентов профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС 3-го поколения, поскольку при изучении целого ряда дисциплин необходимо будет использовать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин, а также применять их в своей профессиональной деятельности.

Лабораторная работа № 1

ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ В СРЕДЕ ANSYS WORKBENCH

На сегодняшний день существует достаточное количество САПР, которые содержат в себе модуль построения геометрии детали *CAD* (от

англ. *CAD, Computer-Aided Design*) и модуль проведения инженерных расчетов САЕ (от англ. *Computer-Aided Engineering*). Кроме того, студент уже должен владеть некоторыми основами твердотельного моделирования в ходе изучения предметов по специальности. Изучение основ моделирования в среде *AnsysWorkbench* незначительно отличается от моделирования в других пакетах сторонних разработчиков, поэтому не должно вызывать особых трудностей.

Однако у некоторых студентов может возникнуть вопрос: «Зачем мне это, я и так умею строить трехмерные модели деталей двигателя в программной среде?» И отчасти он будет прав. Но тут необходимо рассмотреть некоторые аспекты этого вопроса:

Во-первых, *AnsysWorkbench* является программой, позволяющей совмещать функции *CAD*- и *САЕ*-систем, а такая связка обеспечивает большую гибкость при работе (например, проведение параметрических (оптимизационных) исследований выглядит более выгодно).

Во-вторых, выполнение конструкторского анализа в одной программной среде подчеркивает высокий уровень подготовки инженера (не всегда под рукой может оказаться нужная *CAD*-система).

Однако при использовании сложной геометрии или в каких-либо других случаях можно (рекомендуется) использовать для создания геометрии расчетных моделей другие *CAD*-системы, например *SolidWorks*, *Pro/Engineer* и др. Отметим также, что *Workbench* поддерживает ассоциативную связь с большинством современных *CAD/CAE* программ.


Построение твердотельной модели поршня тракторного дизеля средствами Ansys Workbench




Данная лабораторная работа, скорее, носит ознакомительный характер, и большую часть материала студент должен изучить самостоятельно.

Запуск программы. Для запуска программы *AnsysWorkbench* существуют два способа:

1. Через стартовое меню *Пуск – Программы – Ansys – Workbench*;
2. Используя *CAD*-систему (*SolidWorks*, *Pro/Engineer* и т.д.).

После запуска программы открывается графическая панель пользователя, который будет разделен на два окна: *Toolbox* и *Project Schematic*.

На панели *Toolbox* выбираем категорию *Component System* и запускаем подпрограмму *Design Modeler* создания детали, нажав два раза ЛКМ на значке  *Geometry* (*Геометрия*). После выполнения данной команды в окне

Project Schematic будет создан блок А, который содержит геометрию детали. Для того чтобы войти в режим редактирования, нажимаем два раза ЛКМ на значке  Geometry  . После чего будет запущен модуль работы с геометрией *Design Modeler*.

Главное меню программы *Design Modeler* содержит пункты, характерные для большинства программ твердотельного моделирования.



Наша задача – на конкретном примере разобрать и усвоить для себя назначение большинства кнопок (нерассмотренные функции программы изучаются в ходе самостоятельной работы).


Стоит сказать немного слов о способах управления в графическом окне программы:

- ЛКМ – отвечает за выделение геометрии;
- СКМ – позволяет ориентироваться в пространстве и вращать модель;
- ПКМ – позволяет масштабировать деталь и вызывать контекстное меню.

Предварительно для установки единиц измерения, которые будут использоваться во всех расчетах проекта, необходимо в меню главного окна программы *Units* выбрать необходимую систему единиц. Установим метрическую систему единиц проекта *Metric*.


Для создания упрощенной модели поршня необходимо определиться с последовательностью операций, которые мы будем выполнять в ходе построения. В нашем случае поршень тракторного дизеля будет представлять собой тело вращения. Поэтому первой операцией логично будет совершить операцию вращения. Далее необходимо будет создать бобышки и другие конструктивные элементы: фаски, камеру сгорания, перемычки, вырезы и т.д. Для создания модели поршня с помощью операции вращения необходимо построить эскиз. Эскиз будет представлять собой профиль поршня и ось вращения.

Для создания эскиза выбираем ЛКМ в дереве построения (*Tree Outline*) плоскость *XYPlane*. В графическом окне пунктиром подсвечиваются оси x и y . Чтобы перейти в режим редактирования эскиза, необходимо выбрать закладку *Sketching* все в том же окне. Для ортогональной ориентации к плоскости эскиза необходимо выбрать на панели иконку  либо вызвать контекстное меню через ПКМ и выбрать  *Look at*, что равноценно.

Для создания профиля поршня выбираем в панели *Sketching Toolboxes* закладку *Draw* и иконку с линией  *Line*. Для удобства рисования

вертикальных и горизонтальных линий включим отображение вспомогательной сетки с помощью панели *Sketching Toolboxes–Settings*, установив галочку напротив *Grid–Show in 2D* .

Во время создания линий рядом будут появляться буквы *V* и *H* (привязки), определяющие пространственное положение линии в эскизе. Буква *V* показывает, что линия имеет строго вертикальное положение, а буква *H* определяет горизонтальную линию. Чтобы прекратить создание очередной линии, необходимо нажать *Escape*.

При создании профиля требуется частая смена масштаба, например при рисовании канавок под компрессионные или маслосъемные кольца, поэтому очень удобно использовать локальное масштабирование. С помощью нажатой ПКМ выделяем прямоугольный участок для необходимого увеличения и отпускаем кнопку. Для возврата к общему виду эскиза используем команду в контекстном меню (через ПКМ) *Zoom to Fit* или нажимаем иконку  на главной панели.

После выполнения серии команд *Line* должен получиться контур поршня, показанный на рис. 1.1.

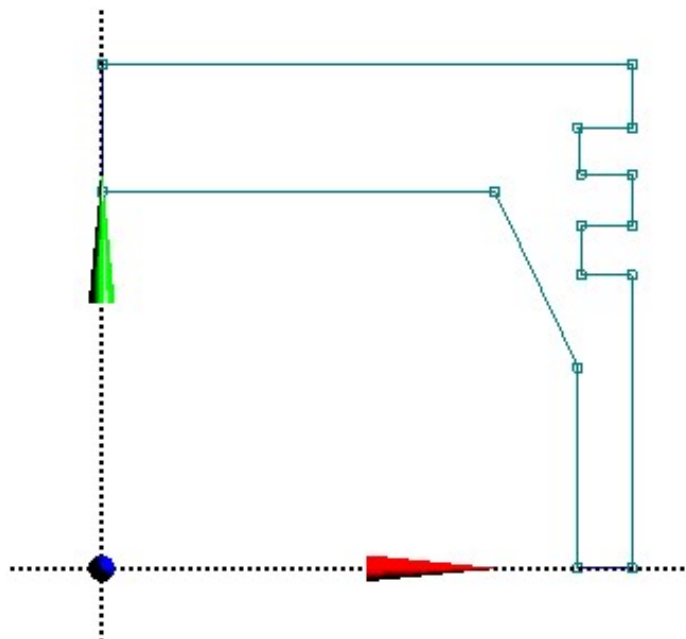


Рис. 1.1. Созданный контур поршня

После того как был получен контур поршня, необходимо его образмерить. Для этого выбираем вкладку *Sketching Toolboxes – Dimensions*. На этой вкладке в зависимости от того, какой размер мы хотим проставить, выбираем соответствующую иконку:

- *General* – линейный размер линии;
- *Horizontal* или *Vertical* – горизонтальный или вертикальный размер соответственно;
- *Length/Distance* – длина или расстояние между объектами эскиза;
- *Radius* или *Diameter* – радиальный или диаметральный размер соответственно.

Образмеривание контура должно дать результат, подобный рис. 1.2.

Отметим, что величина размера может быть изменена в любое время в окне *Details View* либо выполнением команды *Sketching Toolboxes – Dimensions – Edit*. И в том и другом случае необходимо указать размер, который будет редактироваться.

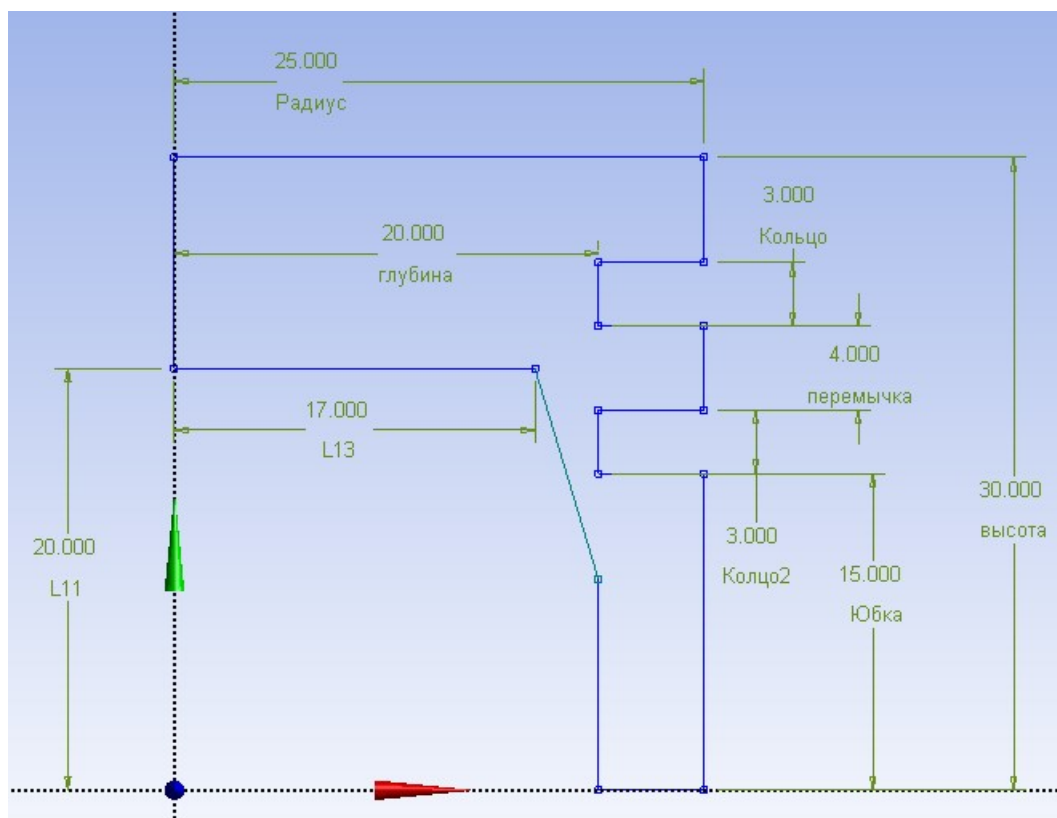


Рис. 1.2. Контур поршня с нанесенными размерами

Для видимости характеристик размера необходимо выполнить команды *Sketching Toolboxes – Dimensions – Display* и выбрать отображение имени размера (*Name*) или значения (*Value*). Для того чтобы выйти из эскиза, выбираем вкладку *Tree Outline – Modeling*. Отметим, что построенный эскиз *Sketch1* появился в окне *Tree Outline – плоскость XYPlane*.

После того как был получен основной профиль поршня, приступаем к построению трехмерной модели основного тела. Для вращения постро-

енного профиля используем команду  **Revolve**, после выбора которой в окне *Details View* появляется окно настроек параметров операции вращения (рис. 1.3).

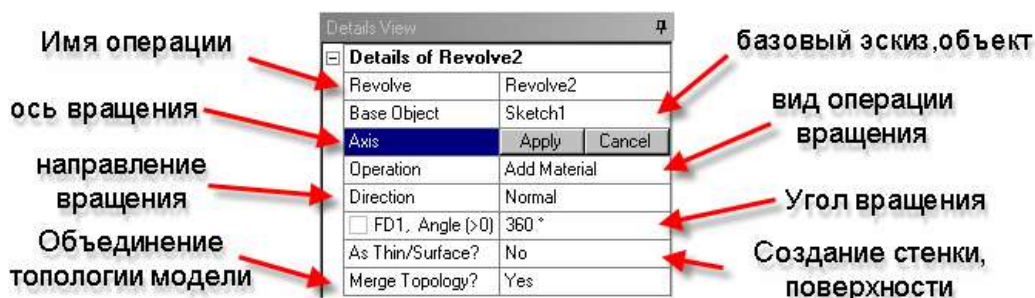



Рис. 1.3. Настройки операции вращения

В качестве базового объекта укажем созданный ранее эскиз. Осью вращения будет ось Y. Остальные настройки оставим по умолчанию (см. рис. 1.3). Для того чтобы завершить операцию, выберем на главной панели иконку регенерации  **Generate**. Эту операцию можно осуществить и через контекстное меню, нажав ПКМ.

После выполнения команды *Revolve* должна быть получена деталь, изображенная на рис. 1.4.

Следующим этапом создания трехмерной твердотельной модели поршня является построение бобышек.

Сперва необходимо построить плоскость, в которой будет построен эскиз-контур бобышки. Такая плоскость будет смещена от уже существующей плоскости *XYPlane* в направлении оси Z на расстояние, которое будет зависеть от индивидуальных особенностей поршня. В нашем случае это расстояние составляет 12 мм (половина расстояния между бобышками).

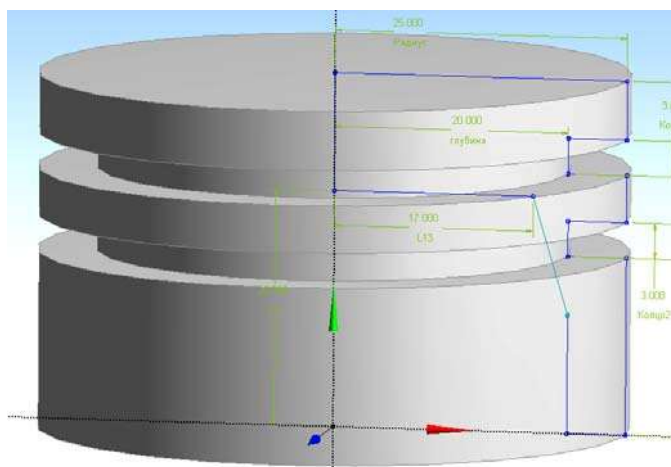



Рис. 1.4. Результат выполнения операции *Revolve*

Чтобы создать новую плоскость, выберем на панели значок *New Plane* . Настройки, доступные при создании плоскости, приведены на рис. 1.5.

Установим для параметра *Transform1* значение *Offset Z* (нажав ПКМ)

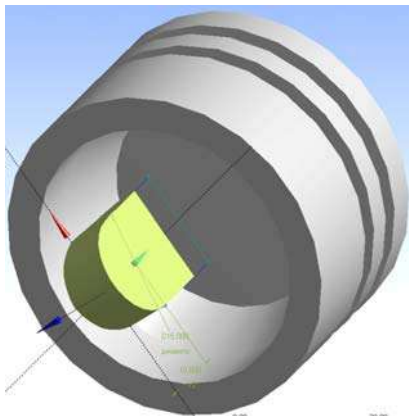
Details of Plane5	
Plane	Plane5
Type	From Plane
Base Plane	XYPlane
Transform 1 (RMB)	None
Reverse Normal/Z-Axis?	No
Flip XY-Axes?	No
Export Coordinate System?	No

и укажем величину *Value*, равную 12 мм. Остальные настройки оставим по умолчанию. Для завершения операции вызовем контекстное меню и выберем *Generate*. Плоскость будет создана.

Рис. 1.5. Настройки окна новой плоскости

Плоскость будет создана.

На построенной плоскости создаем эскиз, нажав ЛКМ иконку нового эскиза



на главной панели. Построение эскиза аналогично построению эскиза в операции вращения. Эскиз контура бобышки показан на рис. 1.6. Для выхода из операции построения эскиза нажимаем *Tree Outline – Modeling*.

Рис. 1.6. Эскиз контура бобышки

Выбираем операцию **Extrude**, аналогичную операции **Revolve**. Настройки параметров операции оставляем по умолчанию, кроме пункта *Extent Type*, значение которого с помощью ЛКМ устанавливаем


– *To Next*, и пункта *Operation*, значение которого устанавливаем *Add Frozen*. После выполнения операции будет создано 2 различных тела.

Далее необходимо получить зеркальную копию построенной бобышки относительно плоскости *XYPlane*. Для этого воспользуемся командой *Pattern*. Настройки команды осуществим согласно рис. 1.7.

Details View	
Details of Pattern5	
Pattern	Pattern5
Pattern Type	Circular
Geometry	1 Body
Axis	Selected
<input type="checkbox"/> FD2, Angle	180 °
<input type="checkbox"/> FD3, Copies (>0)	1

Рис. 1.7. Настройки окна копирования бобышки

Для создания операции вызываем контекстное меню (ПКМ) и нажимаем *Generate*. После выполнения команды будут получены 3 тела.

Наша следующая задача – осуществить соединение этих трех тел в одно тело, для чего воспользуемся командой булевой операции *Create* –  Boolean. Для выполнения команды необходимо с зажатой клавишей CTRL выделить три тела. После того как выделение тел закончено, завершаем операцию командой *Generate*. Если все выполнено правильно, то в окне *Tree Outline* мы должны наблюдать одно единственное твердое тело (рис. 1.8).

Построенная модель поршня не содержит отверстие под поршневой палец. Для устранения этого недостатка мы построим новый эскиз окружности в плоскости *XYPlane* и воспользуемся командой *Extrude* (рис. 1.9). Отличие этой команды от уже ранее осуществимой, состоит только в настройках параметров.

Обращаем внимание на рис. 1.3 и строчку *Operation*, где установлено значение *Add material* (добавление материала). Нам необходимо применить обратную операцию удаления части материала. Для этого вместо опции *Add Material* устанавливаем значение *Cut Material*. Остальные настройки установим: *Direction* – *Both/Symmetric* (симметричное удаление материала с обеих сторон), *Extent Type* – *Through All* (поскольку отверстие под палец сквозное, то выбираем опцию «насквозь»).

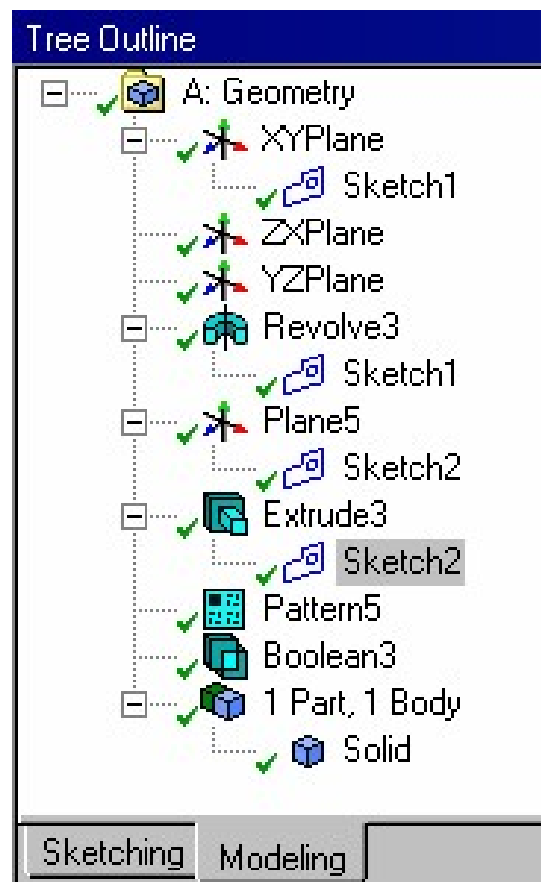


Рис. 1.8. Вид окна проекта после объединения частей

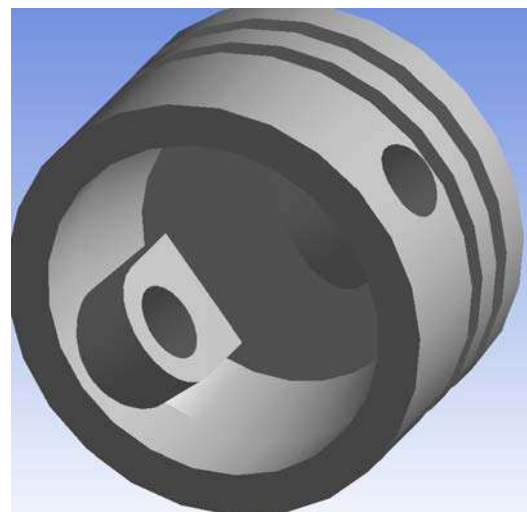




Рис. 1.9. Вид модели поршня с отверстием под палец

Основные операции по построению трехмерной модели поршня выполнены. Далее создадим фаски, скругления и разбивку на расчетные зоны.

Для выполнения операции фаски выбираем в главном окне команду  Chamfer. К настройкам данной команды относятся вид фаски, количество объектов и размерные величины самой операции (рис. 1.10).

Во-первых, выберем с нажатой клавишей *Ctrl* два нижних ребра поршня, находящихся на юбке, и в строке *Details View – Geometry* выберем *Apply*. Установим тип фаски на *Type – Left-Angle*. И в заключение укажем величину фаски 1 мм и угол наклона 45° . Закончим выполнение операции командой *Generate*.

Аналогично команде Chamfer выполняется скругление. Для этого служит команда  Blend, которая позволяет выбрать как постоянный радиус округления *Fixed Radius Blend*, так и переменный – *Variable Radius Blend*.

Внутренняя часть поршня после применения операций *Chamfer* и *Radius Blend* показана на рис. 1.11.

Details View	
[-] Details of Chamfer1	
Chamfer	Chamfer1
Geometry	2 Edges
Type	Left-Angle
<input type="checkbox"/> FD1, Left Length (>0)	1 mm
<input type="checkbox"/> FD3, Angle	45°

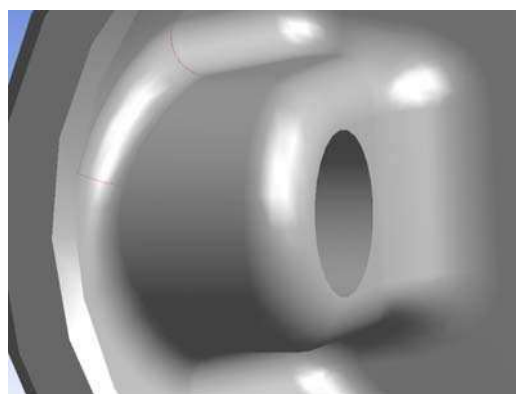


Рис. 1.10. Настройки операции создания фаски

Рис. 1.11. Вид на внутреннюю часть поршня после применения операций скругления и фаски

В заключение практического знакомства с модулем *Design Modeler* рассмотрим построение расчетных зон теплоотдачи. Впоследствии эти зоны будут служить для задания граничных условий (ГУ) теплообмена на поверхности поршня при решении задачи о тепловом состоянии поршня.

Для создания расчетных зон на верхней поверхности поршня необходимо создать эскиз, показанный на рис. 1.12.

Используя операцию *Extrude* с установленным значением *Operation = Imprint Faces*, получаем отпечаток эскиза на поверхности поршня. Для получения расчетных зон на боковой и внутренней поверхности поршня воспользуемся аналогичной процедурой.

Созданные расчетные зоны поршня в индивидуальном порядке могут быть выбраны с помощью ЛКМ (рис. 1.13).

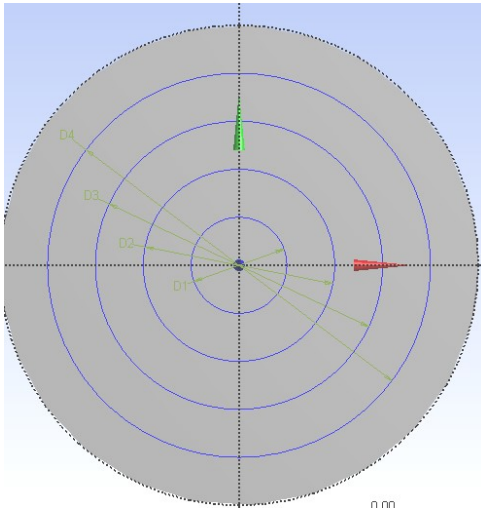


Рис. 1.12. Эскиз расчетных зон

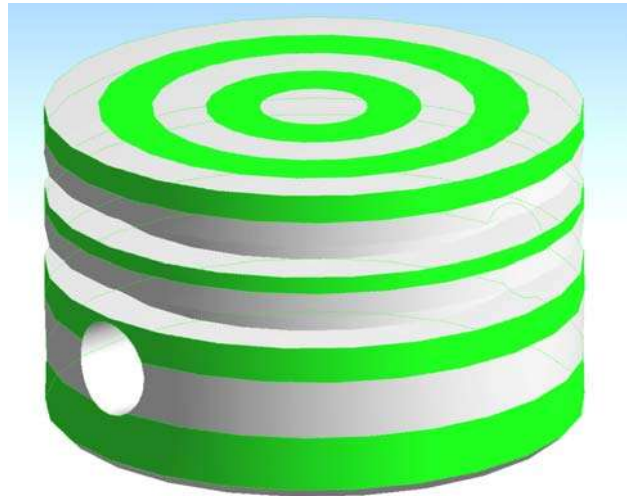


Рис. 1.13. Результат разбивки поверхности поршня на расчетные зоны

Таким образом, твердотельная модель поршня для проведения расчета подготовлена. Стоит отметить, что в нашем случае модель поршня симметрична относительно двух главных плоскостей, поэтому в дальнейших расчетах мы можем ее упростить, оставив лишь четверть. Такая модель будет рассмотрена далее при выполнении расчетов.

Отметим также альтернативный вариант получения геометрии для проведения расчетов. Как уже было оговорено, если геометрическая модель была получена с помощью существующих CAD-систем, то ее можно импортировать, выбрав пункт *Import Geometry* (рис. 1.14).

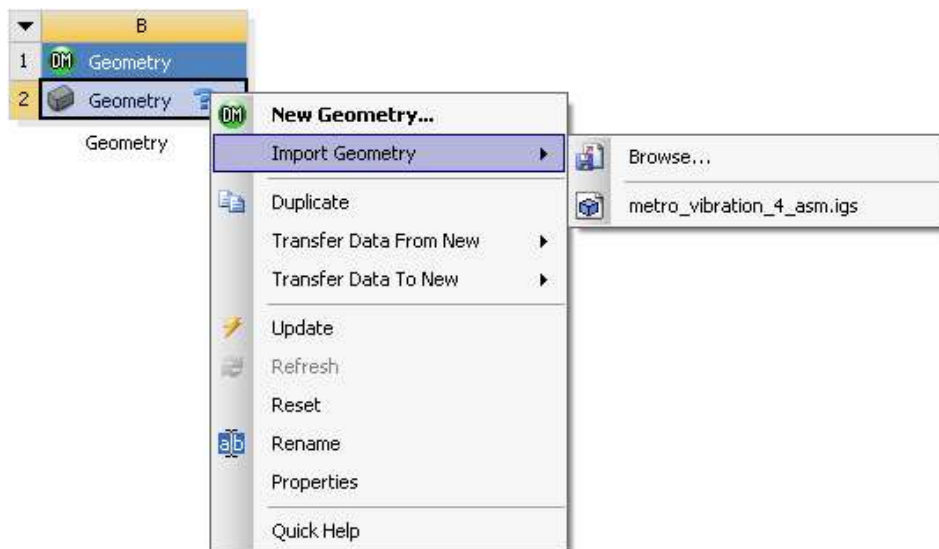


Рис. 1.14. Импорт геометрии из сторонней CAD-системы

Пользователю доступны следующие форматы данных: Parasolid (.x_b, .x_t), IGES (.iges, .igs), SolidWorks (.SLDPRT, .SLDASM), Unigraphics NX (.prt), Inventor (.ipt, .iam), Pro/Engineer (.prt, .asm) и множество других форматов.

Вопросы для самопроверки и практические задания

1. Объясните, что такое проект *Ansys Workbench*.
2. Определите назначение окна *Project Schematic*.
3. Используя какой модуль *Workbench*, можно создать геометрическую модель расчетной модели?
4. Назовите альтернативные методы получения расчетной модели.
5. Расскажите о назначении окон *Toolbox*, *Project Schematic*, *Messages*, *Files*, *Properties of Schematic*.
6. Каким образом задаются единицы измерения в проекте?
7. Выполните импортирование геометрической модели в *Workbench* из любой CAD-системы.
8. Самостоятельно постройте по три модели в *Design Modeler* следующих объектов, визуально соблюдая пропорциональность размеров (прил. 1).
9. Объясните различие между кнопками *Refresh Project* и *Update Project*.
10. Опишите контекстное меню *Design Modeler* при построении эскиза.
11. С помощью выполнения какой команды можно настроить отображение значений размеров на экране?

Лабораторная работа № 2

СТАЦИОНАРНОЕ ТЕПЛОЕ НАГРУЖЕНИЕ ПОРШНЯ

Теоретическая часть

Прежде чем рассматривать задачу нестационарной теплопроводности поршня, изучим основные приемы работы с программой *Ansys Workbench* на задаче о стационарном тепловом нагружении поршня.

Задача определения поля температур связана с решением уравнения теплопроводности, которое при постоянных теплофизических характеристиках материала имеет вид

$$K_{xx} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + K_{yy} \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + K_{zz} \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} - Q = 0,$$