



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Белорусский национальный  
технический университет

---

Кафедра «Инженерная графика строительного профиля»

Ю. И. Садовский

**СИСТЕМА ИНЖЕНЕРНОЙ ГРАФИКИ  
AUTOCAD ДЛЯ СТРОИТЕЛЕЙ**  
*Основы трехмерного  
компьютерного моделирования*

Часть 1



Минск  
БНТУ  
2013

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Белорусский национальный технический университет

---

Кафедра «Инженерная графика строительного профиля»

Ю.И. Садовский

СИСТЕМА ИНЖЕНЕРНОЙ ГРАФИКИ  
AUTOCAD ДЛЯ СТРОИТЕЛЕЙ  
Основы трехмерного компьютерного  
моделирования

Учебно-методическое пособие  
для студентов строительных специальностей

В 2 частях

Часть 1

СОЗДАНИЕ И РЕДАКТИРОВАНИЕ  
ТРЕХМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ

*Рекомендовано учебно-методическим объединением  
в сфере высшего образования Республики Беларусь  
по образованию в области строительства и архитектуры*

Минск  
БНТУ  
2013

УДК 681.327.11 (075.8)

ББК 32.973-018.2я7

С 14

Рецензенты:

зав. кафедрой «Дизайн архитектурной среды» БНТУ  
доцент А.А. Литвинова; канд. техн. наук, доцент  
кафедры «Программное обеспечение вычислительной техники  
и автоматизированных систем» А.В. Пашенко

**Садовский, Ю.И.**

С 14 Система инженерной графики AutoCAD для строителей. Основы трехмерного компьютерного моделирования: учебно-методическое пособие для студентов строительных специальностей: в 2 ч. / Ю. И. Садовский. – Минск: БНТУ, 2013– . – Ч. 1: Создание и редактирование трехмерных объектов. – 2013. – 91 с.

ISBN 978-985-525-777-7 (Ч. 1)

Настоящее учебно-методическое пособие представляет собой продолжение изданного ранее учебно-методического пособия, предназначено студентам строительных специальностей для подготовки и проведения практических и лабораторных занятий по дисциплине «Компьютерная графика» с использованием системы компьютерного проектирования AutoCAD и может быть использовано при работе с любой версией системы, включая AutoCAD 2012.

Рассмотрены основные команды создания, редактирования и настроек системы AutoCAD для трехмерного моделирования, а также некоторые возможности визуализации трехмерных объектов, содержатся упражнения по использованию описанных команд.

УДК 681.327.11 (075.8)

ББК 32.973-018.2я7

ISBN 978-985-525-777-7 (Ч. 1)

ISBN 978-985-525-778-4

© Садовский Ю.И., 2013

© Белорусский национальный  
технический университет, 2013

## 1. ОСОБЕННОСТИ КЛАССИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕЙСА СИСТЕМЫ AutoCAD

К моменту выхода данного учебно-методического пособия основными учебными версиями системы AutoCAD будут являться версии AutoCAD 2010–2012. Их интерфейс имеет ряд особенностей по сравнению с ранними версиями системы, поэтому, прежде чем переходить к трехмерному моделированию, отметим эти основные отличия.

В этих версиях AutoCAD используется концепция рабочих пространств (workspaces) – инструментов, которые, по мнению разработчиков системы, предназначены для быстрой настройки всех параметров системы AutoCAD, включая файлы чертежей.

В системе AutoCAD имеются следующие рабочие пространства: двумерное рисование и аннотации (2D Drafting & Annotation), трехмерное моделирование (3D Basics и 3D Modeling) и классический AutoCAD (AutoCAD Classic). Последнее предназначено для универсального моделирования как в двумерном, так и в трехмерном измерении.

Именно этот классический вариант AutoCAD, как наиболее привычный для большинства современных пользователей, далее рассматривается в качестве основного.

Основные элементы окна AutoCAD с классическим интерфейсом (строка заголовка, система меню и панели инструментов) полностью аналогичны соответствующим элементам любого современного приложения для Windows. В частности, несколько меню (Файл (File), Правка (Edit), Вид (View), Окно (Window) и Справка (Help)) присутствуют практически во всех системах меню Windows, хотя указанные меню в AutoCAD содержат ряд дополнительных команд.

Кроме того, в систему меню AutoCAD входят меню, характерные для всех предыдущих версий системы AutoCAD – Вставка (Insert), Формат (Format), Сервис (Tools), Рисование (Draw), Размеры (Dimension), Редактировать (Modify), Экспресс (Express) и **новое меню Параметрические (Parametric)**.

В классическом рабочем пространстве под системой меню в две строки расположены панели инструментов:

верхняя строка – панели Стандартная (Standard) и Стили (Styles);  
вторая строка – панели Рабочие пространства (Workspaces), Слои (Layers) и Свойства (Properties).

У левой и правой границ экрана AutoCAD отображаются еще три панели инструментов: слева – панель Рисования (Draw), справа – панели Редактирования (Modify) и Порядок прорисовки (Draw Order). Это обычные панели инструментов, которые по умолчанию располагаются не по горизонтали, а по вертикали.

Объект, который находится в незанятой области окна AutoCAD, представляет собой еще одну панель инструментов Сглаживание сети (Smooth Mesh). Эта панель инструментов отображается в режиме плавающей панели.

Второй объект, который находится в незанятой области окна AutoCAD, – это палитра (palette) инструментов (Tool Palettes).

Последние два описанных объекта можно сразу закрыть, щелкнув по соответствующим кнопкам Закрыть (Close) каждого окна.

Общий вид окна классического AutoCAD показан на рис. 1.1.

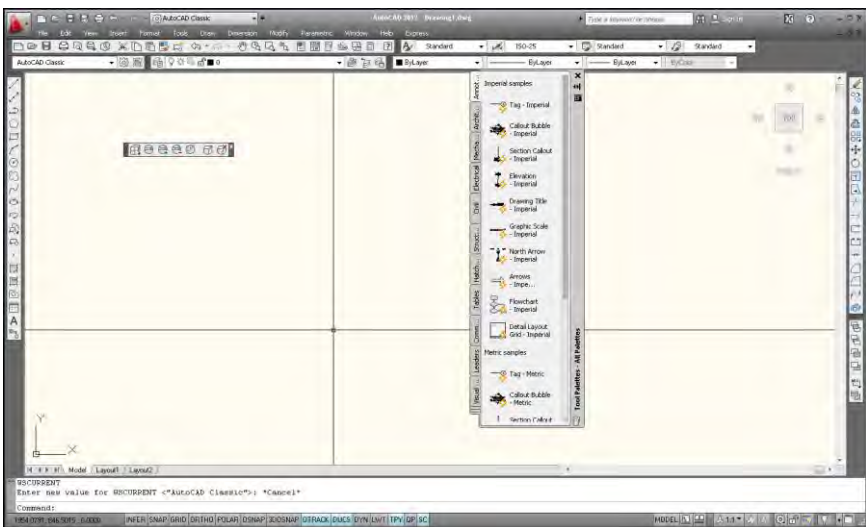


Рис. 1.1. Общий вид окна системы AutoCAD Classic 2012

Пустая область, находящаяся посреди экрана, – область черчения (drawing area). Указатель мыши, попадая в эту область при перемещении по экрану, принимает форму указателя перекрестия (crosshair cursor). При использовании некоторых команд AutoCAD указатель

может принимать и другие формы, в зависимости от назначения команды и этапа ее выполнения.

В нижнем левом углу окна области черчения отображается пиктограмма с двумя стрелками. Эта пиктограмма называется ПСК (пользовательская система координат) и используется для обозначения положительных направлений осей координат  $X$  и  $Y$ .

Под пиктограммой находятся ярлычки листов модели Модель (Model) и листов компоновок Лист 1 (Layout 1) и Лист 2 (Layout 2). Эти ярлычки используются для быстрого переключения между режимами работы в пространстве модели (model space) и в пространстве листа (paper space).

Ниже под областью черчения находится командная строка (окно). В этом окне пользователь может вводить команды, а также задавать их параметры. Кроме того, в командном окне выводится информация о выполняемых AutoCAD операциях. Значимость командного окна очень высока, поскольку существуют некоторые команды, которые можно ввести только в командном окне.

Под командным окном расположена строка состояния (status bar). В левой ее части отображаются текущие координаты указателя перекрестия. С помощью находящихся на ней кнопок индикаторов можно быстро включать и отключать соответствующие режимы работы AutoCAD. Кнопки-индикаторы могут отображаться в режиме значков (установлен по умолчанию) либо в текстовом режиме. Выполнение команд от режима отображения не зависит.

Общий вид статусной строки показан на рис. 1.2.



Рис. 1.2. Общий вид строки состояния

Для пользователя AutoCAD очень важны такие команды, как ШАГ (SNAP), СЕТКА (GRID), ОРТО (ORTHO) и ПРИВЯЗКА (OSNAP), которые достаточно часто нужно оперативно использовать. Кроме того, могут пригодиться такие кнопки, как ОТС ПОЛЯР (POLAR), ОТС ОБЪЕКТ (OTRACK), ВЕС (LWT). Кнопки ДПСК

(DUCS) предназначены для использования режима динамической ПСК (DUCS – dynamic user coordinate system), которые используются только при трехмерном моделировании, а ДИН (DYN) – для включения режима динамических подсказок. Кнопка БС (QP) предназначена для включения отображения окна Быстрые свойства (Quick Properties).

Кнопки включения этих команд образуют группу, находящуюся правее зоны координат.

В правой части статусной строки находится еще ряд кнопок (слева направо):

- кнопка переключений пространства моделирования и пространства листа;
- две кнопки инструментов Quick View;
- четыре кнопки инструментов навигации Pan, Zoom, Steering Wheels, Show Motion;
- три кнопки Инструменты аннотаций;
- кнопка переключения рабочих пространств;
- кнопка блокировки;
- кнопка команды очистки экрана.

Переключение системы AutoCAD к классическому виду может быть осуществлено несколькими способами:

- с помощью меню Tools (рис. 1.3). Для этого в строке Рабочие пространства (Workspaces) необходимо открыть боковое меню и поставить галочку в строке AutoCAD Classic;

- с помощью кнопки переключения рабочих пространств статусной строки. Правой клавишей мыши надо открыть контекстное меню и поставить галочку в строке AutoCAD Classic (рис. 1.4);

- аналогичную операцию можно выполнить с помощью одноименной панели, по умолчанию находящейся в левом углу второй строки панелей инструментов в верхней части окна AutoCAD (если она не отключена).

С точки зрения автора, не все описанные команды постоянно необходимы при работе, поэтому для удобства некоторые кнопки строки состояния предлагается отключить либо изменить их вид.

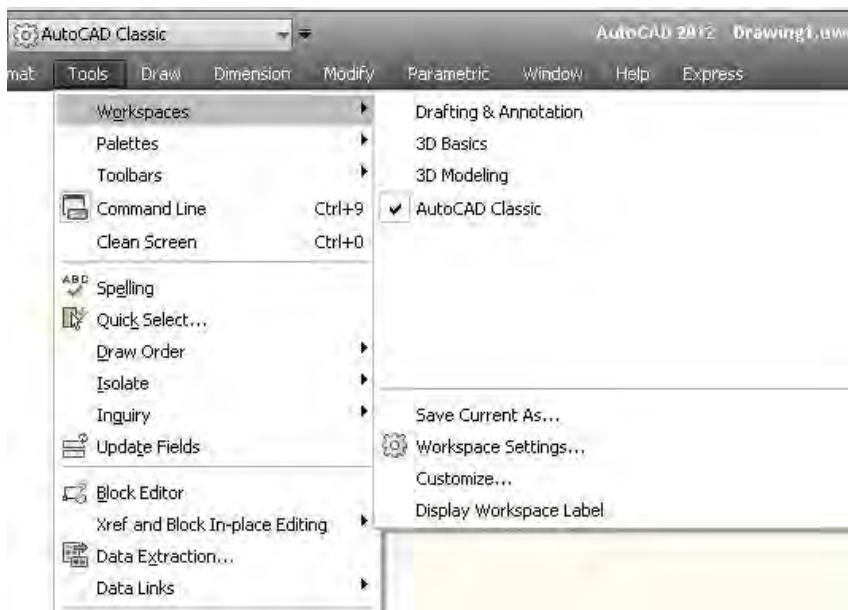


Рис. 1.3. Подменю Рабочие пространства (Workspaces)



Рис. 1.4. Меню кнопки Переключение рабочих пространств (Workspace Switching)



Сделать это можно следующим образом:

- если кнопки находятся в нажатом положении (имеют голубой цвет, а не серый), надо щелкнуть на них, чтобы выключить соответствующие режимы;

- открыть меню строки состояния щелчком правой кнопкой мыши на любой незанятой кнопками-индикаторами и кнопками инструментов области строки состояния (рис. 1.5).

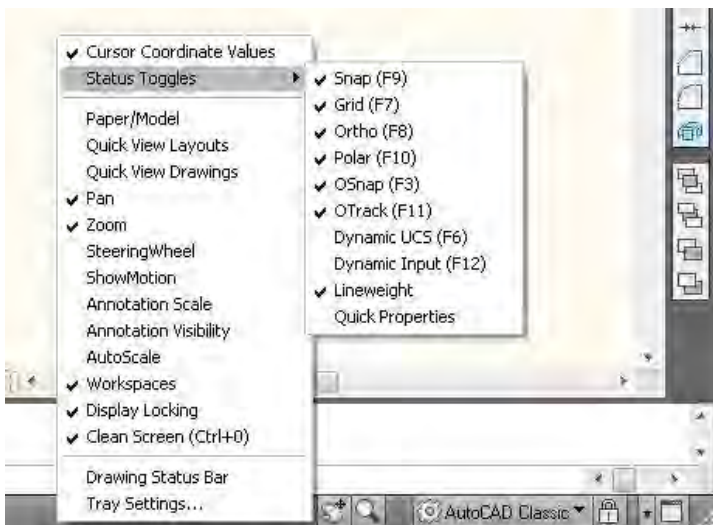


Рис. 1.5. Меню строки состояния

Как видно из рис. 1.5 левая часть кнопок сгруппирована в подменю **Переключатели режимов (Status Toggles)**, правая часть кнопок – в общем меню.

При снятии галочки со строки соответствующей команды соответствующая этой команде кнопка при перерисовке строки состояния будет удалена.

В качестве одного из вариантов упрощенной строки состояния (но не единственно возможного) предлагается оставить те кнопки, которые отмечены галочками в меню строки состояния на рис. 1.5.

Для изображения кнопок в текстовом режиме необходимо на любой из них щелкнуть правой кнопкой мыши и выключить из по-

явившегося контекстного меню команду **Использовать значки** (Use Icons), сняв пометку в виде «галочки» (рис. 1.6). Кнопки должны переключиться в текстовый режим, более удобный для использования (рис. 1.7).

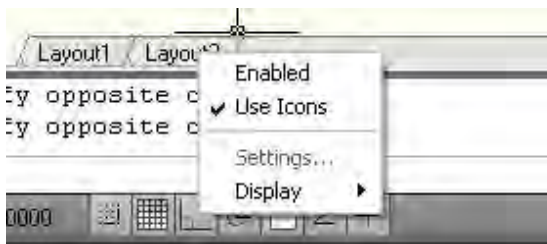


Рис. 1.6. Контекстное меню кнопок строки состояния

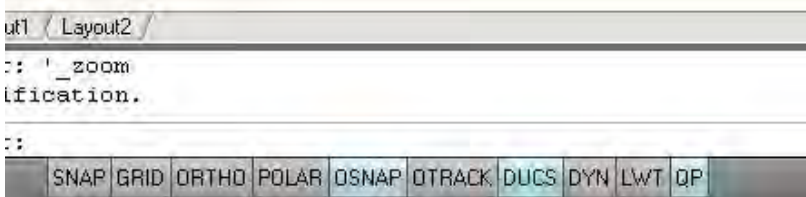





Рис. 1.7. Отображение кнопок статусной строки в текстовом режиме

В AutoCAD 2010–2012 используется обозреватель меню (menu browser), подобный кнопке Пуск Windows. Обозреватель меню представлен большой кнопкой в левом верхнем углу окна AutoCAD с логотипом программы. Щелкнув на этой кнопке, можно получить доступ к командам меню, к спискам недавно открывавшихся чертежей и выполнявшихся операций, списку открытых чертежей, а также кнопке открытия диалогового окна Параметры (Options) и команде Выход из AutoCAD (Exit AutoCAD).

Кроме того, в окне AutoCAD, как и в любом другом окне приложения Windows, могут отображаться полосы прокрутки.

Все эти элементы интерфейса системы показаны на рис. 1.8:

зона 1 – строка заголовка программы с управляющими кнопками:

-  – свернуть окно,  – изменить размеры окна,
-  – закрыть окно программы;

- зона 2 – строка падающих меню;
- зона 3 – обозреватель меню;
- зона 4 – панели инструментов (могут отсутствовать при отключении);
- зона 5 – область черчения;
- зона 6 – командная строка;
- зона 7 – статусная строка;
- зона 8 – кнопка переключения рабочих пространств.

Система меню AutoCAD состоит из тринадцати меню. Кроме того, к этой системе можно отнести и кнопку открытия обозревателя меню AutoCAD, которая находится слева от меню Файл (File). Щелчок на любом из этих элементов приводит к открытию соответствующего меню. Меню Файл (File), Правка (Edit), Вид (View), Окно (Window) и Справка (Help) относятся к стандартным меню Windows.

Обозреватель меню позволяет получить доступ к тем же командам меню AutoCAD, но в иной форме, а также к ранее открывавшимся чертежам, открытым чертежам, кнопке открытия диалогового окна Настройка (Options) и кнопке Выход из AutoCAD (Exit AutoCAD).

Кратко напомним назначение меню.

Команды меню Файл (File) предназначены для открытия и сохранения новых и существующих чертежей, печати, экспорта файлов в другие форматы, выполнения некоторых других общих файловых операций, а также выхода из AutoCAD.

Меню Правка (Edit) содержит команды Отменить (Undo) и Повторить (Redo), предназначенные для отмены или повтора операций; Вырезать (Cut), Копировать (Copy) и Вставить (Paste), используемые для работы с буфером обмена Windows; а также команды организации внешних связей файлов AutoCAD и других файлов.

Меню Вид (View) помимо команд, предназначенных для управления отображением чертежа в области черчения, содержит команду Панели (Toolbars), которая, как и в других программах Windows, позволяет настраивать панели инструментов. Меню Окно (Window) и Справка (Help) в основном функционируют так же, как и аналогичные меню программ для Windows.

Меню Вставка (Insert) содержит команды вставки чертежей и рисунков (в том числе созданных в других программах) или их фрагментов в текущий чертеж.

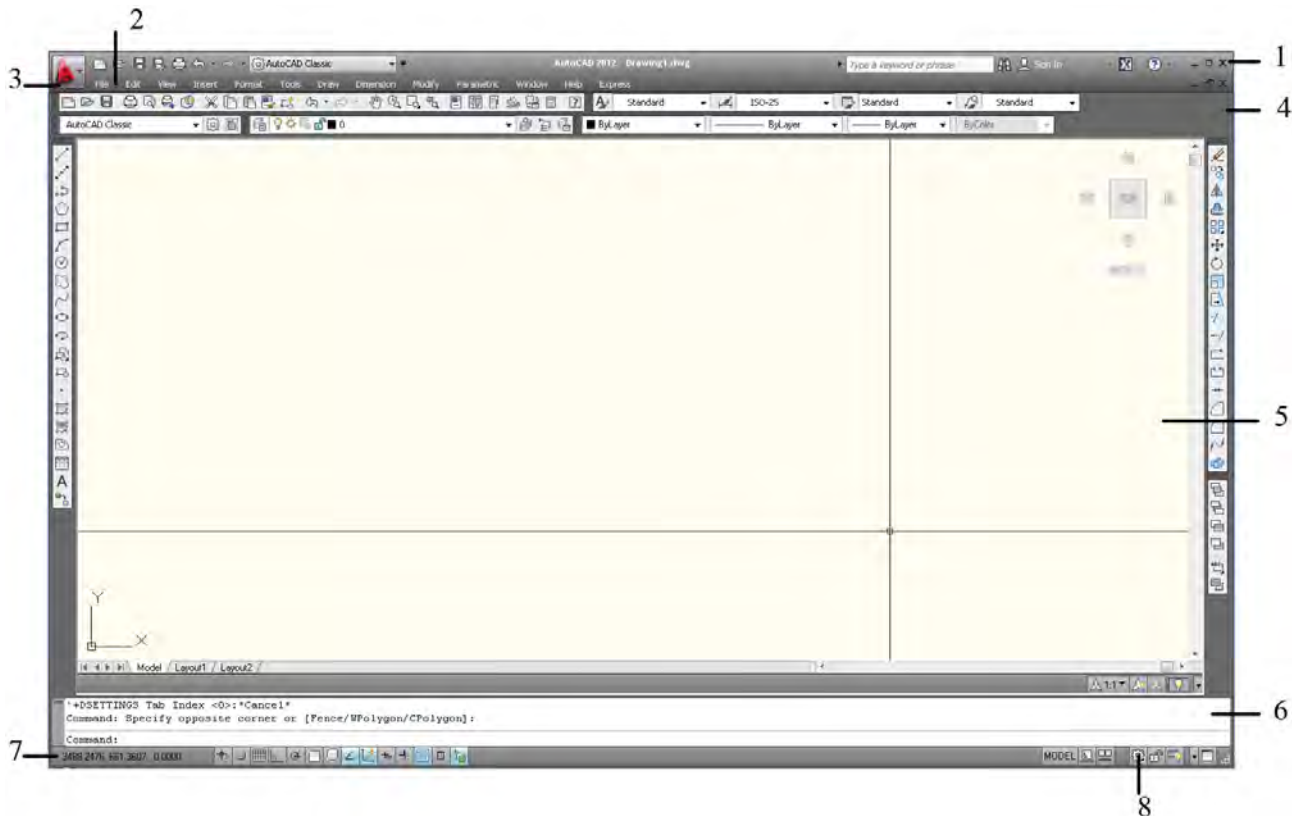


Рис. 1.8. Основные зоны окна AutoCAD с классическим пользовательским интерфейсом

Меню Формат (Format) содержит команды настройки общих параметров чертежа.

Меню Сервис (Tools) содержит специальные команды настроек например, для программирования работы AutoCAD с помощью макросов.

Меню Рисование (Draw) содержит все основные команды, обеспечивающие создание новых объектов чертежа (линий, окружностей, многоугольников и т. д.).

Меню Размеры (Dimension) содержит команды для нанесения размеров на текущем чертеже.

Меню Редактировать (Modify) содержит команды, которые, как и команды меню Рисование (Draw), используются чаще других команд AutoCAD, поскольку они предназначены для внесения изменений в объекты текущего чертежа.

Новым является меню Параметрические (Parametric). Оно содержит команды, предназначенные для создания параметрических объектов, то есть объектов, вид которых определяется автоматически, заданием определенного параметра, например длины или диаметра. Возможность создания параметрических объектов является очень мощным средством автоматизации черчения и появилась в системе AutoCAD впервые.

Меню Express содержит команды вызова пакета Express Tools. (Этот пакет является устаревшим и включается в поставку AutoCAD только для тех пользователей, которые к нему привыкли. При установке с параметрами по умолчанию этого меню и, соответственно, инструментов пакета Express Tools в системе меню AutoCAD может и не быть.)

По умолчанию в окне AutoCAD отображается несколько панелей инструментов (toolbars). Всего в AutoCAD имеется 44 панели инструментов, на многих из которых насчитывается не один десяток кнопок. Для того чтобы увидеть список всех панелей инструментов, достаточно на любой панели инструментов щелкнуть правой кнопкой мыши. На экране появится контекстное меню, представляющее собой полный список панелей инструментов AutoCAD (рис. 1.9).

Те панели инструментов, которые на момент открытия списка отображаются в окне AutoCAD, помечены в списке «галочкой». Если щелкнуть на помеченном элементе списка, контекстное меню закроется, а соответствующая панель инструментов перестанет

отобразиться в окне AutoCAD. Для включения отображения панели нужно снова открыть щелкнув правой кнопкой мыши на любой из оставшихся панелей инструментов, это контекстное меню, и выбрать из списка панель, рядом с названием которой нет «галочки».



Рис. 1.9. Панели инструментов

Любая панель инструментов AutoCAD может быть как пристыкованной (docked toolbar), так и плавающей (floating toolbar). Пристыкованными называются панели инструментов, которые прикреплены к одной из границ окна документа AutoCAD.

Плавающие панели инструментов представляют собой небольшие окна, которые можно свободно перемещать по экрану. Любая плавающая панель, помещенная рядом с границей окна, автоматически становится пристыкованной и наоборот – любую пристыкованную панель можно отстыковать и сделать плавающей.

Следует отметить, что на некоторых панелях имеются скрытые кнопки, которые не всегда отображаются на экране.

Такие кнопки нужно выбирать из своеобразного графического меню, называемого выдвигной панелью (flyout). Например, на панели Рисование (Draw) такая выдвигная панель имеется: если внимательно присмотреться к кнопкам этой панели, то в правом нижнем углу одной из кнопок можно увидеть маленький треугольник (кнопка называется Вставить блок (Insert Block)).

Кнопки панели Рисование (Draw), которая по умолчанию располагается у левой границы окна AutoCAD, пред-

назначены для создания объектов чертежа. Кнопки панели Редактирование (Modify), расположенной у правой границы окна AutoCAD, предназначены для внесения изменений в объекты чертежа, созданные с помощью инструментов панели Рисование (Draw). Выдвижных панелей на этой панели инструментов нет.

Для работы с выдвижными панелями необходимо выполнить следующие операции.

1. Поместить указатель на кнопку с треугольником внизу.

2. Подержать указатель на этой кнопке в течение 1–2 с, не щелкая мышью.

Рядом с указателем мыши появится название команды, которой соответствует эта кнопка.

Это контекстная подсказка (tooltip), которой снабжены все инструменты AutoCAD. Именно с помощью контекстной подсказки можно узнать название нужного инструмента. Для этого достаточно подвести указатель мыши к панели инструментов, а затем поочередно останавливать его на каждом инструменте на 1–2 с до тех пор, пока не появится контекстная подсказка с нужным названием.



Рис. 1.10. Выдвижная панель Zoom

3. Поместить указатель на кнопку с треугольником в правом нижнем углу ее пиктограммы и, нажав левую кнопку мыши, удерживать ее нажатой. Под кнопкой Показать рамкой (Zoom Window) панели Стандартная, например, появится графическое меню, состоящее из девяти кнопок (верхняя кнопка в этом меню аналогична нажатой кнопке панели инструментов Стандартная (Standard)). Это графическое меню из кнопок и называется выдвижной панелью (рис. 1.10).

4. Продолжая удерживать левую кнопку мыши, медленно вести указатель вниз, поочередно останавливая его на 1–2 с на каждой кнопке. Кнопки при этом показывают свои названия во всплывающих подсказках. Увидев контекстную подсказку с названием нужной кнопки (например, Zoom Extents (Показать Пределы)), отпустить левую кнопку мыши. Выдвижная панель закроется, а AutoCAD выполнит выбранную команду.

Основная особенность выдвижных панелей состоит в том, что кнопка, выбранная последней, занимает место предыдущей кнопки на основной панели.

Обратите внимание на панель Стандартная (Standard), туда, где раньше находилась кнопка Показать рамкой (Zoom Window). Теперь на этом месте находится кнопка Показать пределы (Zoom Extents). Если в следующий раз понадобится воспользоваться этим инструментом, достаточно будет просто щелкнуть на кнопке Показать пределы (Zoom Extents) панели инструментов Стандартная (Standard), как если бы она была обычной кнопкой этой панели. Порядок следования кнопок на выдвижной панели остается неизменным, поэтому при повторном открытии панели Зуммирование (Zoom) кнопка Показать рамкой (Zoom Window) снова окажется на самом ее верху.

Остальные выдвижные панели работают точно так же, как только что рассмотренная панель Зуммирование (Zoom).



## 2. ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ

Процесс трехмерного моделирования можно условно представить в виде следующей последовательности операций:

- создание трехмерных объектов;
- редактирование трехмерных объектов;
- визуализация трехмерных объектов;
- работа с трехмерными объектами (например, выполнение разрезов).

Основные команды создания трехмерных объектов находятся в меню DRAW подменю Modeling (рис. 2.1).

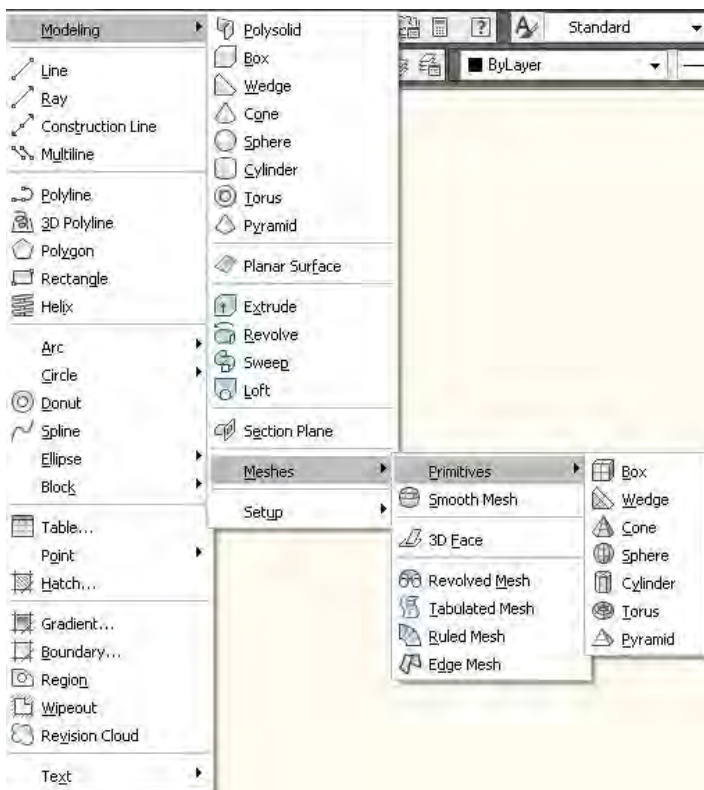


Рис. 2.1. Меню создания трехмерных объектов

Некоторые дополнительные возможности дают инструментальные панели.

Для моделирования поверхностей предназначены панели Smooth meshes primitives и Smooth meshes. Эти панели показаны на рис. 2.2, причем на панели Smooth meshes (она нижняя) имеется выдвижное меню, позволяющее использовать команды создания семи основных поверхностных фигур – параллелепипеда, конуса, цилиндра, пирамиды, сферы, клина и тора.

Эти же фигуры могут быть смоделированы с помощью панели Smooth meshes primitives (она вверху рисунка).

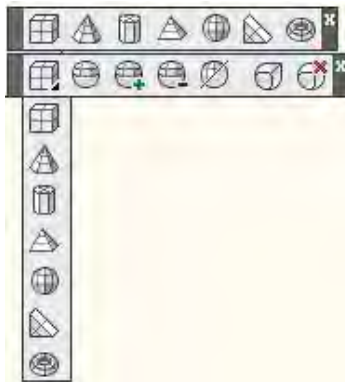


Рис. 2.2. Панели создания поверхностных моделей

Для твердотельного моделирования используются панели Modeling и Solid Editing, показанные на рис. 2.3.



Рис. 2.3. Панели создания тел

В системе AutoCAD используются следующие типы моделирования для создания трехмерных тел:

- каркасное или проволочное;
- поверхностное или полигональное;
- твердотельное или объемное.

Термин **каркасные** (*wireframe* или дословно — *проволочные*) **модели** в AutoCAD используется для обозначения трехмерных объектов, которые определяются координатами вершин и соединяющими их ребрами. Этот вид моделирования является скорее вспомогательным, поскольку эти модели не содержат информации ни о поверхностях, ни об объеме объекта, но могут быть преобразованы в более сложные, например, твердотельные модели.

**Поверхностные** модели, которые моделируются отсеками плоскостей, имеют большое преимущество перед каркасными моделями по наглядности, что существенно упрощает их восприятие. Методы поверхностного моделирования позволяют создавать вполне реалистические изображения объектов нерегулярной формы – рельефные карты и другие поверхности произвольной формы.

Кривизна поверхностей аппроксимируется сетью (*meshes*) или набором плоских граней, расположенных под различными углами и воспринимаемых как паутина из взаимно пересекающихся линий. В AutoCAD сеть определяется вершинами (иногда их называют узлами) – точками, где ребра граней пересекаются.

Однако информацию относительно физических свойств объекта – его массы, центра тяжести и т. п. – из каркасных и поверхностных моделей получить нельзя. Эти характеристики могут быть получены только для твердотельных моделей.

Самым реалистичным видом моделей AutoCAD являются **твердотельные модели**, которые наиболее полно отражают реальные свойства моделируемых объектов и которые условно будем называть телами. Твердотельное моделирование позволяет формировать объекты с учетом логической связности информации за счет введения понятий о материале модели и его свойствах. Над телами выполняются логические операции булевой алгебры, что позволяет создавать сложные тела на основе простых.

Учитывая наибольшую перспективность твердотельного моделирования, далее будем рассматривать только его.

Для работы в трех измерениях, кроме стандартных осей  $X$  и  $Y$ , используется еще и ось  $Z$ . Вид, который использовался в двумерных чертежах, подобен взгляду на объект сверху. В AutoCAD такой вид называется *видом в плане*. Для того чтобы увидеть объект, созданный в трех измерениях, необходимо соответствующим образом выбрать точку наблюдения и посмотреть на объект из нее.

Все способы ввода двумерных координат имеют свои аналоги, работающие в пространстве.

При работе с трехмерными объектами, кроме декартовых и полярных координат (абсолютных и относительных), весьма удобными могут оказаться цилиндрические и сферические координаты.

**Цилиндрические** координаты имеют формат

расстояние < угол, расстояние (для абсолютных координат)

или

@ расстояние < угол, расстояние (для относительных координат).

Первое расстояние – длина проекции на плоскость  $XU$  вектора, начинающегося в начале координат (для абсолютных координат) или в последней введенной точке (для относительных координат).

Угол отсчитывается от оси  $X$  в плоскости  $XU$  против часовой стрелки.

Второе расстояние – число единиц вдоль оси  $Z$ .

При вычерчивании отрезка с помощью цилиндрических координат его длина не вводится.

**Сферические** координаты имеют формат

расстояние < угол < угол (в абсолютных координатах)

или

@ расстояние < угол < угол (в относительных координатах).

Первое расстояние – длина вектора, начинающегося в начале координат (для абсолютных координат) или в последней введенной точке (для относительных координат).

Первый угол отсчитывается от оси  $X$  в плоскости  $XU$ , второй – от плоскости  $XU$  в направлении оси  $Z$ .

## 2.1. Формирование простых объемных тел

Моделирование с помощью тел – это самый оптимальный способ трехмерного моделирования. Средства AutoCAD позволяют создавать трехмерные объекты на основе базовых пространственных форм:

*параллелепипедов, конусов, цилиндров, сфер, клинов и торов (колец).* Из этих форм путем их объединения, вычитания и пересечения строятся более сложные пространственные тела. Кроме того, тела можно строить, сдвигая плоские объекты вдоль заданного вектора или вращая его вокруг оси.

*Твердотельный объект* или *тело* представляет собой изображение объекта помимо всего прочего хранящее, информацию о его объемных свойствах. Тела наиболее полно из всех типов трехмерных моделей отражают моделируемые объекты. Кроме того, несмотря на кажущуюся сложность тел, их легче строить и редактировать, чем каркасные модели и сети.

Как и сети, тела выглядят аналогично проволочным моделям, до тех пор пока к ним не применены операции подавления скрытых линий, раскрашивания и тонирования. В отличие от всех остальных моделей у тел можно анализировать массовые свойства: объем, момент инерции, центр масс и т. п.

Тела могут быть преобразованы в более простые типы моделей – сети и каркасные модели.

Приведем некоторые геометрические понятия, используемые в трехмерном твердотельном моделировании:

*грань* – ограниченная часть поверхности. Если поверхность может быть неограниченной, то грань ограничена всегда. Поддерживается пять типов граней: планарные, цилиндрические, конические, сферические и тороидальные. Грани образуют твердотельную модель;

*ребро* – элемент, ограничивающий грань. Поддерживаются четыре типа ребер: прямолинейные, эллиптические (круговые), параболические и гиперболические. Например, грань куба ограничена четырьмя прямолинейными ребрами, а коническая – в основании одним эллиптическим или круговым ребром;

*тело* – часть пространства, ограниченная замкнутой поверхностью и имеющая определенный объем;

*тело (примитив)* – базовый твердотельный объект, который можно создать и строить из него более сложные твердотельные модели;

*область* – часть плоскости, ограниченная одной или несколькими планарными гранями, которые называются *границами*. Например, квадрат с кругом внутри имеет внешнюю границу, состоящую из четырех прямолинейных ребер, и внутреннюю – из одного кругового ребра;

*область как примитив* – замкнутая двумерная область, которая получена путем преобразования существующих двумерных примитивов AutoCAD, имеющих нулевую высоту (кругов, фигур, двумерных полилиний, многоугольников, эллипсов, колец и полос), и описана как тело без высоты;

*составная область* – единая область, получаемая в результате выполнения логических операций объединения, вычитания или пересечения нескольких областей. Она может иметь отверстия, и для нее так же, как и для твердых тел, можно вычислить площадь и другие характеристики;

*объект* – общее наименование области или тел, причем тип объекта не имеет значения: это может быть область, тело или составная модель (группа объектов, связанных в единое целое).

Простейшие тела, из которых строятся сложные трехмерные объекты, называют *твердотельными примитивами*. К ним относятся параллелепипед, цилиндр (круговой, эллиптический), сфера, конус, политело, пирамида, шар, тор. С помощью соответствующих команд можно создать модели заданных размеров, введя требуемые значения.

Примитивы заданной формы также создаются путем выдавливания, осуществляемого командой EXTRUDE, вращением двумерного объекта – командой REVOLVE и более сложными командами – сдвига, лотинга и вытягивания SWEEP, LOFT и PRESSPULL.

Из примитивов получают более сложные объемные модели объектов. Все вышеназванные команды запускаются из падающего меню Draw-Modeling или с плавающей панели инструментов Modeling.

Рассмотрение принципов формирования твердотельных моделей начнем с базовых геометрических тел. Таких в AutoCAD восемь – политело, параллелепипед, конус, цилиндр, пирамида, сфера, клин и тор.

### ***Построение твердотельных базовых фигур***

**ПОЛИТЕЛО.** Команда POLYSOLID строит *тело* с прямоугольным профилем, которое может содержать криволинейные сегменты или преобразует в него имеющуюся линию, двумерную полилинию, дугу или окружность. Профиль при этом всегда является прямоугольным.

**Формат команды POLYSOLID:**

Specify start point or [Object/Height/Width/Justify] <Object>: – указать начальную точку для профиля тела или выбрать одну из опций;  
Specify next point or [Arc/Undo]: — указать следующую точку.

**Опции команды POLYSOLID:**

Object – указывается объект для преобразования в тело: линия, дуга, двумерная полилиния или окружность;

Height – указывается высота тела, которая по умолчанию равна текущему значению системной переменной PSOLHEIGHT;

Width – указывается ширина, которая равна текущему значению системной переменной PSOLWIDTH;

Justify – задаются значения ширины и высоты, обеспечивающие выравнивание тела. Выравнивание привязывается к начальному направлению первого сегмента профиля;

Left – слева;

Center – по центру;

Right – справа;

Arc – к телу добавляется дуговой сегмент. Начальным направлением дуги по умолчанию является касательная к последнему построенному сегменту.

При этом команда выдает следующие запросы:

Specify start point or [Object/Height/Width/Justify] <Object>: – указать начальную точку для профиля тела или выбрать одну из опций;

Specify next point or [Arc/Undo]: – указать следующую точку;

Specify next point or [Arc/Undo]: A – переход в режим дуг;

Specify end point of arc or [Close/Direction/Line/Second point/Undo]: – указать конечную точку дуги или выбрать одну из опций;

Close – тело замыкается путем построения линейного или дугового сегмента от заданной последней вершины до начальной точки тела. Для применения этой опции следует указать как минимум две точки;

Direction – задание начального направления дугового сегмента;

Line – выход из режима построения дуговых сегментов и возврат к начальным запросам команды POLYSOLID;

Second point – указываются вторая точка и конечная точка трехточечного дугового сегмента;

Undo – удаление последнего дугового сегмента, добавленного к телу.

Нетрудно видеть, что технология построения полителя практически идентична построению полилинии.

**Упражнение 1.** С помощью команды Polysolid построить фигуры, в основании которых лежат: пятиугольник, вписанный в окружность диаметром 100 мм, высотой 150 мм и шириной 20 мм; прямоугольник размерами 150 на 230 мм, высотой 180 и шириной 45 мм; полилиния произвольных размеров с очертаниями полилинии рис. 2.4 высотой 90 и шириной 60 мм.

**ВНИМАНИЕ!** Построенные во всех примерах фигуры необходимо визуализировать в соответствии с рекомендациями главы 4.

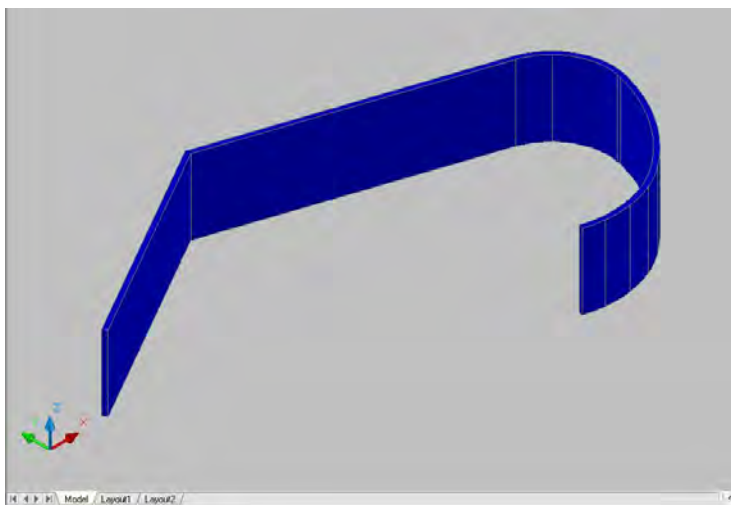


Рис. 2.4. Политело, сформированное командой Polysolid

**ПАРАЛЛЕЛЕПИПЕД.** Команда BOX формирует твердотельный параллелепипед (рис. 2.5). Основание параллелепипеда всегда параллельно плоскости  $XY$  текущей ПСК.



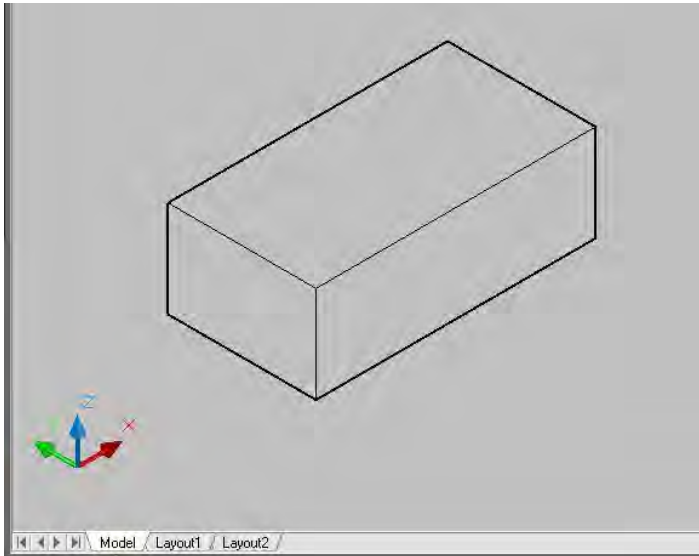


Рис. 2.5. Тело, сформированное командой BOX

**Формат команды BOX:**

Specify first corner or [Center]: – указать первый угол параллелепипеда

Specify other corner or [Cube/Length]: – указать противоположный угол параллелепипеда

Specify height or [2Point]: – указать высоту параллелепипеда.

При формировании параллелепипеда следует задать параметры в одном из нижеперечисленных вариантов:

положение диагонально противоположных углов;

положение противоположных углов основания и высота;

положение центра ящика с назначением угла или высоты либо длины и ширины ящика.

**Опции команды BOX:**

Center – позволяет сформировать ящик, указав положение его центральной точки. При этом выдаются запросы:

Specify first corner or [Center]: C – переход в режим указания центра параллелепипеда,

Specify center: – указать центр параллелепипеда,

Specify corner or [Cube/Length]: – указать угол,

Specify height or [2Point]: – указать высоту;

Cube – создает куб, то есть параллелепипед, у которого все ребра равны, при этом выдаются запросы:

Specify first corner or [Center]: – указать угол параллелепипеда,

Specify other corner or [Cube/Length]: C – переход в режим формирования куба,

Specify length: – указать длину,

Length – создает параллелепипед заданных длины (по оси  $X$ ), ширины (по оси  $Y$ ) и высоты (по оси  $Z$ ) текущей ПСК. При этом выдаются запросы:

Specify first corner or [Center]: — указать угол параллелепипеда,

Specify other corner or [Cube/Length]: L — переход в режим указания длины, ширины и высоты,

Specify length: – указать длину,

Specify width: – указать ширину,

Specify height or [2Point]: – указать высоту.

**КЛИН.** Команда WEDGE формирует твердотельный *клин* (рис. 2.6).

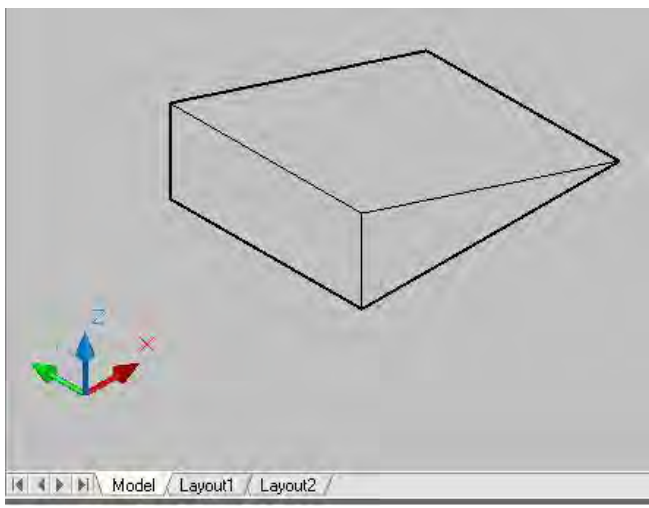


Рис. 2.6. Тело, сформированное командой Wedge

Формат команды WEDGE:

Specify first corner or [Center]: – указать первый угол клина;

Specify other corner or [Cube/Length]: – указать противоположный угол клина;

Specify height or [2Point]: – указать высоту.

Основание клина всегда параллельно плоскости построений  $XY$  текущей системы координат; при этом наклонная грань располагается напротив первого указанного угла основания. Высота клина может быть как положительной, так и отрицательной и обязательно параллельна оси  $Z$ .

Все запросы и ключи команды WEDGE аналогичны запросам и ключам команды BOX.

**Упражнение 2.** Построить параллелепипед и клин размерами 200 на 450 мм в плане и 135 мм высотой.

**КОНУС.** Команда CONE формирует твердотельный конус (рис. 2.7), основание которого (окружность или эллипс) лежит в плоскости  $XY$  текущей системы координат, а вершина располагается по оси  $Z$ .

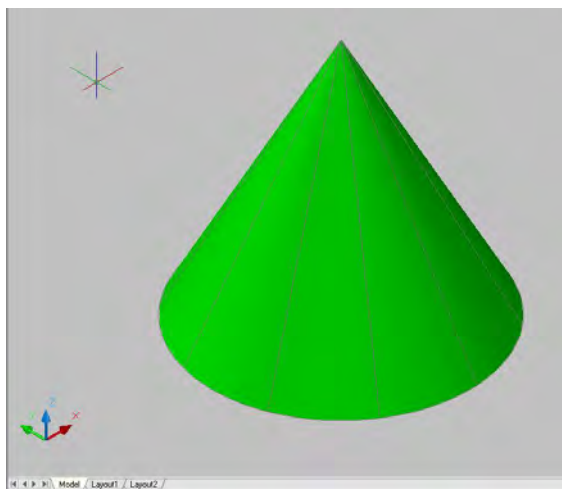


Рис. 2.7. Формирование конуса

**Формат команды CONE:**

Specify center point of base or [3P/2P/Ttr/Elliptical]: – указать центральную точку основания конуса;

Specify base radius or [Diameter]: – указать радиус основания конуса;

Specify height or [2Point/Axis endpoint/Top radius]: – указать высоту конуса.

**Опции команды CONE:**

**3P** – строит основание конуса в виде окружности по трем точкам, лежащим на ней. При использовании этого ключа команда CONE выдает следующие запросы:

Specify center point of base or [3P/2P/Ttr/Elliptical]: 3P – переход в режим построения окружности по трем точкам,

Specify first point: – указать первую точку окружности,

Specify second point: – указать вторую точку окружности,

Specify third point: – указать третью точку окружности,

Specify height or [2Point/Axis endpoint/Top radius]: – указать высоту конуса;

**2P** – строит основание конуса в виде окружности по двум точкам, лежащим на диаметре. При использовании этой опции ключа команда CONE выдает следующие запросы:

Specify center point of base or [3P/2P/Ttr/Elliptical]: 2P – переход в режим построения окружности по двум точкам,

Specify first end point of diameter: – указать первую конечную точку диаметра,

Specify second end point of diameter: – указать вторую конечную точку диаметра,

Specify height or [2Point/Axis endpoint/Top radius]: – указать высоту конуса,

**Ttr** – строит основание конуса в виде окружности по двум касательным и радиусу.

При использовании этой опции команда CONE выдает следующие запросы:

Specify center point of base or [3P/2P/Ttr/Elliptical]: TTR – переход в режим построения окружности по двум касательным и радиусу,

Specify point on object for first tangent: – указать точку на объекте, задающую первую касательную,

Specify point on object for second tangent: – указать точку на объекте, задающую вторую касательную,

Specify radius of circle: – указать радиус окружности,

Specify height or [2Point/Axis endpoint/Top radius]: – указать высоту конуса,

Elliptical – позволяет создавать основание конуса в виде эллипса. Запросы аналогичны тем, что используются в AutoCAD при создании эллипса:

Specify center point of base or [3P/2P/Tr/Elliptical]: E – переход в режим указания основания конуса в виде эллипса,

Specify end point of first axis or [Center]: – указать конечную точку оси эллипса для основания конуса,

Specify other end point of first axis: – указать вторую конечную точку оси эллипса для основания конуса,

Specify end point of second axis: – указать длину другой оси для основания конуса,

Specify height or [2Point/Axis endpoint/Top radius]: – указать высоту конуса;

2Point – указывает, что высотой конуса является расстояние между двумя заданными точками;

Axis end point – задает положение конечной точки для оси конуса, которой является верхняя точка конуса или центральная точка верхней грани усеченного конуса. Конечная точка оси может быть расположена в любой точке трехмерного пространства. Она определяет длину и ориентацию конуса;

Top radius – определяет радиус при вершине усеченного конуса.

**Упражнение 3.** Построить конусы высотой 200 мм, в основании которых лежат: окружность диаметром 120 мм и эллипс с размерами большой оси 100 и малой 65 мм.

**ШАР.** Команда SPHERE формирует твердотельный шар (сферу) (рис. 2.8). Для этого достаточно задать его радиус или диаметр. Каркасное представление шара располагается таким образом, что его центральная ось совпадает с осью Z текущей системы координат.

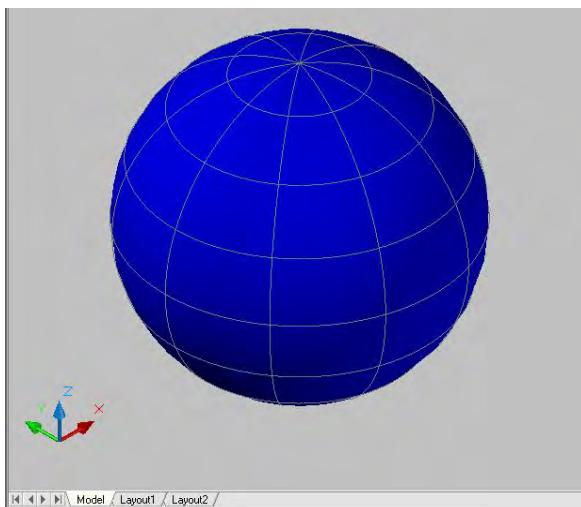


Рис. 2.8. Формирование шара

**Формат команды SPHERE:**

Specify center point or [3P/2P/Ttr]: – указать центр шара;

Specify radius or [Diameter]: – указать радиус шара.

**Опции команды SPHERE:**

**3P** – определяет окружность сферы путем задания трех произвольных точек в трехмерном пространстве. Три заданные точки также определяют плоскость окружности шара. При этом команда **SPHERE** выдает следующие запросы:

Specify center point or [3P/2P/Ttr]: 3P – переход в режим задания трех произвольных точек,

Specify first point: – указать первую точку,

Specify second point: – указать вторую точку,

Specify third point: – указать третью точку;

**2P** – определяет окружность сферы путем задания двух произвольных точек в трехмерном пространстве. Плоскость окружности шара определяется координатой *Z* первой точки. При этом команда **SPHERE** выдает следующие запросы:

Specify center point or [3P/2P/Ttr]: 2P – переход в режим задания двух произвольных точек,

Specify first end point of diameter: – указать первую конечную точку диаметра,

Specify second end point of diameter: – указать вторую конечную точку диаметра,

Ttr – построение шара по заданному радиусу, касательному к двум объектам.

Указанные точки касания проецируются на текущую ПСК.

При этом команда SPHERE выдает следующие запросы:

Specify center point or [3P/2P/Ttr]: T – переход в режим задания касательных и радиуса;

Specify point on object for first tangent: – указать на объекте точку для первой касательной;

Specify point on object for second tangent: — указать на объекте точку для второй касательной;

Specify radius of circle: — указать радиус.

**Упражнение 4.** Построить сферы заданных параметров:

- радиуса 125 мм с центром в точке 200, 300, 300;

- по трем точкам: А (100, 100, 100), В (150, 150, 150), С (100, 150, 200);

- двум точкам: А (120, 140, 150), В (220, 150, 180). Определить диаметр построенных по точкам сфер.

**ЦИЛИНДР.** Команда CYLINDER формирует твердотельный цилиндр (рис. 2.9).

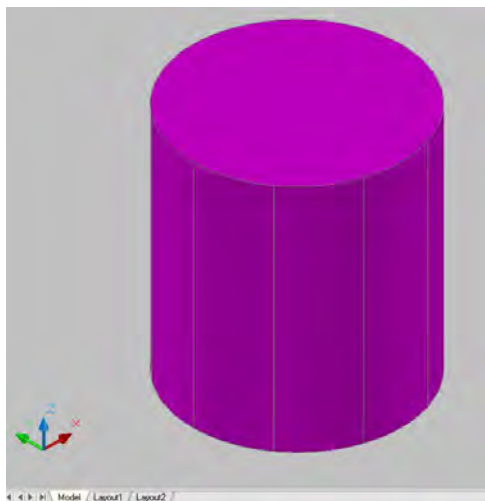


Рис. 2.9. Формирование цилиндра

Опции команды CYLINDER:

Specify center point of base or [3P/2P/Ttr/Elliptical]: – указать центральную точку основания цилиндра,

Specify base radius or [Diameter]: – указать радиус основания цилиндра;

Specify height or [2Point/Axis endpoint]: – указать высоту цилиндра.

Информация, необходимая для описания цилиндра, аналогична той, что используется для описания конуса, поэтому запросы команды CYLINDER совпадают с запросами команды CONE.

**Упражнение 5.** Построить цилиндры заданных параметров:

- радиус основания 115 мм с центром в точке 200, 300, 0 и высотой 345 мм;

- по двум точкам: А (100, 100, 100), В (150, 150, 150) высотой 155 мм;

- с эллиптическим основанием: точки А (120, 140, 150) и В (220, 140, 150) – задают большую ось эллипса, точка С (250, 40, 150) высотой 300 мм.

**ТОР.** Команда TORUS формирует твердотельный *тор*, по форме напоминающий бублик. При этом необходимо ввести значения радиуса образующей окружности трубы и радиуса, определяющего расстояние от центра тора до центра трубы. Тор строится параллельно плоскости *XY* текущей системы координат (рис. 2.10).

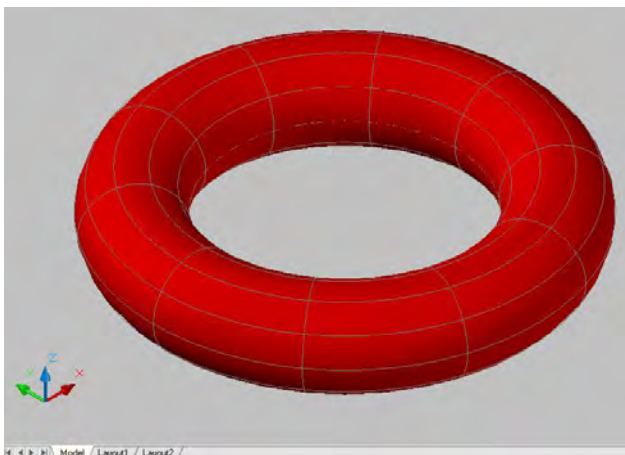


Рис. 2.10. Формирование тора



### Запросы команды TORUS:

Specify center point or [3P/2P/Ttr]: – указать центр тора;

Specify radius or [Diameter]: – указать радиус тора;

Specify tube radius or [2Point/Diameter]: – указать радиус полости.

### Опции команды TORUS:

3P – задание длины окружности тора по трем точкам. Три заданные точки также определяют плоскость окружности тора.

При этом команда TORUS выдает следующие запросы:

Specify center point or [3P/2P/Ttr]: 3P – переход в режим задания трех точек,

Specify first point: – указать первую точку,

Specify second point: – указать вторую точку,

Specify third point: – указать третью точку,

Specify tube radius or [2Point/Diameter]: – указать радиус полости;

2P – задание длины окружности тора по двум точкам. Плоскость окружности шара определяется координатой Z первой точки. При этом команда TORUS выдает следующие запросы:

Specify center point or [3P/2P/Ttr]: 2P – переход в режим задания двух точек,

Specify first end point of diameter: – указать первую конечную точку диаметра,

Specify second end point of diameter: – указать вторую конечную точку диаметра,

Specify tube radius or [2Point/Diameter]: – указать радиус полости;

Ttr – построение тора по заданному радиусу, касающемуся двух объектов.

Указанные точки касания проецируются на текущую ПСК.

При этом команда TORUS выдает следующие запросы:

Specify center point or [3P/2P/Ttr]: T – переход в режим задания двух касательных и радиуса;

Specify point on object for first tangent: – указать на объекте точку для первой касательной;

Specify point on object for second tangent: – указать на объекте точку для второй касательной;

Specify radius of circle: – указать радиус;

Specify tube radius or [2Point/Diameter]: – указать радиус полости.

Радиус тора может иметь отрицательное значение, но радиус трубы должен быть положительным и превосходить абсолютную вели-

чину радиуса тора (например, если радиус тора равен  $-2,0$ , то радиус трубы должен быть больше  $+2,0$ ). Данное условие необходимо соблюдать, чтобы не получить в итоге пустое тело (тело без объема). При этом сформированный объект имеет форму мяча для регби.

Допускается построение закрытых торов – таких, у которых нет центрального отверстия. Для этого нужно задавать радиус сечения большим, чем радиус тора.

**Упражнение 6.** Построить торы заданных параметров:

- радиус тора 90 мм, радиус трубы 30 мм;
- радиус тора 60 мм, радиус трубы 65 мм;
- радиус тора – минус 60 мм, радиус трубы 90 мм. Точки центра торов выбрать самостоятельно.

**ПИРАМИДА.** Команда PYRAMID формирует твердотельную пирамиду (рис. 2.11).

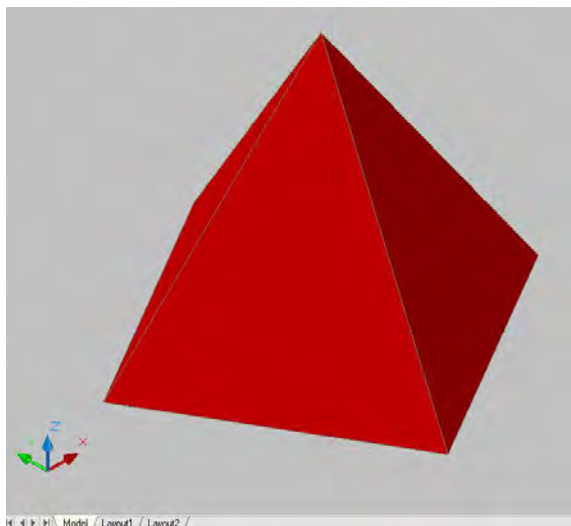


Рис. 2.11. Формирование пирамиды

Опции команды PYRAMID:

4 sides Circumscribed – текущие значения количества сторон и режима «описанный / вписанный» в окружность для контура основания;

Specify center point of base or [Edge/Sides]: – указать центральную точку основания или одну из опций;

Specify base radius or [Inscribed]: – указать радиус основания;

Specify height or [2Point/Axis end point/Top radius]: – указать высоту или одну из опций.

Опции команды PYRAMID:

Edge – указывается длина одной кромки основания пирамиды.

При этом команда PYRAMID выдает следующие запросы:

Specify center point of base or [Edge/Sides]: E – переход в режим указания кромки,

Specify first end point of edge: – указать первую конечную точку стороны,

Specify second end point of edge: — указать вторую конечную точку стороны,

Specify height or [2Point/Axis end point/Top radius]: – указать высоту или одну из опций;

Sides – указывается количество сторон для пирамиды. Возможен ввод значения от 3 до 32. При этом команда PYRAMID выдает следующие запросы:

Specify center point of base or [Edge/Sides]: S – переход в режим указания количества сторон,

Enter number of sides: – указать количество сторон,

Specify center point of base or [Edge/Sides]: – указать центральную точку основания или одну из опций,

Specify base radius or [Inscribed]: – указать радиус основания,

Specify height or [2Point/Axis end point/Top radius]: – указать высоту или одну из опций;

Inscribed – указывается, что основание пирамиды вписывается в пределах (строится внутри) радиуса основания пирамиды. При этом команда PYRAMID выдает следующие запросы:

Specify center point of base or [Edge/Sides]: – указать центральную точку основания или одну из опций,

Specify base radius or [Inscribed]: I – переход в режим построения основания, вписанного в окружность,

Specify base radius or [Circumscribed]: – указать радиус основания,

Specify height or [2Point/Axis end point/Top radius]: – указать высоту или одну из опций;

Circumscribed – указывается, что основание пирамиды описывается вокруг (строится по периметру) радиуса основания пирамиды. При этом команда PYRAMID выдает следующие запросы:

Specify center point of base or [Edge/Sides]: – указать центральную точку основания или одну из опций,

Specify base radius or [Circumscribed]: C – переход в режим построения основания, описанного вокруг окружности,

Specify base radius or [Inscribed]: – указать радиус основания,

Specify height or [2Point/Axis endpoint/Top radius]: – указать высоту или одну из опций:

2Point – указывается, что высота пирамиды равняется расстоянию между двумя указанными точками. При этом команда PYRAMID выдает следующие запросы:

Specify center point of base or [Edge/Sides]: – указать центральную точку основания или одну из опций,

Specify base radius or [Inscribed]: – указать радиус основания,

Specify height or [2Point/Axis endpoint/Top radius]: 2P – переход в режим указания высоты пирамиды с помощью двух точек,

Specify first point: – указать первую точку,

Specify second point: указать вторую точку,

Axis end point – указывается местоположение конечной точки для оси пирамиды. Данная конечная точка является вершиной пирамиды. Конечная точка оси определяет длину пирамиды и ее положение в пространстве. При этом команда PYRAMID выдает следующие запросы:

Specify center point of base or [Edge/Sides]: – указать центральную точку основания или одну из опций,

Specify base radius or [Inscribed]: – указать радиус основания,

Specify height or [2Point/Axis endpoint/Top radius]: A – переход в режим указания конечной точки оси пирамиды,

Specify axis end point: – указать конечную точку оси;

Top radius – указывается верхний радиус пирамиды при создании усеченной пирамиды. При этом команда PYRAMID выдает следующие запросы:

Specify center point of base or [Edge/Sides]: – указать центральную точку основания или одну из опций,

Specify base radius or [Inscribed]: – указать радиус основания,

Specify height or [2Point/Axis endpoint/Top radius]: T – переход в режим указания верхнего радиуса пирамиды,

Specify top radius: – указать радиус верхнего основания,  
Specify height or [2Point/Axis endpoint]: – указать высоту.

**Упражнение 7.** Построить пирамиды с заданными параметрами:

- трехгранная с радиусом основания 90 мм, высотой 230 мм;
- пятигранная с радиусом основания 120 мм, высотой 300 мм;
- шестигранная усеченная с радиусом основания 150, верхним радиусом 80, высотой 190 мм.

При вычерчивании фигур необходимо иметь в виду следующее. Криволинейные поверхности отображаются с помощью сегментов. При их вычерчивании AutoCAD запрашивает количество выводимых линий. Отображение всех криволинейных поверхностей в чертеже регулируется с помощью системной переменной ISOLINES (ИЗОЛИНИИ). Значение этой переменной по умолчанию – 4, что составляет допустимый минимум кривых, позволяющий оценить форму криволинейной поверхности. При этом значении отображение происходит наиболее быстро.

При увеличении значения переменной ISOLINES качество отображения криволинейной поверхности повышается, но скорость отображения уменьшается. Переменная ISOLINES действует только при отображении каркасной модели, она не влияет на изображение, которое получается после удаления невидимых линий в результате выполнения команды HIDE (СКРОЙ).

На рис. 2.12 показано, как влияют разные значения переменной ISOLINES на изображение шара.

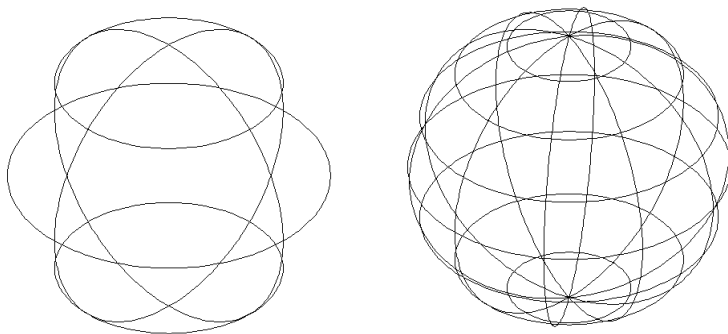


Рис. 2.12. Изображение шара при разных значениях системной переменной isolines (значение 4 – слева, 8 – справа)

## 2.2. Создание сложных тел

### 2.2.1. Создание выдавленных тел

Команда EXTRUDE (ВЫДАВИ) служит для создания тел из замкнутых плоских объектов (профилей).

Для выдавливания можно использовать замкнутые полилинии на плоскости, круги, эллипсы, замкнутые сплайновые кривые, кольца и области. Можно выбрать несколько объектов и выполнить выдавливание за один раз. На рис. 2.13 показано несколько выдавленных тел, созданных на основе эллипса и замкнутой полилинии. Тело, созданное на основе эллипса, сформировано с сужением.

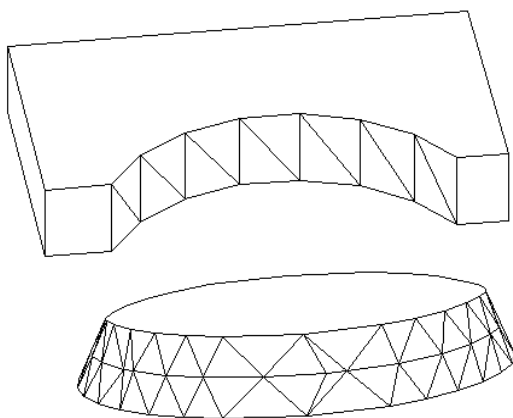


Рис. 2.13. Примеры тел, полученных выдавливанием

Можно выдавливать объект вдоль некоторой направляющей. Направляющая может быть задана отрезком, окружностью, дугой, эллипсом, эллиптической дугой, полилинией или сплайновой линией. Направляющая должна лежать в плоскости, отличной от плоскости исходного объекта.

Порядок работы с командой следующий. Сначала следует начертить исходный профиль, который будет выдавливаться. Если выдавливание будет выполняться вдоль направляющей, начертить направляющую.

Выбрать команду Extrude:

Command: `_extrude`

Current wire frame density: ISOLINES=4

Select objects to extrude: – выберите объект или объекты для выдавливания

Specify height of extrusion or [Direction/Path/Taper angle] <30.0000>:

В ответ на приглашение Specify height of extrusion or [Direction/Path /Taper angle]: (Задайте высоту выдавливания или [Направление / Траектория/ Угол сужения:] указать высоту выдавливания или воспользоваться одной из указанных опций.

Опции команды EXTRUDE:

Direction – определяет длину и направление выдавливания;

Path – позволяет указать высоту и направление выдавливания по заданной траектории;

Taper angle – позволяет задать угол сужения конуса для выдавливания.

Если выбрана опция Path (Траектория), появится приглашение Select extrusion path: (Укажите траекторию выдавливания): – выделить объект, который является направляющей. Именно вдоль него и производится выдавливание.

Нажмите <Enter>, чтобы закончить выделение.

После ввода численных параметров высоты и угла сужения повторно нажать <Enter>.

На рис. 2.14 показана замкнутая полилиния и созданное на ее основе тело – уголкового профиля.

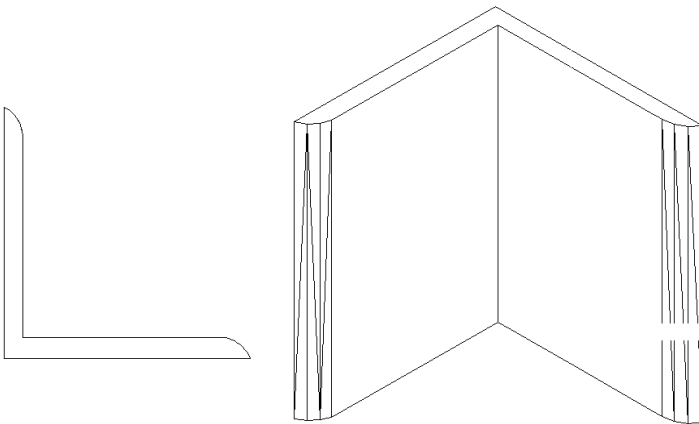
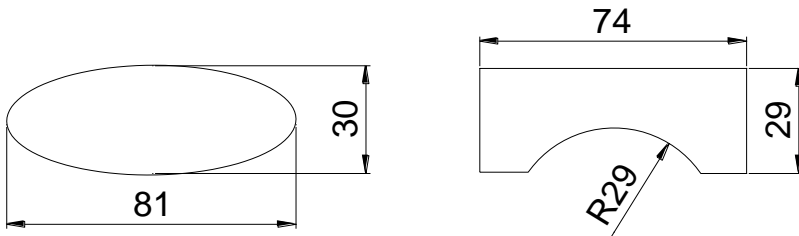


Рис. 2.14. Твёрдотельный уголкового профиля

**Упражнение 8.** На основе показанных ниже плоских фигур построить выдавленные тела высотой 40 мм с углом сужения  $7^\circ$ .



### 2.2.2. Построение тел вращения

С помощью команды REVOLVE (ВРАЩАЙ) можно создавать тела вращения из замкнутых контуров. В качестве образующей кривой для создания тела вращения используются замкнутые плоские полилинии, окружности, эллипсы, замкнутые сплайновые линии и области. В определенный момент времени можно вращать только один объект.

Порядок работы с командой следующий.

Начертить исходный профиль, который будет вращаться.

Command: `_revolve`

Current wire frame density: ISOLINES=4 – текущая плотность каркаса;

Select objects to revolve: – выбрать объекты для вращения;

Select objects to revolve: – нажать клавишу Enter для завершения выбора объектов для вращения;

Specify axis start point or define axis by [Object/X/Y/Z] <Object>: – указать начальную точку оси вращения;

Specify axis end point: – указать конечную точку оси вращения;

Specify angle of revolution or [Start angle] <360>: – указать угол вращения.

Опции команды REVOLVE:

Object – требует указания объекта, используемого в качестве оси. Конец этого отрезка (сегмента), ближайший к точке указания, становится началом оси. Ее положительное направление определяется по правилу правой руки;



X – использует в качестве оси вращения положительную ось X текущей ПСК;

Y – использует в качестве оси вращения положительную ось Y текущей ПСК;

Z – использует в качестве оси вращения положительную ось Z текущей ПСК.

Осями вращения могут быть отрезки, линейные сегменты полилинии, две заданные точки, линейные кромки фигур.

На рис. 2.15 показано тело, созданное вращением замкнутого контура вокруг оси, которая представлена отрезком.

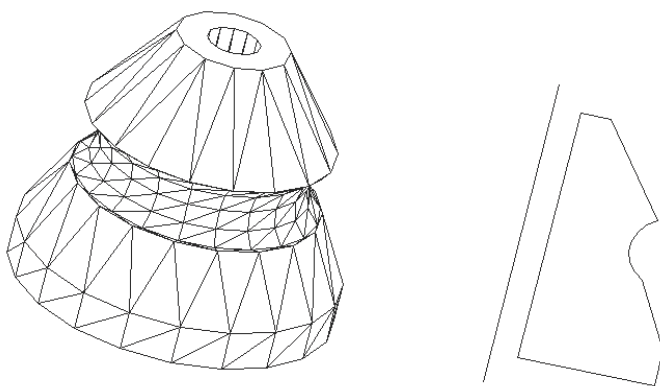


Рис. 2.15. Тело, сформированное командой Revolve

**Упражнение 9.** Построить тело вращения на основе:

- прямоугольника размерами  $40 \times 10$  мм вокруг оси, смещенной наружу на 10 мм, с углом вращения  $210^\circ$ ;

- равнобедренного треугольника, вписанного в окружность радиусом 30 мм, вокруг оси, смещенной наружу на 20 мм, с углом вращения  $360^\circ$ .

### 2.2.3. Построение тел сдвига

Команда SWEEP формирует новый твердотельный объект путем сдвига разомкнутой или замкнутой плоской кривой (контур) вдоль разомкнутой или замкнутой двумерной или трехмерной траектории.

**Формат команды SWEEP:**

Current wire frame density: ISOLINES=4 – текущая плотность каркаса;

Select objects to sweep: – **выбрать объекты для сдвига**;

Select objects to sweep: – **нажать клавишу Enter для завершения выбора объектов для сдвига**;

Select sweep path or [Alignment/Base point/Scale/Twist]: – **выбрать траекторию сдвига или одну из опций**.

**Опции команды SWEEP:**

Alignment – **выравнивание**. Определяет, будет ли профиль выровнен по нормали к касательной траектории сдвига;

Base point – **указание базовой точки для объектов, подлежащих сдвигу**. Если указанная точка не лежит в плоскости выбранных объектов, она проецируется на эту плоскость;

Scale – **указание масштабного коэффициента для операции сдвига**. Объекты, сдвигаемые из начальной точки траектории в конечную, масштабируются как единый объект;

Twist – **указание угла закручивания для объектов, подлежащих сдвигу**. Угол закручивания определяет вращение вдоль всей длины траектории сдвига.

Операция сдвига отличается от операции выдавливания тем, что при выполнении сдвига контур перемещается и устанавливается перпендикулярно к траектории, затем сдвигается вдоль нее. При сдвиге вдоль замкнутой кривой получается тело, а при разомкнутой – поверхность.

Для построения тела сдвига можно использовать следующие объекты: отрезок, дугу, эллиптическую дугу, двумерную полилинию, двумерный сплайн, окружность, эллипс, плоскую трехмерную грань, двумерное тело, полосу, область, плоскую поверхность, плоские грани тела.

В качестве траектории используются следующие объекты: отрезок, дуга, эллиптическая дуга, двумерная полилиния, двумерный сплайн, окружность, эллипс, трехмерный сплайн, трехмерная полилиния, спираль, кромки тела или поверхности.

На рис. 2.16 показано тело сдвига, созданное на основе дуги и окружности в качестве траектории сдвига.

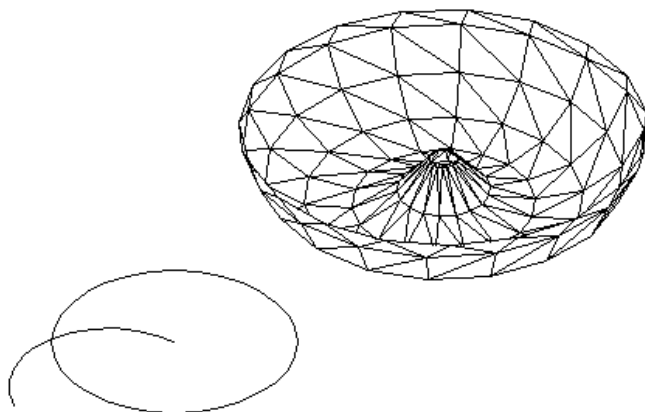


Рис. 2.16. Тело, сформированное командой SWEEP

**Упражнение 10.** Построить тела сдвига на основе показанных на рис. 2.17 фигур. Размеры принять произвольно. А – контур сдвига, Б – траектория сдвига.

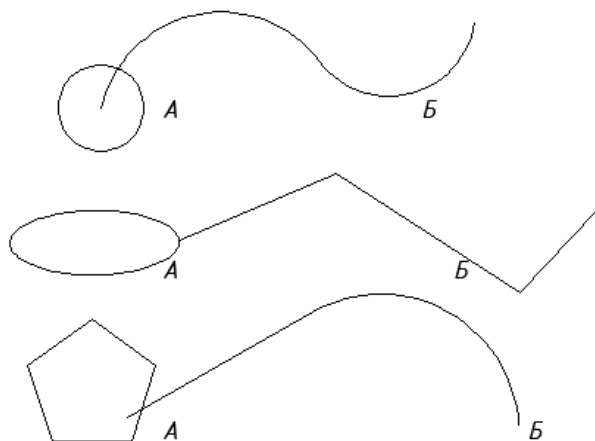


Рис. 2.17. Фигуры к упражнению 10

## 2.2.4. Тело, созданное с помощью сечений

Команда LOFT позволяет создавать новые тела или поверхности, задавая ряд поперечных сечений.

При построении тела или поверхности с помощью команды LOFT следует указать как минимум два поперечных сечения, которые определяют форму результирующего объекта.

Формат команды LOFT:

Select cross-sections in lofting order: – выбрать поперечные сечения в восходящем порядке;

Select cross-sections in lofting order: – нажать клавишу Enter для завершения выбора объектов;

Enter an option [Guides/Path/Cross-sections only] <Cross-sections only>: – ввести одну из опций.

Опции команды LOFT:

Guides – задает направляющие кривые, которые управляют формой создаваемого объекта путем добавления информации каркаса к объекту. Для получения корректного результата каждая направляющая кривая должна пересекать каждое поперечное сечение, начинаться на первом поперечном сечении, завершаться на последнем поперечном сечении;

Path – задает одиночную траекторию для создаваемого по сечениям объекта, при этом траектория должна пересекать все плоскости поперечных сечений;

Cross-sections only – только поперечные сечения.

Диалоговое окно Loft Settings позволяет определить настройки сечений.

В области Surface control at cross sections настраиваются параметры управления поверхностью в поперечных сечениях.

Preview changes – применяет текущие настройки к получаемой по сечениям поверхности или телу и отображает предварительный вид изменений в области чертежа.

В качестве поперечного сечения можно использовать отрезки, дуги, эллиптические дуги, двумерные полилинии, двумерные сплайны, окружности, эллипсы, точки (только для первого и последнего поперечного сечения).

В качестве траектории сечения можно использовать линию, дугу, эллиптическую дугу, сплайн, спираль, окружность, эллипс, двумерные и трехмерные полилинии.

Направляющим объектом могут служить линия, дуга, эллиптическая дуга, двумерный или трехмерный сплайн, двумерная или трехмерная полилиния.

На рис. 2.18 показано тело, полученное путем лофтинга с использованием четырех поперечных сечений – двух окружностей и двух эллипсов, расположенных на разной высоте и имеющих сдвиг относительно вертикальной оси.

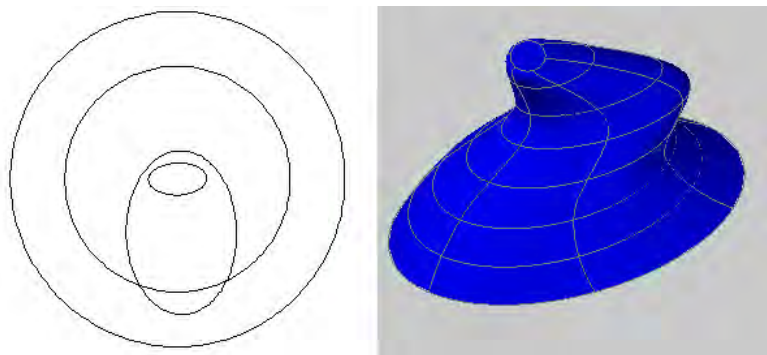


Рис. 2.18. Тело, полученное путем лофтинга:  
*a* – вид в плане четырех поперечных сечений; *б* – полученное тело

### 2.2.5. Вытянутые тела

Команда PRESSPULL позволяет сжимать или растягивать ограниченные области (создавать положительную или отрицательную экструзию в форме ограниченного замкнутого участка).

Необходимо отметить, что этой команды нет в основном меню Modeling и ее надо выбирать из одноименной панели или ввести из командной строки (рис. 2.19).

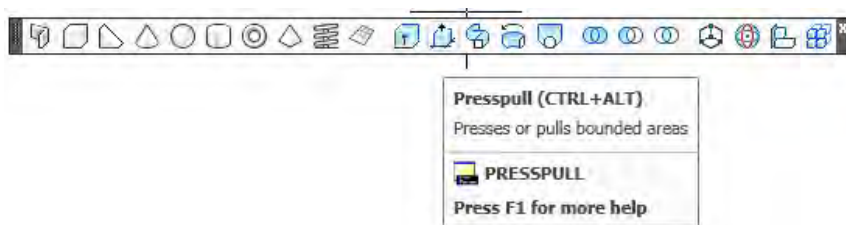


Рис. 2.19. Панель Modeling с контекстной подсказкой команды Presspull

Формат команды PRESSPULL:

Click inside bounded areas to press or pull – щелкнуть кнопкой мыши в области контура для вытягивания.

Допускается сжимать или растягивать ограниченные области следующих типов:

- области, доступные для штриховки методом выбора точек;
- области, замыкаемые пересечением компланарных линейных объектов, включая кромки и геометрические объекты в блоках;
- замкнутые полилинии, области, трехмерные грани и двумерные тела, состоящие из компланарных вершин;

1 loop extracted – сообщение в выделении замкнутой области;

1 Region created – сообщение о создании региона.

Далее можно двигать мышкой в направлении вытягивания созданного региона либо ввести численную величину вытягивания (число вводится без запроса в командной строке).

На рис. 2.20 показано два параллелепипеда, на которых из окружности на верхней грани командой Presspull создано цилиндрическое отверстие (на правой фигуре) и цилиндрический выступ (на левой).

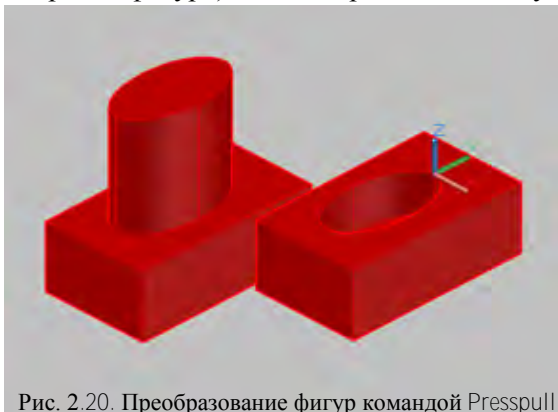


Рис. 2.20. Преобразование фигур командой Presspull

**Упражнение 11.** Преобразовать фигуры с помощью команды Presspull:

- на прямоугольнике размерами 400 × 150 мм и нарисованной на нем окружности диаметром 95 мм произвести выдавливание контура окружности на 100 мм вверх и вниз;

- на цилиндре диаметром 200 мм и высотой 600 мм и нарисованным на нем равнобедренным треугольником, вписанным в окруж-

ность радиуса 50 мм, произвести выдавливание контура треугольника на 250 мм вверх и вниз.

### 2.2.6. Создание составных тел

Модели реальных объектов обычно формируются комбинацией типовых тел, рассмотренных выше. Сложные тела создаются из простых с помощью операций объединения, вычитания и пересечения. Эти операции называют булевыми.

Команды создания составных тел вызываются из меню Modify подменю Solid Editing (рис. 2.21) или одноименной панели.

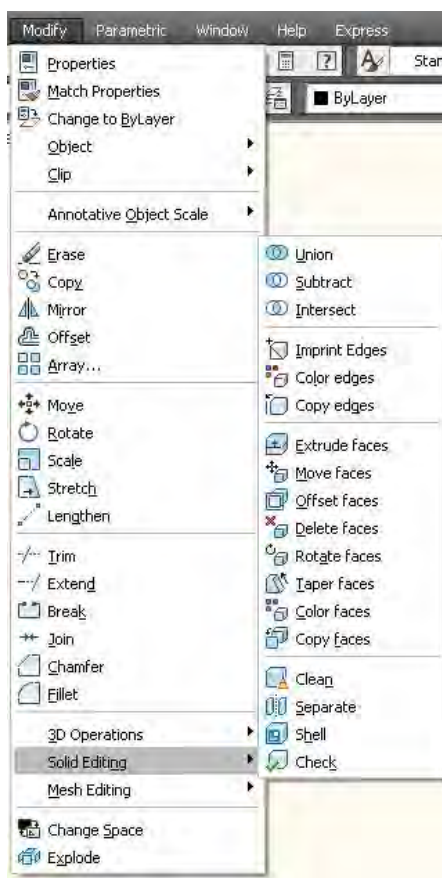


Рис. 2.21. Меню редактирования трехмерных тел

### *Объединение тел*

Команда UNION предназначена для *объединения* объектов и создает сложный объект, который занимает суммарный объем всех его составляющих.

Команда позволяет создавать новые составные тела или области из нескольких существующих тел или областей.

Формат команды:

Command: \_union

Select objects: (Выберите объекты:) – выберите объекты для объединения.

После создания сложного тела исходные объекты не сохраняются. Если необходимо повторно использовать исходные объекты, то их можно скопировать в другое место на чертеже.

### *Вычитание тел*

Для вычитания одного тела из другого используется команда SUBTRACT (ВЫЧТИ). Эта команда наиболее часто используется для создания отверстий.

Формат команды SUBTRACT:

Command: \_subtract Select solids, surfaces, and regions to subtract from ..

Select objects: 1 found – выбирается объект, из которого будет производиться вычитание;

Select objects:

Select solids, surfaces, and regions to subtract ..

Select objects: 1 found – выбирается объект, который будет вычитаться

Select objects: нажатием клавиши.

### *Пересечение двух тел*

В AutoCAD можно создавать тела, которые занимают пространство, общее для двух тел. Такое общее пространство называется *пересечением*.

Команда INTERFERE (ВЗАИМОД) подобна команде INTERSECT (ПЕРЕСЕЧЕНИЕ), за исключением того, что исходные



объекты сохраняются. Программа AutoCAD создает третье тело из общего пространства двух тел.

Применять команду INTERFERE удобно при наличии нескольких пересекающихся тел.

Формат команды INTERFERE:

Command: `_intersect`

Select objects: 1 found

Select objects: 1 found, 2 total – выбираются два объекта (в любом порядке), для которых создается пересечение.

На рис. 2.22 показаны составные фигуры, полученные вышеописанными командами, на основе параллелепипеда и сферы.

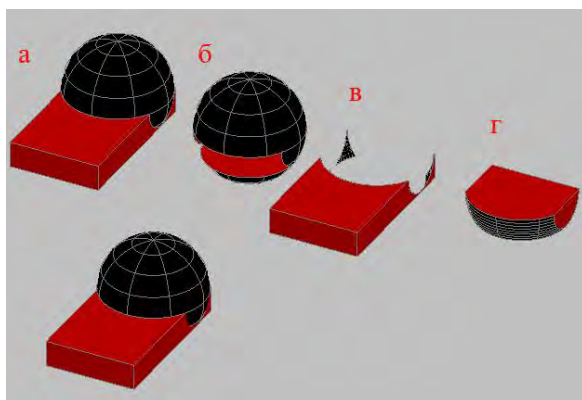


Рис. 2.22. Составные тела, полученные на основе параллелепипеда и сферы

На этом рисунке показаны:

*а* – составное тело, полученное объединением начальных фигур. По внешнему виду оно не отличается от исходных тел (находятся внизу рисунка), но при выборе объекта читается системой как единое целое;

*б* – составное тело, полученное вычитанием параллелепипеда из сферы;

*в* – составное тело, полученное вычитанием сферы из параллелепипеда;

*г* – составное тело, полученное объединением параллелепипеда и сферы.

**Упражнение 12.** Построить составные тела, полученные объединением, вычитанием и пересечением следующих фигур:

параллелепипеда размерами  $400 \times 200 \times 100$  мм и сферы диаметром 150 мм, центр которой лежит в центре верхнего основания параллелепипеда;

соосных цилиндра диаметром основания 150 мм, высотой 600 мм и сферы диаметром 200 мм, центр которой лежит на половине его высоты;

соосных конуса с радиусом основания 150 мм, высотой 600 мм и цилиндра диаметром 120 мм и высотой 700 мм;

вертикальный конус с радиусом основания 150 мм высотой 500 мм и горизонтально расположенный цилиндр диаметром 200 мм и длиной 400 мм.

Центр пересечения осей указанных фигур находится посередине высоты конуса.

Последнее упражнение требует поворота и перемещения цилиндра в пространстве с применением команд `3DMOVE` и `3DROTATE`, описываемых в главе 3.

### 3. КОМАНДЫ РЕДАКТИРОВАНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ

Применение команд редактирования объектов в трехмерном пространстве имеет ряд особенностей.

Существуют команды, применение которых в пространстве практически не отличается от их использования на плоскости. К ним относятся команды удаления Erase, копирования COPY, масштабирования SCALE.

Ряд команд может использоваться в пространстве с ограничениями. Эти команды приведены в таблице.

Команда	Особенности применения в 3D-пространстве
MIRROR	Ось поворота должна лежать в плоскости XY
ROTATE	Для трехмерных объектов в плоскости XY
OFFSET	Только для плоских объектов в трехмерном пространстве
ARRAY	Для трехмерных объектов в плоскости XY
STRETCH	Только для плоских объектов в трехмерном пространстве
LENGTHEN	Только для плоских объектов в трехмерном пространстве
SCALE	Имеет аналог для работы в трехмерном пространстве 3DScale
TRIM	Применяется только для плоских объектов
EXTEND	Применяется только для плоских объектов
BREAK	Только для плоских объектов в трехмерном пространстве
CHAMFER	Имеет опцию для трехмерного пространства
FILLET	Имеет опцию для трехмерного пространства

Кроме того, существуют команды редактирования, специально предназначенные для трехмерного пространства, – команды поворота 3DMove, 3DRotate, создания массива объектов 3DArray, зеркального отображения 3DMirror, 3Dalign, 3DScale.

Команды редактирования трехмерных объектов запускаются из падающего меню Modify → 3D Operations или с плавающей панели инструментов Modeling (рис. 3.1).

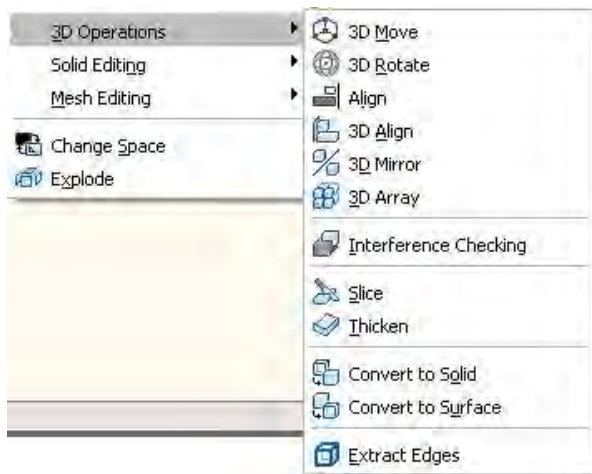


Рис. 3.1. Меню команд трехмерного редактирования

Рассмотрим особенности применения команд редактирования трехмерных тел.

### 3.1. Перенос

Команда 3DMOVE перемещает объекты на указанное расстояние в заданном направлении. Действие команды и ее запросы не отличаются от двумерной команды MOVE, основное отличие состоит в том, что 3DMOVE отображает инструмент ручки перемещения в трехмерном виде.

Запросы команды 3DMOVE:

Select objects: – выбрать объекты для переноса;

Select objects: – нажать клавишу Enter для завершения выбора объектов;

Specify base point or [Displacement] <Displacement>: – указать базовую точку;

Specify second point or <use first point as displacement>: – указать вторую точку или считать перемещением первую точку.

Инструмент ручки перемещения (рис. 3.2) отображается в заданной базовой точке на трехмерном виде. Перемещение объектов можно производить с его помощью.

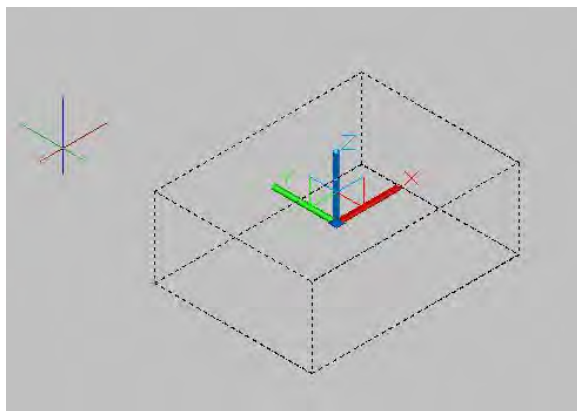


Рис. 3.2. Интерактивный инструмент перемещения объектов

**Упражнение 13.** Создав трехмерный конус высотой 120 мм и диаметром основания 75 мм, переместить его:

- на 140 мм вправо и 200 мм вверх;
- 280 мм влево, 100 мм вверх и 100 мм назад.

Перемещение выполнить с помощью ручек и с помощью ввода координат в командную строку.

### 3.2. Поворот вокруг оси

В двумерном пространстве команда ROTATE производит поворот объекта вокруг указанной точки; при этом направление поворота определяется текущей ПСК. При работе в трехмерном пространстве объект поворачивается вокруг оси. Ось может определяться указанием двух точек, объекта, одной из осей координат ( $X$ ,  $Y$  или  $Z$ ) или текущего направления взгляда. Для поворота трехмерных объектов можно использовать как команду ROTATE, так и ее трехмерный аналог.

Команда 3DROTATE вращает объекты вокруг базовой точки, при этом на трехмерном виде отображает ручку поворота (рис. 3.3).

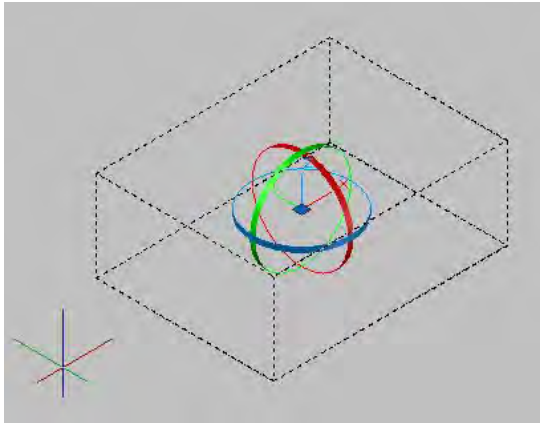


Рис. 3.3. Интерактивные ручки поворота

**Запросы команды 3DROTATE:**

Current positive angle in UCS: ANGDIR=counterclockwise ANGBASE=0 – текущие установки отсчета углов в ПСК;

Select objects: – выбрать объекты для поворота;

Select objects: – нажать клавишу Enter для окончания выбора объектов;

Specify base point: – указать базовую точку;

Pick a rotation axis: – указать ось вращения;

Specify angle start point: – указать точку на первом луче угла;

Specify angle end point: – указать точку на втором луче угла.

Команда ROTATE3D (вводится с клавиатуры в командную строку) осуществляет поворот объектов в трехмерном пространстве вокруг заданной оси.

**Запросы команды ROTATE3D:**

Current positive angle: ANGDIR=counterclockwise ANGBASE=0 – текущие установки отсчета углов;

Select objects: – выбрать объекты;

Select objects: – нажать клавишу Enter для окончания выбора объектов;

Specify first point on axis or define axis by [Object/Last/View/-Xaxis/Yaxis/Zaxis/2points]: – указать первую точку оси;

Specify second point on axis: – указать вторую точку оси;

Specify rotation angle or [Reference]: – указать угол поворота.

Опции команды ROTATE3D:

Object – поворот вокруг выбранного объекта. Такими объектами могут быть отрезок, окружность, дуга или сегмент двумерной полилинии;

Last – поворот вокруг оси, использовавшейся в предыдущей команде поворота;

View – поворот вокруг оси, выровненной вдоль направления вида текущего видового экрана и проходящей через заданную точку;

Xaxis, Yaxis, Zaxis – поворот вокруг оси, выровненной соответственно вдоль направления оси  $X$ ,  $Y$  или  $Z$  и проходящей через заданную точку;

2point – поворот вокруг оси, проходящей через две заданные точки.

**Упражнение 14.** Создав трехмерную четырехгранную призму высотой 150 мм и основанием, вписанным в окружность диаметром 80 мм, повернуть ее:

на  $45^\circ$  вправо,  $75^\circ$  влево,

$30^\circ$  назад,  $60^\circ$  вперед.

Перемещение выполнить с помощью ручек и с помощью ввода координат в командную строку командой ROTATE3D.

### 3.3. Выравнивание объектов

Команда ALIGN осуществляет выравнивание одних объектов относительно других в двумерном и трехмерном пространстве.

Запросы команды ALIGN:

Select objects: – выбрать объекты;

Select objects: – нажать клавишу Enter для окончания выбора объектов;

Specify first source point: – указать первую исходную точку;

Specify first destination point: – указать первую целевую точку;

Specify second source point: – указать вторую исходную точку;

Specify second destination point: – указать вторую целевую точку;

Specify third source point or <continue>: – указать третью исходную точку или продолжить;

Specify third destination point or [eXit] <X>: – указать третью целевую точку.

При указании только одной пары исходных и целевых точек выбранные объекты перемещаются на плоскости или в пространстве на расстояние, заданное точками.

При указании двух пар исходных и целевых точек выбранные объекты могут быть перемещены, повернуты и масштабированы на плоскости или в пространстве. Первая пара точек задает базовую точку выравнивания, вторая пара точек описывает угол поворота. После ввода второй пары точек отображается запрос о масштабировании объекта. В качестве опорной длины для масштабирования берется расстояние между первой и второй целевыми точками. Масштабирование доступно только при выравнивании с помощью двух пар точек.

При указании трех пар исходных и целевых точек выбранные объекты могут быть перемещены и повернуты в пространстве. Вначале объекты перемещаются вдоль вектора, проведенного из исходной точки к целевой, затем исходный объект поворачивается, выравниваясь с целевым объектом. Далее исходный объект поворачивается еще раз, выравниваясь с целевым объектом.

Команда 3DALIGN осуществляет выравнивание объектов относительно других объектов в трехмерном пространстве.

Запросы команды 3DALIGN:

Select objects: – выбрать объекты;

Select objects: – нажать клавишу Enter для окончания выбора объектов;

Specify source plane and orientation ... – исходная плоскость и ориентация;

Specify base point or [Copy]: – указать базовую точку или копировать;

Specify second point or [Continue] <C>: – указать вторую точку или продолжить;

Specify third point or [Continue] <C>: – указать третью точку или продолжить;

Specify destination plane and orientation ... – целевая плоскость и ориентация;

Specify first destination point: – указать первую целевую точку;

Specify second destination point or [eXit] <X>: – указать вторую целевую точку;

Specify third destination point or [eXit] <X>: – указать третью целевую точку;



Для исходного объекта можно указать одну, две или три точки. Затем можно указать одну, две или три точки для места назначения. Выбранный объект перемещается и поворачивается так, что базовые точки и оси  $X$  и  $Y$  исходного объекта совпадают и места назначения выравниваются в трехмерном пространстве. Команда 3DALIGN работает с динамической ПСК, так что можно динамически перетаскивать выбранные объекты и выравнивать их с гранью твердотельного объекта.

### 3.4. Зеркальное отображение относительно плоскости

Команда 3DMIRROR осуществляет зеркальное отображение объектов относительно заданной плоскости.

Запросы команды MIRROR3D:

Select objects: – выбрать объекты

Select objects: – нажать клавишу Enter для окончания выбора объектов;

Specify first point of mirror plane (3 points) or [Object/Last/Zaxis/View/XY/ YZ/ZX/3points] <3points>: – указать первую точку плоскости отражения или соответствующую опцию команды

Specify second point on mirror plane: – указать вторую точку плоскости отражения;

Specify third point on mirror plane: – указать третью точку плоскости отражения;

Delete source objects? [Yes/No] <N>: – удалять ли исходные объекты.

Опции команды MIRROR3D:

Object – отображение относительно выбранного плоского объекта: отрезка, окружности, дуги или сегмента двумерной полилинии;

Last – отображение относительно плоскости, использовавшейся в предыдущей команде отображения;

Zaxis – отображение относительно плоскости, заданной двумя точками, первая из которых лежит на плоскости, а вторая определяет вектор нормали к плоскости;

View – плоскость отражения ориентируется согласно плоскости взгляда текущего видового экрана, проходящей через указанную точку;

$XY$ ,  $YZ$ ,  $ZX$  – плоскость отражения ориентируется вдоль одной из стандартных плоскостей ( $XY$ ,  $YZ$  или  $ZX$ ), проходящей через указанную точку;

3points – отображение относительно плоскости, проходящей через три заданные точки.

Плоскость отображения может представлять собой:

- плоскость построения двумерного объекта;
- плоскость, параллельную одной из плоскостей координат ( $XY$ ,  $YZ$  или  $XZ$ ) текущей ПСК и проходящую через заданную точку;
- плоскость, определяемую тремя указанными точками.

**Упражнение 15.** Создав трехмерную четырехгранную пирамиду высотой 180 мм и основанием, вписанным в окружность диаметром 100 мм, создать ее зеркальную копию относительно плоскостей:

- вертикальной, проходящей через любое ребро основания;
- наклонной, проходящей через любое боковое ребро пирамиды;
- горизонтальной, проходящей через вершину пирамиды.

### 3.5. Создание трехмерного массива

Команда 3DARRAY позволяет создавать прямоугольный и круговой массивы объектов в трехмерном пространстве. Отличие от аналогичной команды, применяемой в двумерном моделировании, состоит в том, что при создании прямоугольного массива объектов кроме количества столбцов и строк запрашивается количество уровней (задается вдоль направления оси  $Z$ ), а при создании кругового массива вместо центра вращения используется ось вращения, начальную и конечную точки которой следует указать в ответ на запросы команды.

Запросы команды 3DARRAY:

Select objects: – выбрать объекты;

Select objects: – нажать клавишу Enter для окончания выбора объектов;

Enter the type of array [Rectangular/Polar] <R>: – указать тип массива;

Enter the number of rows (---) <1>: – указать число рядов;

Enter the number of columns (|||) <1>: – указать число столбцов;

Enter the number of levels (...) <1>: – указать число уровней;

Specify the distance between rows (---): – указать расстояние между рядами;

Specify the distance between columns (|||): – указать расстояние между столбцами;

Specify the distance between levels (...): – указать расстояние между уровнями.

Для формирования кругового массива следует выбрать ключ Polar. При этом команда выдает следующие запросы:

Select objects: – выбрать объекты;

Select objects: – нажать клавишу Enter для окончания выбора объектов;

Enter the type of array [Rectangular/Polar] <P>: – выбрать круговой тип массива;

Enter the number of items in the array: – указать количество элементов в массиве;

Specify the angle to fill (+ = ccw, - = cw) <360>: – указать угол заполнения;

Rotate arrayed objects? [Yes/No] <Y>: – указать, поворачивать ли объекты массива;

Specify center point of array: – указать центральную точку массива;

Specify second point on axis of rotation: – указать вторую точку оси поворота.

**Упражнение 16.** Создав трехмерную сферу диаметром 90 мм, на ее основе создать:

- прямоугольный массив с числом рядов, колонок и уровней, равным 4, и расстоянием между элементами массива по всем осям, равным 120 мм;

- полярный массив из 15 элементов с углом заполнения  $180^\circ$  относительно горизонтальной оси, смещенной от оси шара вправо на 200 мм.

### 3.6. Трехмерное масштабирование

Кроме использования для масштабирования объектов команды Scale трехмерное масштабирование можно осуществлять с помощью трехмерного аналога 3Dscale, при котором в трехмерных видах появляются ручки масштабирования (рис. 3.4).

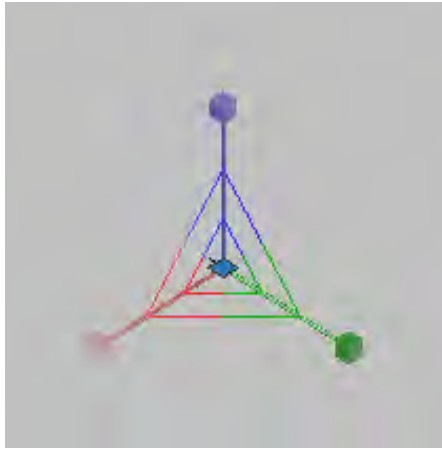


Рис. 3.4. Интерактивные ручки масштабирования

Запросы команды 3DSCALE:

Select objects: 1 found – выбор объекта;

Select objects: – нажать клавишу Enter для окончания выбора объектов;

Specify base point: – указать базовую точку;

Pick a scale axis or plane: – указать ось или плоскость масштабирования.

Следует иметь в виду, что для твердотельных тел реализуется однородное масштабирование по всем осям. Масштабирование по выбранной оси или плоскости возможно только для сетей.

Specify scale factor or [Copy/Reference]: – задается масштабный фактор.

**Упражнение 17.** Создав трехмерную сферу диаметром 120 мм, отмасштабировать ее с помощью интерактивных ручек:

- увеличить в четыре раза;
- уменьшить в три раза.

### 3.7. Обрезка и удлинение трехмерных объектов

Любой трехмерный объект можно обрезать либо удлинить до другого объекта независимо от того, лежат ли они оба в одной плоскости и каким краем параллельны: режущим или граничным.

Чтобы данные операции были выполнены успешно, объекты должны пересекаться с граничными кромками в пространстве, иначе в результате обрезки (удлинения) с проецированием на плоскость  $XU$  текущей ПСК новые границы объектов могут не соответствовать указанным кромкам в пространстве.

При вызове команд TRIM и EXTEND, первая из которых выполняет обрезку части объекта по заданной границе, а вторая осуществляет вытягивание до границы в трехмерном пространстве, используется опция Project, которая определяет режим обрезки/удлинения.

### 3.8. Построение сечений

Команда SECTION осуществляет построение поперечного сечения тела в виде области или неименованного блока. Поперечное сечение – это пересечение плоскости и выбранного тела. На рис. 3.5 показано сечение детали, выполненное вертикальной плоскостью, проходящей через ось симметрии поперек.

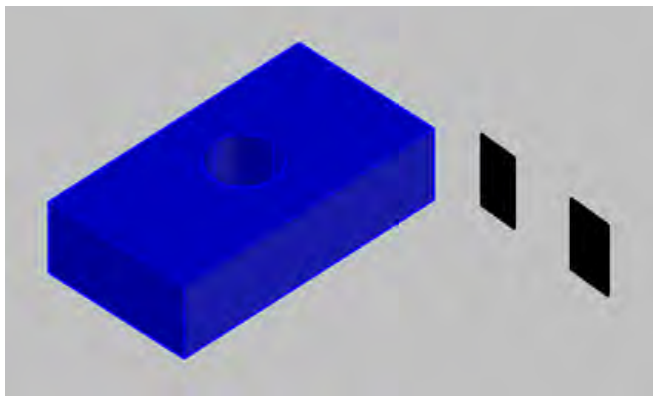


Рис. 3.5. Сечение детали вертикальной плоскостью

Запросы команды SECTION:

Select objects: – выбрать объекты;

Select objects: – нажать клавишу Enter для завершения выбора объектов;

Specify first point on Section plane by [Object/Zaxis/View/XY/YZ/ZX/3points] <3points>: – указать первую точку на секущей плоскости или один из ключей;

Specify second point on plane: – указать вторую точку на плоскости;

Specify third point on plane: – указать третью точку на плоскости.

Ключи команды SECTION:

\_ Object – выравнивание секущей плоскости с сегментом круга, эллипса, круговой или эллиптической дуги, двумерного сплайна или двумерной полилинии;

\_ Zaxis – определение секущей плоскости посредством задания двух точек этой плоскости, одна из которых расположена на оси  $Z$ ;

\_ View – проводит секущую плоскость параллельно плоскости вида на текущем видовом экране. Расположение секущей плоскости определяется указанной точкой;

\_ XY – выравнивание секущей плоскости с плоскостью  $XY$  текущей ПСК;

\_ YZ – выравнивание секущей плоскости параллельно плоскости  $YZ$  текущей ПСК;

\_ ZX – выравнивание секущей плоскости параллельно плоскости  $ZX$  текущей ПСК;

\_ 3points – задание секущей плоскости по трем точкам.

По умолчанию секущая плоскость задается путем указания трех точек. При использовании других методов она определяется плоскостью построения другого объекта, плоскостью текущего вида, осью  $Z$  или одной из плоскостей координат ( $XY$ ,  $YZ$  или  $XZ$ ). AutoCAD помещает секущую плоскость на текущий слой.

Поперечное сечение представляет собой область или именованный блок, формируемые на текущем слое, а не на слое, где находится объемное тело, поперечное сечение которого создается.

Для того чтобы увидеть фигуру сечения, разрезанную фигуру необходимо переместить на другое место.

**Упражнение 18.** Создав трехмерную сферу (рис. 3.6) диаметром 150 мм с вертикальным отверстием в центре диаметром 40 мм, создать сечения:

- вертикальной плоскостью, проходящей через ось симметрии;
- горизонтальной плоскостью, проходящей через ось симметрии;

- наклонной плоскостью под углом  $45^\circ$ , проходящей через центр сферы.



Рис. 3.6. К упражнению 18

### 3.9. Построение разрезов

Команда SLICE осуществляет построение нового тела путем разрезания какого-либо существующего тела плоскостью. На рис. 3.7 показан разрез пирамиды наклонной плоскостью.

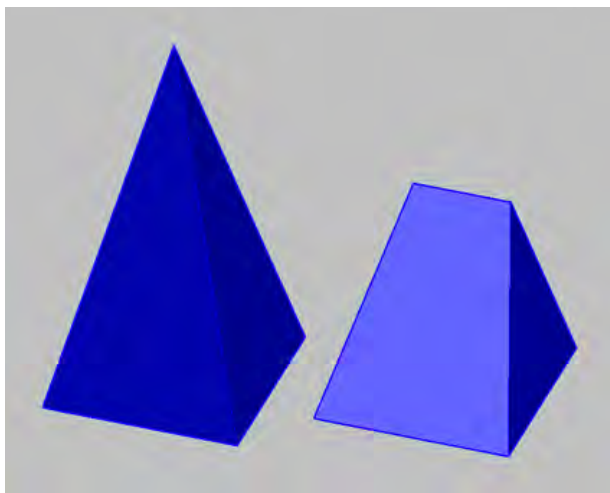


Рис. 3.7. Разрез пирамиды наклонной плоскостью командой Slice

### Запросы команды SLICE:

Select objects to slice: – **выбрать объекты;**

Select objects to slice: – **нажать клавишу Enter для завершения выбора объектов;**

Specify start point of slicing plane or [planar Object/Surface/Zaxis/View/XY/YZ/ZX/3points] <3points>: – **указать первую точку на режущей плоскости;**

Specify second point on plane: – **указать вторую точку на плоскости;**

Specify a point on desired side or [keep Both sides] <Both>: – **указать точку с нужной стороны от плоскости.**

Полученные части можно оставить на рисунке или же удалить одну из них. Разрезанные тела наследуют слой и цвет исходного тела, но являются новыми составными телами. При разрезании по умолчанию тремя точками задается режущая плоскость, а затем указывается, какая часть (или обе) должна быть сохранена.

При использовании других способов режущая плоскость может определяться другим объектом, плоскостью текущего вида, осью  $Z$  или одной из координатных плоскостей ( $XY$ ,  $YZ$  или  $XZ$ ).

### Ключи команды SLICE:

Object – задает плоскость с помощью выбранного плоского объекта: отрезка, окружности, дуги, эллипса, эллиптической дуги, двумерного сплайна или сегмента двумерной полилинии;

Zaxis – задает плоскость двумя точками, первая из которых лежит на ней, а вторая определяет вектор нормали к плоскости;

View – задает плоскость, выровненную с плоскостью вида текущего видового экрана и проходящую через заданную точку;

$XY$ ,  $YZ$ ,  $ZX$  – задают плоскость, выровненную соответственно с плоскостью  $XY$ ,  $YZ$  или  $ZX$  и проходящую через заданную точку;

3points – определяет плоскость, проходящую через три заданные точки;

keep Both sides – оставляет обе части разрезанного тела.

**Упражнение 19.** Создав трехмерный конус высотой 180 мм и диаметром основания 90 мм, создать сечения:

- вертикальной плоскостью, проходящей через вершину конуса;



- вертикальной плоскостью, не проходящей через вершину конуса;
- горизонтальной плоскостью на середине высоты конуса;
- наклонной плоскостью под углом  $45^\circ$ , проходящей через середину высоты конуса.

### 3.10. Снятие фасок на гранях

Команда CHAMFER осуществляет снятие фасок (скашивание) на пересечениях смежных граней тел, как и в двумерном пространстве (рис. 3.8). При использовании команды необходимо вначале выбрать базовую поверхность, затем ввести размеры фаски и выбрать ребра.

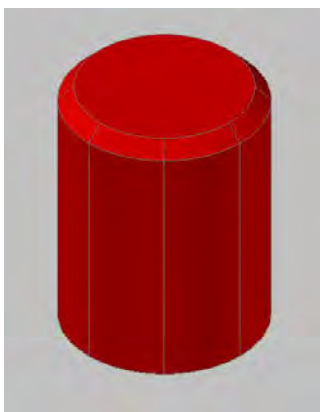


Рис. 3.8. Снятие фаски на верхней грани цилиндра

Запросы команды CHAMFER:

(TRIM mode) Current chamfer Dist1 = 10.0000, Dist2 = 10.0000 – параметры фаски;

Select first line or [Undo/Polyline/Distance/Angle/Trim/mEthod/Multiple]: – выбрать первый отрезок или одну из опций;

Base surface selection... – выбирается базовая поверхность;

Enter surface selection option [Next/OK (current)] <OK>: – нажать клавишу Enter, если подсвечена нужная поверхность. Если требуется другая поверхность, следует ввести N, для того чтобы подсветить смежную поверхность, а затем нажать клавишу Enter;

Specify base surface chamfer distance <10.0000>: – указать длину фаски для базовой поверхности;

Specify other surface chamfer distance <10.0000>: – указать длину фаски для другой поверхности;

Select an edge or [Loop]: – выбрать ребро;

Select an edge or [Loop]: – выбрать ребро.

Опции команды CHAMFER:

\_ Undo – отменяет предыдущую операцию в команде;

\_ Polyline – построение фасок вдоль всей полилинии. При этом пересекающиеся сегменты полилинии соединяются фаской в каждой вершине полилинии. Линии фасок становятся новыми сегментами полилинии. Если полилиния включает сегменты, которые намного короче длины фаски, у этих сегментов фаска не снимается;

\_ Distance – задание длин фасок, то есть расстояний от выбранного пересечения до концов линии фаски. Если оба значения длины равны нулю, две линии удлиняются или обрезаются так, чтобы они заканчивались в одной точке;

\_ Angle – задание в качестве параметров фаски одной из ее длин и величины угла;

\_ Trim – определяет, обрезаются ли выбранные грани по конечным точкам фаски;

\_ mEthod – определяет, используются ли для построения фаски значения двух длин или значение длины и величина угла;

\_ Multiple – создает фаски для кромок нескольких наборов объектов.

Ребра можно выбирать индивидуально либо сразу все, если использовать опцию Loop и затем указать любое ребро.

### 3.11. Сопряжение граней

Команда FILLET осуществляет плавное *сопряжение* (скругление) граней (рис. 3.9), как и в двумерном моделировании. Для скругления тел можно воспользоваться несколькими способами. Во-первых, так же как и для плоских объектов, можно задать радиус и затем указать ребра. Второй путь – указать радиус скругления для каждого ребра.

Запросы команды FILLET:

Current settings: Mode = TRIM, Radius = 10.0000 – текущие настройки;

Select first object or [Undo/Polyline/Radius/Trim/Multiple]: – выбрать первый объект;

Enter fillet radius <10.0000>: – указать радиус сопряжения;  
Select an edge or [Chain/Radius]: – выбрать первое ребро;  
Select an edge or [Chain/Radius]: – выбрать второе ребро;  
Select an edge or [Chain/Radius]: – нажать клавишу Enter для завершения работы команды.

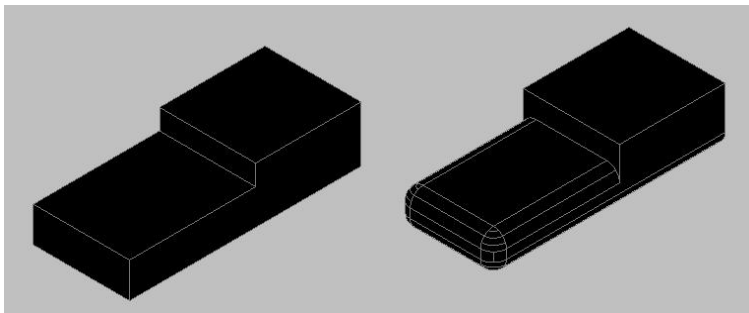


Рис. 3.9. Сопряжение граней составной фигуры

Опции команды FILLET:

- \_ Undo – отменяет предыдущую операцию в команде;
- \_ Polyline – строит дуги сопряжения во всех точках пересечения линейных сегментов двумерной полилинии. Если два линейных сегмента разделены дугой, при приближении к которой они сходятся, то эта дуга заменяется сопрягающей дугой;
- \_ Radius – задание радиуса сопрягающей дуги;
- \_ Trim – определяет, обрезаются ли выбранные кромки по конечным точкам дуги сопряжения;
- \_ Multiple – скругление углов у нескольких наборов объектов.

Если нажать клавишу Enter на первый запрос Select an edge or:, то ранее выбранное ребро скруглится и работа команды завершится, но можно выбрать одно за другим еще несколько ребер. При этом допускается установить новый радиус перед выбором следующего ребра, используя опцию Radius, или задать последовательность касательных ребер, используя опцию Chain.

**Упражнение 20.** Создать трехмерный цилиндр радиусом основания 100 мм и высотой 500 мм. На копиях цилиндра выполнить (рис. 3.10):

- снятие фасок длиной 30 и 40 мм;
- сопряжение поверхностей радиусом 35 мм.

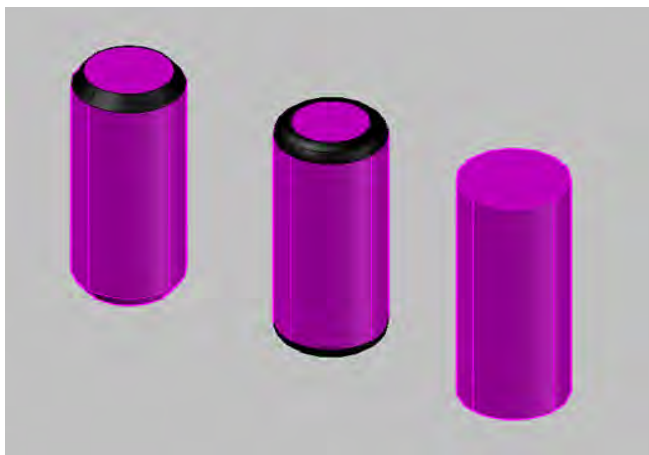


Рис. 3.10. К упражнению 20

### 3.12. Клеймение грани

Команда IMPRINT осуществляет клеймение грани трехмерного тела (рис. 3.11).

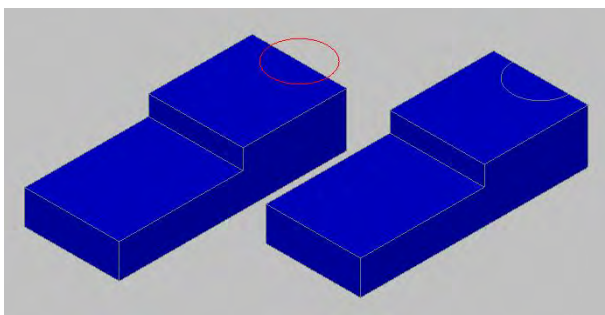


Рис. 3.11. Клеймение верхней грани фигуры окружностью

С помощью команды IMPRINT возможно создание на трехмерных телах новых граней. Например, для пересекаемого окружностью трехмерного тела можно выполнить клеймение кривой пересечения.

Запросы команды IMPRINT:

Select a 3D solid: – выбрать трехмерное тело;

Select an object to imprint: – выбрать клеймящий объект;

Delete the source object [Yes/No] <N>: – удалять ли исходный объект;

Select an object to imprint: – нажать клавишу Enter для завершения работы команды.

Для того чтобы операция клеймения выбранного тела другим объектом была успешной, необходимо наличие пересечения клеймящего объекта и грани выбранного тела.

Клеймение может быть применено к дугам, окружностям, отрезкам, двумерным и трехмерным полилиниям, эллипсам, сплайнам, областям и трехмерным телам.

Клеймение граней может быть использовано для создания выдавленных граней сложных форм.

**Упражнение 21.** Создать трехмерный параллелепипед, произвести его клеймение двумя окружностями разных диаметров на вер

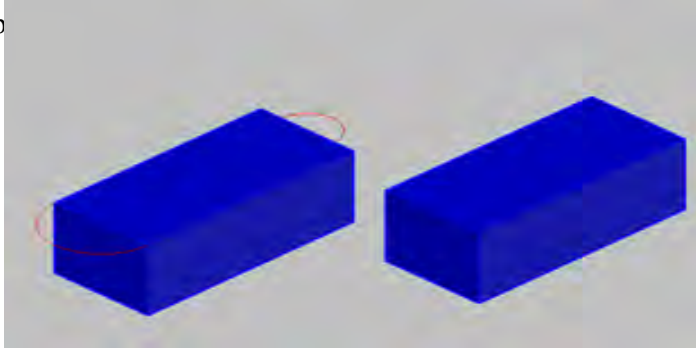


Рис. 3.12. К упражнению 21

### 3.13. Выдавливание граней

Для выдавливания граней (рис. 3.13) команду Extrude faces следует вызвать из падающего меню Modify подменю Solid Editing\_ или щелчком на пиктограмме Extrude faces на плавающей панели инструментов Solid Editing. При этом в команде используются опции Face, Extrude и выдаются следующие запросы:

Solids editing automatic checking: SOLIDCHECK=1 — **автоматическая проверка тел при редактировании**;

Enter a solids editing option [Face/Edge/Body/Undo/eXit]<eXit>:\_face — **переход в режим редактирования граней**;

Enter a face editing option [Etrude/Move/Rotate/Offset/Taper/Delete/-Copy/coLor/mAterial/Undo/eXit]<eXit>:\_extrude — **переход в режим выдавливания граней**;

Select faces or [Undo/Remove]: — **выбрать грани**;

Select faces or [Undo/Remove/ALL]: — **продолжить выбор граней или нажать клавишу Enter для перехода к настройке параметров**;

Specify height of extrusion or [Path]: — **указать глубину выдавливания**;

Specify angle of taper for extrusion <0>: — **указать угол сужения для выдавливания**;

Solid validation started — **выполняется проверка тела**;

Solid validation completed — **проверка тела завершена**;

Enter a face editing option [Extrude/Move/Rotate/Offset/Taper/Delete/-Copy/coLor/mAterial/Undo/eXit]<eXit>: — **нажать клавишу Enter**;

Solids editing automatic checking: SOLIDCHECK=1 — **автоматическая проверка тел при редактировании**;

Enter a solids editing option [Face/Edge/Body/Undo/eXit]<eXit>: — **нажать клавишу Enter для завершения работы команды**.

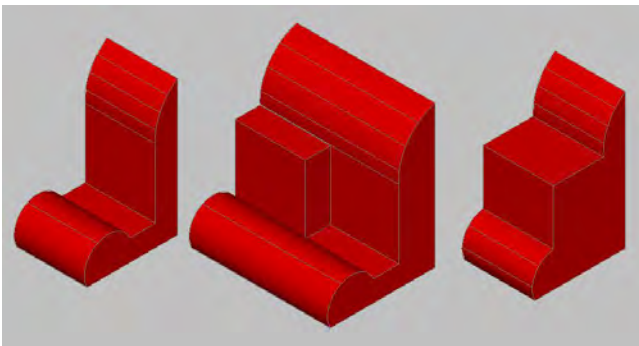


Рис. 3.13. Выдавливание граней фигуры

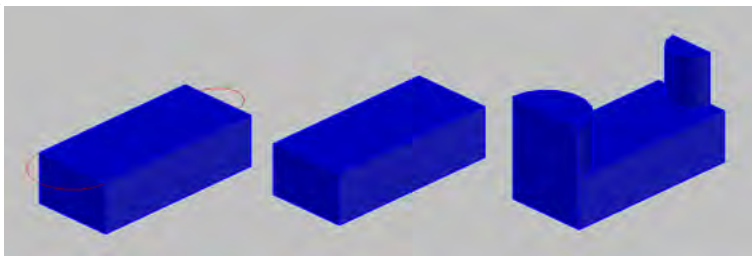
У каждой грани имеется сторона положительного смещения, определяемая направлением нормали к ней. Нормалью к поверхно-

сти называется, перпендикулярный ей вектор. Ввод положительной глубины приводит к выдавливанию грани в положительном направлении (как правило, от тела), отрицательной – в отрицательном направлении (внутри тела). Положительное значение угла сужения соответствует постепенному удалению грани от вектора, отрицательное – приближению к вектору. По умолчанию угол сужения равен нулю, и грань выдавливается перпендикулярно своей плоскости без изменения размеров. Установка слишком больших значений угла сужения или глубины выдавливания может привести к тому, что объект сузится до нуля, не достигнув заданной высоты. В этом случае выдавливание не выполняется.

Для выдавливания по заданной траектории после выбора грани следует использовать опцию Path. Вдоль указанной траектории сдвигаются все контуры, образующие выбранную грань. Траекториями могут служить отрезки, окружности, дуги, эллипсы, эллиптические дуги, полилинии и сплайны. Траектория не должна лежать в одной плоскости с выдавливаемой гранью и не должна иметь участков с большой кривизной.

**Упражнение 22.** Произвести выдавливание созданных в упражнении 21 полукруглых зон на верхней поверхности параллелепипеда (рис. 3.14, а).

*а*



*б*

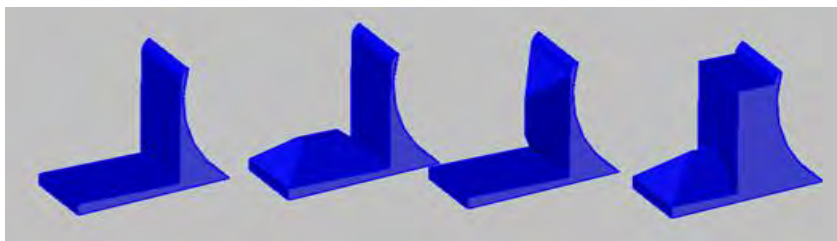


Рис. 3.14. К упражнению 22

Создать показанную на рис. 3.14, б фигуру произвольных размеров.

Произвести выдавливание на трех копиях:

- горизонтальной плоскости с углом выдавливания  $45^\circ$ ;
- вертикальной внутренней плоскости с углом выдавливания  $50^\circ$ ;
- одновременное выдавливание горизонтальной плоскости с углом  $45^\circ$  и вертикальной плоскости с нулевым углом выдавливания.

### 3.14. Поворот граней

Для поворота граней в пространстве команду Rotate faces следует вызывать из падающего меню Modify\_подменю Solid Editing\_или щелчком на пиктограмме Rotate faces на плавающей панели инструментов Solid Editing. При этом в команде используются опции Face, Rotate.

Поворот граней тела осуществляется путем выбора базовой точки и установки относительного или абсолютного значения угла. Все пространственные грани поворачиваются вокруг выбранной оси. Направление поворота определяется положением текущей ПСК. Ось может определяться следующими способами: указанием двух точек, объекта, одной из осей координат или направления взгляда. Ось поворота также может быть задана указанием точки на оси  $X$  или  $Y$ , двух точек или объекта (в этом случае ось совмещается с ним). Положительным направлением оси считается направление от начальной точки к конечной. Поворот подчиняется правилу правой руки (рис. 3.15).



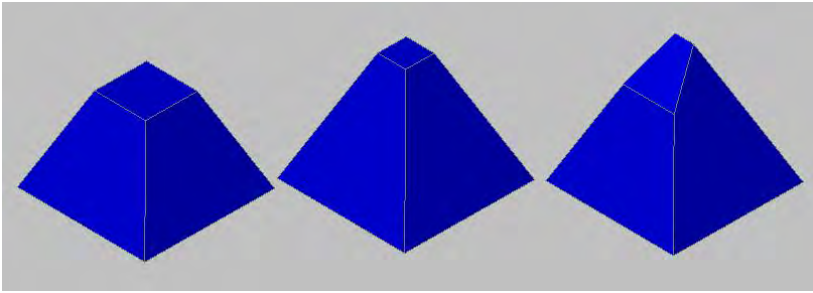


Рис. 3.15. Перемещение и поворот верхней грани пирамиды

#### 4. НЕМНОГО О ВИЗУАЛИЗАЦИИ ТРЕХМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ

Одна из главных задач при работе с трехмерными моделями – формирование изображения моделируемого объекта в различных направлениях проецирования. Комбинация пользовательских систем координат (ПСК) и направлений проецирования позволяет формировать и изменять любой трехмерный объект.

Отправной точкой всегда служит вид в плане в мировой системе координат (МСК). Именно этот вид представляет собой двумерный чертеж. Вид в плане – это вид сверху.

При работе в трех измерениях для просмотра рисунка можно пользоваться командами визуализации из числа уже знакомых по двумерным чертежам. Это команды ZOOM (ПОКАЖИ) и PAN (ПАН).

Вместе с тем в системе AutoCAD существуют специальные, рассчитанные именно на работу с трехмерными объектами способы работы с изображением. Кратко рассмотрим те из них, которые необходимы для выполнения лабораторной работы (глава 5).

##### 4.1. Типовые направления проецирования

AutoCAD предлагает десять типовых направлений проецирования. Использование этих средств существенно облегчает работу, поскольку позволяет без труда перестраивать представление модели на экране. В большинстве случаев их оказывается вполне достаточно для работы над чертежом. Стандартные виды формируются толь-

ко относительно МСК. Следовательно, они наиболее удобны, когда большая часть работы выполняется в МСК.

Типовые направления проецирования выбираются, во-первых, пиктограммами на панели инструментов Views (Вид), а во-вторых, с помощью команды меню 3D Views (3D виды), по которой открывается дополнительное подменю типовых направлений проецирования.

**Вид сверху.** Top View (Вид сверху) – это вид в плане. Этот вид можно получить набрав PLAN в командной строке. Команда PLAN (ПЛАН) имеет три опции:

- ◆ Current UCS (Текущая ПСК), которая показывает вид в плане относительно текущей ПСК;
- ◆ UCS, позволяющая выбрать ранее сохраненную и поименованную ПСК;
- ◆ World (Мир), которая отображает вид в плане относительно МСК.

**Вид снизу.** Bottom View (Вид снизу) – это вид модели снизу. Это направление проецирования задается выбором пиктограммы Bottom View (Вид снизу).

**Вид слева.** Вид слева показывает модель сбоку, с левой стороны. Это направление проецирования задается выбором пиктограммы Left View (Вид слева).

**Вид справа.** Вид сбоку с правой стороны. Это направление проецирования задается выбором пиктограммы Right View (Вид справа).

**Вид спереди.** Вид на модель спереди. Это направление проецирования задается выбором пиктограммы Front View (Вид спереди).

**Вид сзади.** Вид на модель сзади. Это направление проецирования задается выбором пиктограммы Back View (Вид сзади).

Описанные направления проецирования соответствуют шести стандартным видам фигуры в соответствии с ГОСТ 2.305–68. Изображения – виды, разрезы, сечения.

Кроме них, пользователю доступны четыре изометрических направления проецирования:

изометрический юго-западный вид – показывает модель из угла между левым и передним видами. Задается командой SW Isometric View (ЮЗ Изометрия);

изометрический юго-восточный вид – показывает модель из угла между правым, передним и верхним видами. Задается командой SE Isometric View (ЮВ Изометрия);

северо-восточный изометрический вид (*NE*) – показывает модель из угла между правым, задним и верхним видами. Это направление проецирования задается выбором пиктограммы NE Isometric View (СВ Изометрия);

изометрический северо-западный вид (*NW*) – показывает модель из угла между левым, задним и верхним видами. Это направление проецирования задается выбором пиктограммы NW Isometric View (СЗ Изометрия).

#### 4.2. Использование видовых экранов

При работе с трехмерными моделями очень удобны видовые экраны, которые позволяют разделить графическую зону экрана на несколько независимых областей. Создание стандартной конфигурации неперекрывающихся видовых экранов производится командой Viewports из меню View (рис. 4.1).

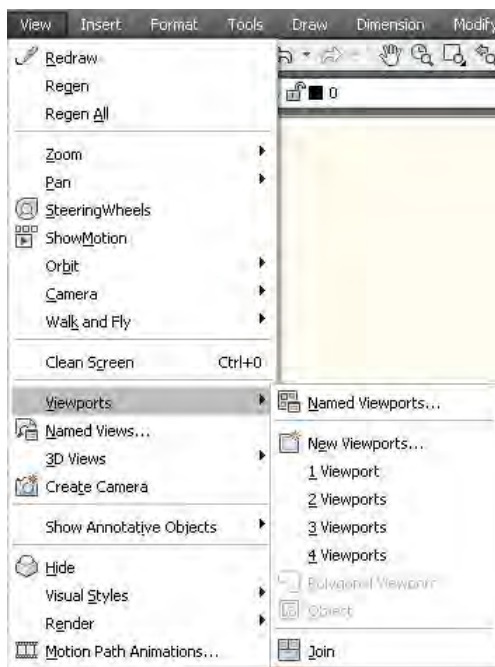


Рис. 4.1. Меню View

В боковом подменю можно организовать вплоть до четырех видовых экранов либо в пункте *New Viewports* создать собственный вариант компоновки. Наиболее удобным с точки зрения автора является стандартный четырехэкранный вариант. На рис. 4.2 показан такой полиэкранный вариант графической зоны.

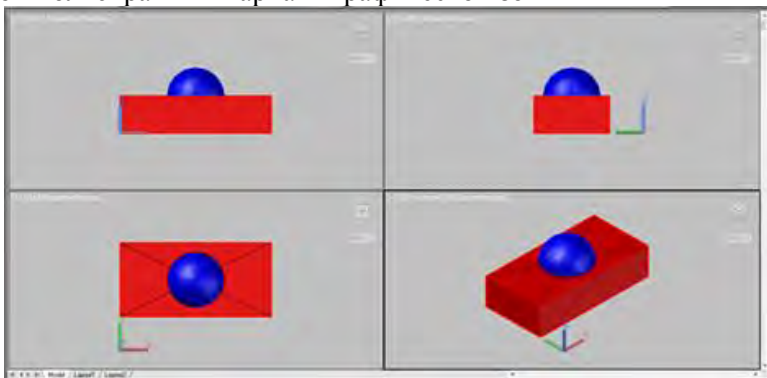


Рис. 4.2. Четырехэкранный вариант экрана

### 4.3. Пользовательская система координат

Все геометрические объекты в AutoCAD привязаны к глобальной прямоугольной системе координат, которая называется мировой системой. Для формирования ПСК при решении ряда задач необходимо использовать команду *NEW UCS* (новая ПСК) из меню *Tools* или с помощью одноименной пиктограммы.

Команда имеет многочисленные опции, из которых отметим три следующие:

*Object* (Объект) – новая ПСК имеет ту же ориентацию, что и выбранный объект;

*View* (Вид) – новая ПСК параллельна текущему виду, а ее начало – начало текущей ПСК;

*Face* (Грань) – совмещает новую ПСК с гранью трехмерного твердотельного объекта.

## 5. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «ВЫПОЛНЕНИЕ ЧЕРТЕЖА ТРЕХМЕРНОЙ КОМБИНИРОВАННОЙ ФИГУРЫ С РАЗРЕЗАМИ»

В качестве лабораторной работы по трехмерному моделированию предлагается рабочий чертеж фигур по вариантам, приведенным на рис. 5.1–5.8.

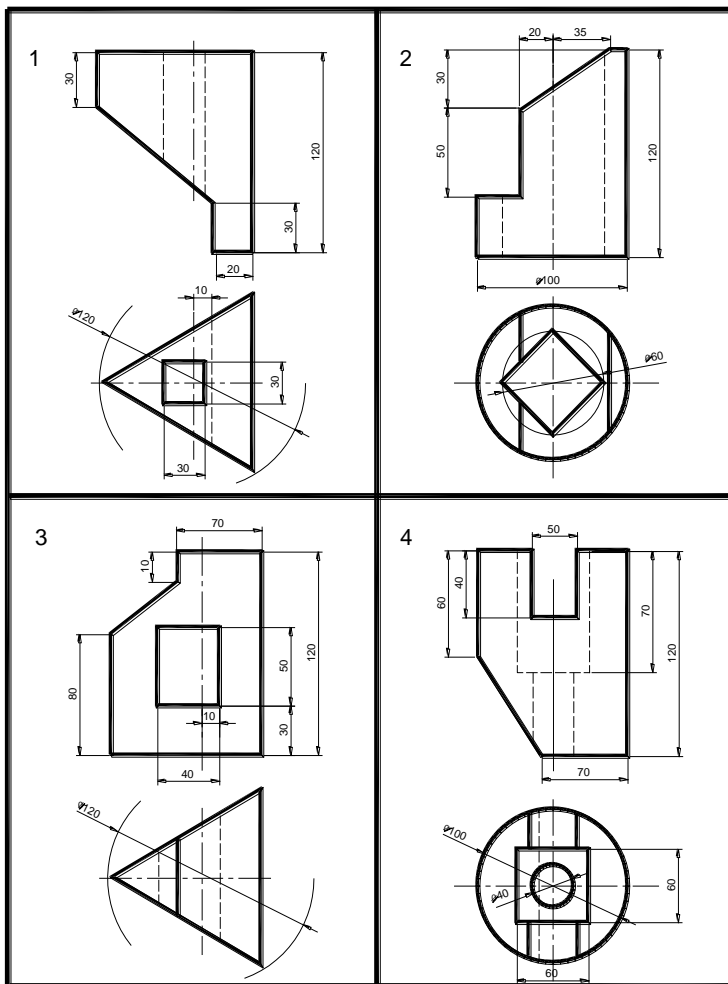


Рис. 5.1. Призма, цилиндр (варианты 1–4)

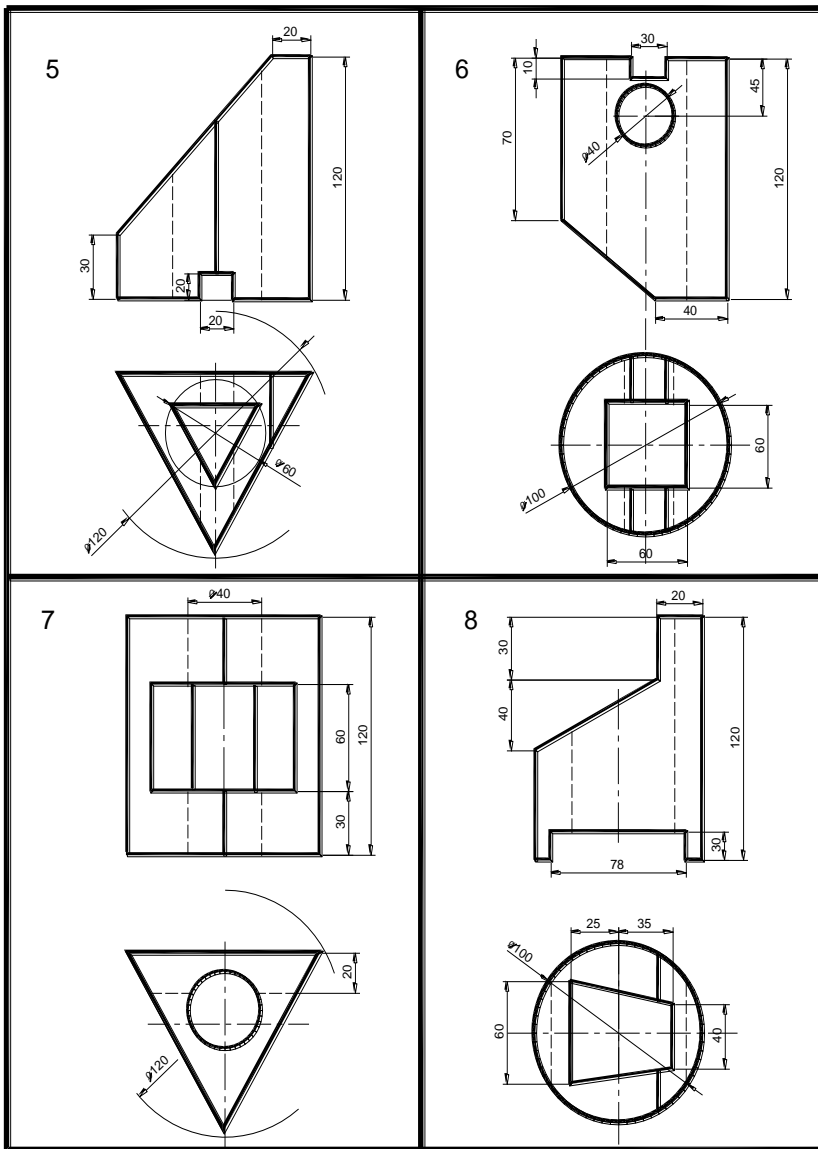


Рис. 5.2. Призма, цилиндр (варианты 5–8)

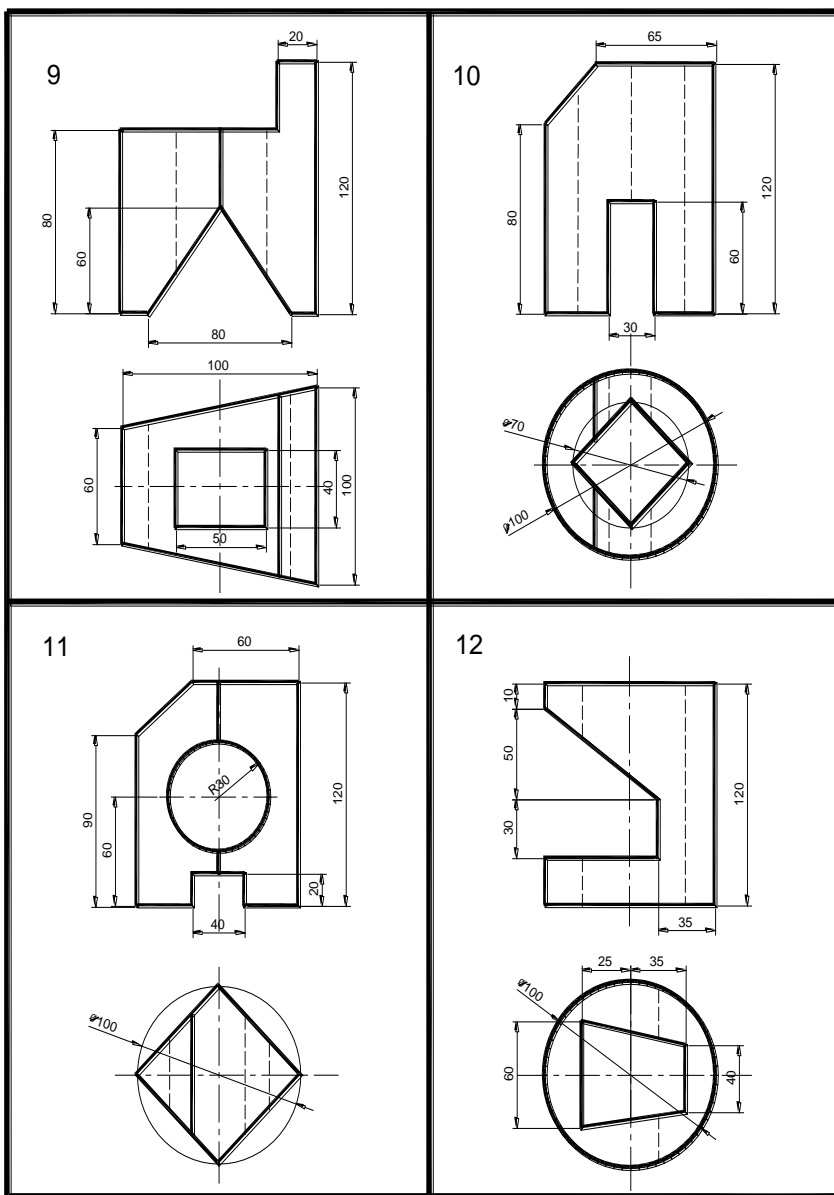


Рис. 5.3. Призма, цилиндр (варианты 9–12)

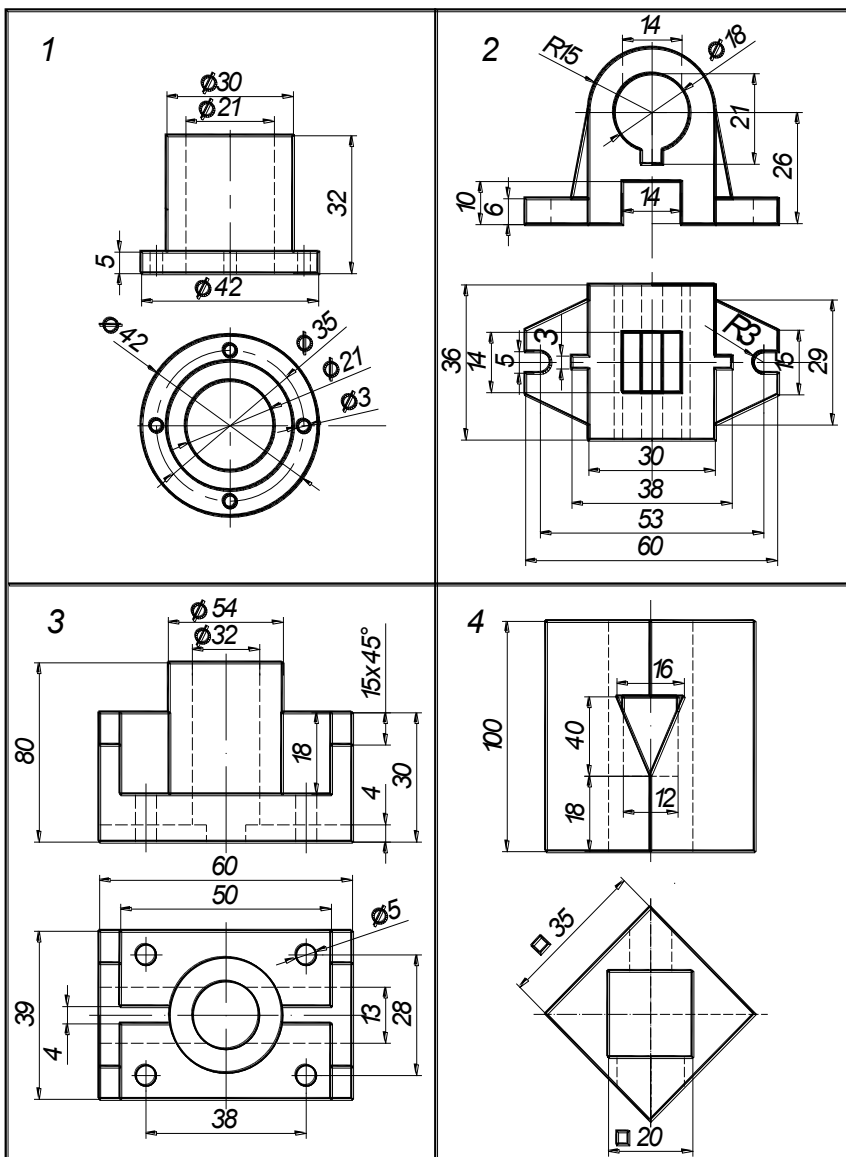


Рис. 5.4. Комбинированная фигура (варианты 1–4)



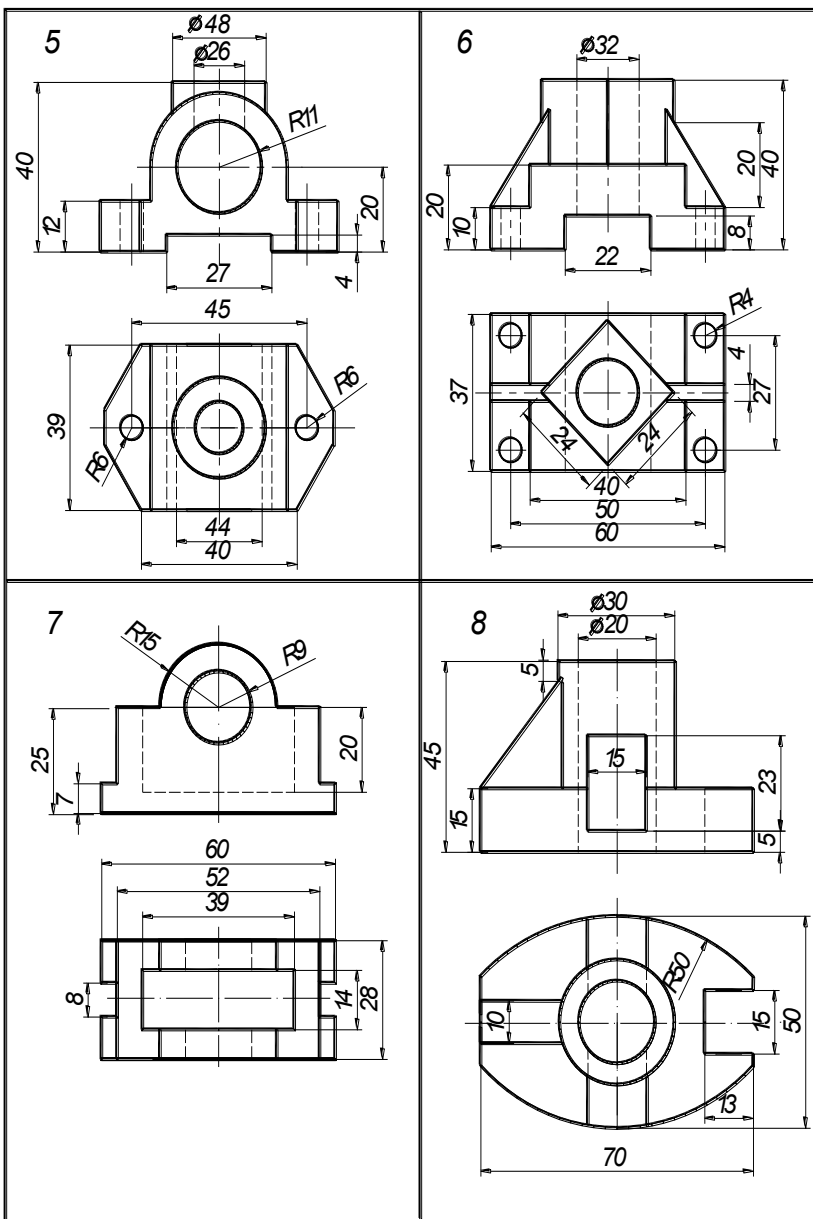


Рис. 5.5. Комбинированные фигуры (варианты 5–8)

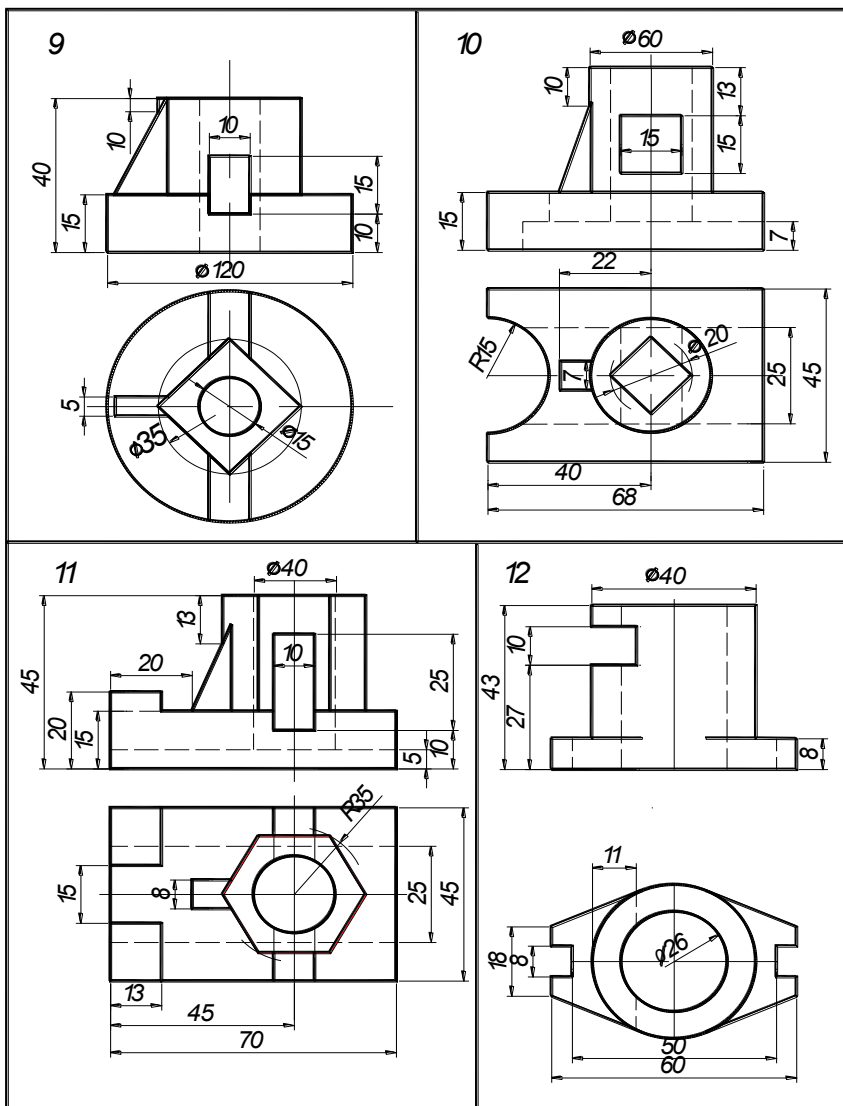


Рис. 5.6. Комбинированные фигуры (варианты 9–12)

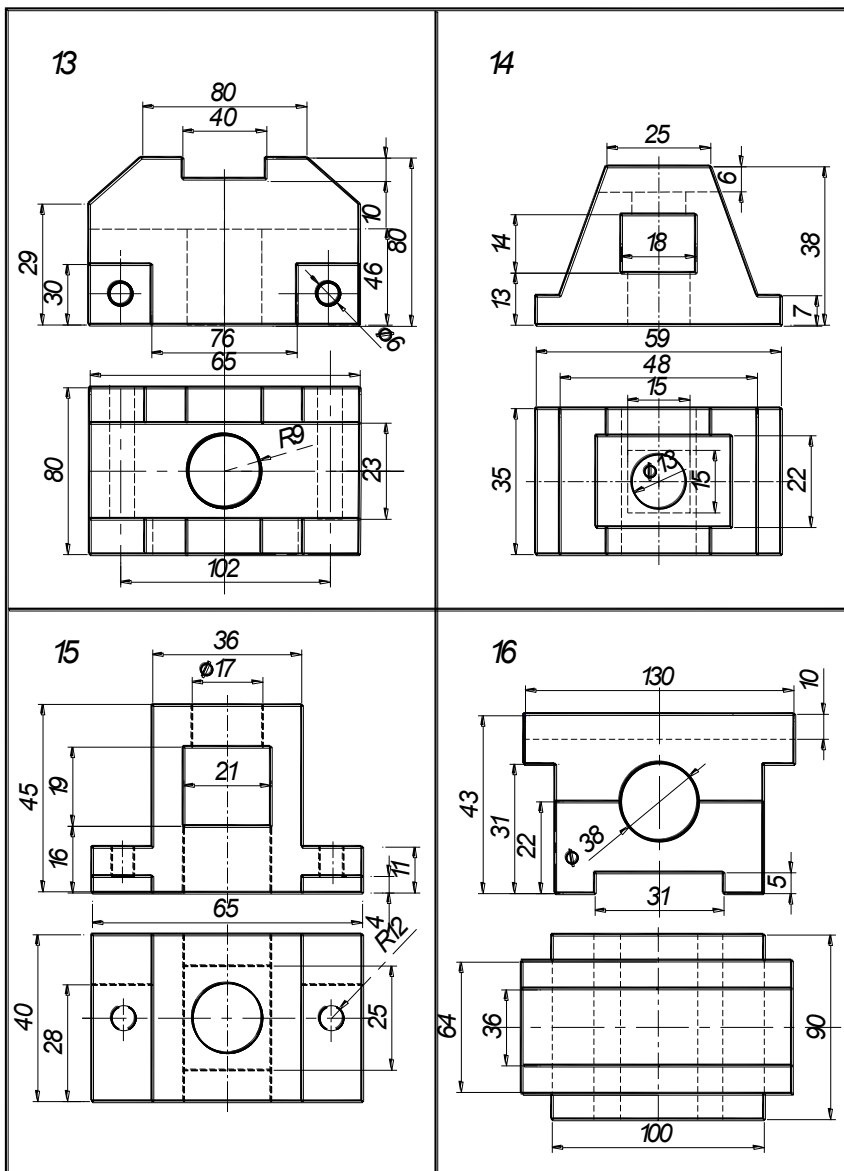


Рис. 5.7. Комбинированные фигуры (варианты 13–16)

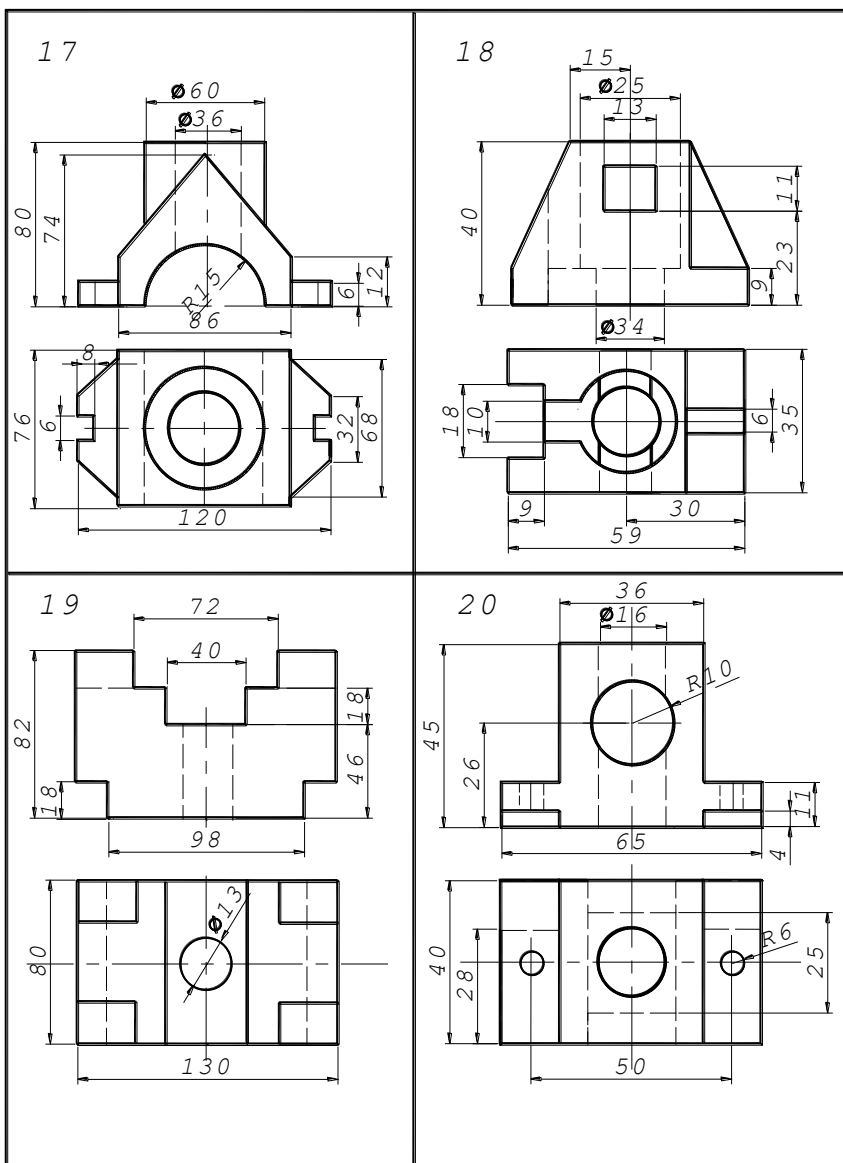


Рис. 5.8. Комбинированные фигуры (варианты 17–20)

Основной целью работы является приобретение навыков выполнения трехмерных разрезов, как наиболее часто используемых видов изображений технических деталей.

В ходе выполнения работы осуществляется построение трехмерной твердотельной модели фигуры с последующим выполнением разрезов.

Варианты, приведенные на рис. 5.1–5.3, представляют собой призмы или цилиндры с двойным внутренним пересечением. Чертежи выполняются в масштабе 1:1.

Варианты, приведенные на рис. 5.4–5.8, представляют собой комплексные фигуры и являются более сложными для построения.

В рамках данной работы в зависимости от навыков студента возможны следующие ее модификации:

- построение модели призмы или цилиндра с вырезами (пример – рис. 5.9);
- построение модели призмы или цилиндра с четвертным вырезом (пример – рис. 5.10);
- выполнение фронтального, горизонтального и профильного разрезов (пример – рис. 5.11);
- построение модели комплексной фигуры (пример – рис. 5.12).

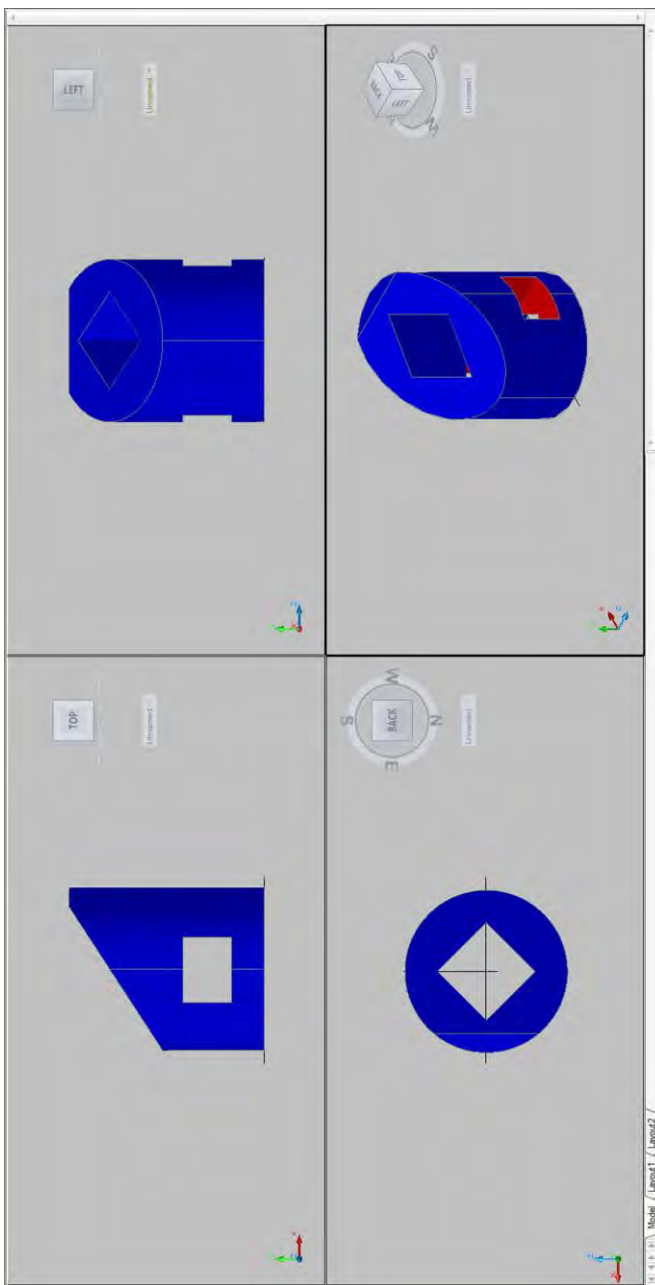


Рис. 5.9. Пример выполнения работы «Чертеж цилиндра»

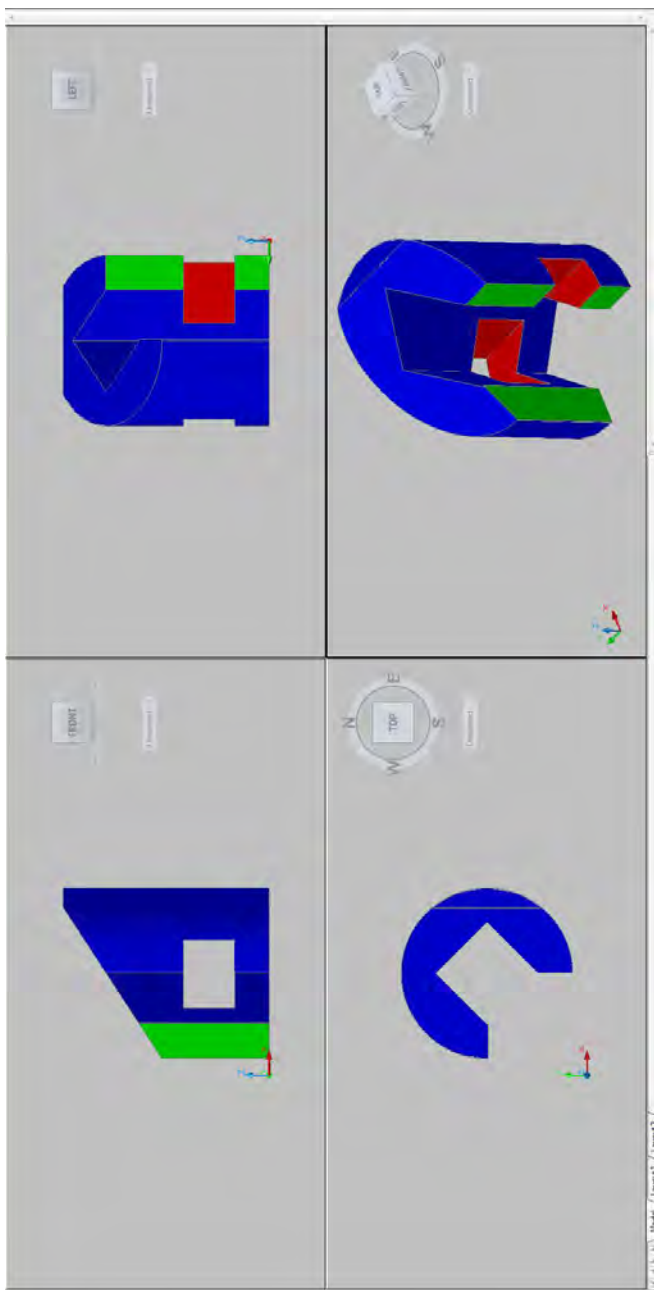


Рис. 5 10. Пример выполнения работы «Чертеж цилиндра с четвертным вырезом»

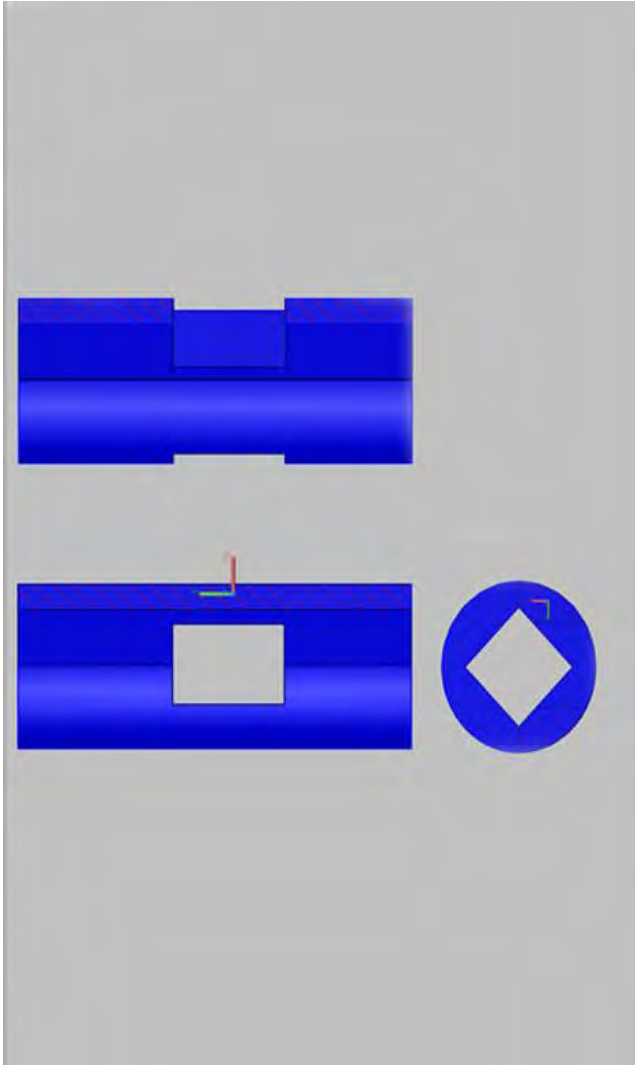


Рис. 5.1.1. Пример выполнения работы «Разрезы цилиндра»



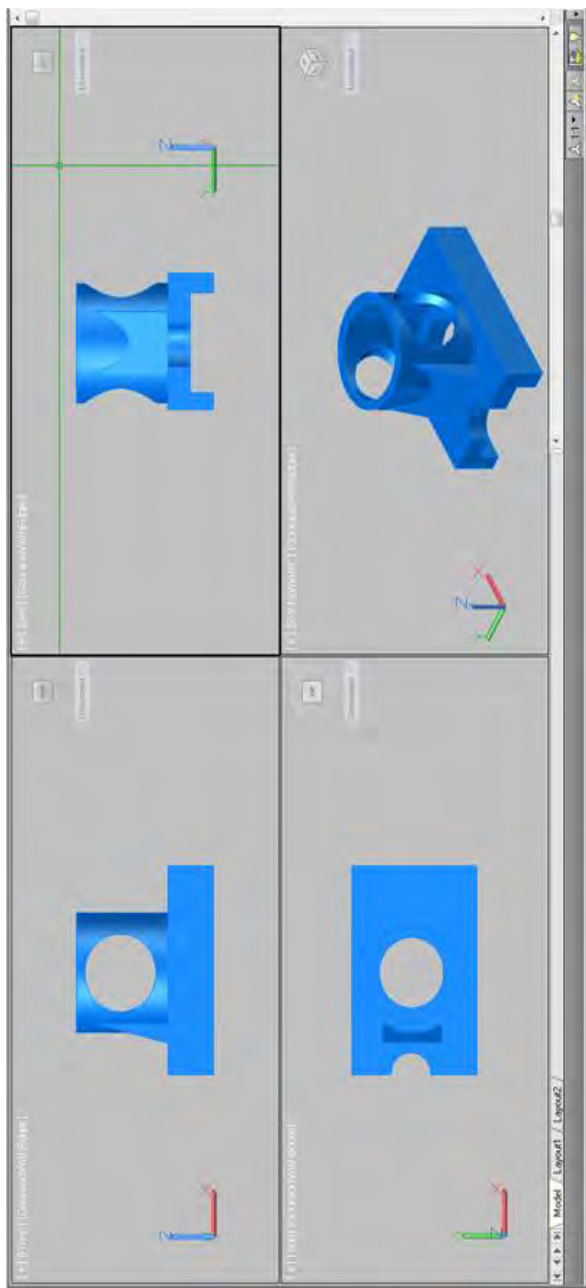


Рис. 5.12. Пример выполнения работы «Чертеж комбинированной фигуры с разрезами»

## Рекомендуемая литература

1. Садовский, Ю.И. Система инженерной графики AutoCAD для строителей. Основы создания двухмерных изображений / Ю.И. Садовский. – Минск: БНТУ, 2007. – 111 с.
2. Сазонов, А.А. Трехмерное моделирование в AutoCAD 2011 / А.А. Сазонов. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 376 с.
3. Полещук, Н. Самоучитель AutoCAD 2009. Трехмерное моделирование / Н. Полещук, В. Савельева. – СПб.: БХВ-Петербург, 2009. – 416 с.
4. Габидулин, В.М. Трехмерное моделирование в AutoCAD 2012 / В.М. Габидулин. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 240 с.
5. Омура, Д. Autocad 3D: трехмерное моделирование / Д. Омура. – М.: Лори, 2008. – 544 с.
6. Погорелов, В. AutoCAD 2010. Концептуальное проектирование в 3D / В. Погорелов. – СПб., 2009. – 368 с.
7. Климачева, Т.Н. 3D-моделирование в AutoCAD 2007–2010: самоучитель / Т.Н. Климачева. – М.: ДМК-Пресс, 2009. – 504 с.
8. Погорелов, В. AutoCAD 2007: трехмерное моделирование / В. Погорелов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 432 с.
9. Погорелов, В. AutoCAD. Трехмерное моделирование и дизайн / В. Погорелов. – СПб.: ВHV-Санкт-Петербург, 2004. – 228 с.

## О г л а в л е н и е

1. Особенности классического интерфейса системы AutoCAD.....	3
2. Основы создания трехмерных твердотельных моделей.....	16
2.1. Формирование простых объемных тел.....	19
2.2. Создание сложных тел.....	37
3. Команды редактирования трехмерных моделей.....	50
3.1. Перенос.....	51
3.2. Поворот вокруг оси.....	52
3.3. Выравнивание объектов.....	54
3.4. Зеркальное отображение относительно плоскости.....	56
3.5. Создание трехмерного массива.....	57
3.6. Трехмерное масштабирование.....	58
3.7. Обрезка и удлинение трехмерных объектов.....	59
3.8. Построение сечений.....	60
3.9. Построение разрезов.....	62
3.10. Снятие фасок на гранях.....	64
3.11. Сопряжение граней.....	65
3.12. Клеймение грани.....	67
3.13. Выдавливание граней.....	68
3.14. Поворот граней.....	71
4. Немного о визуализации трехмерных объектов.....	72
4.1. Типовые направления проецирования.....	72
4.2. Использование видовых экранов.....	74
4.3. Пользовательская система координат.....	75
5. Лабораторная работа «Выполнение чертежа трехмерной комбинированной фигуры с разрезами».....	76
Рекомендуемая литература.....	89

Учебное издание

САДОВСКИЙ Юрий Игоревич

**СИСТЕМА ИНЖЕНЕРНОЙ ГРАФИКИ  
AUTOCAD ДЛЯ СТРОИТЕЛЕЙ.**

**Основы трехмерного компьютерного моделирования**

Учебно-методическое пособие  
для студентов строительных специальностей.

В 2 частях

Часть 1

**СОЗДАНИЕ И РЕДАКТИРОВАНИЕ  
ТРЕХМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ**

Редактор Т.Н. Микулик  
Компьютерная верстка Д.К. Измайлович

Подписано в печать 29.04.2012. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 5,29. Уч.-изд. л. 4,14. Тираж 200. Заказ 1084.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет. ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009. Независимости, 65. 220013, г. Минск.