

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

Кафедра инженерной графики

**Практическая работа
по компьютерной графике**

Создание модели твердотельного объекта

**Методические указания
для студентов всех специальностей БГУИР**

Минск 2004

УДК 004.92(075.8)
ББК30.11 Я73
П69

Составители: Малафей Т.В.

Практическая работа по компьютерной графике. Создание модели твердотельного объекта. Методические указания по курсу инженерной графики для студентов всех специальностей БГУИР /

Сост. Т.В. Малафей. - Мн.: БГУИР, 2004.-28с; ил.:12.

В методических указаниях приведены рекомендации по созданию модели твердотельного объекта в среде AutoCAD2000.

УДК 004.92(075.8)
ББК30.11 Я73

©.Т.В. Малафей, составление, 2004

Содержание

1. Цель работы.....	
2. Содержание работы.....	
3. Трехмерное моделирование.....	
3.1. Общие сведения.....	
3.2. Ввод координат.....	
3.3. Системы координат.....	
3.4. Настройка точки зрения.....	
3.5. Виды.....	
3.6. Тела.....	
3.7. Редактирование тел.....	
4. Пример создания модели твердотельного объекта.....	
4.1. Задание.....	
4.2. Порядок выполнения.....	
Литература.....	

1. Цель работы

Трехмерное моделирование. Изучить рекомендации по созданию модели твердотельного объекта в среде AutoCAD2000.

2. Содержание работы

В работе необходимо:

- а) изучить теоретическую часть;
- б) сформировать в системе AutoCAD модель твердотельного объекта, представленного на рис. 4.1;
- в) оформить в виде чертежа сформированную модель твердотельного объекта;
- г) получить бумажную копию чертежа на принтере.

3. Трехмерное моделирование

3.1. Общие сведения

В геометрическом пространственном моделировании объект можно представить в виде каркасной, полигональной (поверхностной) и объемной (твердотельной) моделей. Конструктивными элементами каркасной модели являются

ребро и точка. Эта модель проста, но с ее помощью можно представить в пространстве только ограниченный класс деталей.

При создании полигональной модели предполагается, что объекты ограничены поверхностями, которые отделяют их от окружающей среды. Такая оболочка тела графически изображается поверхностями. С помощью полигональной модели можно описать любую поверхность технического объекта, содержащую наряду с плоскими многоугольниками поверхности второго порядка и аналитически не описываемые поверхности.

В основу описания объекта объемной моделью положен принцип формирования сложной модели из элементарных объемов (базисных тел) с использованием логических операций объединения, вычитания и пересечения. Одно из достоинств тел заключается в том, что их можно анализировать: можно вычислить такие свойства тел, как центр тяжести, масса, площадь поверхности, моменты инерции и т. д., а также определить их физические свойства.

3.2. Ввод координат

Ввод координат точек – это один из центральных вопросов при работе с системой. Именно точки нужны для построения графических объектов: концы отрезка, центр окружности и т. п. Самый простой способ ввода точки – это визуальный, когда щелчком левой кнопкой мыши осуществляется указание на экране положения точки, при этом вы можно ориентироваться на счетчик координат в строке состояния (рис. 3.1). Можно включать/выключать отображение координат в строке состояния с помощью функциональной клавиши <F6> или щелкнув мышью по строке координат.

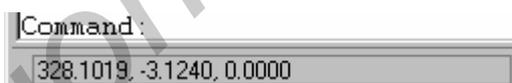


Рис. 3.1. Счетчик координат в строке состояния

Самым распространенным является способ ввода абсолютных декартовых координат точки с клавиатуры, например:

25, -15.45

В данном примере указана двумерная точка с координатами: $X = 25$ мм, $Y = -15.45$ мм. При вводе координат с клавиатуры запятая является разделителем между абсциссой и ординатой, а точка используется как разделитель между целой и дробной частями числа.

Если при вводе точек нужна третья координата, она должна следовать через запятую после Y , например:

25, -15.45, 32.05

Следующий способ ввода точек – с клавиатуры, в относительных декартовых координатах, например:

@-10, 18

Данная запись означает, что новая точка задается смещением относительно предыдущей точки (смещение определяет символ "@"), со сдвигом по оси X на -10 мм (т. е. влево на 10 мм) и сдвигом по оси Y на 18 мм (т. е. вверх на 18 мм).

В относительных декартовых координатах может присутствовать и координата Z, например:

@-10,18,5.5

Если координата Z опущена, считается, что новая точка по третьей координате имеет смещение 0 относительно предыдущей точки.

Следующий способ ввода точек – это относительный ввод в полярных координатах с клавиатуры, например:

@67.85<35

В такой форме записи нет запятых, зато появился символ "<", который интерпретируется как знак угла. В данном примере новая точка задается относительно предыдущей, причем расстояние между ними в плоскости равно 67.85 мм, а вектор, проходящий из предыдущей точки в новую точку, образует угол 35 градусов с положительным направлением оси абсцисс. Расстояние должно обязательно быть положительным, а угол может быть любым числом.

Подобно относительным полярным координатам в трехмерном пространстве используются относительные цилиндрические координаты, например:

@67.85<35,50

Здесь новая точка смещена по Z на 50 мм, а проекция вектора, идущего из первой точки во вторую, на плоскость XY имеет длину 67.85 мм и образует угол 35 градусов с положительным направлением оси X.

В трехмерном пространстве также используются относительные сферические координаты, например:

@25<60<45

В данном примере точка задается следующим образом: сначала из текущей точки в плоскости, параллельной плоскости XY, строится луч, образующий угол 60 градусов относительно положительного направления оси X, затем луч наклоняется относительно плоскости XY на 45 градусов и на определенном таким образом направлении искомая точка смещается относительно начальной на 25 мм.

3.3. Системы координат

Значения координат независимо от способа ввода всегда связаны с некоторой системой координат. По умолчанию в AutoCAD используется так называемая мировая система координат (МСК) (World Coordinate System - WCS). Она определена так, что ось X направлена слева направо, ось Y – снизу вверх, ось Z – перпендикулярно экрану вовне. В новом рисунке начало координат задано в левом нижнем углу экрана. Признаком МСК является буква W в пиктограмме осей (см. рис. 3.2, а)

Работать в МСК не всегда удобно, поскольку она может быть неоптимальной для создаваемого изображения. Системы координат, создаваемые

пользователем, называются пользовательскими системами координат (ПСК) (User Coordinate System - UCS). В трехмерных задачах ПСК задает пространственную плоскость построений, относительно которой ведется создание объектов, выполняются команды редактирования, определяются координаты. Пространственные построения связаны с постоянным переопределением плоскости построений. Это может быть, например, параллельный перенос плоскости и начала координат в новую точку пространства, поворот плоскости построений относительно пространственной оси, задание плоскости по трем точкам.

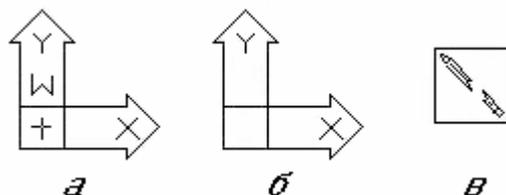


Рис. 3.2. Пиктограммы систем координат

Установленная система координат отображается на экране с помощью пиктограммы осей (рис. 3.2). Стрелки указывают направление осей. Крестик в пиктограмме указывает точку начала координат (см. рис. 3.2, а). Если крестик отсутствует, то пиктограмма не отслеживает начало координат, она смещена в левый нижний угол видового окна (рис. 3.2, б). Это имеет место в двух случаях: либо режим контроля начала координат отключен, либо пиктограмма не помещается в том месте, где находится начало координат. Если пиктограмма имеет вид "сломанного карандаша" (см. рис. 3.2, в), то это значит, что направление взгляда оказалось параллельным плоскости XY и в данный момент невозможно мышью указать точку на этой плоскости. "Сломанный карандаш" предостерегает, что в данном окне не рекомендуется выполнять какие-либо построения, а только смотреть на объект для понимания его формы.

Для задания новой пользовательской системы координат используется команда UCS, которая позволяет задать начало новой системы координат и положение новых осей X и Y, а положение новой оси Z зависит от положения соответствующих осей X и Y, поэтому определяется автоматически.

Команда UCS имеет групповую кнопку  на стандартной панели инструментов. Этой же команде соответствует панель инструментов ПСК (UCS) (рис. 3.3).



Рис. 3.3. Панель UCS.

Рассмотрим работу команды UCS. После ввода имени команды с клавиатуры или щелчка по кнопке  панели UCS система выводит сообщение:

```
Command: ucs
Current ucs name: *WORLD*
```

Эта информация показывает имя текущей ПСК (в нашем примере текущей является МСК). Далее следует запрос:

```
Enter an option
[New/Move/orthoGraphic/Prev/Restore/Save/Del/Apply/?/World]
<World>:
```

Возможен выбор следующих опций:

- o New – переход в режим создания новой ПСК;
- o Move – перенос начала текущей ПСК в новую точку;
- o orthoGraphic – выбор одной из шести стандартных ортогональных систем координат;
- o Prev – возврат к предыдущей ПСК;
- o Restore – восстановление ПСК по ее имени;
- o Save – сохранение текущей ПСК с новым именем;
- o Del – удаление именованной ПСК;
- o Apply – применение ПСК текущего видового экрана к другому экрану или сразу ко всем видовым экранам;
- o ? – вывод списка именованных ПСК с их характеристиками;
- o World – восстановление МСК.

Для создания новой ПСК следует выбрать опцию New. Далее система AutoCAD запрашивает:

```
Specify origin of new UCS or
[ZAxis/3point/Objeсt/Face/View/X/Y/Z] <0,0,0>:
```

В этом случае возможны следующие опции создания новой системы координат:

- o origin of new UCS – перенос начала ПСК в новую точку с сохранением направления осей X и Y;
- o ZAxis – указание нового начала координат и точки, лежащей на положительном направлении новой оси Z;
- o 3point – указание нового начала координат и точек, определяющих положительные направления новых осей X и Y;
- o Objeсt – установка ПСК по плоскости двумерного объекта;
- o Face – установка ПСК по плоскости грани трехмерного тела;
- o View – установка ПСК перпендикулярно направлению взгляда (в плоскости вида), с сохранением начала координат;
- o X – поворот текущей ПСК вокруг текущей оси X;
- o Y – поворот текущей ПСК вокруг текущей оси Y;
- o Z – поворот текущей ПСК вокруг текущей оси Z.

Самой универсальной является опция 3point. В этой опции система запрашивает три точки: новое начало координат, точку на положительном луче новой оси X, точку на положительном луче оси Y в плоскости XY. Все три точки указываются в действующей системе координат.

На панели инструментов UCS (ПСК) (см. рис. 3.3) собраны кнопки, которые соответствуют различным вариантам (комбинациям опций) команды UCS. По-

этому щелчок по любой кнопке этой панели инструментов почти всегда означает, что вызывается команда UCS с некоторой опцией. Перечислим кнопки панели инструментов UCS (ПСК):

 - вызывает выполнение команды UCS без автоматического выбора опций (далее их задает пользователь);

 - вызывает диалоговое окно UCS для управления именованными системами координат;

 - восстанавливает предыдущую ПСК;

 - восстанавливает МСК;

 - устанавливает ПСК по объекту;

 - совмещает ПСК с выбранной гранью трехмерного тела;

 - устанавливает новую систему координат с плоскостью XY, параллельной экрану (виду);

 - устанавливает новую ПСК путем переноса начала системы координат;

 - устанавливает ПСК путем указания нового начала системы координат и точки, лежащей на положительном направлении оси Z;

 - устанавливает новую ПСК с помощью трех точек (начала координат и направления осей X и Y);

 - выполняет поворот текущей ПСК вокруг оси X;

 - выполняет поворот текущей ПСК вокруг оси Y;

 - выполняет поворот текущей ПСК вокруг оси Z;

 - применяет текущую ПСК к выбранному видовому экрану.

В процессе построений системы координат на экране приходится постоянно изменять, поэтому отдельные из них, ключевые, целесообразно сохранять. Сохранение осуществляется путем присвоения ПСК имени, по которому ее можно восстановить без повторения построений. Для этих целей служит диалоговое окно UCS (ПСК) (рис. 3.4), которое можно вызвать при помощи команды главного меню Tools \ Named UCS... (Инструменты \ Именованные ПСК), либо щелчком по кнопке  инструментальной панели UCS. Диалоговое окно имеет три вкладки: Named UCSs (Именованные ПСК), Orthographic UCSs (Ортогональные ПСК) и Settings (Режимы). Вкладка Named UCSs (Именованные ПСК) позволяет видеть список именованных ПСК и устанавливать любую из них с помощью кнопки Set Current (Установить). Для сохранения текущей ПСК необходимо переименовать строку Unnamed (см. рис. 3.4).

Чаще всего объекты строятся относительно плоскостей XY, YZ и XZ мировой системы координат. Системы координат, определяемые этими плоскостями, называются в системе AutoCAD ортогональными. Для задания в качестве текущей ПСК ортогональной системы координат можно воспользоваться опцией orthoGraphic команды UCS или вкладкой Orthographic UCSs (Ортого-

нальные ПСК) диалогового окна UCS (ПСК) (рис. 3.5). Для установки новой ПСК необходимо в области, расположенной в центре окна, выбрать наименование нужной ортогональной ПСК (Top (Сверху), Bottom (Снизу), Front (Спереди), Back (Сзади), Left (Слева) или Right (Справа)) и щелкнуть по кнопке Set Current (Установить). Перечисленные системы координат получили свои названия по расположению оси Z. Например, ПСК Front (Спереди) соответствует системе координат с передним положением положительного направления новой оси Z, в то время как ПСК Top (Сверху) аналогична МСК.

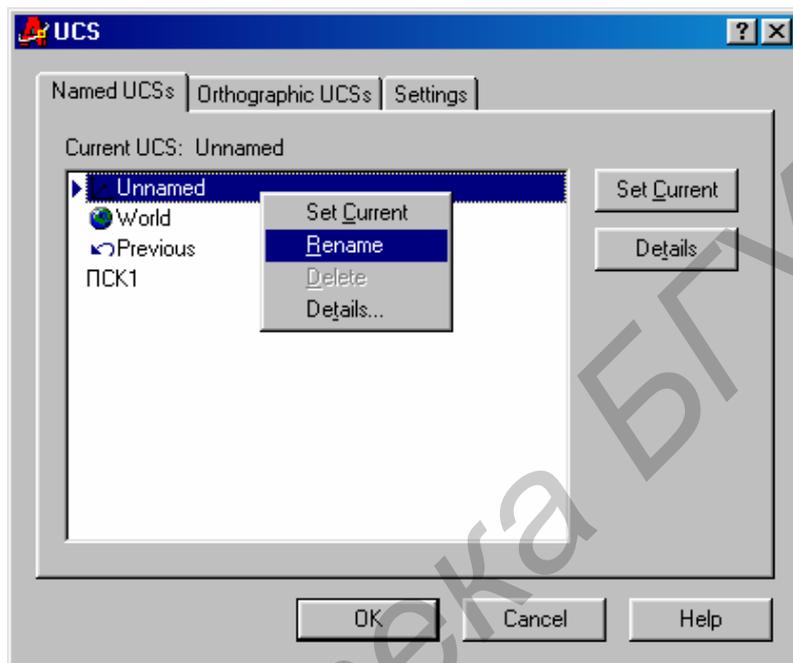


Рис. 3.4. Диалоговое окно UCS, вкладка Named UCSs

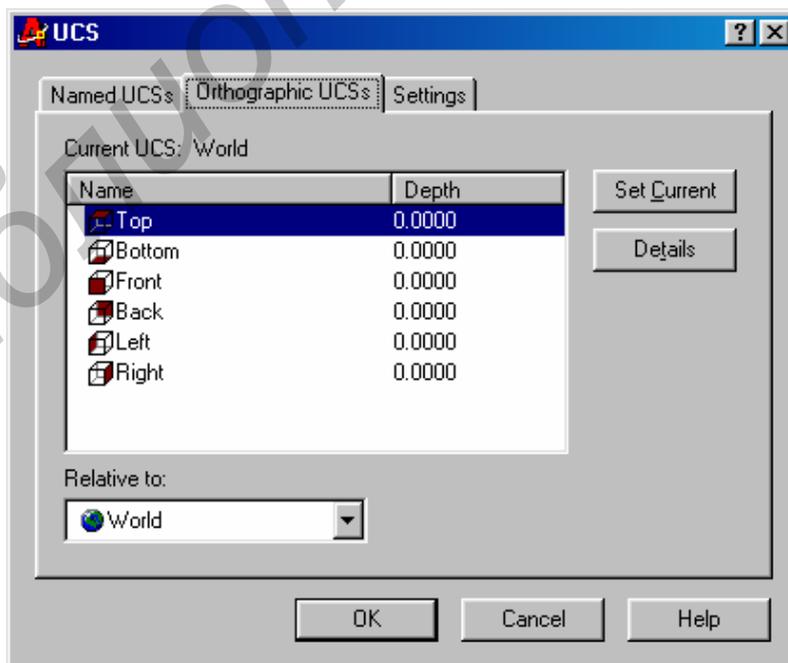


Рис. 3.5. Диалоговое окно UCS, вкладка Orthographic UCSs

Поле *Relative to* (Относительно) задает ПСК, относительно которой устанавливается новая ортогональная ПСК. Задание параметра *Depth* (Глубина) позволяет дополнительно переместить плоскость текущей ортогональной ПСК вдоль оси *Z*.

3.4. Настройка точки зрения

При создании трехмерных моделей очень важно уметь поворачивать такую модель, задавая нужное направление взгляда, формировать виды. Формируемый в графическом окне рисунка вид трехмерной модели зависит, в первую очередь, от точки зрения (направления взгляда), которую устанавливает пользователь. Стандартный вид, автоматически создаваемый в новом документе AutoCAD, - это вид сверху (т. е. с конца оси *Z* на плоскость *XY* МСК). Для установки других точек зрения в системе предусмотрены несколько специальных команд.

Команда *DDVPOINT* позволяет установить в пространстве модели активного графического окна новую точку зрения. Команде соответствует пункт *Viewpoint Presets...* (Стандартные точки зрения) в подменю *3D Views* (3М виды) главного меню *View* (Вид). Команда *DDVPOINT* открывает диалоговое окно *Viewpoint Presets* (Задание точки зрения), в котором точка зрения задается с помощью двух углов (рис. 3.6). Углы определяют две плоскости, линия пересечения которых и будет линией направления взгляда.

В области *Set Viewing Angles* (Задание углов зрения) необходимо выбрать один из двух переключателей, которые уточняют, относительно какой системы координат будут задаваться углы:

- ⊗ *Absolute to WCS* (Абсолютно в МСК);
- ⊗ *Relative to UCS* (Относительно ПСК).

В первом случае углы будут задаваться относительно МСК, а во втором – относительно текущей ПСК.

Сами углы необходимо либо ввести в полях *From X Axis* (Ось *X*) и *XY Plane* (Относительно плоскости *XY*), либо указать щелчком мыши в расположенной в центре окна графической области (в этой области левая часть соответствует полю *From X Axis*, а правая часть – полю *XY Plane*). Левая диаграмма показывает угол между проекцией вектора взгляда на плоскость *XY* и осью *X*, правая – наклон направления взгляда к плоскости *XY*. Кнопка *Set to Plan View* (Вид в плане) устанавливает вид в плане выбранной ПСК, аналогично команде *PLAN*.

Команда *PLAN* применяется для выбора точки зрения, когда в рисунке есть разные ПСК. В качестве направления взгляда будет взято направление с конца оси *Z* на плоскость *XY* той ПСК, которая будет указана пользователем в ответ на такой запрос:

```
Command: plan
Enter an option [Current ucs/Ucs/World] <Current>:
```

Опции команды имеют следующее значение:

- ⊗ *Current ucs* – устанавливает вид в плане текущей ПСК;

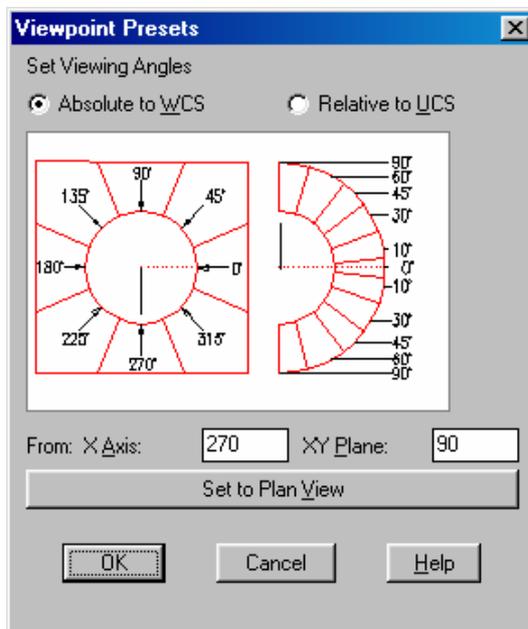


Рис. 3.6. Диалоговое окно Viewpoint Presets

- ⦿ Ucs - устанавливает вид в плане некоторой ПСК (имя этой ПСК будет запрошено следующим шагом);
- ⦿ World - устанавливает вид в плане МСК.

Аналогичную функцию выполняет подменю Plan View (Вид в плане), входящее в подменю 3D Views (3М виды) главного меню View (Вид).

Самые богатые возможности установки новой точки зрения и смены текущего вида – у команды 3DORBIT, которой соответствует кнопка  стандартной панели инструментов, а также пункт 3D Orbit (3М орбита) главного меню View (Вид).

Команда позволяет динамически изменять вид трехмерных объектов в помощью устройства указания. Если в момент вызова команды в рисунке были выбраны какие-либо объекты, то в дальнейших манипуляциях настройки вида участвуют только они. При отсутствии выбранных объектов динамическое изменение показывает новое положение всех видимых объектов рисунка (при большом объеме рисунка это может происходить медленно).

На период работы команды 3DORBIT знак ПСК изменяется на цветной знак трехмерных осей, и на виде появляется орбитальное кольцо (рис. 3.7). Центр орбитального кольца совпадает с центром вида, вокруг которого пользователь может перемещать свою камеру. При движении курсор может принимать разные формы, что влияет на механизм вращения вида.

Если устройство указания находится внутри орбитального кольца, курсор принимает форму сферы с двумя внешними окружностями-орбитами. В этом случае нажатие левой клавиши мыши и перемещение курсора внутри кольца вращают вид вокруг точки цели. Вращение возможно во всех направлениях.

Если курсор находится вне орбитального кольца, он выглядит как сфера с внешней окружностью-стрелкой. В этом случае нажатие левой кнопки мыши и перемещение курсора вне кольца вращают вид вокруг оси, проходящей через центр орбитального кольца перпендикулярно экрану.

Если курсор находится на левом или правом малом кругах, расположенных в точках левого и правого квадрантов орбитального кольца, он принимает форму сферы с горизонтальным эллипсом-стрелкой. Нажатие левой клавиши мыши и перемещение курсора из этих точек вызывают вращение вида относительно вертикальной оси, расположенной в плоскости орбитального кольца и проходящей через его центр.

Если курсор находится на верхнем или нижнем малом кругах (квадрантах) орбитального кольца, он имеет форму маленькой сферы с вертикальным эллипсом-стрелкой. Нажатие левой кнопки мыши и перемещение курсора из этих точек вызывают вращение вида относительно горизонтальной оси, расположенной в плоскости кольца и проходящей через его центр.

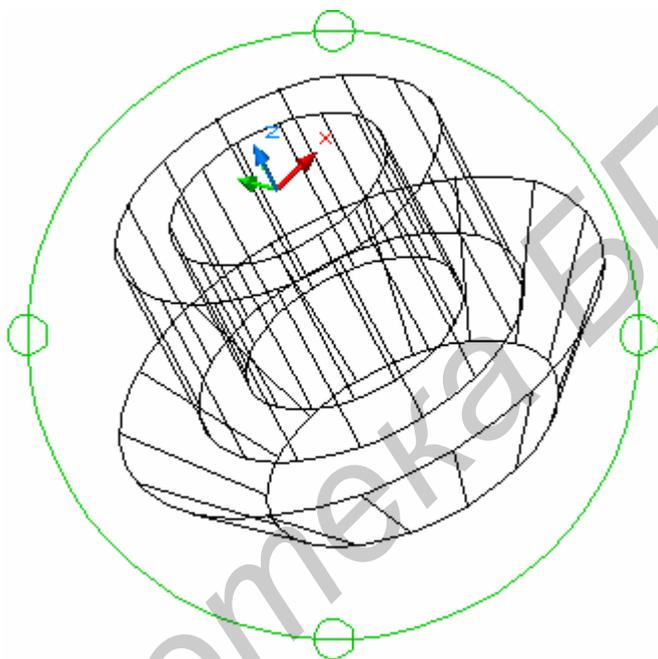


Рис. 3.7. Орбитальное кольцо

Выход из команды 3DORBIT – нажатие клавиш <Esc> или <Enter>.

3.5. Виды

Вид – это часть чертежа, видимая из данной точки зрения. Видам можно присваивать имена, которые хранятся в рисунке в специальной таблице. Неименованные виды после их смены теряются (несколько последних еще можно восстановить с помощью кнопки  стандартной панели инструментов).

Основным инструментом для операций с видами является команда VIEW, которой соответствует кнопка  панели инструментов View (Вид) (рис. 3.8) или стандартной панели инструментов.



Рис. 3.8. Панель View (Вид)

Рассмотрим диалоговое окно View (Вид), открываемое командой VIEW. Окно имеет две вкладки и обычно открывается на вкладке Named Views (Именованные виды) (рис. 3.9). Список видов, занимающий большую часть вкладки, имеет четыре колонки с параметрами видов текущего рисунка:

- ⊖ Name – наименование вида;
- ⊖ Location – имя вкладки, к которой привязан вид;
- ⊖ UCS – имя системы координат, если она сохранена с видом;
- ⊖ Perspective – признак установки перспективного вида.

Над всеми видами можно выполнять операции удаления, переименования и установки вида текущим. Доступ к этим операциям осуществляется через контекстное меню, вызываемое щелчком правой кнопкой мыши внутри списка видов.

Один из видов в списке окна View (Вид) обязательно называется Current (Текущий). Для того чтобы создать именованный вид (т. е. сохранить его с нужным именем), необходимо сначала в графическом окне рисунка установить точку зрения и другие настройки этого вида, затем открыть диалоговое окно View и на вкладке Named Views (Именованные виды) щелкнуть по кнопке New... (Новый), после чего откроется диалоговое окно New View (Новый вид) (рис. 3.10). В этом окне нужно задать имя вида в поле View name (Имя вида), размеры вида (весь экран в случае выбора переключателя Current display (Текущий экран) или указываемую рамкой часть экрана в случае включения переключателя Define window (Задать рамкой)). В разделе UCS Settings (Режимы ПСК) с помощью соответствующего раскрывающегося списка UCS Name (Имя ПСК) можно задать имя ПСК и установить или сбросить флажок Save UCS with view (Сохранить ПСК с видом).

Восстановление ранее сохраненного именованного вида выполняется в диалоговом окне View (Вид) с помощью кнопки Set Current (Установить) или одноименного пункта контекстного меню.

Другая вкладка Orthographic & Isometric Views (Ортогональные и изометрические виды) диалогового окна View (Вид) (рис. 3.11) предназначена для операций со стандартными видами.

К стандартным в системе AutoCAD относятся шесть ортогональных и четыре изометрических вида. Помимо окна View (Вид), доступ к этим видам можно получить через панель инструментов View (Вид) (см. рис. 3.8), на которой расположены следующие кнопки:

-  - Named Views (Именованные виды);
-  - Top View (Вид сверху);
-  - Bottom View (Вид снизу);
-  - Left View (Вид слева);

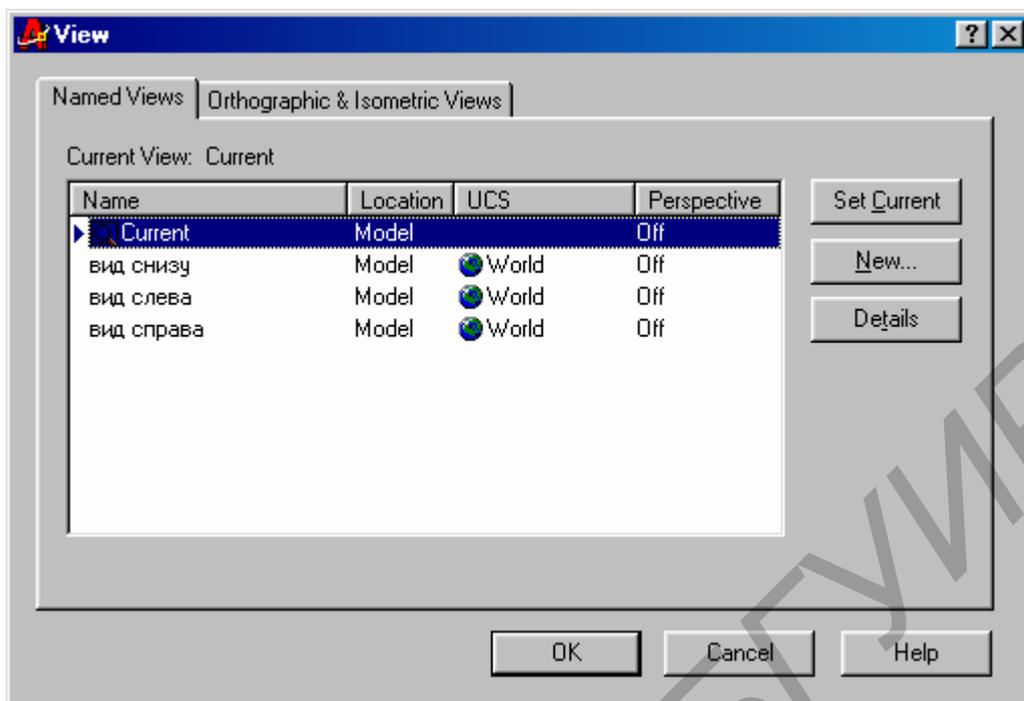


Рис. 3.9. Диалоговое окно View, вкладка Named Views

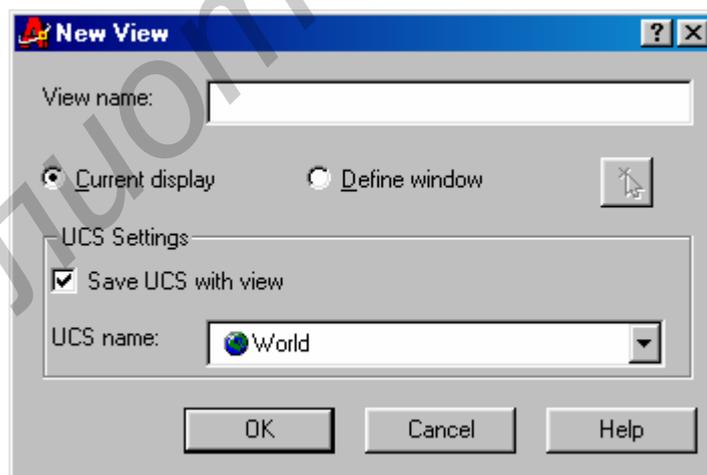


Рис. 3.10. Диалоговое окно New View

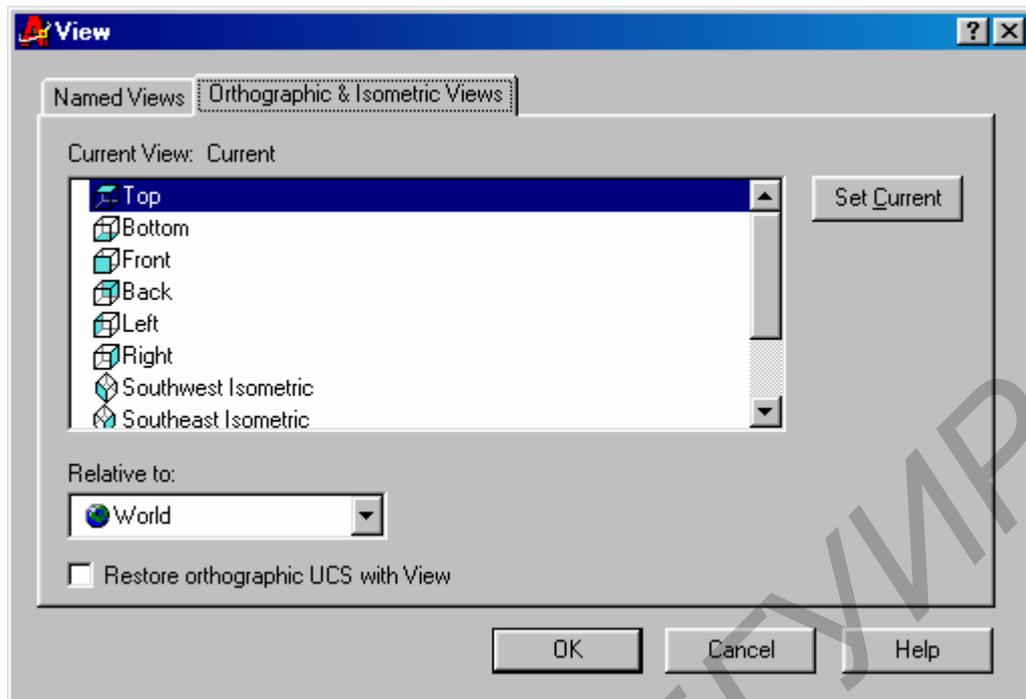


Рис. 3.11. Диалоговое окно View, вкладка Orthographic & Isometric Views

-  - Right View (Вид справа);
-  - Front View (Вид спереди);
-  - Back View (Вид сзади);
-  - SW Isometric View (Юго-западная (ЮЗ) изометрия);
-  - SE Isometric View (Юго-восточная (ЮВ) изометрия);
-  - NE Isometric View (Северо-восточная (СВ) изометрия);
-  - NW Isometric View (Северо-западная (СЗ) изометрия);
-  - Camera (Камера).

Первая из перечисленных кнопок вызывает диалоговое окно View (Вид), последняя – задает направление взгляда с помощью точки камеры и точки направления взгляда. Остальные кнопки устанавливают соответствующие стандартные виды. Изометрические виды удобны тем, что в них пользователь видит все три измерения.

На вкладке Orthographic & Isometric Views (Ортогональные и изометрические виды) диалогового окна View (Вид) (см. рис. 3.11) в раскрывающемся списке Relative to (Относительно) можно выбрать ту систему координат (МСК и т. д.), относительно которой будет установлен ортогональный вид. Включенный флажок Restore orthographic UCS with View (Восстановить ортогональную ПСК) вместе с ортогональным видом устанавливает и соответствующую ПСК.

3.6. Тела

Тела, или твердотельные объекты – это трехмерные объекты, которые имеют внутренность и объем, их можно объединять, вычитать и пересекать как трехмерные множества.

Тела получаются в результате использования команд построения стандартных тел, а также как результат вращения, выдавливания областей. Тела можно разрезать на части и получать сечения плоскостями.

Для создания в системе AutoCAD твердотельной модели изделия в начале необходимо мысленно разложить его на простые стандартные составляющие. Затем путем логических операций (объединения, вычитания и пересечения), а также операций редактирования создать объект нужной формы.

На панели инструментов Solids (Тела) (Рис. 3.12) собраны кнопки операций построения тел. Первые шесть кнопок соответствуют командам предназначенным для построения твердотельных объектов стандартной формы.



Рис. 3.12. Панель Solids

Команда BOX  создает твердотельный ящик (параллелепипед, куб). Для этого следует выбрать один из следующих вариантов задания параметров:

- положение диагонально противоположных углов:
Specify corner of box or [CEnter] <0,0,0>:
Specify corner or [Cube/Length]: @50,100,150
- положение противоположных углов основания и высоту:
Specify corner of box or [CEnter] <0,0,0>:
Specify corner or [Cube/Length]: @50,100
Specify height: 150
- положение центра ящика с заданием угла:
Specify corner of box or [CEnter] <0,0,0>: CE
Specify center of box <0,0,0>: 100,100
Specify corner or [Cube/Length]: @50,20,20
- положение угла ящика с заданием длины, ширины и высоты:
Specify corner of box or [CEnter] <0,0,0>:
Specify corner or [Cube/Length]: L
Specify length: 50
Specify width: 100
Specify height: 150

Опция Cube ведет к построению куба (одинаковые значения длины, ширины и высоты).

Команда SPHERE  позволяет создать твердотельный шар (сферу). Для этого достаточно задать центр шара и его радиус или диаметр.

```
Current wire frame density: ISOLINES=4  
Specify center of sphere <0,0,0>:  
Specify radius of sphere or [Diameter]: 50
```

Для наглядности система AutoCAD рисует образующие шара, количество которых (четыре) равно текущему значению системной переменной ISOLINES (см. первое сообщение команды SPHERE). Для увеличения количества образующих необходимо изменить значение переменной ISOLINES и выполнить

регенерацию экрана с помощью пункта Regen (Регенерировать) главного меню View (Вид).

```
Command: isolines
Enter new value for ISOLINES <4>: 16
Command:
Command: _regen Regenerating model.
```

Команда CYLINDER  позволяет создать твердотельный цилиндр, основание которого (окружность или эллипс) лежит в плоскости XY текущей системы координат, а центральная ось цилиндра совпадает с осью Z. Для описания цилиндра необходимо задать размеры его основания и высоту.

```
Current wire frame density: ISOLINES=16
Specify center point for base of cylinder or [Elliptical]
<0,0,0>: 50,50
Specify radius for base of cylinder or [Diameter]: 40
Specify height of cylinder or [Center of other end]: 100
```

Опция Elliptical позволяет создавать основание конуса в виде эллипса. Запросы аналогичны тем, что используются в AutoCAD при создании эллипса. Опция Diameter обеспечивает задание кругового основания цилиндра с помощью диаметра. Опция Center of other end позволяет определить высоту и ориентацию цилиндра путем задания центральной точки верхнего основания.

Команда CONE  позволяет создать твердотельный конус, основание которого (окружность или эллипс) лежит в плоскости XY текущей системы координат, а вершина располагается по оси Z. Для описания конуса необходимо задать размеры его основания и высоту.

```
Current wire frame density: ISOLINES=16
Specify center point for base of cone or [Elliptical]
<0,0,0>: 200,150
Specify radius for base of cone or [Diameter]: 60
Specify height of cone or [Apex]: -80
```

Опция Apex определяет высоту и ориентацию конуса путем задания точки вершины. Остальные опции аналогичны запросам команды CYLINDER.

Команда WEDGE  создает твердотельный клин. Основание клина всегда рисуется параллельно плоскости построений текущей системы координат, при этом наклонная грань располагается вдоль оси X.

```
Specify first corner of wedge or [Center] <0,0,0>: 0,0
Specify corner or [Cube/Length]: 100,50
Specify height: 60
```

Все запросы и опции команды аналогичны ключам команды BOX.

Команда TORUS  позволяет создавать твердотельный тор, для чего необходимо ввести значения двух радиусов: радиуса, определяющего расстояние от центра тора до центра "трубки"; радиуса образующей окружности "трубки". Тор строится параллельно плоскости XY текущей системы координат.

```
Current wire frame density: ISOLINES=16
Specify center of torus <0,0,0>: 0,0
Specify radius of torus or [Diameter]: 80
Specify radius of tube or [Diameter]: 20
```

Радиус тора может иметь отрицательное значение, но при этом значение радиуса "трубки" должно быть положительным и превосходить абсолютное значение радиуса тора.

Команда Extrude  позволяет создавать твердотельные объекты выдавливанием (добавлением высоты) двумерных примитивов. Выдавливать можно такие примитивы, как: замкнутая полилиния, многоугольник, прямоугольник, круг, эллипс, замкнутый сплайн и регионы. С помощью одной команды может быть выдавлено сразу несколько примитивов (рис. 3.13).

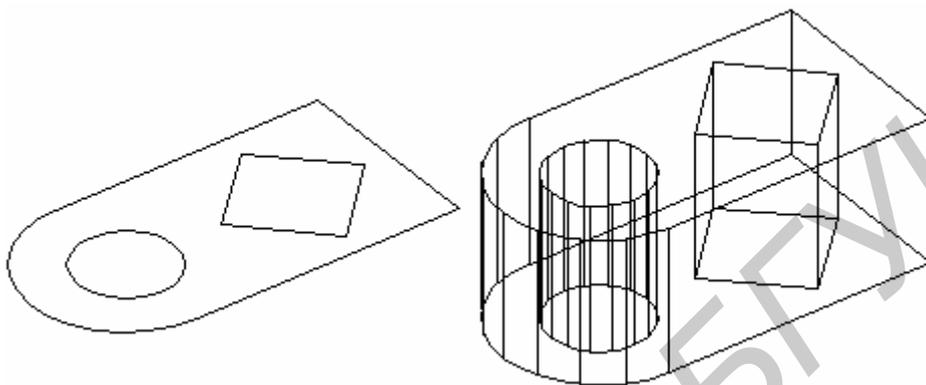


Рис. 3.13. Пример твердотельного примитива, полученного выдавливанием

Команда выдает следующие запросы:

```
Current wire frame density: ISOLINES=16
```

```
Select objects:
```

```
Specify height of extrusion or [Path]: 60
```

```
Specify angle of taper for extrusion <0>:
```

В соответствии с данными запросами необходимо выбрать двумерные примитивы для выдавливания, затем ввести ненулевое значение высоты выдавливания и указать угол конусности выдавливания.

Команда Revolve  создает твердотельные объекты с помощью вращения существующих двумерных объектов вокруг заданной оси. Эта команда может вращать лишь один объект. Вращать можно замкнутую полилинию, многоугольник, прямоугольник, круг, эллипс, замкнутый сплайн и регион. Полилиния и ось вращения могут соприкасаться, но ни в коем случае не пересекаться (рис. 3.14).

Команда имеет следующие запросы:

```
Current wire frame density: ISOLINES=16
```

```
Select objects: 1 found
```

```
Select objects:
```

```
Specify start point for axis of revolution or  
define axis by [Object/X (axis)/Y (axis)]: 0
```

```
Select an object:
```

```
Specify angle of revolution <360>: 270
```

После выбора двумерного объекта для вращения необходимо определить ось вращения. По умолчанию ось определяется по двум точкам. Опция Object позволяет указать отрезок или сегмент полилинии, используемый в каче-

стве оси. Опция X (axis) использует положительную ось X текущей системы координат в качестве оси вращения. Опция Y (axis) использует положительную ось Y текущей ПСК в качестве оси вращения. Последний запрос позволяет определить величину угла вращения.

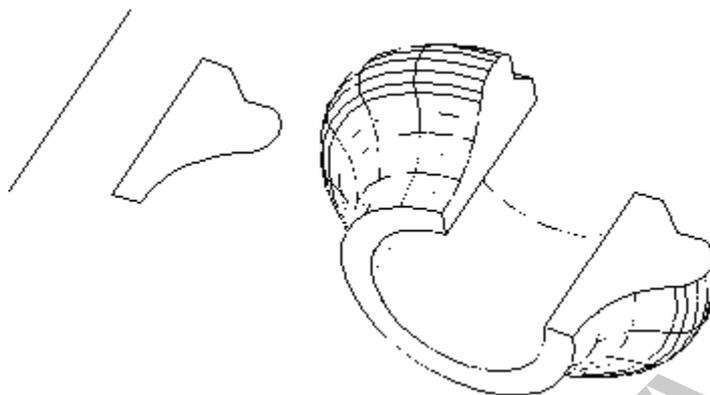


Рис. 3.14. Пример твердотельного примитива, полученного путем вращения

3.7. Редактирование тел

Над трехмерными телами возможны операции объединения, вычитания и пересечения. Кнопки этих операций являются первыми тремя кнопками панели инструментов Solids Editing (Редактирование тел) (рис. 3.15).



Рис. 3.15. Панель Solids Editing

Тело, образованное путем объединения нескольких простых объектов, называется составным. На рис. 3.16 показан пример формирования составных тел (на рис. 3.16, а показаны исходные два тела).

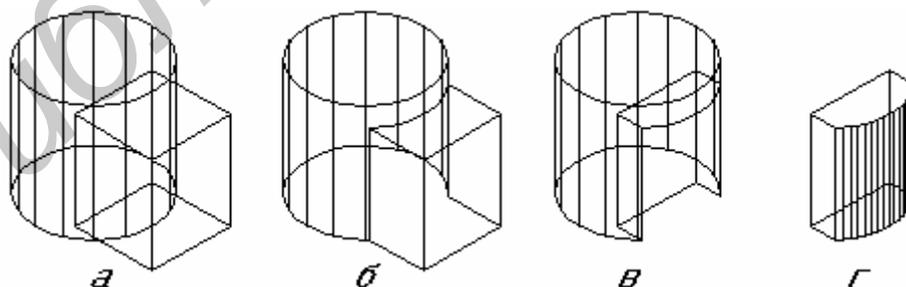


Рис. 3.16. Формирование составных тел

Для объединения объектов используется команда UNION , которая позволяет создавать новые составные тела из нескольких существующих тел (рис. 3.16, б), в том числе не имеющих общего объема (то есть не пересекающихся).

Вычитание одного объекта из другого обеспечивает команда **SUBTRACT** , которая позволяет создать новое составное тело (рис. 3.16, в). Для создания тела данной командой необходимо сначала выбрать тела, из которых будет происходить вычитание, а затем выбрать вычитаемые тела.

Команда **INTERSECT**  создает новые составные тела при пересечении нескольких существующих объектов (рис. 3.16, г).

Такие команды редактирования в двухмерном пространстве, как **MOVE** (Перенеси) и **COPY** (Копируй) могут использоваться и в трехмерном пространстве.

Библиотека БГУИР

4. Пример создания модели твердотельного объекта

4.1. Задание

Сформировать в системе AutoCAD модель твердотельного объекта по приведенному на рис. 4.1 чертежу.

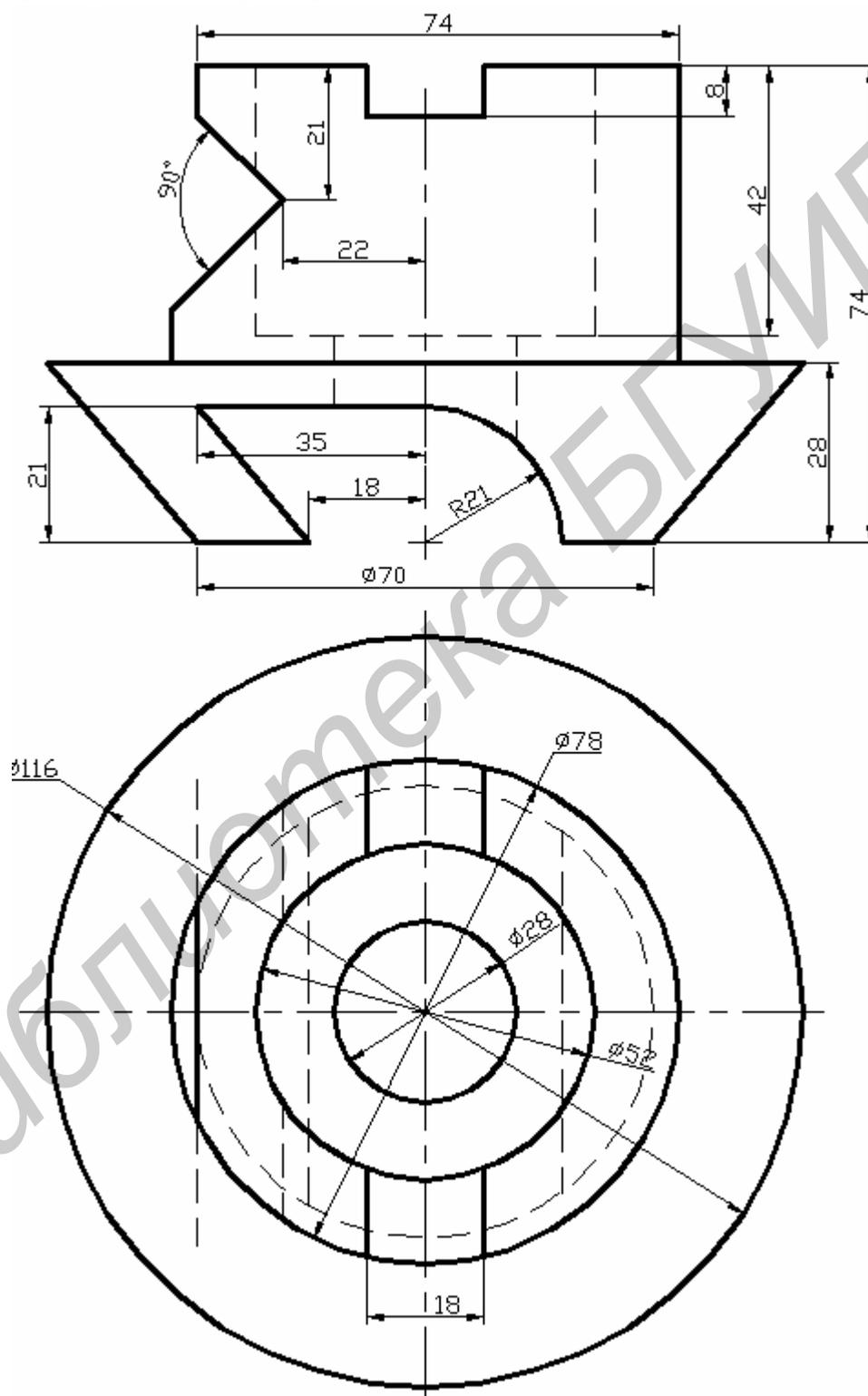


Рис. 4.1 Задание на трехмерное моделирование

4.2. Порядок выполнения работы

Загрузите систему AutoCAD. Создайте новый рисунок. При помощи команды TOOLBAR (**Вид® Панели инструментов**), выведите на экран следующие инструментальные панели:

- ☐ View (**Вид**);
- ☐ Solids (**Трехмерные объекты**);
- ☐ UCS (**ПСК**).

ВНИМАНИЕ: Отключите «Восстановить ортогональную ПСК с видом». Для этого необходимо выполнить следующие действия: **Вид® Именованные виды® Ортогональные и изометрические виды**.

Установите значение системной переменной ISOLINES (набрать с клавиатуры), отвечающей за количество образующих линий, отображаемых на искривленных поверхностях, равным 16.

```
Command: isolines
```

```
Enter new value for ISOLINES <4>: 16
```

Проанализируйте форму детали, предложенной для выполнения на рис. 2.1. Общий объем детали, без учета всех отверстий и пазов, образован усеченным конусом и цилиндром. Для его создания можно применить объединение двух стандартных тел (цилиндра и конуса), но для построения конуса необходимо знать его полную высоту, что требует дополнительных расчетов. Так как исходная деталь имеет форму вращения, то, в данном случае, целесообразнее будет воспользоваться командой REVOLVE (🔄) - **Вращение**. Для этого потребуется построить половину контура сечения детали и, вращением его вокруг оси, получить требуемый объем. Создание контура сечения детали выполните при помощи команды PLINE (→) - **Ломаная**.

```
Command: pline
```

```
Specify start point: 0,0
```

```
Current line-width is 0.0000
```

```
Specify next point or
```

```
[Arc/Close/Halfwidth/Length/Undo/Width]: 35,0
```

```
Specify next point or
```

```
[Arc/Close/Halfwidth/Length/Undo/Width]: 58,28
```

```
Specify next point or
```

```
[Arc/Close/Halfwidth/Length/Undo/Width]: 39,28
```

```
Specify next point or
```

```
[Arc/Close/Halfwidth/Length/Undo/Width]: 39,74
```

```
Specify next point or
```

```
[Arc/Close/Halfwidth/Length/Undo/Width]: 0,74
```

```
Specify next point or
```

```
[Arc/Close/Halfwidth/Length/Undo/Width]: c
```

В результате должен получиться контур, показанный на рис. 2.2.

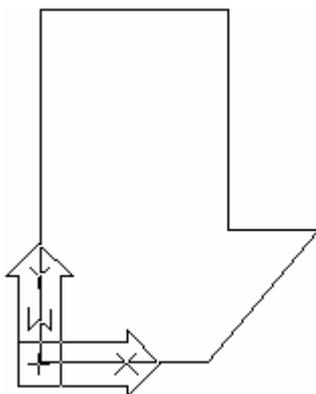


Рис. 2.2. Контур сечения детали

Теперь можно воспользоваться командой REVOLVE () - **Вращение** для создания твердотельного объекта (рис. 2.3). В качестве оси вращения используйте ось Y текущей ПСК.

```
Command: _revolve
Current wire frame density: ISOLINES=16
Select objects: 1 found
Select objects:
Specify start point for axis of revolution or
define axis by [Object/X (axis)/Y (axis)]: Y
Specify angle of revolution <360>: 360
```

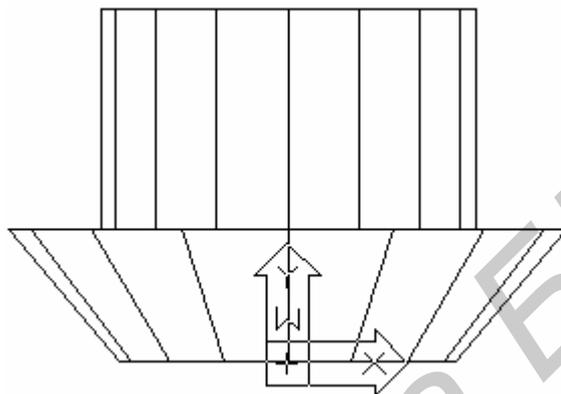


Рис. 2.3. Твердотельный объект, полученный путем вращения

Убедитесь, что тело имеет объем. Для этого установите один из стандартных изометрических видов (юго-западную  или юго-восточную  изометрию). Для восстановления вида сверху воспользуйтесь кнопкой  - **Верх** инструментальной панели Вид или командой PLAN.

Паз в основании тела имеет довольно сложную форму, для его формирования необходимо сначала создать твердотельный объект, повторяющий контур паза, а затем вычисть его из объема тела. Создать тело, имеющее форму паза, наиболее просто будет при помощи команды EXTRUDE () - **Выдавливание**, т. е. выдавливанием двухмерного контура. Контур, для последующего выдавливания, сформируйте при помощи команды PLINE () - **Ломаная** (рис. 2.4). Последовательность построения контура приводится ниже:

```
Command: _pline
Specify start point: 0,0
Current line-width is 0.0000
Specify next point or [Arc/Close/Halfwidth/Length/Undo/Width]: 21,0
Specify next point or [Arc/Close/Halfwidth/Length/Undo/Width]: A
Specify endpoint of arc or [Angle/CEnter/CLose/Direction/Halfwidth/Line/Radius/Second pt/Undo/Width]: CE
Specify center point of arc: 0,0
Specify endpoint of arc or [Angle/Length]: 0,21
Specify endpoint of arc or [Angle/CEnter/CLose/Direction/Halfwidth/Line/Radius/Second pt/Undo/Width]: L
```

```
Specify          next          point          or
[Arc/Close/Halfwidth/Length/Undo/Width]: -35,21
Specify          next          point          or
[Arc/Close/Halfwidth/Length/Undo/Width]: -18,0
Specify          next          point          or
[Arc/Close/Halfwidth/Length/Undo/Width]: c
```

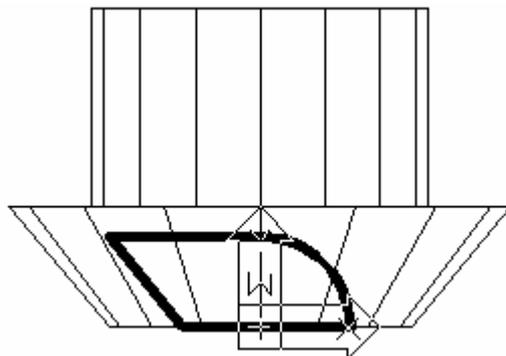


Рис. 2.4. Контур паза в основании тела

При выдавливании контура командой EXTRUDE (☐↑) - **Выдавливание**, глубину выдавливания задайте равной 120 мм.

```
Command: _extrude
Current wire frame density: ISOLINES=16
Select objects: Specify opposite corner: 1 found
Select objects:
Specify height of extrusion or [Path]: 120
Specify angle of taper for extrusion <0>: 0
```

Установите один из стандартных изометрических видов, убедитесь в правильности полученного результата, сравнив его с изображением на рис. 2.5, а.

Далее, необходимо опустить полученное тело вдоль оси Z на половину его высоты, т. е. на 60 мм. Для этого воспользуйтесь командой MOVE (⊕) - **Перемещение**.

```
Command: _move
Select objects: 1 found
Select objects:
Specify base point or displacement: 0,0
Specify second point of displacement or <use first point as displacement>: @0,0,-60
```

В результате положение тел должно соответствовать изображению на рис. 2.5, б.

Формирование паза осуществляется вычитанием полученного тела из объема детали. Для этого воспользуйтесь командой SUBTRACT (наберите в командной строке) или **Изменить®Правка объектов®Вычитание**. Команда запрашивает сначала тела, из которых будет происходить вычитание (выберите тело детали и нажмите <Enter>), а затем вычитаемые тела (выберите тело паза и нажмите <Enter>). Результат действия команды показан на рис. 2.5, в.

```
Command: subtract
Select solids and regions to subtract from ..
Select objects: 1 found
Select objects:
Select solids and regions to subtract ..
Select objects: 1 found
```

Select objects:

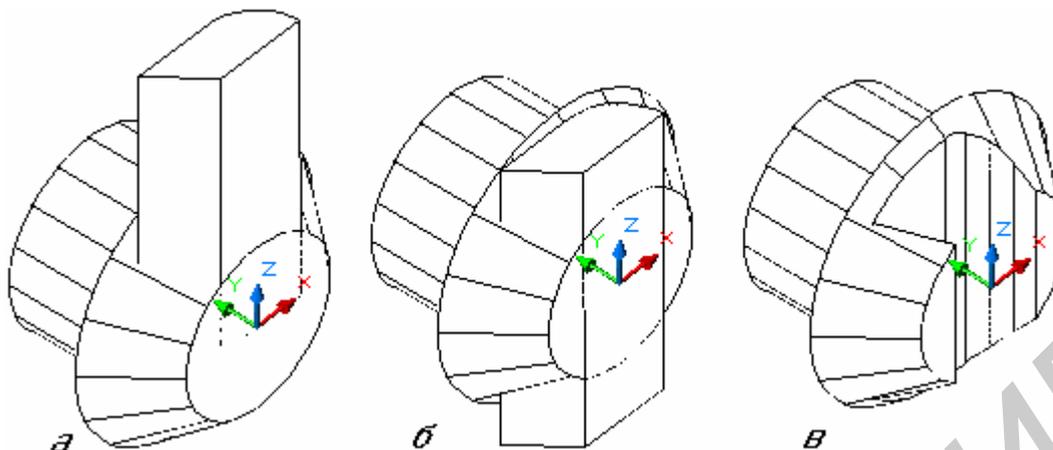


Рис. 2.5. Формирование паза в основании детали

Восстановите вид сверху, воспользовавшись кнопкой  - *Верх* инструментальной панели Видов или командой PLAN.

Все предыдущие построения проводились в мировой системе координат. Для построения верхнего прямоугольного паза осуществите параллельный перенос системы координат в новое начало, в качестве которого выберите центр верхнего основания цилиндра (рис. 2.6, а). Для переноса системы координат, воспользуйтесь кнопкой  - *Начало координат ПСК* на инструментальной панели ПСК.

```
Command: _ucs
Current ucs name:  *WORLD*
Enter an option
[New/Move/orthoGraphic/Prev/Restore/Save/Del/Apply/?/World]
<World>: _o
Specify new origin point <0,0,0>: 0,74
```

Постройте параллелепипед, повторяющий форму паза, используя кнопку  - *Бокс* инструментальной панели Тела (рис. 2.6, б). При построении параллелепипеда, используйте опцию CEnter, позволяющую задать его центр.

```
Command: _box
Specify corner of box or [CEnter] <0,0,0>: CE
Specify center of box <0,0,0>: 0,0
Specify corner or [Cube/Length]: L
Specify length: 18
Specify width: 16
Specify height: 80
```

Вычтите полученный параллелепипед из объема детали, воспользовавшись командой SUBTRACT - *Изменить* ® *Правка объектов* ® *Вычитание* (рис. 2.6, в).

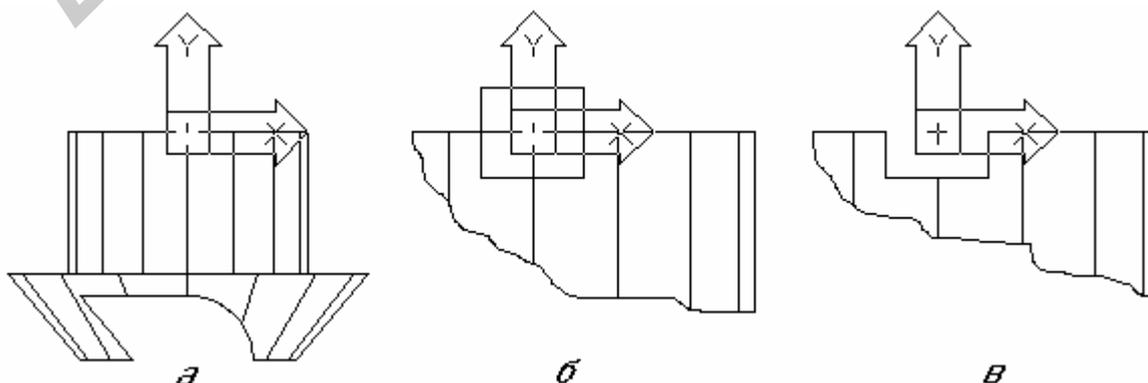


Рис. 2.6. Формирование верхнего прямоугольного паза

Для построения бокового паза в цилиндрической поверхности детали, перенесите систему координат в его вершину (рис. 2.7, а). Для переноса системы координат, воспользуйтесь кнопкой  - **Начало координат ПСК** на инструментальной панели ПСК.

```
Command: _ucs
Current ucs name: *NO NAME*
Enter an option
[New/Move/orthoGraphic/Prev/Restore/Save/Del/Apply/?/World]
<World>: _o
Specify new origin point <0,0,0>: -22,-21
```

САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА: Теперь сформируйте параллелепипед следующих размеров 30x30x80 мм. Используйте кнопку  - **Бокс** инструментальной панели «Трехмерные объекты».

Далее, необходимо опустить полученное тело вдоль оси Z на половину его высоты, т. е. на 40 мм. Для этого воспользуйтесь командой MOVE () - **Перемещение**, как в случае формирования паза в основании детали. Осталось повернуть параллелепипед, чтобы он принял положение как на рис. 2.7, б. Используйте команду ROTATE () - **Поворот**, которая сначала запрашивает объекты для вращения (выберите параллелепипед и нажмите <Enter>), затем необходимо указать базовую точку, относительно которой будет происходить вращение объектов (введите точку начала координат текущей ПСК) и угол вращения (в нашем случае угол равен 135°).

```
Command: _rotate
Current positive angle in UCS: ANGDIR=counterclockwise ANG-
BASE=0
Select objects: 1 found
Select objects:
Specify base point: 0,0
Specify rotation angle or [Reference]: 135
```

Завершите формирование паза вычитанием полученного параллелепипеда из объема детали. Для этого воспользуйтесь командой SUBTRACT - **Вычитание**, работа, которой уже рассматривалась выше. В результате должно получиться тело представленное на рис. 2.7, в.

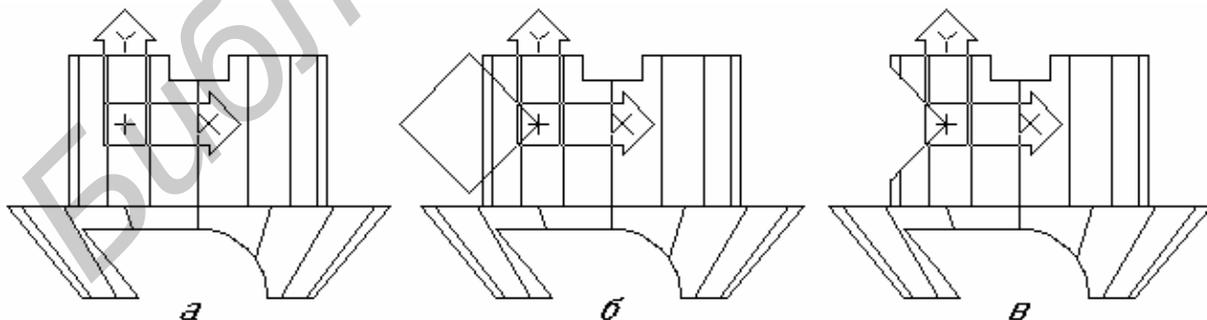


Рис. 2.7. Формирование бокового паза

САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА: В верхней части детали, цилиндрическая поверхность имеет срез (смотри горизонтальный размер 74 мм на рис. 2.1). Сформируйте срез самостоятельно.

Восстановите мировую систему координат, воспользовавшись кнопкой  - **Мировая ПСК** инструментальной панели ПСК.

Для создания центрального цилиндрического отверстия необходимо переопределить систему координат. Установите ПСК так, чтобы плоскость XY совпадала с нижним основанием детали, а ось Z была направлена вдоль оси детали. Для этого достаточно повернуть систему координат вокруг оси X на -90° (т. к. положительным направлением отсчета угла поворота считается направление против часовой стрелки), воспользовавшись кнопкой  - **Поворот вокруг оси X** инструментальной панели ПСК. С помощью команды 3DORBIT () – **3D Вращение** установите новую точку зрения как на рис. 2.8, а.

При помощи кнопки панели инструментов «Трёхмерные объекты», сформируйте два цилиндра соответствующих форме отверстия (рис. 2.8, б).

```
Command: _cylinder
Current wire frame density: ISOLINES=16
Specify center point for base of cylinder or [Elliptical]
<0,0,0>: 0,0
Specify radius for base of cylinder or [Diameter]: D
Specify diameter for base of cylinder: 28
Specify height of cylinder or [Center of other end]: 100
```

```
Command: _cylinder
Current wire frame density: ISOLINES=16
Specify center point for base of cylinder or [Elliptical]
<0,0,0>: 0,0,32
Specify radius for base of cylinder or [Diameter]: D
Specify diameter for base of cylinder: 52
Specify height of cylinder or [Center of other end]: 60
```

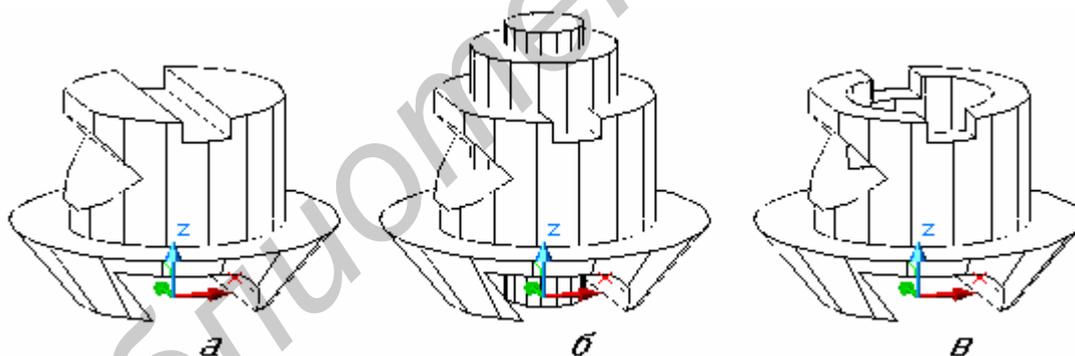


Рис. 2.8. Формирование центрального отверстия

Завершите формирование отверстия вычитанием полученных цилиндров из объема детали, воспользовавшись командой SUBTRACT - **Вычитание** (рис. 2.8, в).

При помощи команды 3DORBIT () – **3D Вращение** изучите форму детали, убедитесь что она соответствует заданию (рис. 2.1)

Теперь приступим к формированию четвертичного выреза и нанесению штриховки.

Для формирования выреза создайте параллелепипед, используя кнопку  - **Бокс** инструментальной панели "Трёхмерные объекты". Параллелепипед должен располагаться таким образом, чтобы он содержал четверть объема детали, требуемую удалить. Завершите формирование выреза вычитанием полученного параллелепипеда из объема детали. Для этого воспользуйтесь командой SUBTRACT - **Вычитание**, работа которой была рассмотрена выше. В результате должно получиться тело показанное на рис. 2.9.

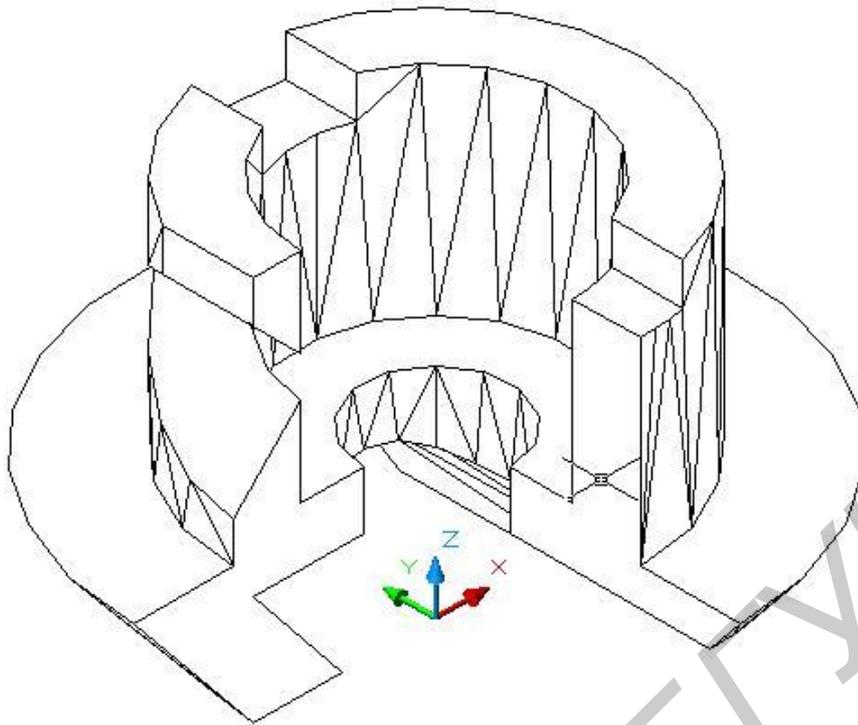


Рис. 2.9 Формирование четвертичного выреза

Система AutoCAD корректно выполняет штриховку замкнутых контуров расположенных только в плоскости XY текущей ПСК. Поэтому для выполнения штриховки граней выреза, необходимо последовательно устанавливать ПСК для каждой штрихуемой грани детали таким образом, чтобы плоскость XY совпадала с плоскостью грани. Для совмещения ПСК с выбранной гранью трехмерного тела удобно воспользоваться кнопкой  - Face UCS, инструментальной панели «ПСК». После вызова команды, необходимо левой клавишей мыши выбрать требуемую грань, и если ПСК сориентирована верно, нажать клавишу Enter. После этого выполнить штриховку грани. Результат показан на рис. 2.10.

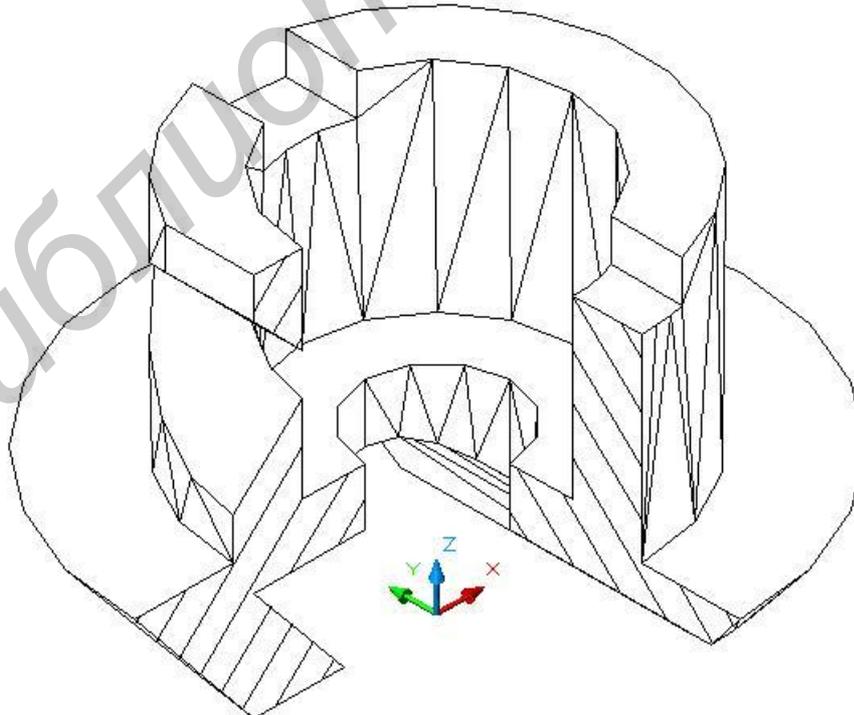


Рис. 2.10 Штриховка граней выреза детали

ВАЖНО! Прежде чем приступить к дальнейшему редактированию детали, необходимо установить требуемый изометрический вид (смотри рис. 2.10).

На завершающем этапе, необходимо создать профиль построенного трехмерного тела и разделить линии модели на видимые и невидимые относительно данного вида. Для этого служит команда SOLPROFILE, которой соответствует кнопка панели инструментов Solids (Тела).

Чтобы воспользоваться командой SOLPROFILE необходимо сначала перейти в пространство листа, для чего щелкните по закладке Layout1 в нижней части экрана. В появившемся окне Page Setup нажмите кнопку ОК. Вы перешли в пространство листа, где на листе расположен видовой экран – прямоугольник с изображением модели внутри. Для активизации видового экрана, выполните двойной щелчок по модели, после чего линия контура видового экрана станет жирной. Теперь можно воспользоваться командой SOLPROFILE. После вызова команды щелкните по модели детали и нажмите клавишу Enter. На все последующие запросы также нажимайте клавишу Enter:

```
Command: _solprof
Select objects: 1 found
Select objects:
Display hidden profile lines on separate layer? [Yes/No] <Y>:
Project profile lines onto a plane? [Yes/No] <Y>:
Delete tangential edges? [Yes/No] <Y>:
One solid selected.
```

Теперь необходимо вернуться в пространство модели, щелкнув по закладке Model в нижней части экрана. После использования команды SOLPROFILE система создала два дополнительных слоя: PV – на котором расположены видимые линии контура детали и PH – для невидимых линий.

Слой PV необходимо сделать текущим, а слой PH и нулевой слой заморозить. Не забудьте штриховку граней выреза перенести в слой PV. Мы получили изометрическое изображение детали с вырезом (рис. 2.11).

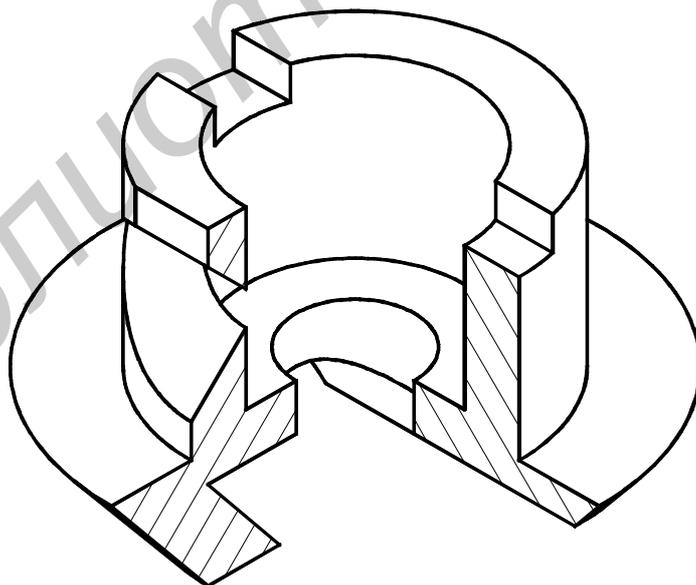


Рис. 2.11. Изометрическое изображение детали с вырезом

Резерв 2004 г

Учебное издание

Малафей Татьяна Владимировна

**Практическая работа по компьютерной графике
Создание модели твердотельного объекта**

Методические указания для студентов всех специальностей БГУИР

Ответственный за выпуск **Е.П. Федорович**
Редактор Т.Н. Крюкова

Подписано в печать	Формат 60x48	1/16
Бумага офсетная. Печать офсетная.	Усл.печ.л.	
Уч.-изд.л.	Тираж 100 экз.	Заказ .

Белорусский государственный университет информатики и
радиоэлектроники

Отпечатано в БГУИР. Лицензия ЛП N 156. 220013, Минск, П.Бровки, 6