

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОГЛАВЛЕНИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ	4
1. ПРЯМОЕ И ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В СОВРЕМЕННЫХ САПР	4
2. РЕАЛИЗАЦИЯ ФУНКЦИОНАЛА ПРЯМОГО И ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В САПР NANOCAD	6
2.1. Управление видовым представлением трехмерных моделей в САПР nanoCAD	6
2.2. Пользовательские системы координат (ПСК) и вспомогательные команды в САПР nanoCAD	10
2.3. Команды прямого твердотельного моделирования в САПР nanoCAD	13
2.4. Команды параметрического твердотельного моделирования в САПР nanoCAD	19
2.5. Команды общего редактирования твердотельных моделей	23
2.6. Создание разреза и сечения твердого тела	26
3. ПРИМЕР СОЗДАНИЯ ТВЕРДОТЕЛЬНОЙ МОДЕЛИ В РЕЖИМЕ ПРЯМОГО И ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	29
3.1. Этапы разработки твердотельной модели в режиме Прямого моделирования	29
3.2. Этапы разработки твердотельной модели в режиме Параметрического моделирования	33
4. ПРИМЕРЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ	44
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	46
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	46

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время при подготовке студентов по направлению «Информатика и вычислительная техника» для изучения основ построения моделей различной сложности используется функционал отечественной САПР nanoCAD.

Для построения твердотельных моделей в данной САПР реализованы два подхода: параметрическое моделирование – режим **«Параметрика»** и прямое моделирование - режим **«Прямое»**. У каждого подхода есть свои особенности. При этом для визуализации твердотельных моделей, разработанных с помощью каждого из режимов, может использоваться один и тот же функционал.

Режим моделирования твердотельных моделей **«Прямое»** в САПР nanoCAD полностью совпадает с соответствующим подходом к разработке таких моделей в САПР низкого уровня, которые использовались в учебном процессе ранее. Режим **«Параметрика»**, ориентированный на использование дерева построения, как при создании, так и при редактировании твердотельных моделей, является традиционным для САПР среднего и высокого уровня и очень важен для понимания основ геометрического моделирования в САПР.

Данный практикум дает возможность освоить принципы прямого и параметрического моделирования при проектировании твердотельных моделей в САПР nanoCAD. В пособии на реальных примерах моделирования машиностроительных деталей рассмотрены особенности интерфейса 3D моделирования данной САПР.

1. ПРЯМОЕ И ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В СОВРЕМЕННЫХ САПР

В настоящее время для разработки твердотельных моделей существует большое количество САПР различного уровня. Большинство САПР ориентированы на разработку 3D-моделей, построение которых основано на иерархической параметризации [1]. Несмотря на то, что типов параметризации в САПР не одна, а четыре: табличная, иерархическая, вариационная и геометрическая, САПР называют параметрической, если в ней присутствует хотя бы принцип иерархической параметризации. Такой тип параметризации позволяет существенно сократить временные затраты на редактирование модели.

Основным признаком иерархической параметризации при создании трехмерной модели является наличие в используемой САПР дерева построения модели. Дерево построения отслеживает историю создания модели. Именно дерево построения превращает модель в параметрическую. С каждой операцией, которая фиксируется в дереве построения, связан определенный набор параметров. Изменение хотя бы одного параметра, связанного с этапом истории, т.е. дерева построения, приводит к пересчету всей модели.

На первый взгляд такой способ построения модели представляется очень удобным как с точки зрения наглядности, так и с точки зрения возможностей для редактирования.

Но следует отметить ряд недостатков, которые имеет модель, построенная на основе параметризации:

- бывают ситуации, когда разработчик не может точно определить, какой параметр и на каком этапе истории построения нужно выбрать и изменить, чтобы получить желаемый результат, что связано со сложностью и непрозрачностью результирующего дерева построения;

- для сложных моделей и дерево построения может быть достаточно сложным, пересчет модели после изменения параметра может занять много времени;

- иерархическая параметризация относится к процедурному типу; возможно менять только входные параметры;

- в случае использования унаследованных данных, т.е. моделей, разработанных в других САПР и сохраненных, например, в нейтральном формате, при передаче их в САПР разработчика происходит потеря соответствующей истории построения (дерева) построения.

Многие из этих проблем решает прямое моделирование [1]. Этот подход к созданию моделей основан на представлении твердого тела, как единого топологического объекта, в состав которого входят такие элементы, как оболочка, грани, ребра, вершины, циклы [2]. При редактировании такой модели она рассматривается как единое целое. Та или иная операция редактирования может быть выполнена только в том случае, если не нарушена топологическая связность отдельных топологических элементов твердого тела.

Такое создание и редактирование модели является более простым. Прямое моделирование позволяет создавать и редактировать каждый элемент модели, и даже сборки, построенной на основе созданных моделей. В рамках редактирования таких моделей можно применять, например, операцию выдавливания грани, принадлежащей твердому телу. Причем геометрия прилегающих элементов твердого тела подстраивается к измененной геометрии по принципу не нарушения топологических связей.

Важным преимуществом прямого моделирования является возможность использования унаследованных моделей [1]. В этом случае сохраненная при импорте модель легко поддается редактированию.

В САПР nanoCAD реализованы оба подхода к созданию твердотельных моделей. Разработке модели с использованием иерархической параметризации соответствует режим «**Параметрика**», а при создании модели на основе прямого моделирования используется режим «**Прямое**».

Рассмотрим подробно основные этапы создания твердотельных моделей в САПР nanoCAD в каждом из этих режимов.

2. РЕАЛИЗАЦИЯ ФУНКЦИОНАЛА ПРЯМОГО И ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В САПР NANOCAD

Прежде чем перейти к рассмотрению возможностей твердотельного моделирования САПР nanoCAD, рассмотрим функционал этой САПР, который позволяет решить задачу визуализации трехмерных моделей - управление видовыми представлением моделей. Структура интерфейса САПР nanoCAD рассмотрена в [2,3].

2.1. Управление видовым представлением трехмерных моделей в САПР nanoCAD

Для управления видовым представлением трехмерных моделей в САПР nanoCAD используются **команды проецирования** (параллельные и центральные проекции), команды настройки **видовых экранов**, команды настройки **визуальных стилей**.

Настройка **видовых экранов** происходит либо через **Падающее меню Вид** – подменю **Видовые экраны**, либо в **Ленточном меню** через панель **Видовые экраны модели** вкладки – **Вид**. На рис. 2.1 показаны типы видовых экранов при выборе их в **Ленточном меню**.

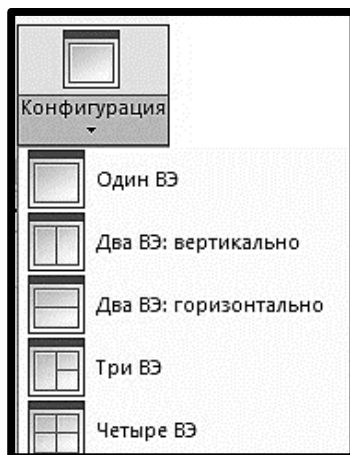


Рис. 2.1. Выбор Видового экрана в Ленточном меню

Для анализа трехмерной модели в процессе ее построения используются различные типы **проекций**.

Это может быть параллельная или центральная проекция. В САПР nanoCAD используются ортографическая проекция, различные типы аксонометрических проекций и центральная проекция. Выбор типа проекции для модели в nanoCAD называется **Управление видом**.

Для выбора типа проекции можно воспользоваться **Падающим меню Вид** подменю **Виды и проекции**. В **Ленточном меню** выбор типа проекции происходит в панели **Виды** вкладки **Вид** (рис. 2.2)

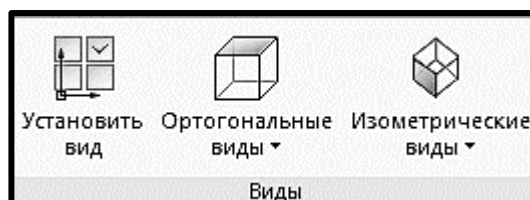


Рис. 2.2. Панель Видов Вкладки Вид Ленточного меню

Ортогональные виды (ортографические проекции), которые могут быть выбраны из панели **Виды**, показаны на рис. 2.3. а), а выбираемые из данной панели изометрические виды (изометрические проекции) показаны на рис. 2.3.б).



а)



б)

Рис. 2.3. Проекции, создаваемые в панели Видов:
а) ортогональные виды, б) изометрические виды

На рабочем поле в левом верхнем углу есть панель, позволяющая управлять видами и визуальными стилями, которая состоит из четырех

частей. Мы рассмотрим только три части этой панели (слева направо). Первая часть – включение/выключение кнопки **Управление видом (выбор проекции)** и кнопки **Локатор**. Вторая часть (кнопка) является заголовком меню **Управление видом (выбор проекции)** (Рис.2.4). Третья часть (кнопка) позволяет изменять визуальные стили (будут рассмотрены позже).

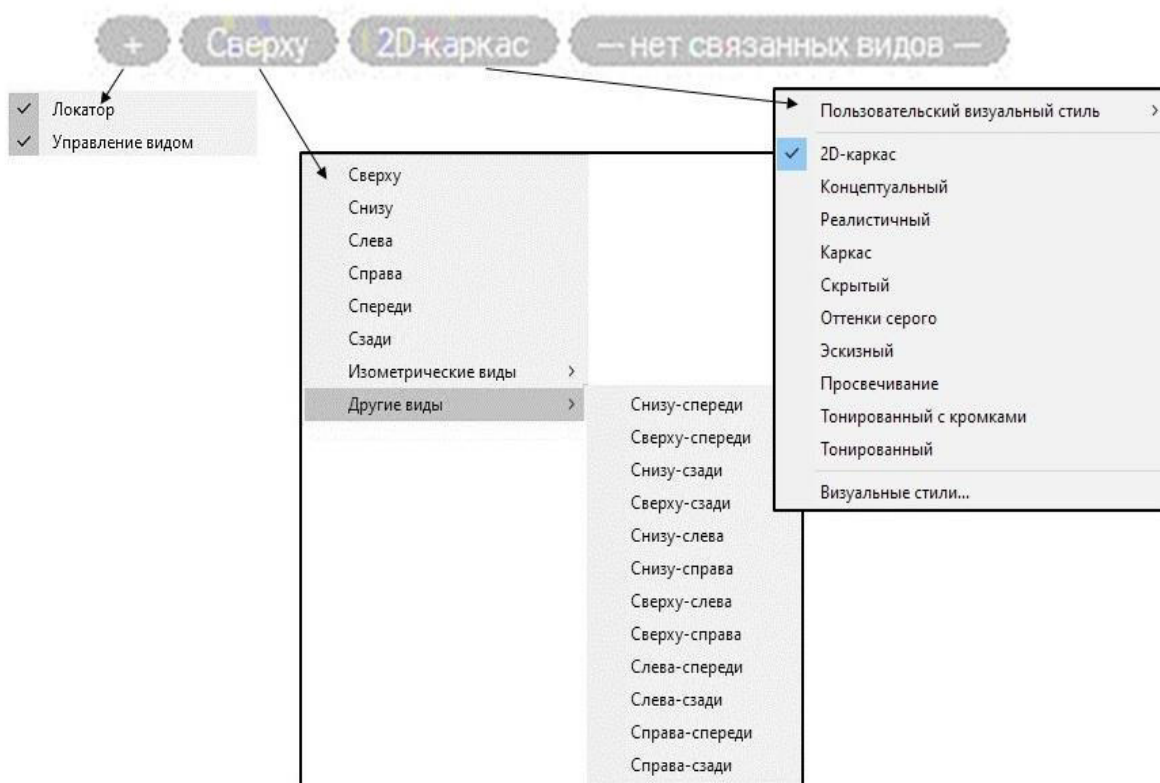


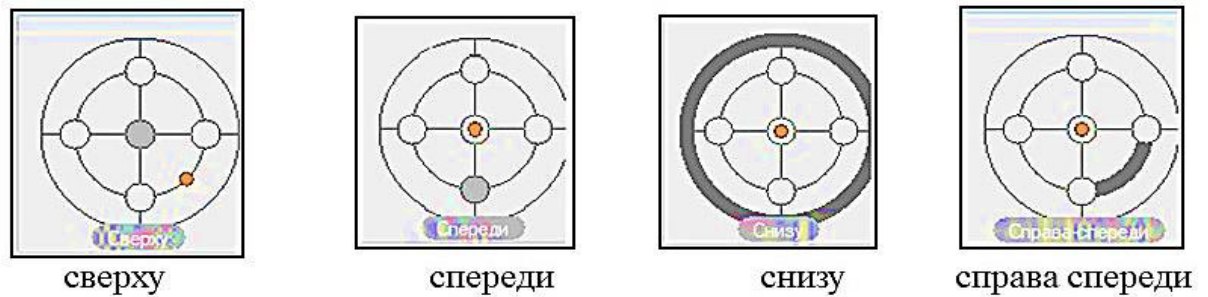
Рис. 2.4. Быстрое управление видами и изменением визуального стиля на рабочем поле

Если **Локатор** включен, то на рабочем пространстве в верхнем правом углу присутствует инструмент управления видами – локатор.

С помощью этого инструмента также можно переключаться между различными видами. **Локатор** находится в неактивном состоянии. Неактивный локатор дает визуальное представление о текущей точке зрения на модель в соответствии с изменениями вида. При наведении курсора на локатор этот инструмент становится активным.

Управлять отображением вида создаваемой модели можно, выбирая различные элементы **Локатора** – сегменты, дуги, точки (центр окружности, точки пересечения двух диаметров с окружностью). В зависимости от выбора того или иного элемента **Локатора** фиксируется та или иная проекция. Например, при выборе центра **Локатора** (окружности) фиксируется ортографическая проекция вид Сверху. На рис. 2.5. показаны различные варианты использования **Локатора** для управления видами (изменения проекции).

ортографические проекции



изометрические проекции

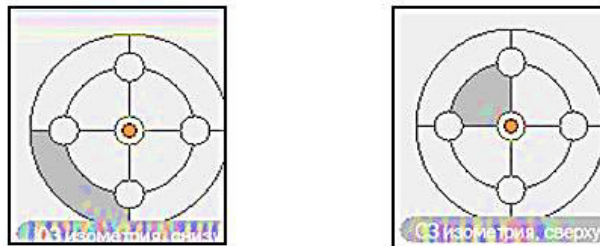


Рис. 2.5. Примеры изменения вида (проекции) с помощью инструмента Локатор

В САПР nanoCAD для работы с видами может быть так же использована панель **Навигация** вкладки **Вид Ленточного меню** (рис. 2.6). Переключение между двумя проекциями – центральной и параллельной, происходит именно в этой панели. Некоторые из кнопок данной панели могут быть выбраны в строке состояния (например, панорамирование, зумирование (масштабирование), зависимая орбита, свободная орбита).



Рис. 2.6. Панель Навигация вкладки Вид Ленточного меню

Самый динамичный способ наблюдения за поведением трехмерной модели в результате изменения проекции модели - это орбитальный режим: **зависимая орбита** – вращение модели относительно горизонтальной или вертикальной оси); **свободная орбита** – вращение относительно центра сцены в любых направлениях; **облет** модели на переменной высоте.

Для создания реалистического изображения трехмерной модели в nanoCAD используются **визуальные стили**, которые позволяют удалить невидимые грани и ребра в трехмерной модели, закрасить ее видимые части с учетом затенения и текстуры [1, 2, 4]. Для вызова соответствующих команд можно воспользоваться либо падающим меню **Сервис/подменю Визуальные стили**, либо панелью **Визуализация** вкладки **Вид Ленточного меню**. Очень удобно выбирать и менять визуальные стили из панели управления видами, находящейся в левом верхнем углу (ее крайняя правая часть) (рис.2.4).

В САПР nanoCAD используются следующие визуальные стили:

- 2D-каркас - геометрические модели представляются в виде отрезков и кривых;
- концептуальный - геометрические модели отображаются с использованием тонирования с плавными переходами;
- реалистичный - геометрические модели отображаются с использованием тонирования с плавными переходами с учетом материалов;
- каркас - геометрические модели представляются в виде отрезков и кривых, которые задают контуры трехмерной модели;
- скрытый - используется каркасное представление трехмерных объектов; при этом невидимые ребра, принадлежащие закрытым граням, не отрисовываются;
- оттенки серого – используемые для отрисовки цвета только серые;
- эскизный - отрисовка как при создании эскизов;
- просвечивание – учитывается прозрачность материалов;
- тонирование с кромками – реалистичный с отрисовкой ребер граней трехмерной модели;
- тонирование – вариант реалистичного изображения.

2.2. Пользовательские системы координат (ПСК) и вспомогательные команды в САПР nanoCAD

Построение в трехмерном пространстве основывается на работе в плоскости, т.к. построение твердотельной модели начинается с создания

плоского двумерного эскиза. При этом плоскость построения может меняться. Первоначально построение происходит в мировой системе координат (глобальной декартовой системе координат - МСК) Эта система является текущей. Не всегда бывает достаточно только мировой системы координат для создания сложных геометрических моделей. Для упрощения процесса создания и редактирования трехмерных моделей есть возможность менять плоскость построения. Изменение плоскости построения происходит при создании твердотельных моделей как в режиме прямого моделирования, так и в режиме параметрического моделирования. Для решения этой задачи в режиме «Прямое» чаще используются ПСК [2].

Для выбора того или иного способа создания текущей ПСК можно воспользоваться соответствующей панелью инструментов (рис. 2.7). Работа с панелями инструментов подробно описана в практикуме [3]. Необходимую панель инструментов можно расположить на рабочем поле через ленточное меню: панель **Адаптация** вкладки **Настройки**.

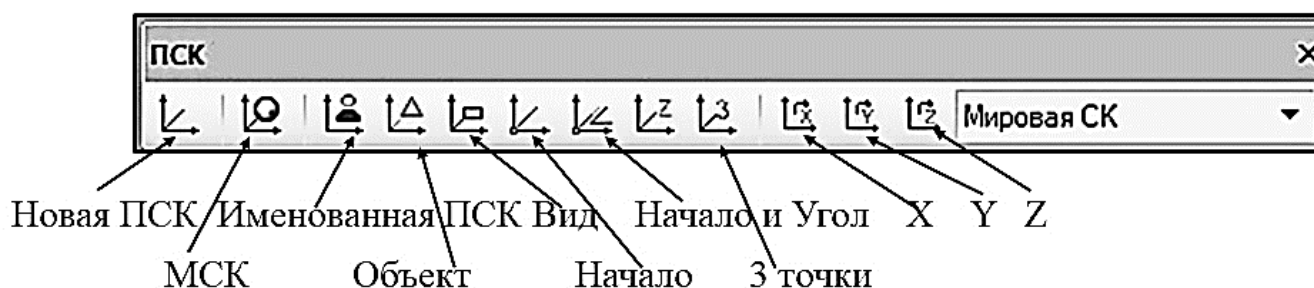


Рис. 2.7. Панель инструментов ПСК

Для смены ПСК можно воспользоваться падающим меню **Сервис**. В **Ленточном меню** для работы с ПСК используется панель **Координаты** вкладки **Вид** (рис.2.8).



Рис. 2.8. Панель Координаты вкладки Вид Ленточного меню

Перечислим возможности изменения **ПСК** в соответствии с последовательностью способов, перечисленных в панели инструментов (рис.2.6):

1. **Новая ПСК** – один из способов управления **ПСК**.
2. **МСК** – установка текущей **ПСК** в соответствии с **МСК**.
3. **Именованная ПСК** - один из способов управления **ПСК**.
4. **ПСК Объект** – выравнивание **ПСК** по выбранному объекту.
5. **Вид** - выравнивание плоскости **ХУ ПСК** по экрану.
6. **ПСК Начало** – определение **ПСК** путем задания новой точки начала координат; координаты могут быть заданы путем ввода их значений в командной строке или с помощью привязки к ранее созданным объектам.
7. **ПСК Начало и угол** - определение **ПСК** путем задания новой точки начала координат и угла поворота.
8. **3 точки** – определение новой **ПСК** по трем точкам (начало координат, положительное направление оси **X**, положительное направление оси **Y**).
9. **Направление оси Zв-** выравнивание **ПСК** по заданному положительному направлению оси **Z**.
10. **X** – поворот **ПСК** вокруг оси **X**
11. **Y** – поворот **ПСК** вокруг оси **Y**
12. **Z** – поворот **ПСК** вокруг оси **Z**

Примеры использования различных **ПСК** будут рассмотрены в разделе 3.1 при создании твердотельной модели в режиме **Прямого моделирования**.

В обоих режимах твердотельного моделирования есть возможность использовать вспомогательные команды: **добавить рабочую плоскость, добавить рабочую ось и добавить рабочую точку**. Данные команды используются для упрощения создания эскизов для трехмерных моделей и для выполнения некоторых команд твердотельного моделирования. Выбор одной из перечисленных команд происходит из панели **Вспомогательные команды** вкладки **3D- инструменты** Ленточного меню.

Рассмотрим диалог команды - **добавить рабочую плоскость**.

При вызове данной команды можно выбрать следующие варианты для создания плоскости:

- 3 точки;
- 2 отрезка;
- Нормально к Кривой;
- По касательной к Поверхности;
- Под углом к плоскости;
- Смещение от плоскости.

Дополнительная рабочая плоскость выполняет практически ту же самую роль, что и **ПСК**. Такая рабочая плоскость часто используется в

режиме **Параметрического моделирования** для отрисовки эскизов. Подробно пример использования дополнительной рабочей плоскости для решения этой задачи будет описан в разделе 3.2. при рассмотрении примера разработки твердотельной модели в режиме «**Параметрика**».

Команда **добавить рабочую ось** содержит следующие опции:

- 2 точки;
- отрезок;
- пересечение плоскостей;
- нормально к Кривой;
- по касательной к Поверхности;

Варианты **добавления рабочей точки** следующие:

- Характерная точка;
- Центральная точка;
- пересечение кривых;
- пересечение кривой и поверхности;
- 3 плоскости.

2.3. Команды прямого твердотельного моделирования в САПР nanoCAD

Как говорилось ранее, твердотельная модель, создаваемая в режиме «**Прямое**», представляет собой топологический объект, связывающий в единое целое все его топологические составляющие (вершина, ребро, грань, оболочка и т.д.) [4]. Команды разработки и редактирования твердотельных моделей этого типа могут быть вызваны из панели **Прямое моделирование** вкладки **3D-инструменты Ленточного меню** (в панели режимы моделирования должен быть выбран режим **Прямое**) (рис.2.9). Кроме этого, все команды прямого моделирования могут быть вызваны из подменю **Прямое моделирование** падающего меню **3D**.



Рис. 2.9. Команды прямого моделирования в Ленточном меню

Для создания твердотельных моделей в режиме прямого моделирования используется один из основных принципов разработки сложных твердотельных моделей – выполнение булевых операций (вычитание, объединение, пересечение) над более простыми твердотельными моделями [4].

В режиме прямого моделирования твердотельные модели, участвующие в создании сложных моделей, разрабатываются с помощью команд построения твердотельных примитивов и команд создания твердых тел по кинематическому принципу [2,4].

В САПР nanoCAD могут быть построены следующие твердотельные примитивы: прямоугольный параллелепипед, цилиндр, конус и усеченный конус, пирамида и усеченная пирамида, сфера, тор, клин, полисолид. Каждый из твердотельных примитивов строится относительно текущей плоскости построения и поэтому ориентируется по плоскости XY текущей ПСК.

Диалог для этих команд происходит в командной строке. Все опции наглядны и просты.

Для примера рассмотрим этапы создания пирамиды и полисолида в САПР nanoCAD.

С помощью команды **Пирамида** можно построить правильную пирамиду, т.е. пирамиду, основанием которой является правильный многоугольник. По умолчанию число сторон правильного многоугольника равно 4, и он является вписанным в окружность заданного радиуса. Число сторон основания может быть увеличено. Также можно поменять переменную, отвечающую за положение многоугольника по отношению к окружности, сделать его описанным вокруг окружности. Если необходимо построить усеченную пирамиду, то нужно выбрать вместо опции – **Высота**, опцию - **Радиус верхнего основания**. На рис. 2.10 представлен диалог команды **Пирамида** и этапы создания твердотельного примитива **Пирамида** с числом сторон ее основания – 6, для случая, когда многоугольник, являющийся основанием пирамиды, описан вокруг окружности заданного радиуса.

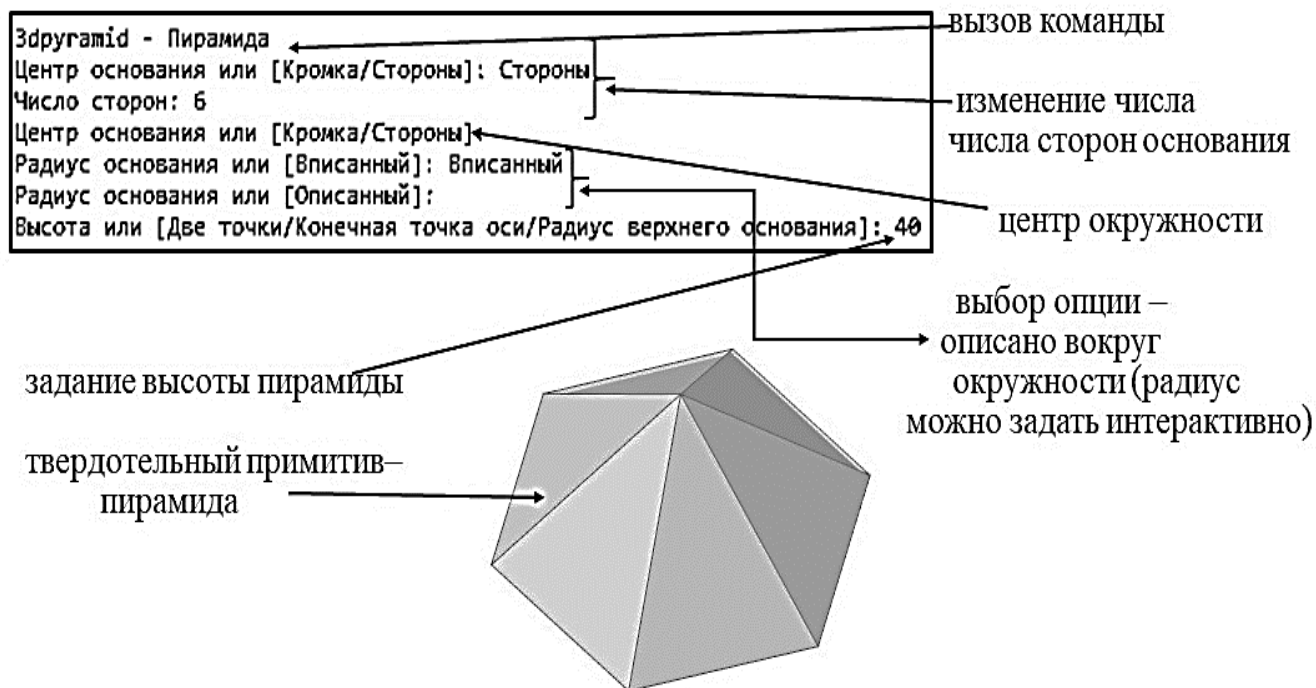


Рис. 2.10. Этапы создания твердотельного примитива Пирамида

Рассмотрим этапы выполнения команды **Полисолид**. С помощью этой команды может быть построена твердотельный объект - стена. Команда **Полисолид** позволяет строить **Полилинию** [3] с одновременным преобразованием ее в тело путем задания ширины и высоты. Объем тела получается за счет ширины относительно оси в плоскости XY и высоты выдавливания по оси Z.

При вызове команды **Полисолид** сначала нужно задать точку (начальная точка) или выбрать опцию **Объект** для преобразования ранее отрисованной полилинии в тело; при выборе опции **Ширина** или **Высота** происходит изменение ширины или высоты соответственно для формируемой стены; опция **Выравнивание** позволяет определить способ выравнивания ширины относительно оси влево, по центру, вправо. Сегменты стены могут линейными или дугowymi. Стена может быть замкнутой. Для этого используются опции команды: **Дуга**, **Отрезок**, **Замкнуть**.

На рис. 2.11 показан диалог команды **Полисолид** и этапы создания замкнутой твердотельной стены, в которой есть линейные и дуговые участки; выбранный способ выравнивания ширины – **Справа**.



Рис. 2.11. Этапы создания твердотельного примитива Полисолид

Более сложные твердые тела в nanoCAD, как в режиме «Параметрика», так и в режиме «Прямое» строятся на основе моделей по кинематическому принципу. Такие модели создаются во всех современных САПР [2,4].

Суть формирования моделей по кинематическому принципу состоит в задании замкнутого контура (профиля или сечения) и определения метода построения модели, основанного на кинематике (рис.2.9). Твердое тело может быть построено на основе вращения профиля вокруг заданной оси (команда **Вращение**), перемещения профиля по сложной траектории или на заданную высоту (команды **Вытягивание по траектории** и **Выдавливание**), смешивания нескольких профилей (**Вытягивание по сечениям**).

Первым этапом создания таких моделей является отрисовка профиля. Особенностью режима «Прямое» является то, что профиль создается на основе команд двумерного моделирования, которые могут быть вызваны из панели **Черчение** вкладки **Главная** **Ленточного меню** до выполнения команд твердотельного моделирования по кинематическому принципу. Для создания дополнительных кривых и профилей, необходимых для разработки таких моделей в режиме «Прямое», используются различные ПСК.

В режиме «**Прямое**» диалог каждой из этих команд происходит только в командной строке. Рассмотрим диалоги и основные параметры команд по кинематическому принципу в режиме прямого моделирования.

Диалог команды **Выдавливание** показан на рис. 2.12. Выдавливание профиля может происходить на заданную высоту, по определенной траектории, а также на высоту с заданием угла конусности. **Угол конусности** – это параметр, аналогичный одноименному параметру, задаваемому при построении твердотельного примитива **Конус** для указания угла его образующей с основанием.

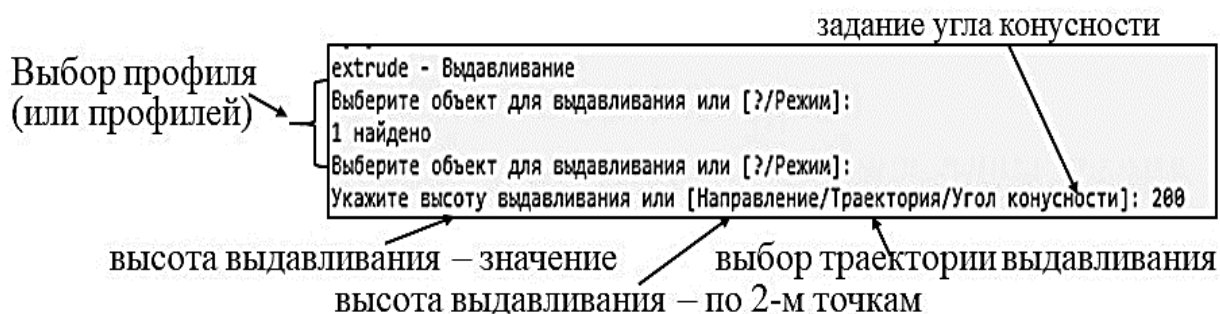


Рис. 2.12. Диалог команды **Выдавливание** в режиме «**Прямое**»

Перечислим параметры команды **Вытягивание по траектории**, влияющие на результат ее выполнения. В построении твердого тела при выполнении этой команды участвуют две кривые: профиль и траектория (образующая). Они должны быть отрисованы в разных плоскостях. Помимо простого перемещения вдоль образующей, профиль может масштабироваться в каждой плоскости сечения (параметр **Масштаб**); также он может быть повернут на заданный угол в плоскости сечения (параметр **Угол закручивания**) – в этом случае тело будет выглядеть закрученным. Параметр **Выравнивание** определяет, нужно ли выравнивать профиль нормально к образующей кривой в начальной точке или нет. На рис. 2.13 представлен диалог команды **Вытягивание по траектории** при изменении параметра **Масштаб**.

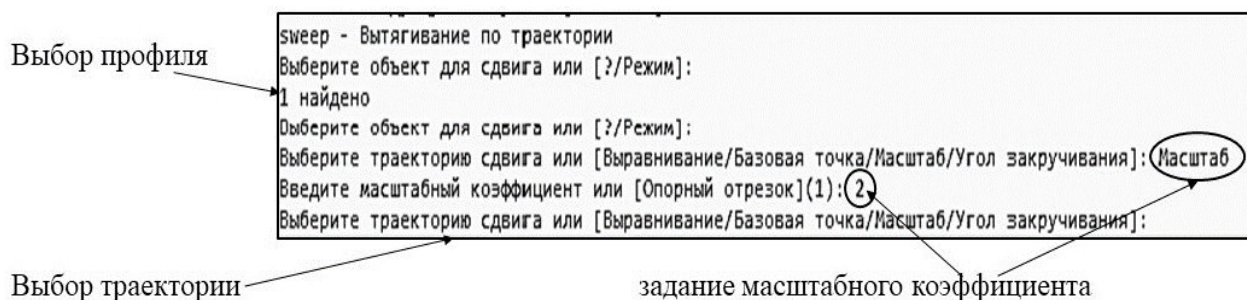


Рис. 2.13. Диалог команды **Вытягивание по траектории** с масштабированием профиля в режиме «**Прямое**»

loft - Вытягивание по сечениям
Выберите поперечные сечения в порядке, требуемом для лофтинга или [Точка/Соединить несколько кромок/Режим]:
найдено: 1, всего: 1
Выберите поперечные сечения в порядке, требуемом для лофтинга или [Точка/Соединить несколько кромок/Режим]:
найдено: 1, всего: 2
Выберите поперечные сечения в порядке, требуемом для лофтинга или [Точка/Соединить несколько кромок/Режим]:
Выбрано поперечных сечений: 2
Задайте параметр или [Направляющие/Траектория/Только поперечные сечения]<Только поперечные сечения>: Только поперечные сечения

Выбор сечений (профилей) выбор опции только для смешивания сечений

Для построения твердого тела с помощью команды **Вращение** необходимо отрисовать замкнутый профиль. Ось, по отношению к которой выполняется вращение, может быть определена по характерным точкам примитивов, отрисованных ранее. В качестве оси могут быть использованы оси X, Y или Z текущей ПСК. На рис. 2.15 показан диалог команды **Вращение** при выполнении вращения профиля на 360^0 относительно оси, заданной двумя точками.

```
revolve - Вращение
Выберите объект для вращения или [?:Режим]:
1 найдено
Выберите объект для вращения или [?:Режим]:
Укажите начальную точку или [Объект/X/Y/Z]<Объект>:
Укажите конечную точку:
Укажите угол вращения или [Укажите начальный угол/Противоположное направление]: 360
```

Как говорилось ранее, на основе твердотельных примитивов и твердотельных моделей, созданных с помощью команд по кинематическому принципу, можно разработать более сложные модели, используя **Булевы операции – Вычитание, Пересечение и Объединение** (панель **Булевы операции** вкладки **3D- инструменты** **Ленточного меню**). Особенностью режима «**Прямое**» является то, что **Булевы операции** можно выполнить

только после выполнения команд твердотельного моделирования. Исключением является случай, когда происходит одновременное выдавливание двух вложенных друг в друга замкнутых контуров. После выполнения этой команды в старших версиях САПР nanoCAD происходит автоматическое вычитание внутреннего тела из внешнего.

Возможности редактирования твердотельных моделей, созданных в режиме «Прямое» в САПР nanoCAD, ограничены. Можно выполнить выдавливание грани твердого тела, допускается изменения цвета отдельных ребер и граней твердого тела, а также всего тела целиком.

В главе 3.1 подробно рассмотрен пример создания твердого тела в режиме «Прямое».

2.4. Команды параметрического твердотельного моделирования в САПР nanoCAD

Для создания твердотельных моделей в режиме «Параметрика» используются также, как и в режиме «Прямое», команды построения моделей по кинематическому принципу. Команды разработки твердотельных моделей этого типа могут быть вызваны из панели **Параметрическое моделирование** вкладки **3D-инструменты** **Ленточного меню** (в панели **режимы моделирования** должен быть выбран режим **Параметрика**) (рис.2.16). Кроме этого все команды параметрического моделирования могут быть вызваны из подменю **3D элементы** падающего меню **3D**.



Рис. 2.16. Команды параметрического твердотельного моделирования в Ленточном меню

Подход к созданию параметрических моделей в САПР nanoCAD такой же, как и при создании твердотельных моделей при использовании режима «Прямое» – применение булевых операций к более простым параметрическим твердотельным моделям. Но есть ряд отличий от создания

и редактирования моделей в режиме прямого моделирования. Перечислим эти отличия:

- отсутствуют команды разработки твердотельных примитивов;
- эскизы создаются в режиме «**Параметрика**» сразу, как параметризованные, для этого используется опция **Добавить эскиз**;
- применение булевых операций может происходить непосредственно при выполнении той или иной команды построения модели по кинематическому принципу;
- для выполнения команд параметрического моделирования используются диалоговые окна;
- для редактирования параметрических моделей используется функциональная панель (размещение панели на рабочем поле – панель **Функциональные панели** вкладки **Настройки Ленточного меню**) [4].

Рассмотрим подробнее некоторые из особенностей параметрического моделирования в САПР nanoCAD. Параметризация в САПР nanoCAD ориентирована на иерархическую, но есть возможность задания вариационных и геометрических параметров модели. Подробнее с типами параметрических моделей в современных САПР можно познакомиться в [4].

Для выполнения команд твердотельного параметрического моделирования необходимо предварительно создать двумерные примитивы, участвующие в выполнении команд по кинематическому принципу: контуры (сечения) твердых тел, кривые, по которым перемещаются сечения (направляющие и образующие). В режиме параметрического моделирования эскиз также является параметризованным.

Для создания параметризованного эскиза необходима выбрать опцию **Добавить эскиз** (рис. 2.16). В результате происходит переход к созданию двумерного эскиза, на основе использования команд двумерного моделирования. Прежде всего нужно определить плоскость, в которой будет создаваться эскиз. Это может быть любая из координатных плоскостей текущей **ПСК** или предварительно созданная рабочая плоскость.

Особенностью параметризованного эскиза является то, что в нем все примитивы являются геометрически зависимыми друг от друга. Эти зависимости можно менять, непосредственно при создании эскиза. Двумерный примитив может создаваться в эскизном режиме. А размеры допускается наносить после отрисовки отдельных примитивов. Когда параметризованный эскиз построен, необходимо выбрать опцию **Закончить редактирование**. После этого эскиз может использоваться для выполнения команды твердотельного параметрического моделирования. Редактирование эскиза возможно через функциональную панель - **История 3D построений**, т.к. эскиз фиксируется в дереве построения модели.

На рис. 2.17. показан переход к командам двумерного моделирования при создании параметризованного эскиза.



Рис. 2.17. Начало создания параметризованного эскиза

На рис. 2.18 продемонстрированы возможности задания различных параметров параметризованного эскиза (изменение размеров, добавление геометрических и вариационных зависимостей).

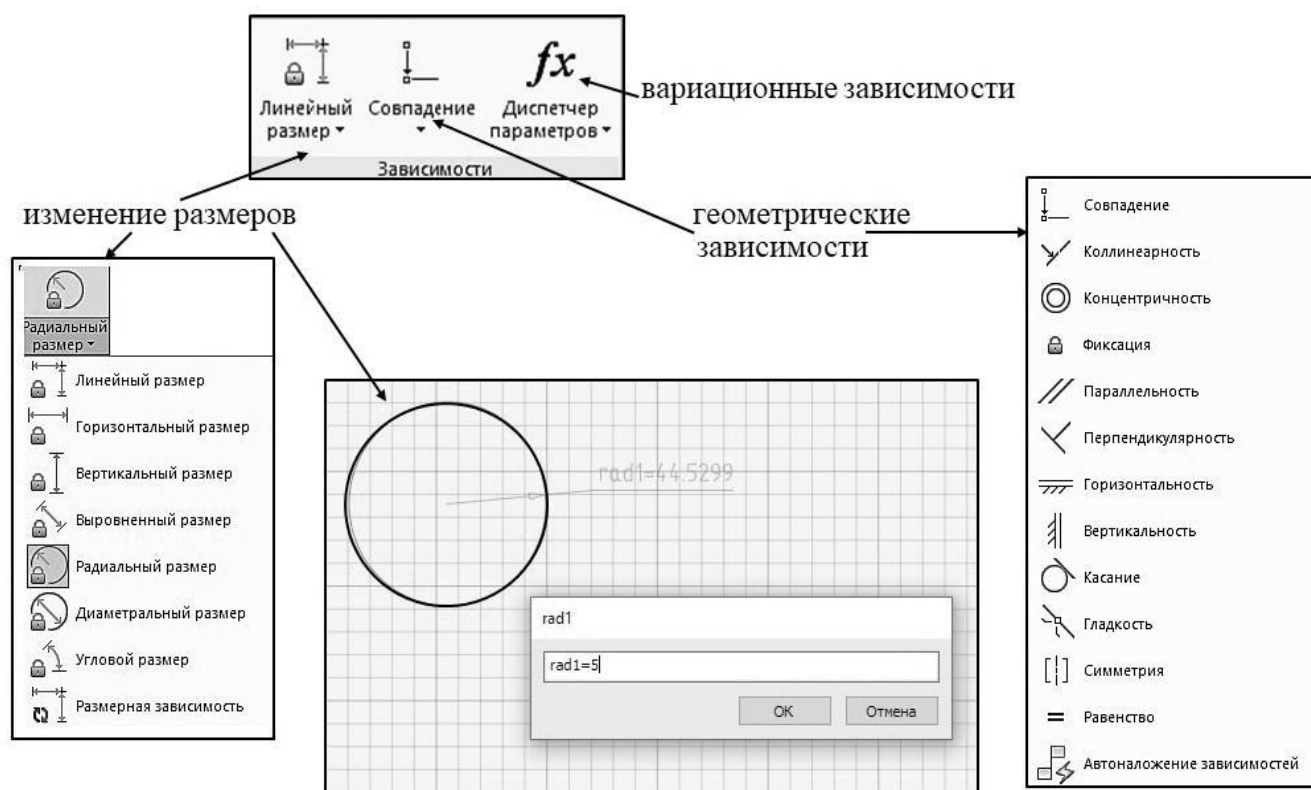


Рис. 2.18. Варианты задания параметров параметризованного эскиза

Последовательность шагов при построении твердотельных параметрических моделей по кинематическому принципу в режиме

«Параметрика» аналогична последовательности шагов при создании таких же моделей в режиме «Прямое». Но есть и отличия. Прежде всего все команды твердотельного параметрического моделирования имеют свои собственные диалоговые окна. Рассмотрим структуру диалоговых окон на примере диалогового окна команды **Выдавить** режима «Параметрика». Выдавливание контура возможно не только в положительном и отрицательном направлении оси Z текущей плоскости эскиза, но и симметрично по отношению к этой плоскости. Возможно выполнение булевых операций непосредственно при выполнении команды. Для этого необходимо выбрать в диалоговом окне опцию **Укажите тело для встраивания** и выбрать исходное тело, по отношению к которому будет выполнена булева операция.

На рис. 2.19 показаны опции диалогового окна команды **Выдавить** при построении цилиндра с отверстием на основе эскиза – двух concentric окружностей.

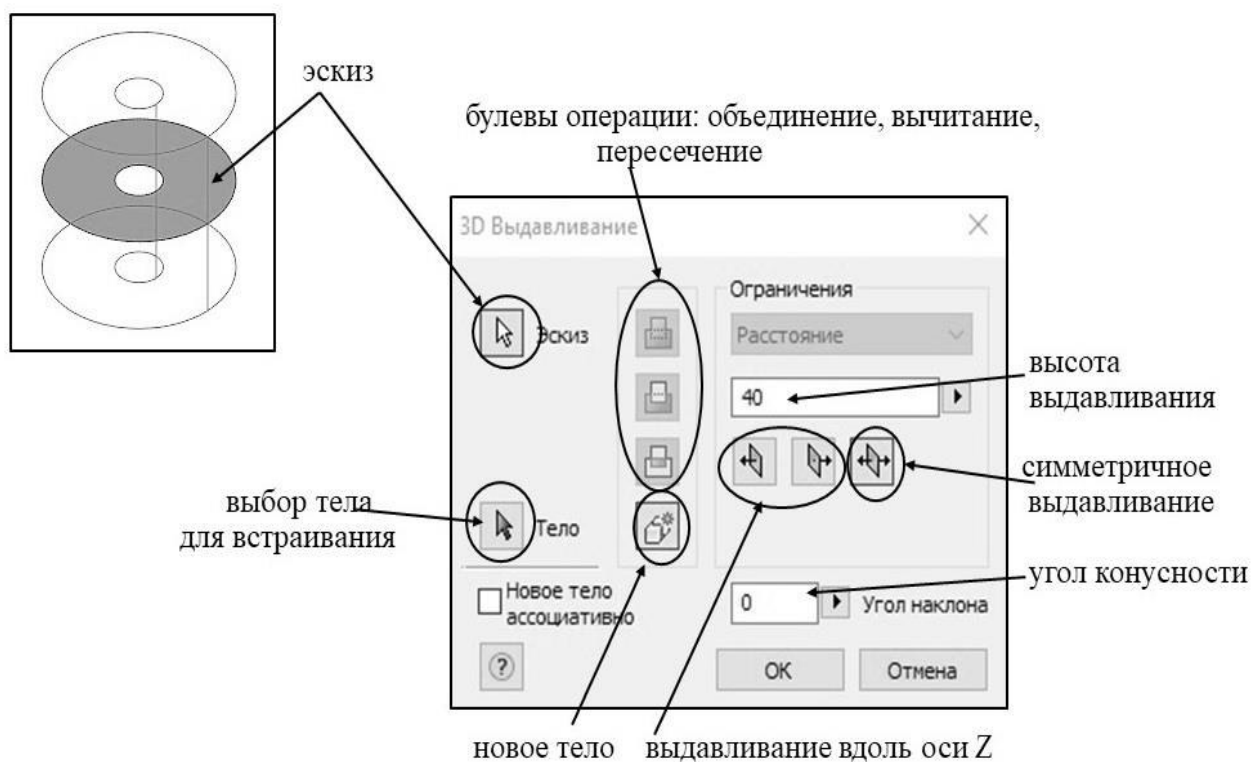
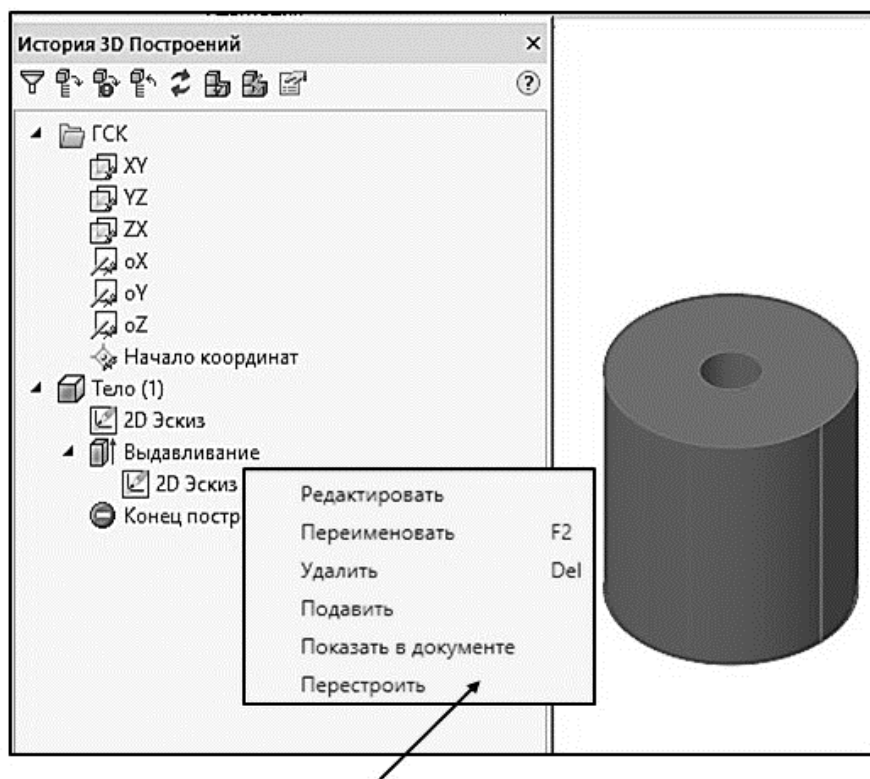


Рис. 2.19. Диалоговое окно команды Выдавить при построении цилиндра с отверстием

После завершения построения твердотельной модели в режиме «Параметрика» можно увидеть историю построения этой модели в виде дерева построения. Имея дерево построения, можно редактировать параметрическую модель. Для этого в дереве построения нужно выделить строку, соответствующую редактируемой части тела, нажать на правую кнопку мыши, тем самым вызвав контекстное меню. В контекстном меню необходимо выбрать одну из возможностей для редактирования

параметрического тела, после этого внести необходимые изменения. В результате модель будет перестроена. На рис. 2.20 показано дерево построения для твердотельной модели цилиндра с отверстием и контекстное меню ее редактирования.



контекстное меню редактирования
параметрической модели

Рис. 2.20. Вызов контекстного меню редактирования твердотельной параметрической модели в дереве построения модели

В разделе 3.2. подробно разобран пример создания твердотельной модели в режиме «Параметрика».

2.5. Команды общего редактирования твердотельных моделей

К командам общего редактирования относятся следующие команды: **3D перемещение, 3D поворот, 3D масштабирование, 3D выравнивание** (панель **Манипуляции** вкладки **3D-инструменты** **Ленточного меню**); команды **3D Фаска, 3D Скругление и 3D Резьба** (панель **Элементы** вкладки **3D-инструменты** **Ленточного меню** режима «Параметрика»); **Фаска Кромки и Сопряжение кромки** (панель **Элементы** вкладки **3D-**

инструменты Ленточного меню режима «Прямое»); команды **3D Прямоугольный массив**, **3D Круговой массив**, **3D Зеркало** (панель **Массивы** вкладки **3D-инструменты** Ленточного меню).

Первая группа команд позволяет выполнить над трехмерными моделями основные аффинные преобразования. Манипуляторы позволяют упростить процесс визуального восприятия команд аффинных преобразований и правильного принятия решения при выполнении этих команд. Такой инструмент используется во многих САПР [4]. На рис. 2.21 показана панель **Манипуляции**.



Рис. 2.21. Панель Манипуляции вкладки 3D-инструменты Ленточного меню

Следующие команды редактирования – это команды создания фаски и сопряжения между двумя гранями твердого тела на выбранном ребре. В двух режимах – «**Параметрика**» и «**Прямое**» - эти команды, выполняющие этот тип редактирования, имеют разные названия, но по сути, результат одинаковый. В случае использования прямого моделирования диалог команд происходит в командной строке. Если команды создания фаски и сопряжения выполняются в режиме параметрического моделирования, то для каждой команды есть свое собственное диалоговое окно.

На рис 2.22 показан диалог команды **Сопряжение кромки** в прямом моделировании.

```

filletedge - Сопряжение кромки
Выберите ребро или [Контур/Радиус]:
найдено: 1, всего: 1
Выберите ребро или [Контур/Радиус]: 10
Выберите ребро или [Контур/Радиус]:
найдено: 1 (1 повторно), всего: 1
Выберите ребро или [Контур/Радиус]:
Нажмите Ввод, чтобы принять сопряжение или [Радиус]

```

Рис. 2.23. Диалог команды Сопряжение кромки прямого моделирования

На рис. 2.23 показано диалоговое окно команды **3D Скругление** в режиме «Параметрика» и результат выполнения этой команды.

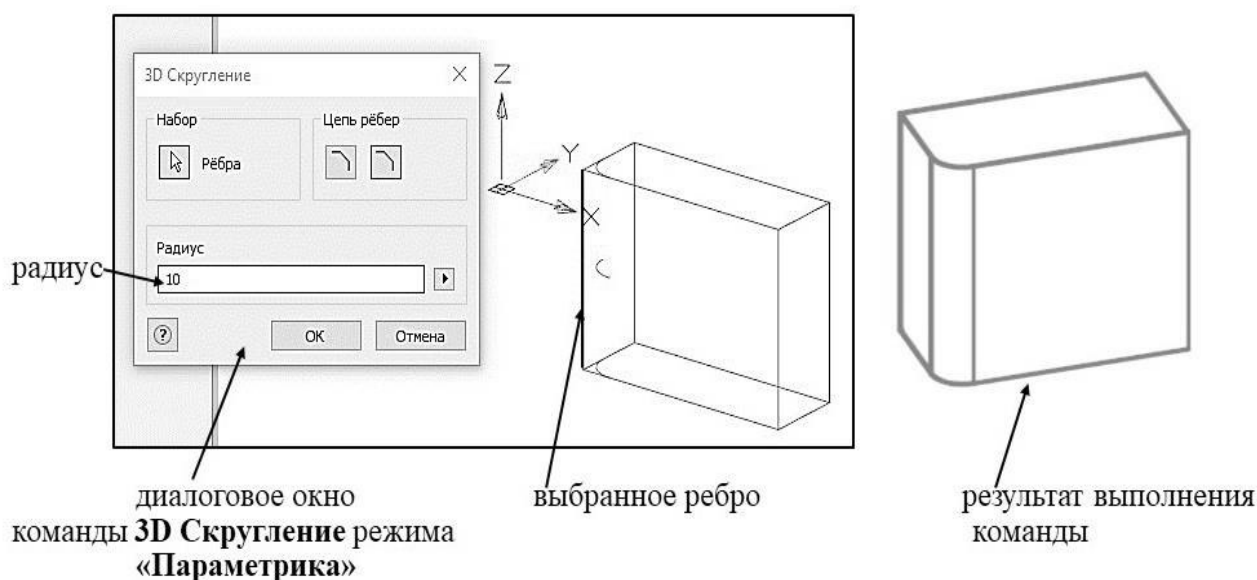


Рис. 2.24. Диалоговое окно и основные шаги команды 3D Скругление режима «Параметрика»

Команда панели **Элементы - 3D Резьба** в данном пособии не рассматривается.

Группа команд, расположенная в панели **Массивы**, позволяет создавать два типа массивов из твердых тел – прямоугольный и круговой, а также выполнять зеркальное отражение тел по отношению к выбранной плоскости. Команда **3D Зеркало** подробно рассмотрена в разделе 3.2.

Команды создания массива имеют свои собственные диалоговые окна в обоих режимах. Выполнение команды создания массива в обоих режимах приводит к тому, что результирующее тело всегда является параметрическим. Если необходимо в режиме «Прямое» сохранить результат создания массива, как непараметрическое тело, то необходимо

пользоваться командами создания массива из панели **Редактирование** вкладки **Главная Ленточного меню**.

На рис. 2.25 показаны этапы создания кругового массива с помощью команды **3D Круговой массив**.

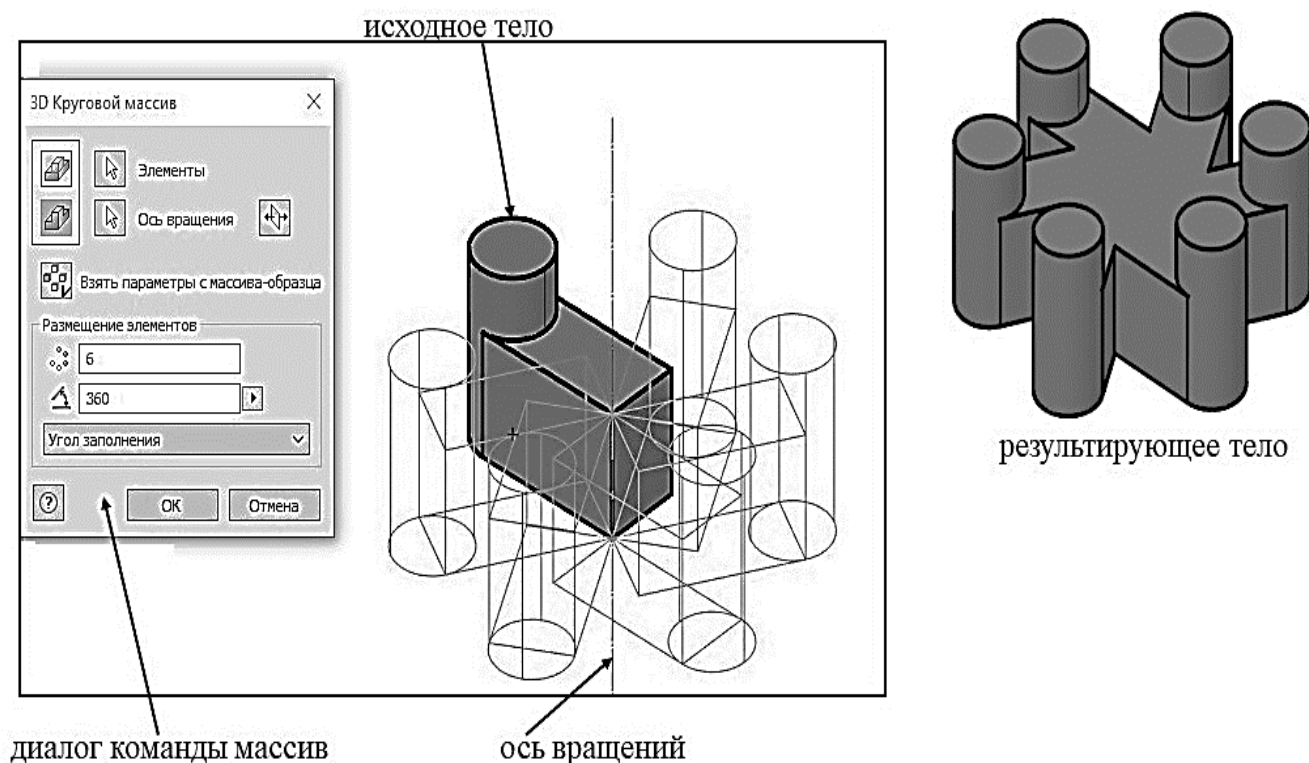


Рис. 2.25. Этапы создания кругового массива с помощью команды **3D Круговой массив**

2.6. Создание разреза и сечения твердого тела

Команды создания разреза и сечения могут быть вызваны из панели **Прямое моделирование** вкладки **3D-моделирование Ленточного меню**.

В результате выполнения команды **Разрез** могут быть получены либо одно либо два новых твердых тела в зависимости от выбранной в диалоге команды опции. Результатом выполнения команды **Сечение** является двумерная область, которая представляет собой отпечаток твердого тела на плоскости, выбор которой осуществляется в диалоге команды. В Этом случае Область может быть разбита на отдельные двумерные примитивы с помощью команды редактирования **Разбивка** [3].

Вызов опций обеих команд происходит через командную строку. Все опции связаны со способом выбора плоскости, которая используется для создания разреза в случае использования команды **Разрез** или сечения при использовании одноименной команды. Опции для обеих команд одинаковые:

- плоский Объект (для разреза) или Объект (для сечения);
- Z ось;
- Вид;
- XY;
- YZ;
- ZX;
- 3 точки;
- По умолчанию (2 точки).

Рассмотрим особенности создания секущих плоскостей при выборе различных опций в командной строке.

- **Плоский объект (или объект)** – положение секущей плоскости определяется плоским объектом, например, окружностью, эллипсом, полилинией и т.п.;
- **Z ось** - положение секущей плоскости определяется путем задания одной точки на этой секущей плоскости и второй точки на оси Z или нормали на этой плоскости;
- **Вид** – секущая плоскость получается в результате выравнивания относительно текущего вида; после выбора этой опции нужно указать точку, через которую будет проходить плоскость;
- **XY (YZ, ZX)** - происходит выравнивание плоскости относительно плоскости XY (YZ, ZX) текущей ПСК; здесь также необходимо указать точку, через которую будет проходить секущая плоскость;
- **3 точки** – секущая плоскость задается тремя точками, принадлежащими твердому телу;
- **По умолчанию (2 точки)** – секущая плоскость строится по двум точкам перпендикулярно плоскости XY текущей ПСК.

Рассмотрим пример создания разреза твердого тела полученного в результате вычитания из сферы большего радиуса сферы меньшего радиуса. Для создания такого твердого тела необходимо построить с помощью команды **Прямого моделирования Сфера** сначала сферу радиусом 100, затем сферу радиусом 50. Обе сферы имеют один и тот же центр – начало координат **МСК**. После построения обеих сфер нужно выполнить **Булеву операцию – Вычитание** (из большей сферы вычитаем меньшую). Результат – сфера с внутренней полостью сферической формы (рис. 2.26).

Задача – получить четверть твердого тела с помощью команды **Разрез**. Для получения такого разреза необходимо выполнить команду разрез дважды. Сначала, используя опцию - **XY** получить две половины твердого тела (рис. 2.26). Затем вызвать еще раз команду **Разрез** и выполнить ее, используя опцию - **3 точки**. В результате получена четверть исходного твердого тела (рис. 2.27).

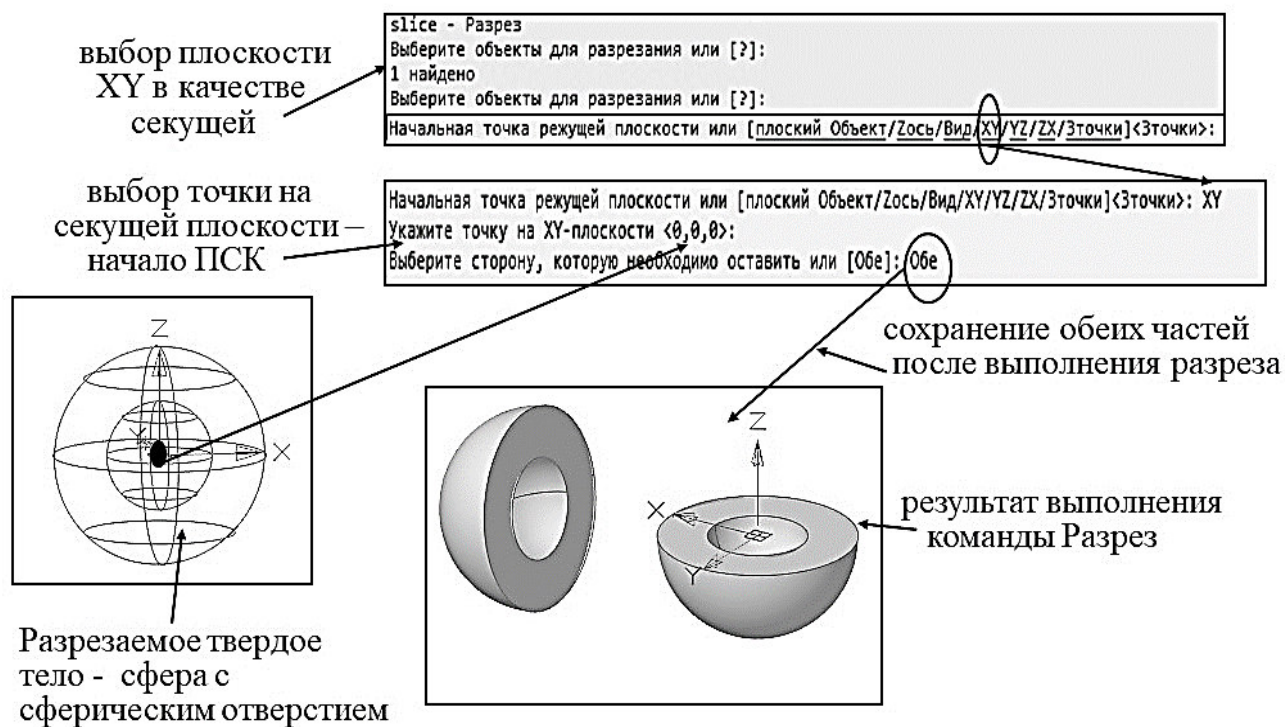


Рис. 2.26. Выполнение команды Разрез при выборе построения секущей плоскости, выравненной по плоскости XY, для получения двух половин твердого тела

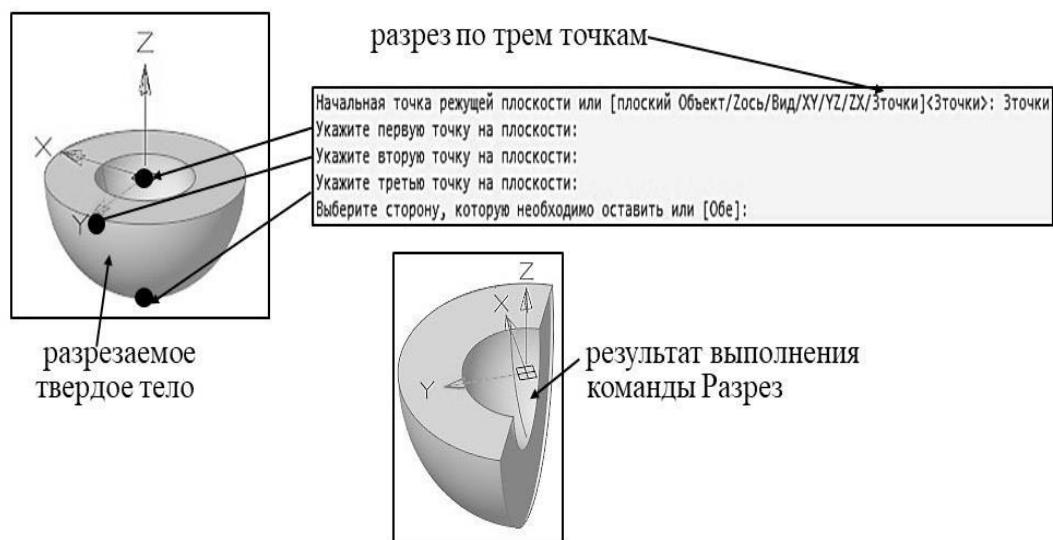
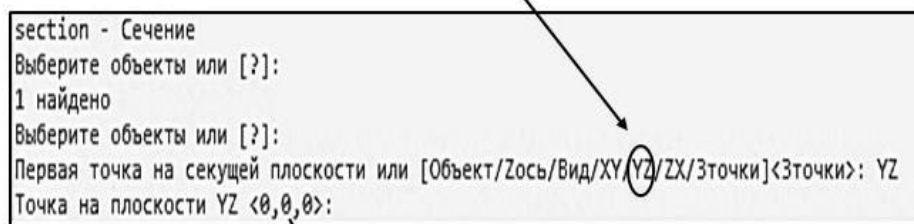


Рис. 2. 27. Выполнение команды Разрез при выборе построения секущей плоскости по трем точкам для построения четверти исходного твердого тела

На рис. 2.28 показан результат построения сечения четверти тела, полученной выше при выполнении разреза сферы с полостью. Для

выравнивания секущей плоскости используется опция – YZ. Результат выполнения команды **Сечение** – двумерный объект – область.

Диалог команды Сечение – секущая плоскость YZ



Точка плоскости – начало ПСК

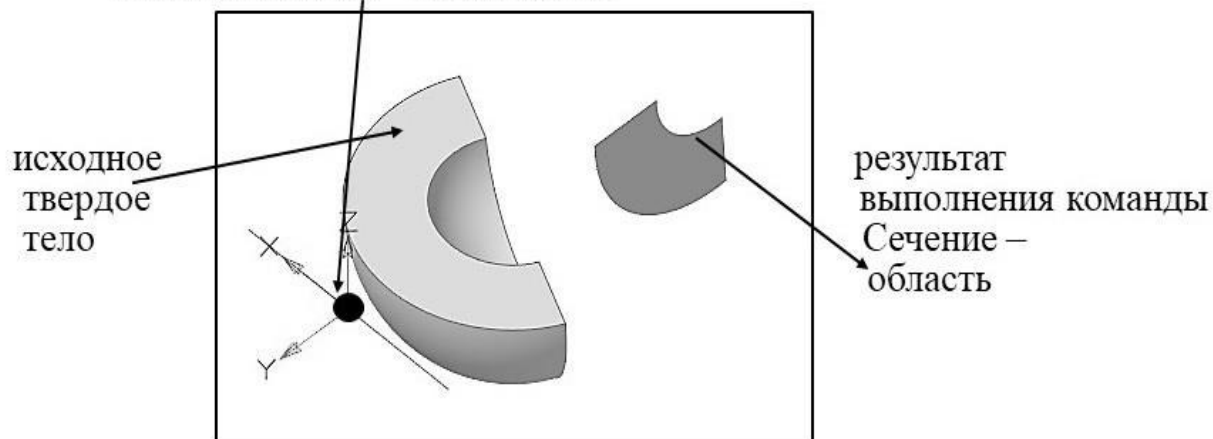


Рис. 2.28. Выполнение команды Сечение при выравнивании секущей плоскости по плоскости YZ

3. ПРИМЕР СОЗДАНИЯ ТВЕРДОТЕЛЬНОЙ МОДЕЛИ В РЕЖИМЕ ПРЯМОГО И ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

3.1. Этапы разработки твердотельной модели в режиме Прямого моделирования

В данном разделе рассмотрим этапы создания твердотельной модели, показанной на рис. 4.1. в режиме «Прямое» (Прямое моделирование),

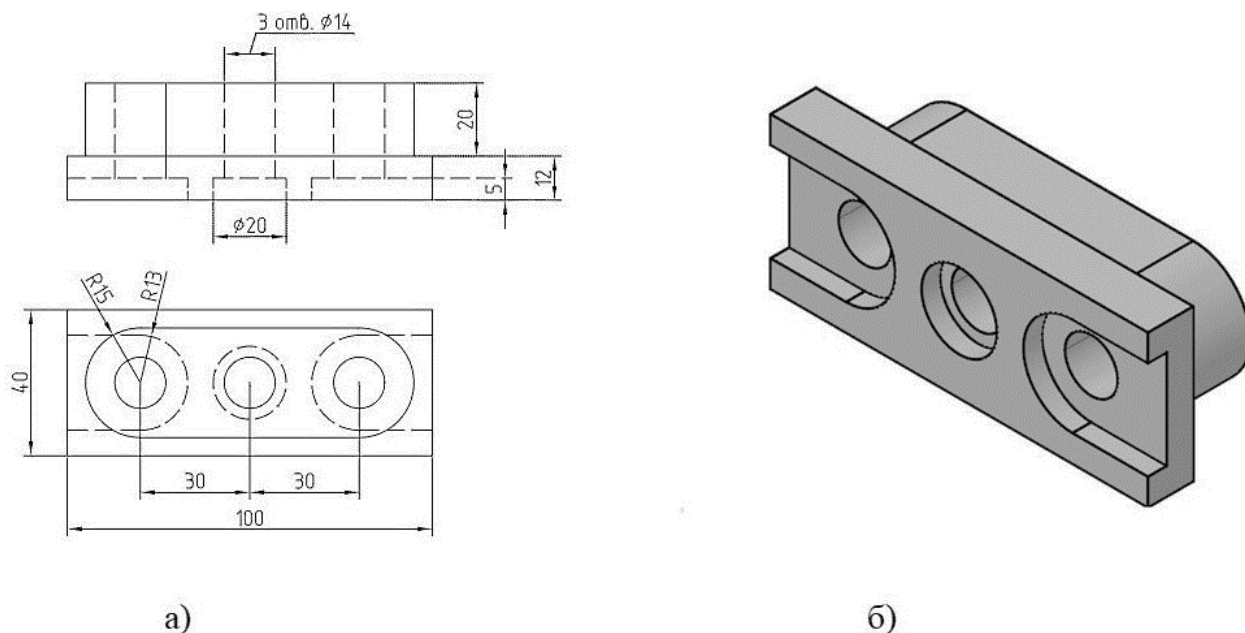


Рис. 3.1. Твёрдотельная модель детали:

а) вид детали спереди и сверху; б) результирующая твёрдотельная модель

Для разработки твёрдотельной модели, показанной на рис.3.1. б) в режиме **прямого моделирования** используются команды твёрдотельного моделирования, которые могут быть вызваны из вкладки **Ленточного меню 3D-инструменты** панели **Режимы моделирования** и панели **Прямое**. До выполнения команды твёрдотельного моделирования необходимы создать эскиз (двумерную модель), который будет участвовать в выполнении команды твёрдотельного моделирования по кинематическому принципу. Все команды создания эскиза находятся во вкладке **Ленточного меню - Главная** или во вкладке **Построение**, в панели **Черчение**. Необходимо использовать команды черчения и редактирования.

Первым шагом для создания рассматриваемой твёрдотельной модели является построение параллелепипеда, который представляет собой основание твёрдотельной модели. Параллелепипед строится на основе выдавливания двумерного объекта **прямоугольник** на высоту 12. Таким образом, необходимо сначала создать двумерный эскиз - прямоугольник, показанный на рис. 3.2. а). Для разработки твёрдотельной модели эскиз, участвующий в выполнении любой из команд твёрдотельного моделирования, должен быть замкнутым и все сегменты, входящие в данный эскиз, должны образовывать единый объект. Поэтому для создания такой двумерной модели необходимо в данном случае воспользоваться либо командой **Полилиния**, либо командой **Прямоугольник**.

После создания эскиза необходимо выполнить команду **Выдавливание** прямоугольника на высоту 12. Диалог команды **Выдавливание** в этом случае показан на рис. 3.2. б). Результат выдавливания – это твёрдый параллелепипед.

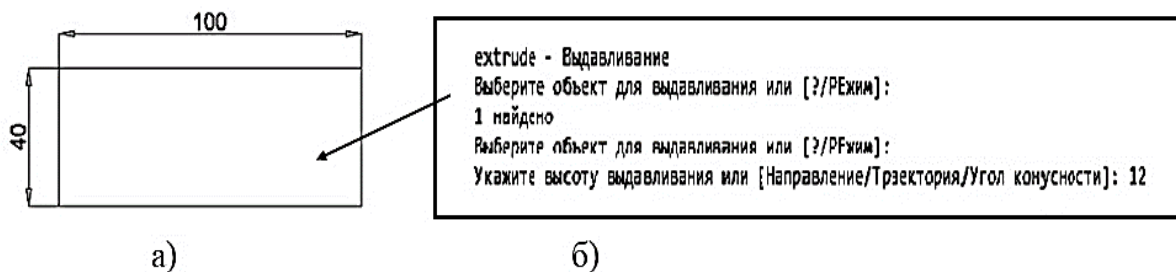


Рис. 3.2. Этапы выполнения команды Выдавливание:

- а) отрисовка прямоугольника с заданными значениями высоты и ширины; б) диалог команды Выдавливание

Следующий шаг – выполнение отверстий в параллелепипеде. Для этого нужно создать эскиз, содержащий окружность и две полилинии, построенные на основе дуги и трех отрезков (рис. 3.3.) В режиме **Прямого моделирования** для отрисовки эскизов на гранях твердого тела можно воспользоваться инструментом создания ПСК для привязки текущей плоскости XY к соответствующей грани. Для выполнения отверстий в данном примере нужно воспользоваться ПСК – **3 точки** (вкладка ленточного меню – Вид, панель – Координаты). Три точки совпадают с вершинами грани, на которой будет отрисован эскиз – первая вершина начало системы координат, две другие – направление оси X и Y. (рис. 3.3).

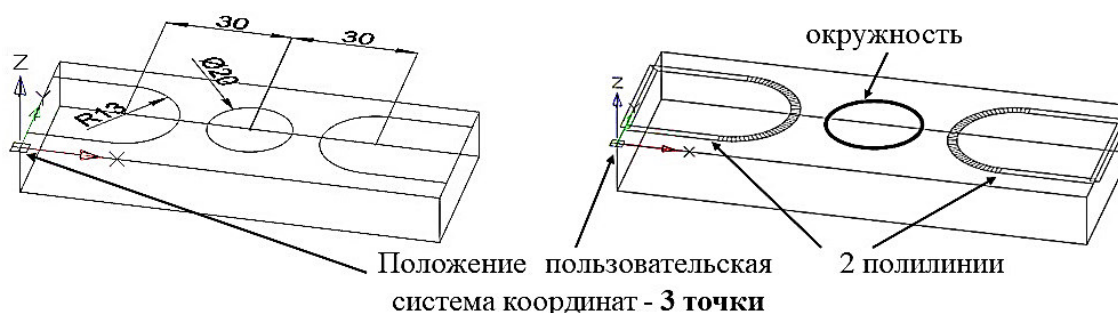


Рис. 3.3. Создание эскиза на грани параллелепипеда

Затем необходимо выдавить с помощью команды **Выдавливание** (Ленточное меню, вкладка **3D-инструменты**, панель **Прямое моделирование**) окружность и две полилинии внутрь параллелепипеда на высоту – 6. После выполнения этой команды внутри параллелепипеда находятся три твердых тела, которые нужно вычесть из параллелепипеда с помощью **Булевой операции Вычитание** (Ленточное меню, вкладка **3D-инструменты**, панель – **Булевы операции - вычитание**). В результате выполнения последовательности этих шагов получается промежуточная твердотельная модель, показанная на рис. 3.4.

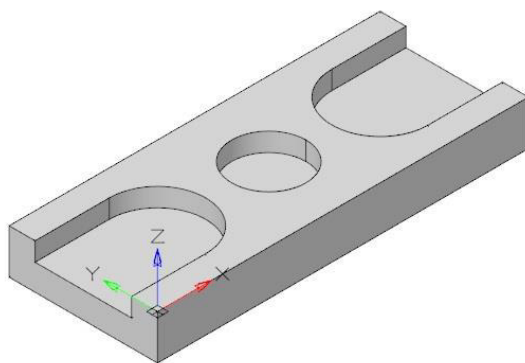


Рис. 3.4. Промежуточный этап создания твердотельной модели

Затем необходимо выполнить следующие шаги:

1. Отрисовка эскиза на другом основании параллелепипед. Эскиз представляет собой замкнутую полилинию (рис. 3.5 а)), построенную на основе двух дуг и двух отрезков; для построения этого эскиза необходимо перенести ПСК на нижнюю грань параллелепипеда (**ПСК - 3 точки**);
2. Выдавливание эскиза (рис. 3.5 а)) с помощью команды **Выдавливание** на высоту -20.
3. Выполнение **Булевой операции – Объединение** для создания единого твердого тела на основе двух ранее созданных твердотельных моделей;
4. Перенос пользовательской системы координат на верхнюю грань вновь полученного твердого тела (**ПСК Начало**).
5. Отрисовка эскиза, состоящего из трех окружностей, в плоскости **XY** созданной ПСК.
6. **Выдавливание** окружностей на высоту 27 внутрь твердого тела. В результате получено три цилиндра высотой 27.
7. **Вычитание** с помощью одноименной **Булевой операции** цилиндров из ранее полученного твердого тела.

Эти этапы построения твердотельной модели показаны на рис. 3.5.

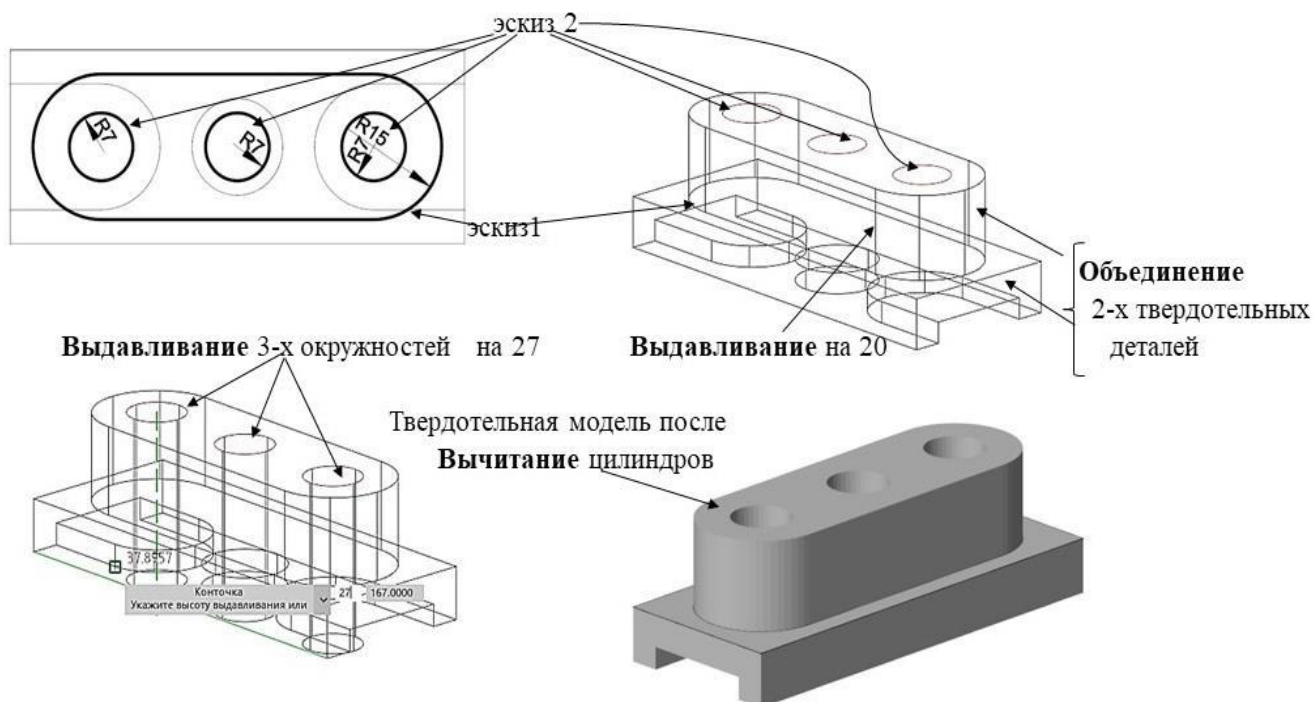


Рис. 3.5. Выполнение завершающих этапов создания твердотельной модели целевой детали в режиме Прямого моделирования

3.2. Этапы разработки твердотельной модели в режиме Параметрического моделирования

Рассмотрим этапы создания твердотельной модели в режиме «Параметрика». На рис.3.5 показаны вид спереди и сверху создаваемой параметрической твердотельной модели и результирующая твердотельная модель.

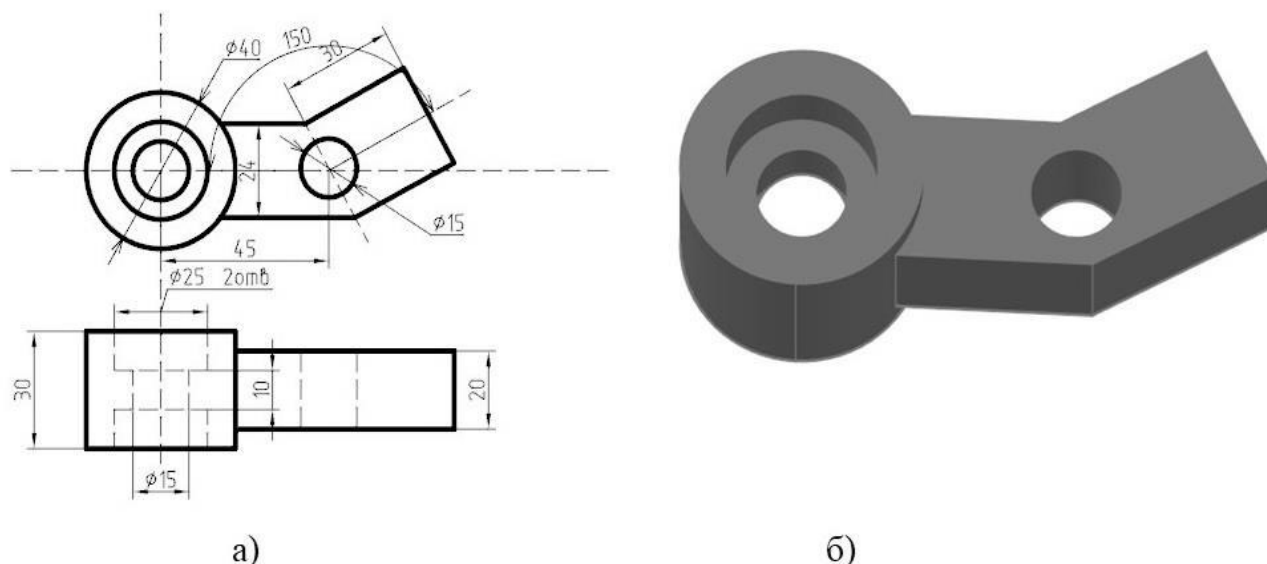


Рис. 3.6. Твёрдотельная параметрическая модель детали:
а) вид детали спереди и сверху; б) результирующая твёрдотельная модель

Для создания данной параметрической модели используются команды вкладки **3D-инструменты Ленточного меню** в режиме моделирования **«Параметрика»**, помеченные на рисунке 3.7.: 1, 2, 3 – команды необходимые для создания элементов твёрдотельной модели, 4 – логическая операция – **Вычитание**, 5- команда редактирования – **3D Зеркало**, 6- вспомогательная команда **Добавить рабочую плоскость**.



Рис. 3.7. Команды вкладки 3D-инструменты Ленточного меню, участвующие в построении параметрической модели детали

Разработка параметрической твёрдотельной модели (рис.3.6.) состоит из двух этапов: первый этап - это создание твёрдотельного цилиндра с тремя отверстиями, второй этап – разработка твёрдотельной модели на основе перемещения контура по направляющей, объединенной в единое целое с твёрдым телом, построенным на первом этапе.

Рассмотрим последовательность действий, выполняемых на первом этапе.

Сначала необходимо создать эскиз (выдавливаемый контур) для выполнения команды **Выдавливание**. При создании параметрической

твердотельной модели эскиз создается после выбора команды **Добавить эскиз** в **Ленточном меню** (1. - рис. 3.7). Затем необходимо выбрать плоскость, в которой будет выполнена отрисовка эскиза (рис. 3.8 а)). В данном случае это плоскость ХУ. Затем в режиме создания эскиза происходит переход в меню, в котором можно выбрать инструменты для создания эскиза (рис. 3.8 б) и в)) и задать необходимые размеры (рис. 3.8 г)). Для получения контура при создании эскиза необходимо в выбранной плоскости отрисовать окружность диаметром 40. После отрисовки окружности необходимо закончить эскиз, выбрав кнопку **Закончить редактирование**.

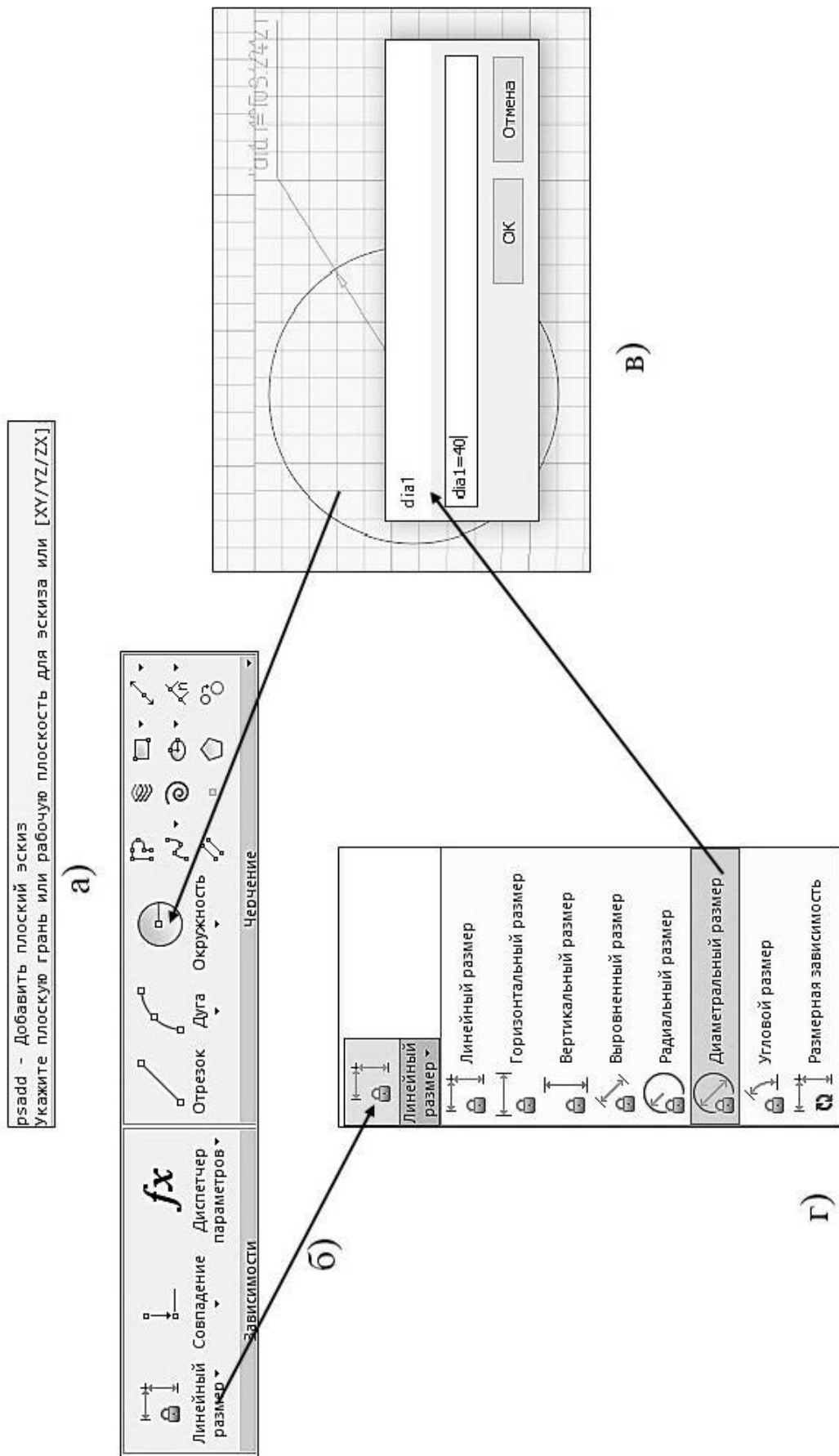


Рис.3.8. Этапы создания эскиза для выполнения команды **Выдавливание**:

- а) выбор плоскости отрисовки эскиза; б) вы бор в меню отрисовки эскизов – Окружность; в) отрисовка окружности заданного диаметра; г) выбор типа задаваемого размера

Теперь необходимо вызвать команду **Выдавливание** для создания цилиндра высотой 30. При выполнении этой команды требуется выбрать эскиз – окружность. Задать опцию **выдавливание симметрично** по отношению к плоскости, в которой находится эскиз (рис.3.9).

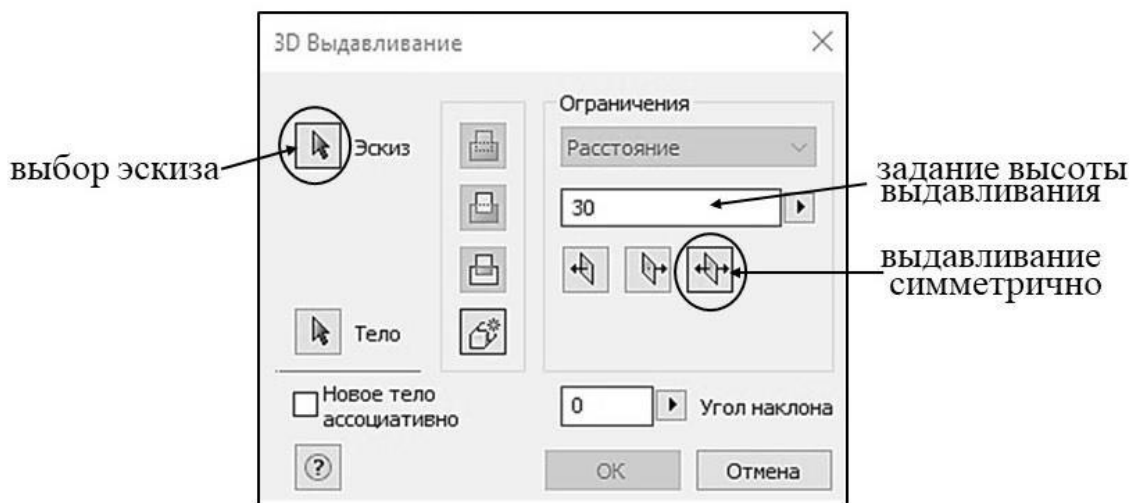


Рис. 3.9. Диалог команды **Выдавливание** при создании цилиндра высотой 30

После этого необходимо создать три цилиндрических отверстия внутри цилиндра. Для первого внутреннего отверстия создаем эскиз (окружность диаметром 15) в той же плоскости, что и первый эскиз, т.е. в плоскости XY. Порядок создания данного эскиза такой же, как для эскиза **окружность** для исходного цилиндра. Затем нужно вызвать команду **Выдавливание** и построить с ее помощью цилиндр высотой 10 внутри исходного цилиндра. Диалог команды **Выдавливание** в этом случае совпадает с диалогом этой же команды при создании предыдущего цилиндра (рис. 3.9), а высота выдавливания – 10. После этого нужно вызвать из **Ленточного меню** логическую операцию **Вычитание** (4. – рис. 3.7) и выполнить вычитание построенного, внутреннего цилиндра из первого цилиндра. В результате получаем первое внутреннее отверстие (рис. 3.10).

Теперь необходимо создать два отверстия диаметром 25. Для этого требуется построить сначала одно отверстие с помощью команды **Выдавливание** с вычитанием, а затем другое отверстие, которое получается в результате выполнения команды **3D Зеркало** для зеркального отражения ранее выполненного отверстия (рис. 3.10).

Создание первого отверстия нужно начать с задания новой рабочей плоскости, совпадающей с верхним основанием цилиндра. Для этого необходимо вызвать вспомогательную команду в **Ленточном меню** - **Добавить рабочую плоскость** (6. - рис. 3.7). В этой команде нужно выбрать опцию – **Смещение от плоскости**. Следующий шаг – выбор смещаемой плоскости – в данном случае – это плоскость XY. Расстояние смещения –

15. В результате на рабочем пространстве появляется рабочая плоскость, совпадающая с верхним основанием цилиндра. Именно в этой плоскости необходимо нарисовать эскиз – окружность диаметром 25. Затем данный эскиз нужно выдавить с вычитанием на высоту 10 внутрь цилиндра (рис. 3.10).

В диалоге команды **3D Зеркало** нужно выбрать цилиндрическое отверстие, созданное на предыдущем шаге, в качестве плоскости отражения задать плоскость XY, затем завершить выполнение команды (рис. 3.10).

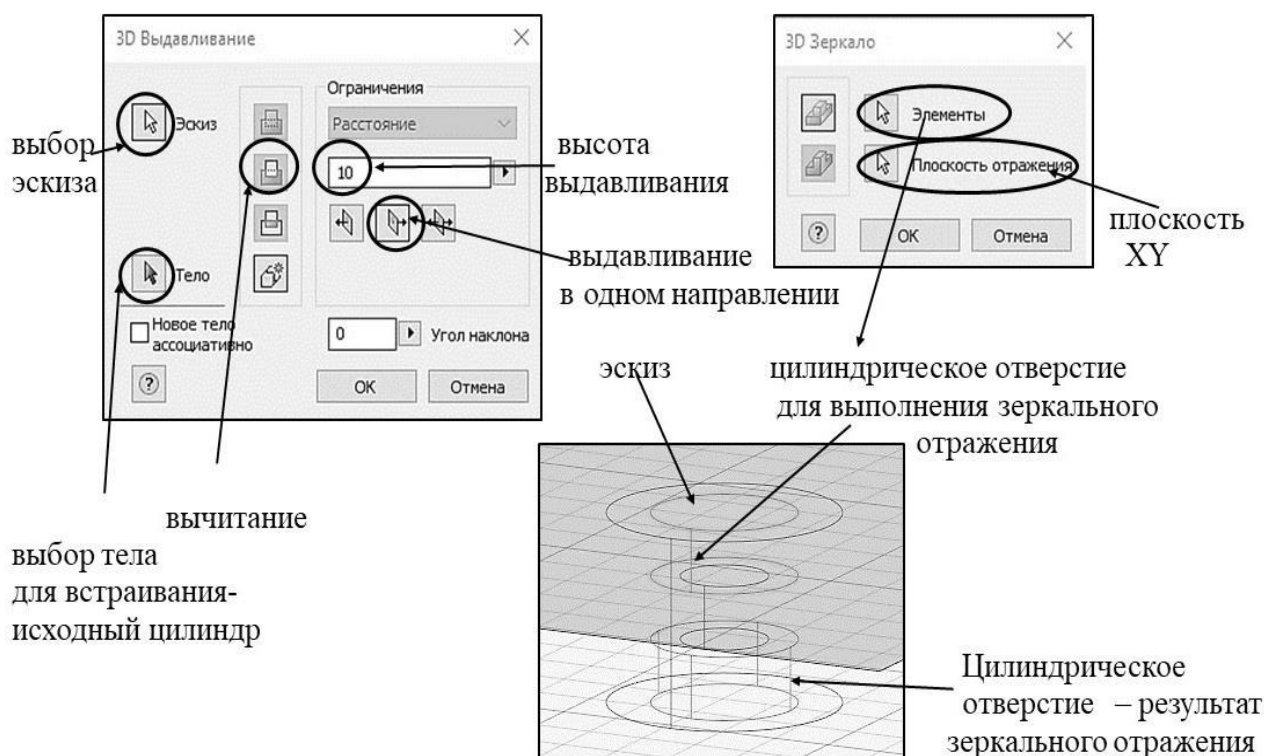


Рис. 3.10. Этапы создания трех отверстий внутри исходного цилиндра

Результат построения твердого тела на первом этапе создания параметрического твердого тела и дерево его построения, отражающее историю создания цилиндра с тремя отверстиями, показаны на рис. 3.11.

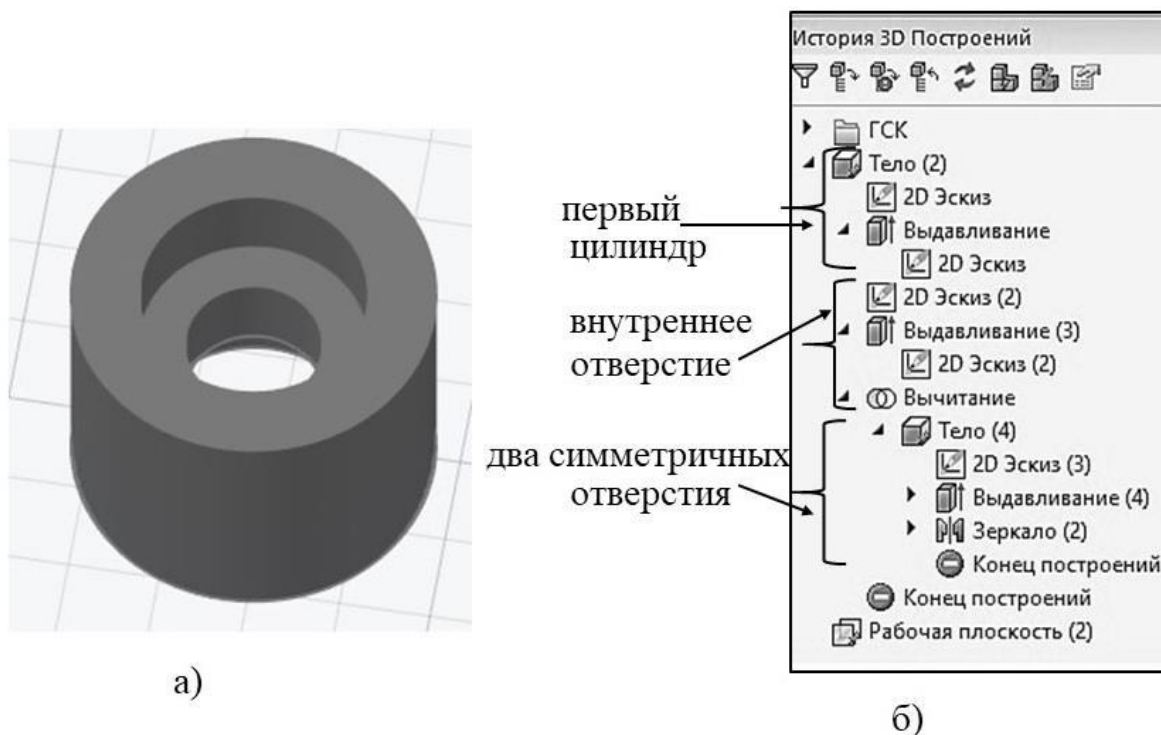


Рис. 3.11. Результат построения первой часть параметрического твердого тела – модели детали:

а) твердое тело; б) дерево построения

Перейдем к рассмотрению последовательности действий при создании второй части твердого тела (второй этап построения параметрического твердого тела).

Для того, чтобы создать вторую часть твердого тела, необходимо отрисовать профиль (прямоугольник) и траекторию (два отрезка прямых) его перемещения в разных плоскостях (для выполнения команды **Вытягивание по траектории**). Для отрисовки профиля нужно создать новую рабочую плоскость, воспользовавшись вспомогательной командой - **Добавить рабочую плоскость** (6. – рис.3.7). Сначала требуется создать рабочую плоскость, перпендикулярную плоскости XY. Для этого нужно воспользоваться опцией команды **Добавить рабочую плоскость – 3 точки**. Затем создаем новую рабочую плоскость, используя опцию **Смещение от плоскости** той же самой команды. В результате рабочая плоскость получается в результате смещения на 15 плоскости, перпендикулярной плоскости XY (рис. 3.12).



Рис. 3.12. Этапы создания рабочей плоскости для отрисовки перемещаемого контура

После задания рабочей плоскости необходимо перейти к команде создания эскиза (**Добавить эскиз**) и с помощью команды **Полилиния** отрисовать в рабочей плоскости прямоугольник размером 20X24 (рис. 3.13).

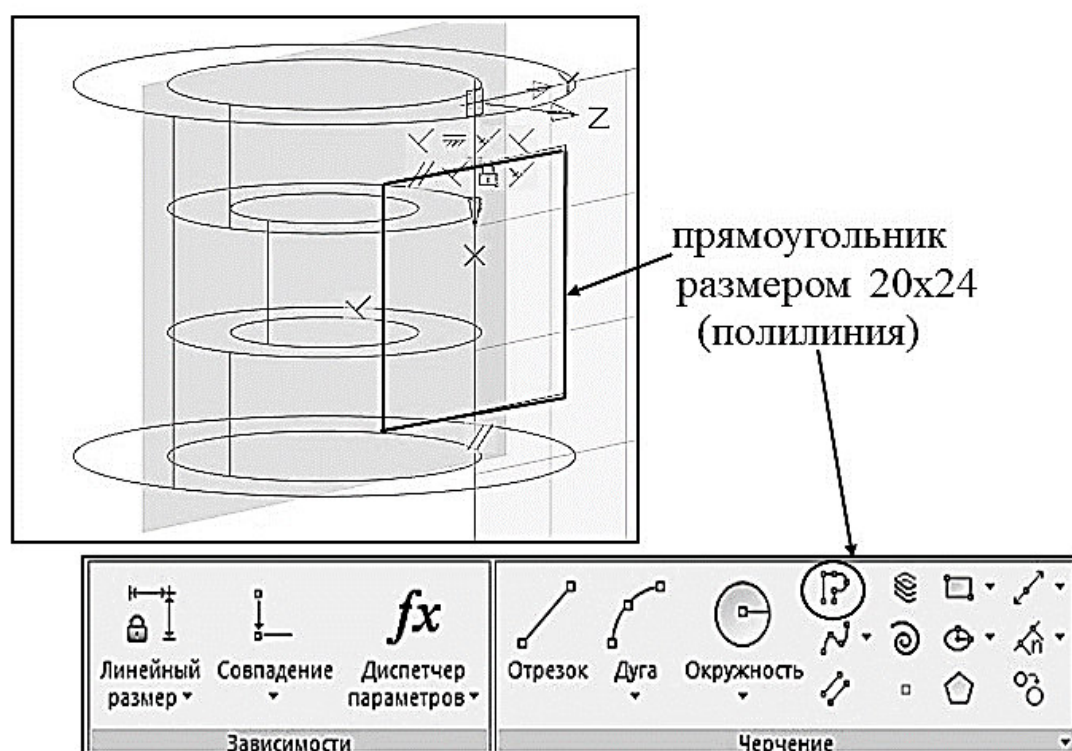
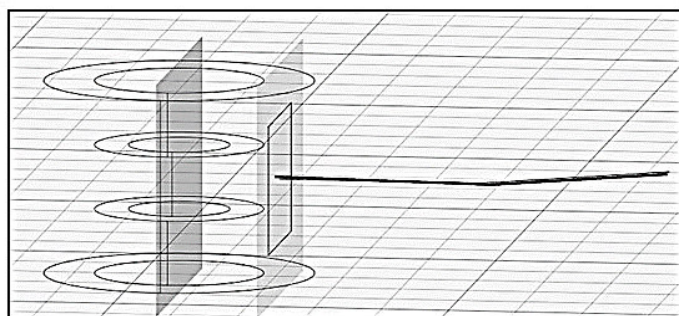
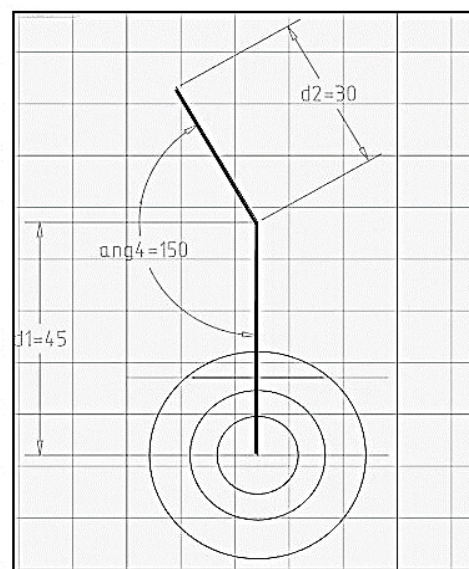


Рис. 3.13. Отрисовка профиля (прямоугольник) для выполнения команды **Вытягивание по траектории**

После отрисовки контура необходимо создать траекторию, состоящую из двух отрезков. Траекторию нужно отрисовать в плоскости XY. (рис. 3.14).



а)



б)

Рис. 3.14. Отрисовка траектории (два отрезка прямой) для выполнения команды Вытягивание по траектории:

а) в пространстве модели; б) в плоскости эскиза

Теперь следует перейти к выполнению команды **Вытягивание по траектории**. Для получения необходимого результата построения нужно сначала выбрать сечение, затем траекторию вытягивания. Для объединения ранее построенного тела и тела, полученного в результате вытягивания по траектории, следует выбрать в качестве тела для встраивания твердое тело, полученное на первом этапе (рис. 3.15).

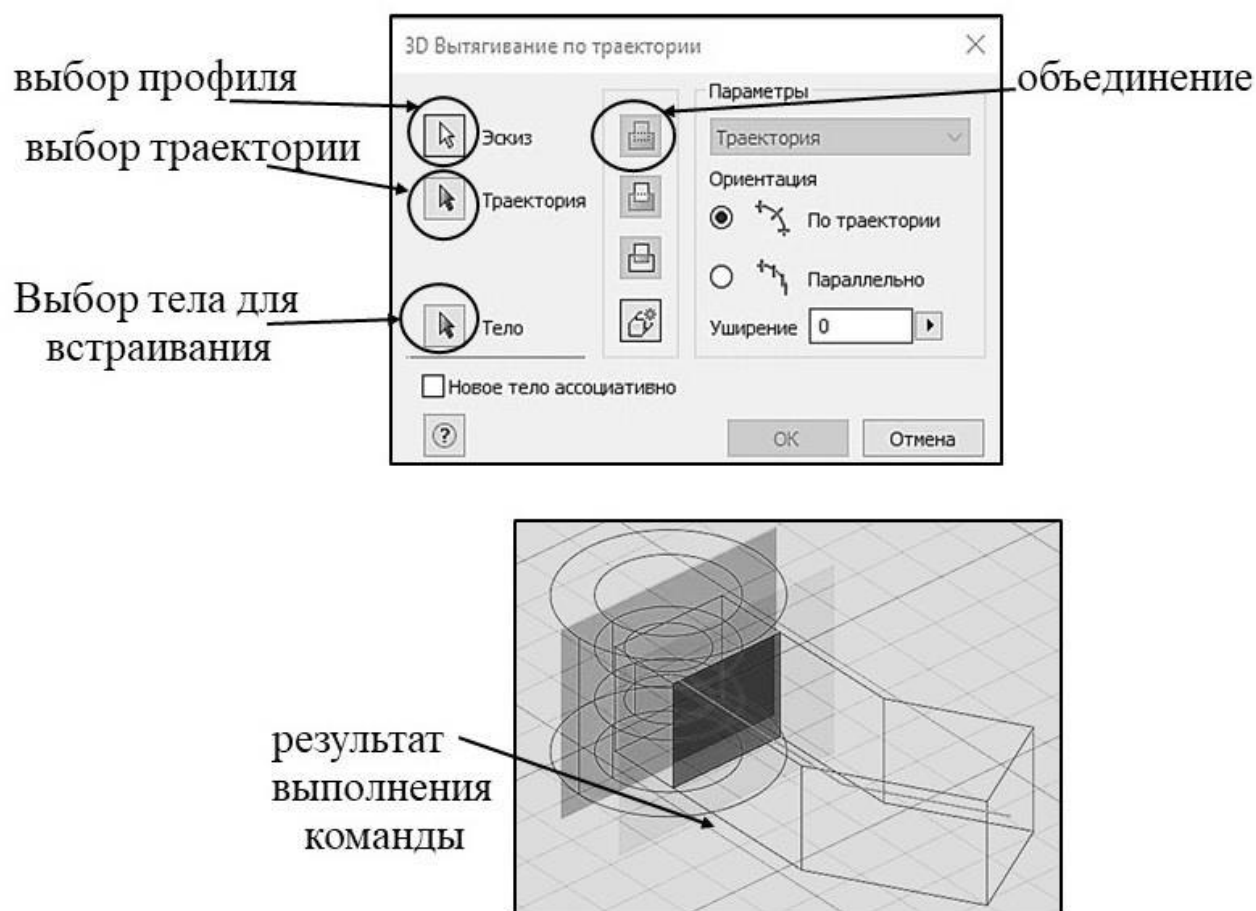


Рис. 3.15. Выполнение команды **Вытягивание по траектории**

После этого необходимо создать последнее цилиндрическое отверстие. Для этого нужно добавить рабочую плоскость, совпадающую с верхней гранью тела, построенного на основе команды **Вытягивание по траектории**. Такая плоскость может быть построена по аналогии с предыдущими построениями с помощью смещения плоскости XY на 10. После отрисовки окружности диаметром 15 (рис. 3.16) требуется выполнить команду **Выдавливание** с вычитанием, как при создании отверстий на первом этапе.

Плоскость для отрисовки окружности диаметром 15

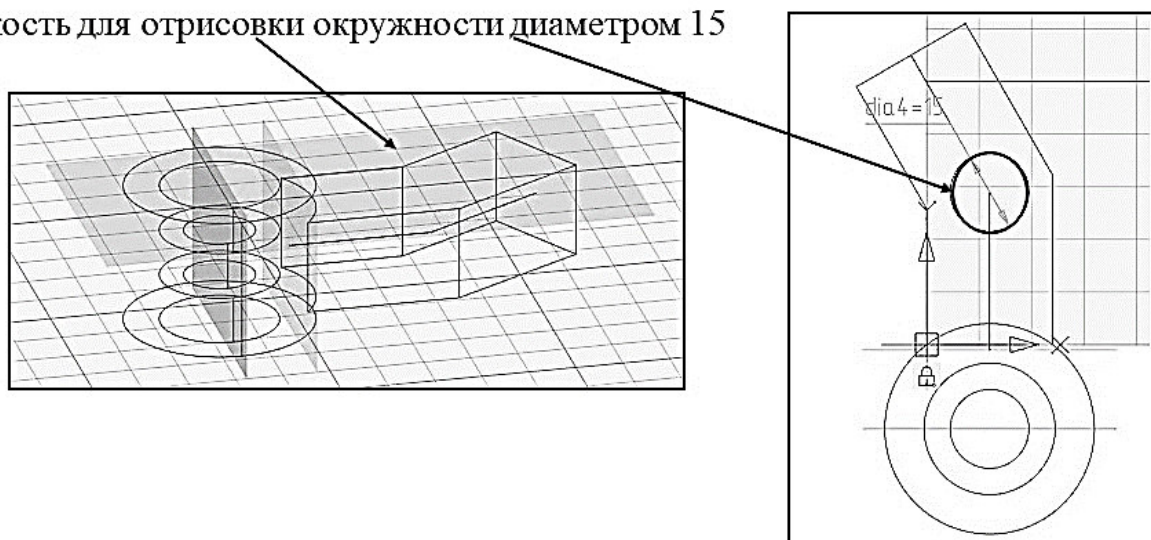


Рис. 3.16. Создание рабочей плоскости и отрисовка эскиза для выполнения команды Выдавливание при выполнении последнего отверстия

На рис. 3.17 показано итоговое дерево построения (история 3D построений) для всей твердотельной параметрической модели детали.

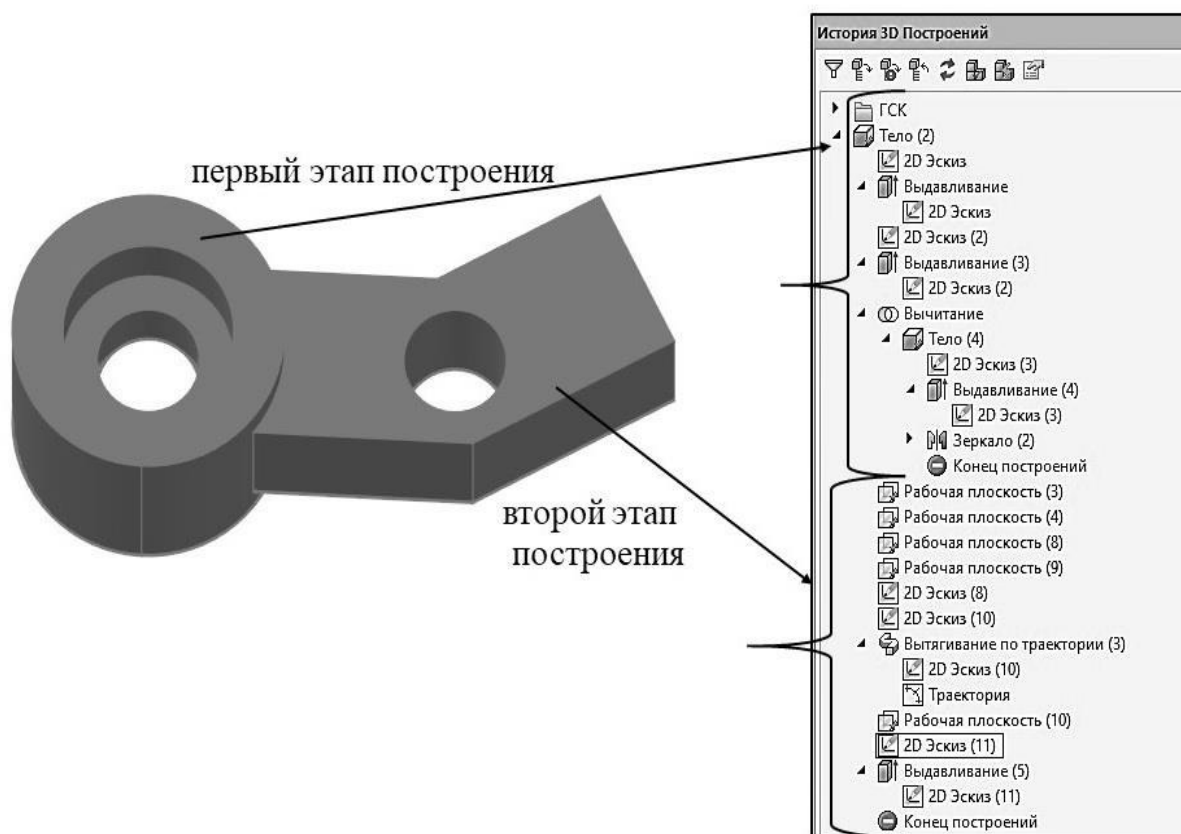


Рис. 3.17. Результирующее параметрическое твердое тело и его дерево построения

4. ПРИМЕРЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ

Для закрепления изложенного в практикуме материала необходимо выполнить несколько заданий самостоятельно. Каждое из предложенных заданий требуется выполнить в режиме «Параметрика» и в режиме «Прямое». В данном практикуме предложены несколько примеров твердотельных моделей, создание которых поможет освоить команды моделирования и редактирования твердотельных моделей, созданных как на основе прямого, так и на основе параметрического моделирования в среде САПР nanoCAD (рис. 4.1, 4.2, 4.3).

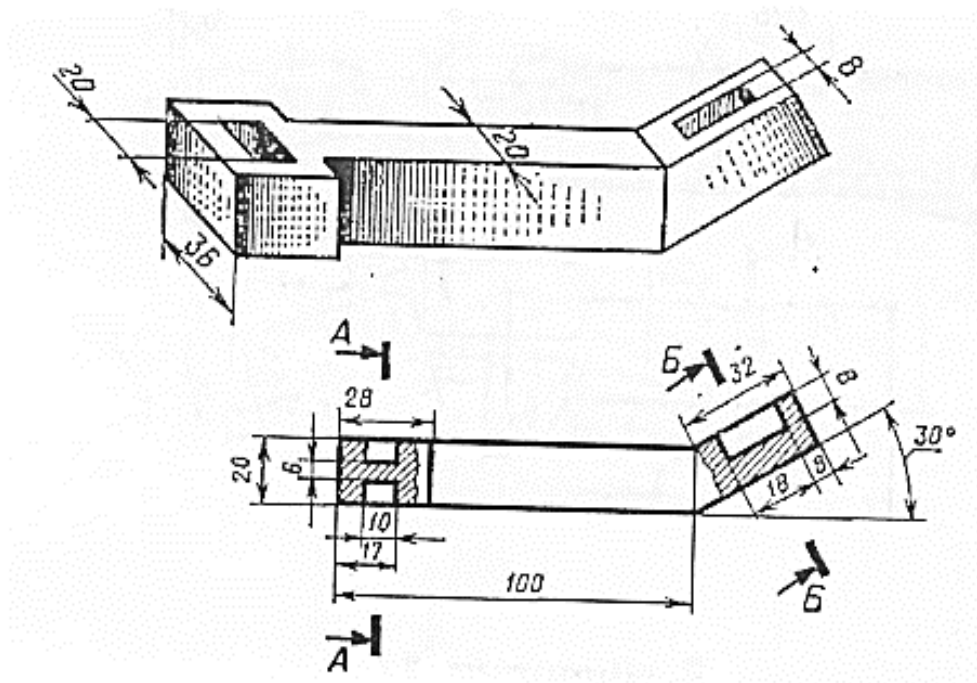


Рис. 4.1. Пример 1

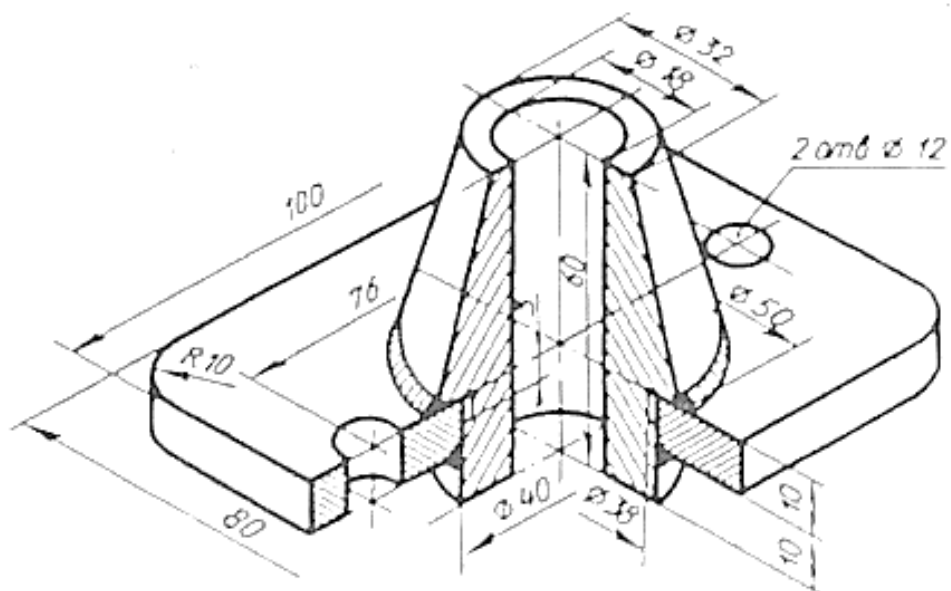


Рис. 4.2. Пример 2

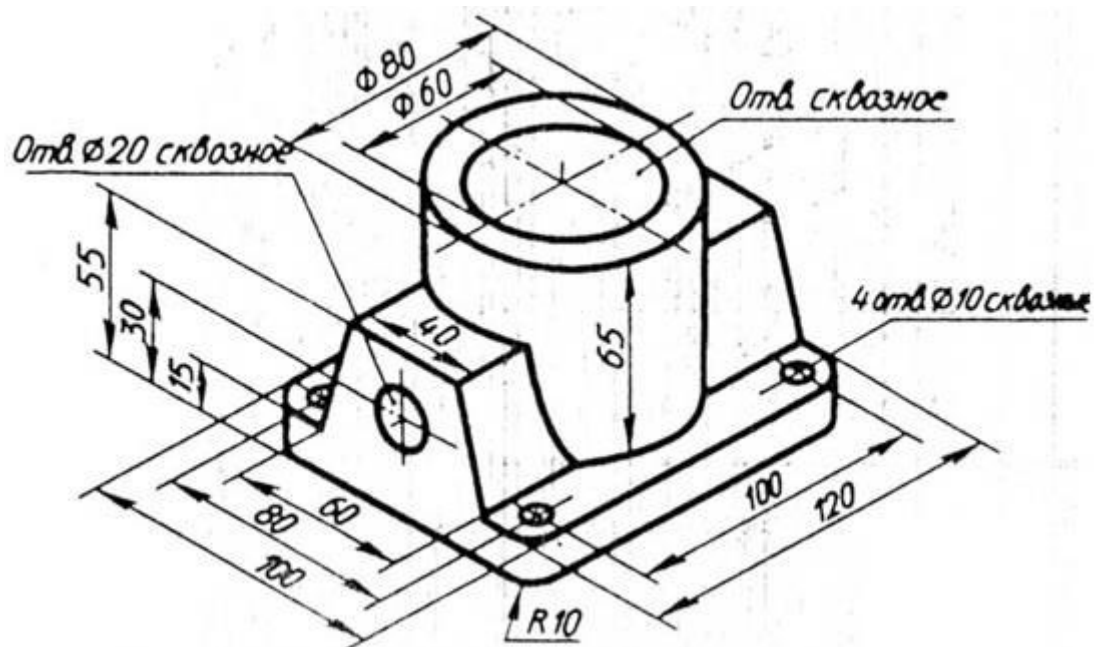


Рис. 4.3. Пример 3