

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

---

**И.Е. Лешихина, М.А. Пирогова, В.А. Краюшкин**

# **ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ МОДЕЛИ В САПР NANOCAD**

Практикум

по курсу  
«Компьютерная графика»,  
для студентов, обучающихся по направлению  
09.03.01 «Информатика и вычислительная техника»

Москва  
Издательство МЭИ  
2024

УДК 621.398  
ББК 30.2-5-05  
Л 538

*Утверждено учебным управлением НИУ «МЭИ»  
в качестве учебного издания*

Подготовлено на кафедре вычислительных технологий

**Лешихина И.Е.**

Л 538 Твёрдотельные модели в САПР nanoCAD: практикум / И.Е. Лешихина, М.А. Пирогова, В.А. Краюшкин — М.: Издательство МЭИ, 2024. —с.

Рассмотрены особенности двух подходов к созданию твердотельных моделей в САПР nanoCAD: прямое моделирование и параметрическое моделирование. На конкретных примерах рассмотрены основные этапы создания твердотельных моделей при использовании двух этих подходов. Рассмотрены особенности создания параметризованного эскиза в рамках режима «Параметрика».

Для подготовки бакалавров по направлению, обучающихся по направлению 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника».

**УДК 621.398  
ББК 30.2-5-05**

## 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**.

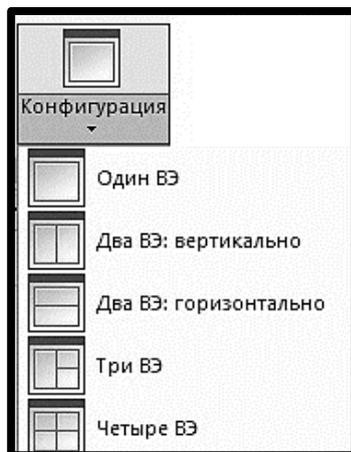


Рис. 2.1. Выбор Видового экрана в Ленточном меню

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)

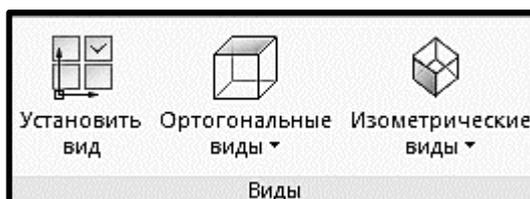


Рис. 2.2. Панель Видов Вкладки Вид Ленточного меню

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).

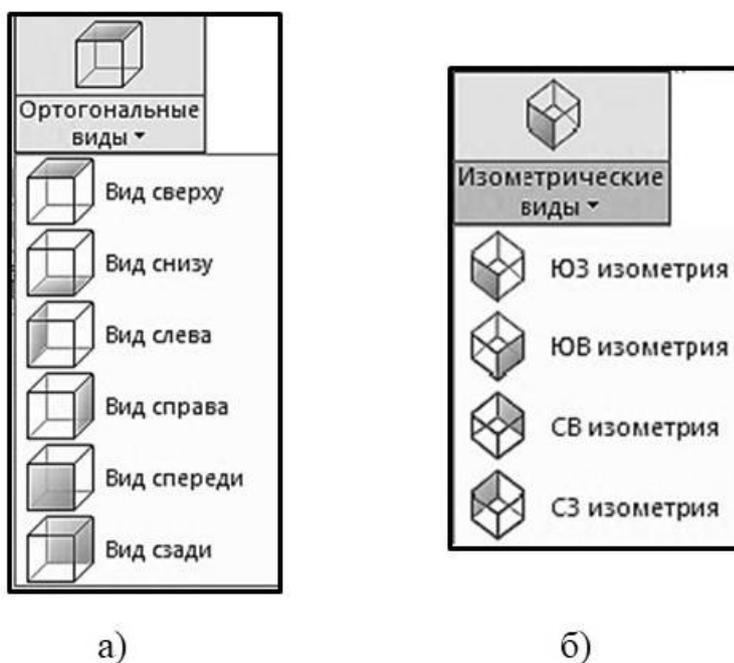
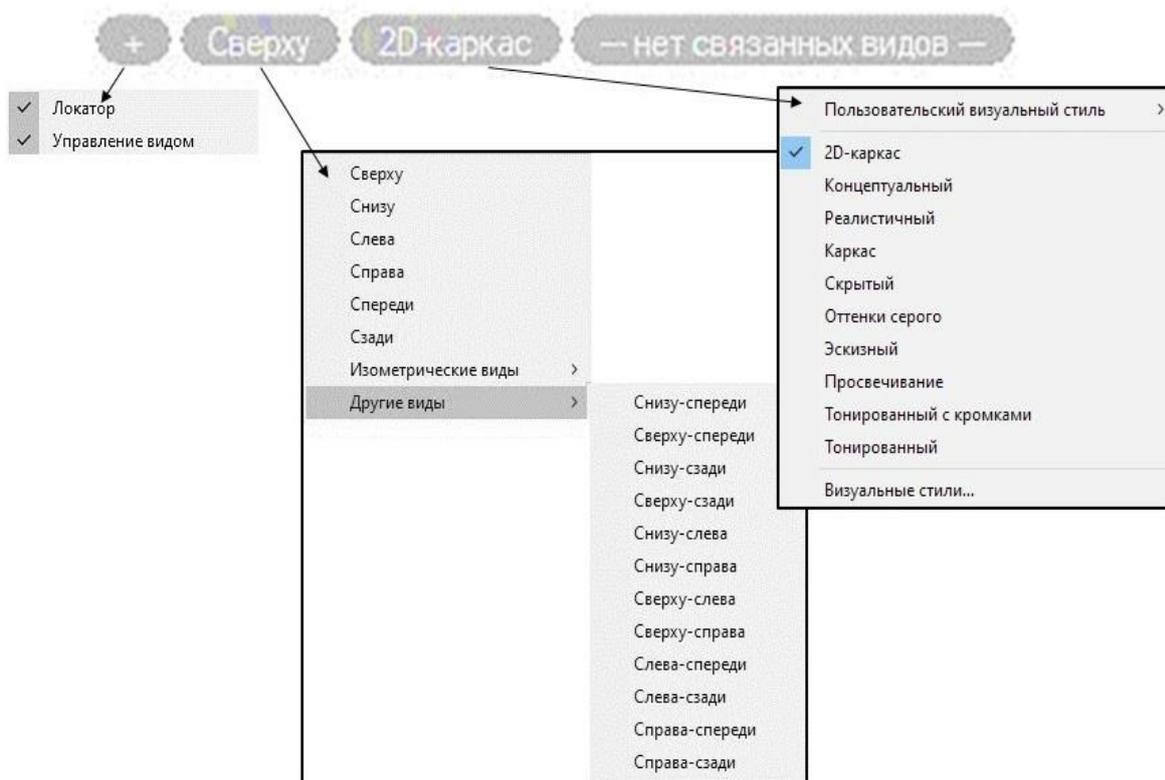


Рис. 2.3. Проекция, создаваемые в панели Видов:  
а) ортогональные виды, б) изометрические виды

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).



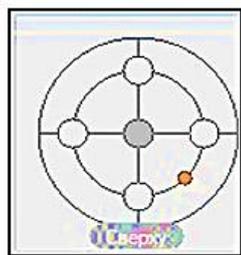
**Рис. 2.4. Быстрое управление видами и изменением визуального стиля на рабочем поле**

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

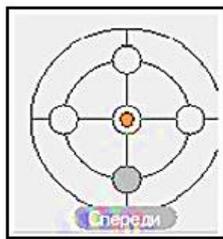
С помощью этого инструмента также можно переключаться между различными видами. **Локатор** находится в неактивном состоянии. Неактивный локатор дает визуальное представление о текущей точке зрения на модель в соответствии с изменениями вида. При наведении курсора на локатор этот инструмент становится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



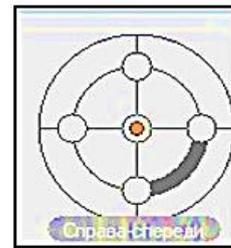
сверху



спереди

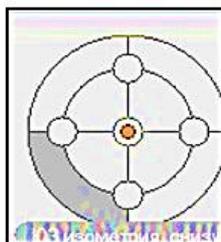


снизу

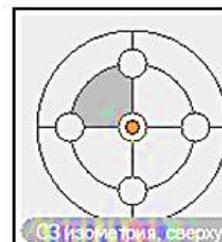


справа спереди

## изометрические проекции



ЮЗ Изометрия снизу



СЗ Изометрия сверху

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), зависящая 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**.

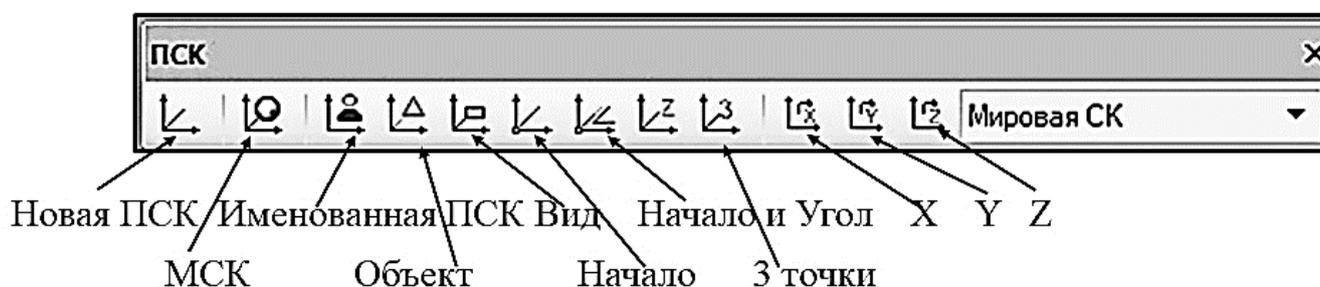


Рис. 2.7. Панель инструментов ПСК

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 **XY 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 Zv-** 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.

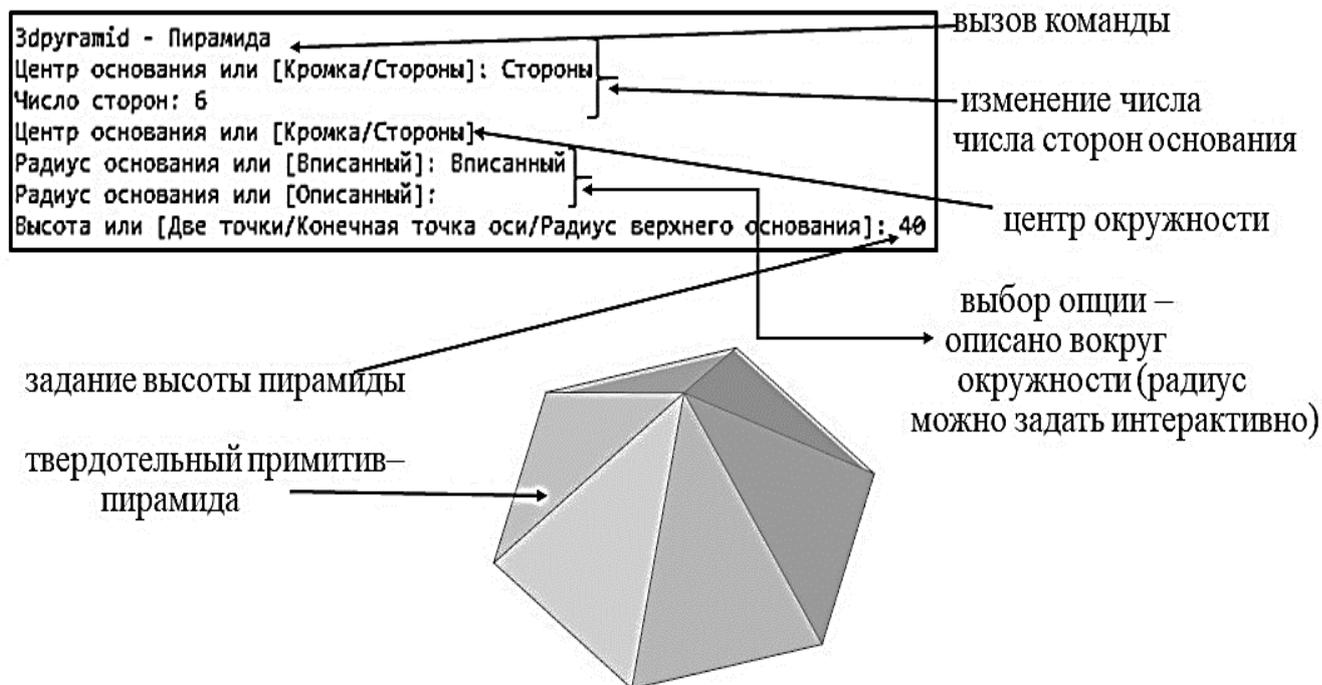


Рис. 2.10. Этапы создания твердотельного примитива Пирамида

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.

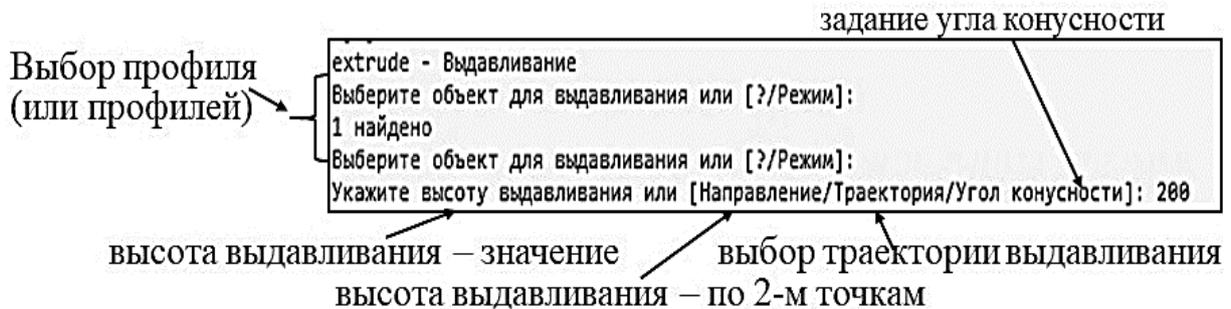


Рис. 2.12. Диалог команды **Выдавливание** в режиме «**Прямое**»

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**.

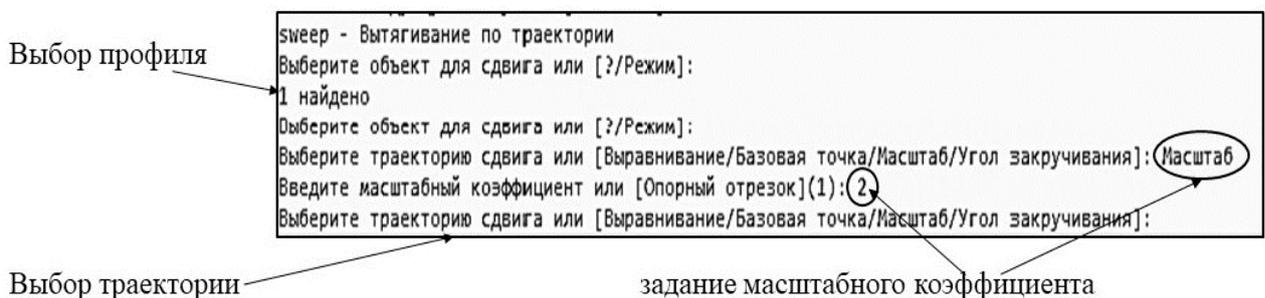


Рис. 2.13. Диалог команды **Вытягивание по траектории** с масштабированием профиля в режиме «**Прямое**»



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.

psadd - Добавить плоский эскиз  
 Укажите плоскую грань или рабочую плоскость для эскиза или [XY/YZ/ZX]: XY

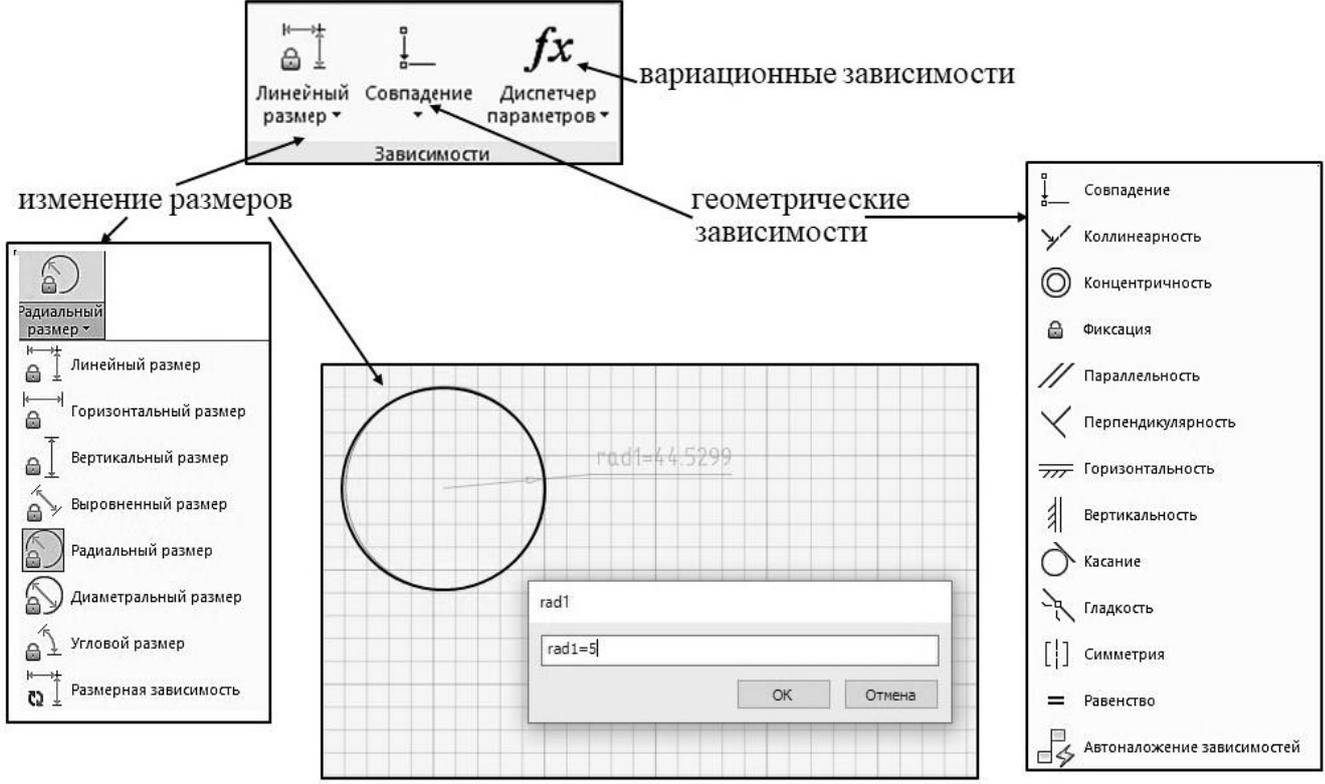
выбор плоскости для отрисовки параметризованного эскиза



команды черчения и редактирования параметризованного эскиза 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).

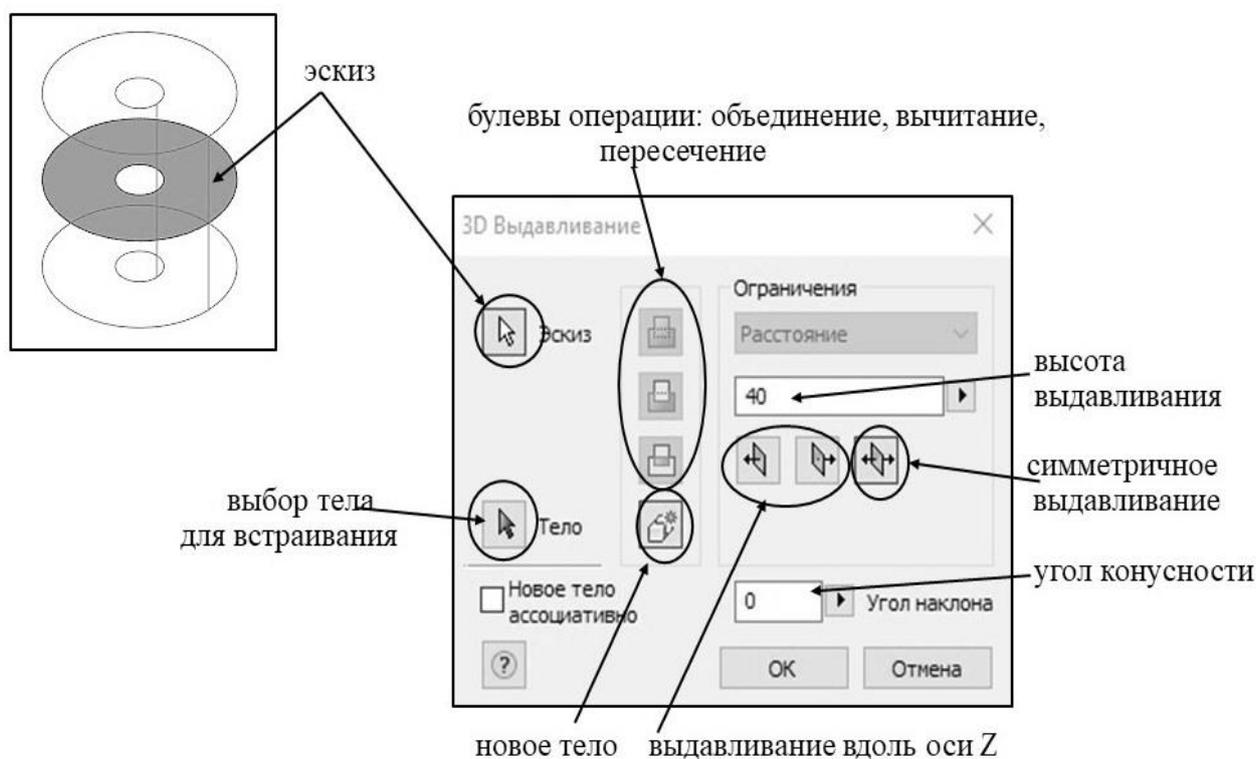


**Рис. 2.18. Варианты задания параметров параметризованного эскиза**

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.

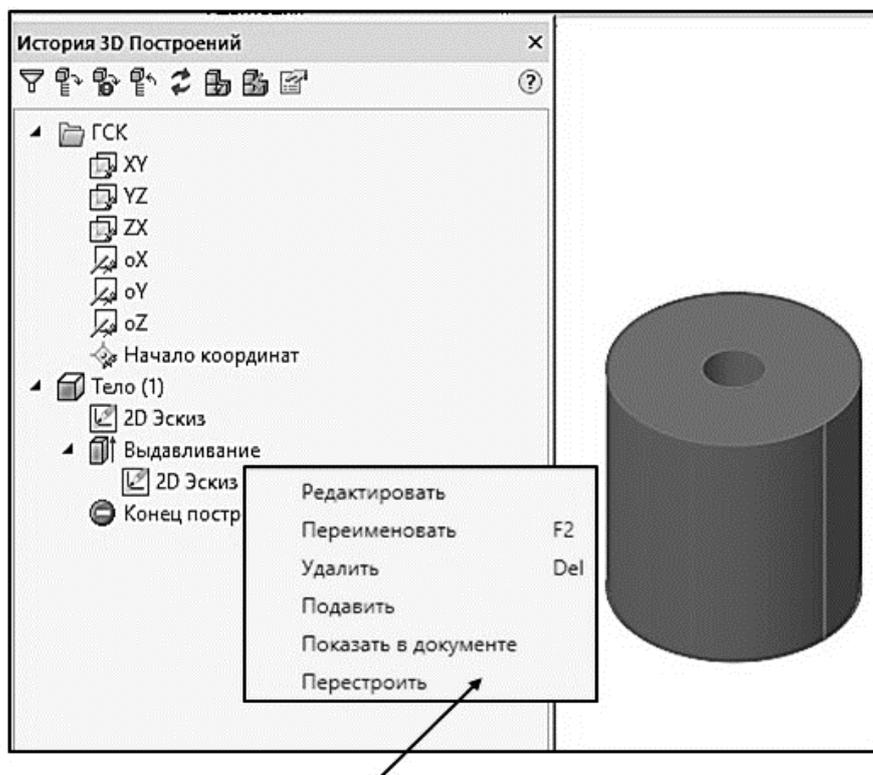
На рис. 2.19 показаны опции диалогового окна команды **Выдавить** при построении цилиндра с отверстием на основе эскиза – двух concentрических окружностей.



**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**.

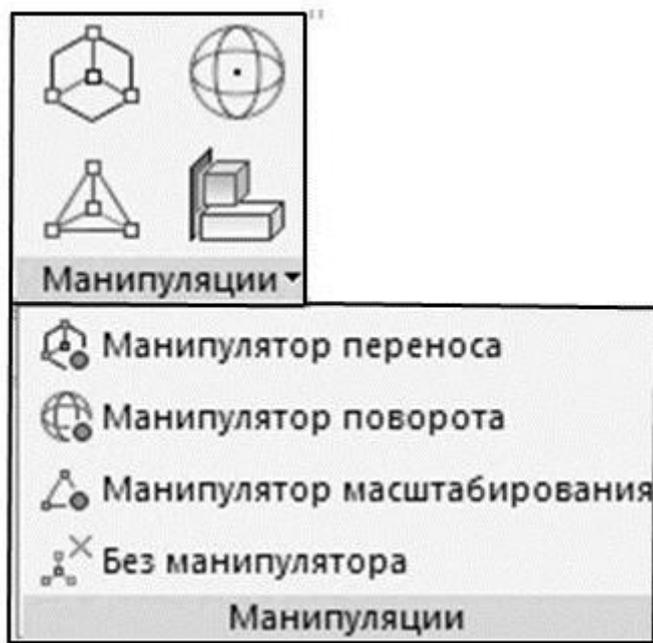


Рис. 2.21. Панель Манипуляции вкладки 3D-инструменты Ленточного меню

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.

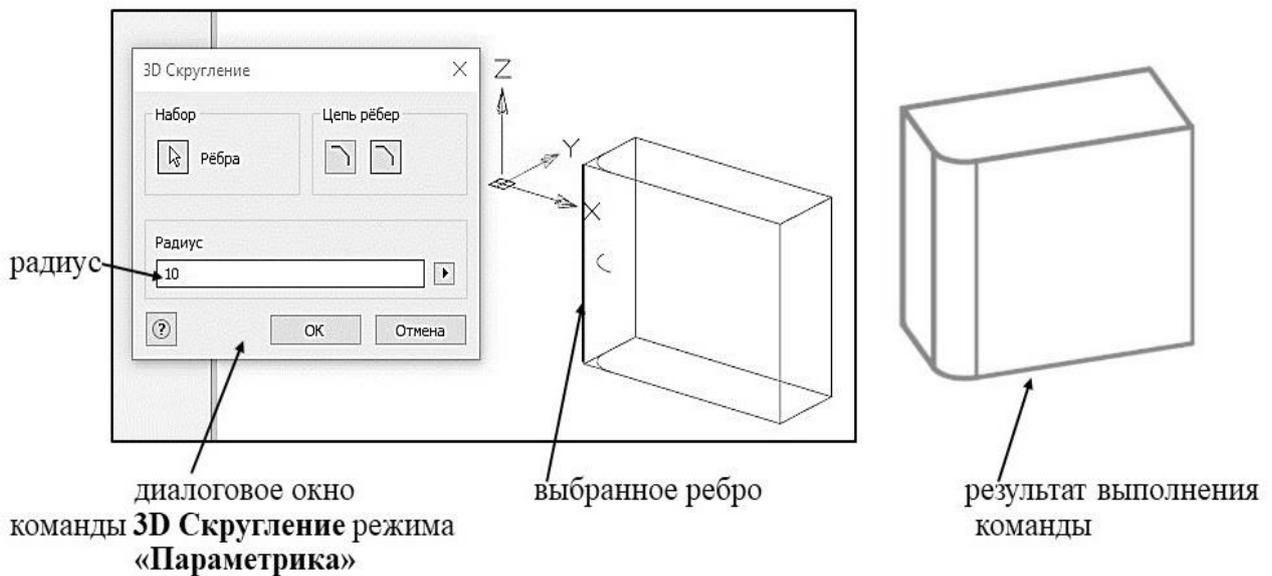


Рис. 2.24. Диалоговое окно и основные шаги команды 3D Скругление режима «Параметрика»

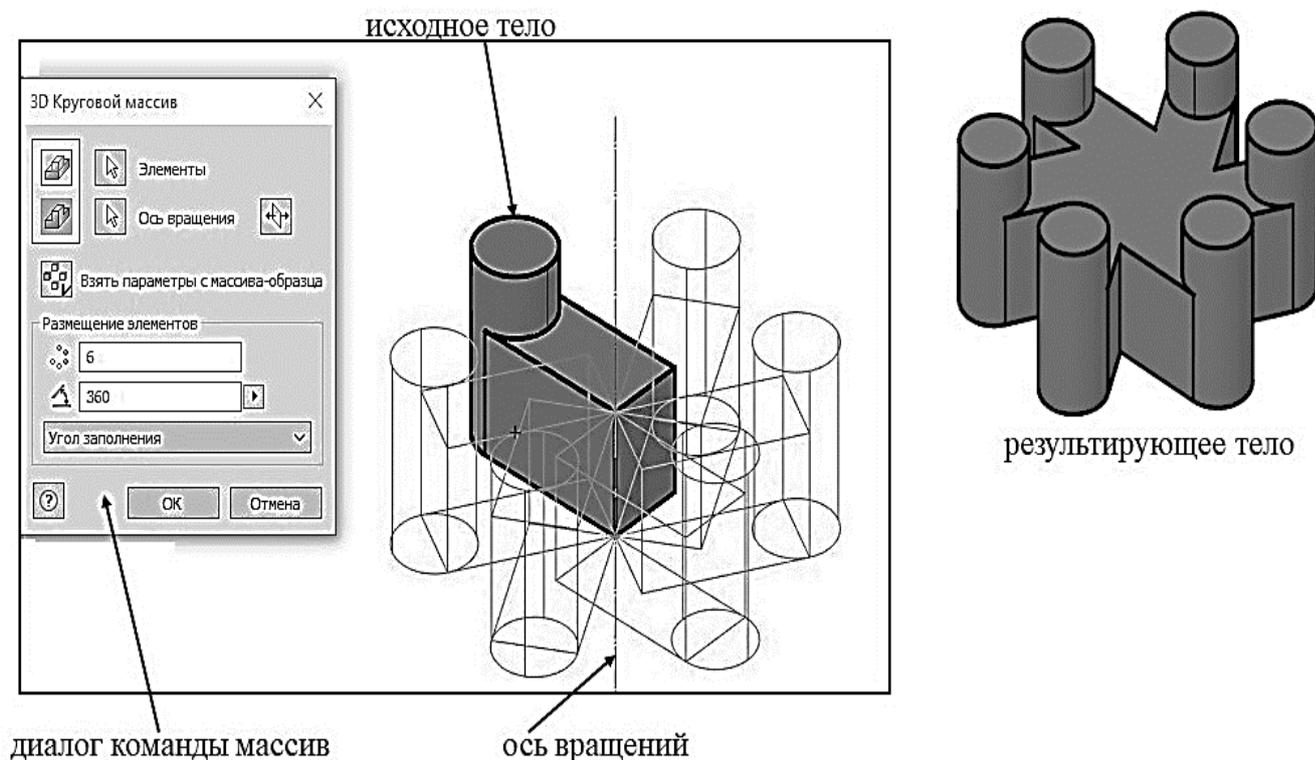
Команда панели **Элементы** - **3D Резьба** в данном пособии не рассматривается.

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:

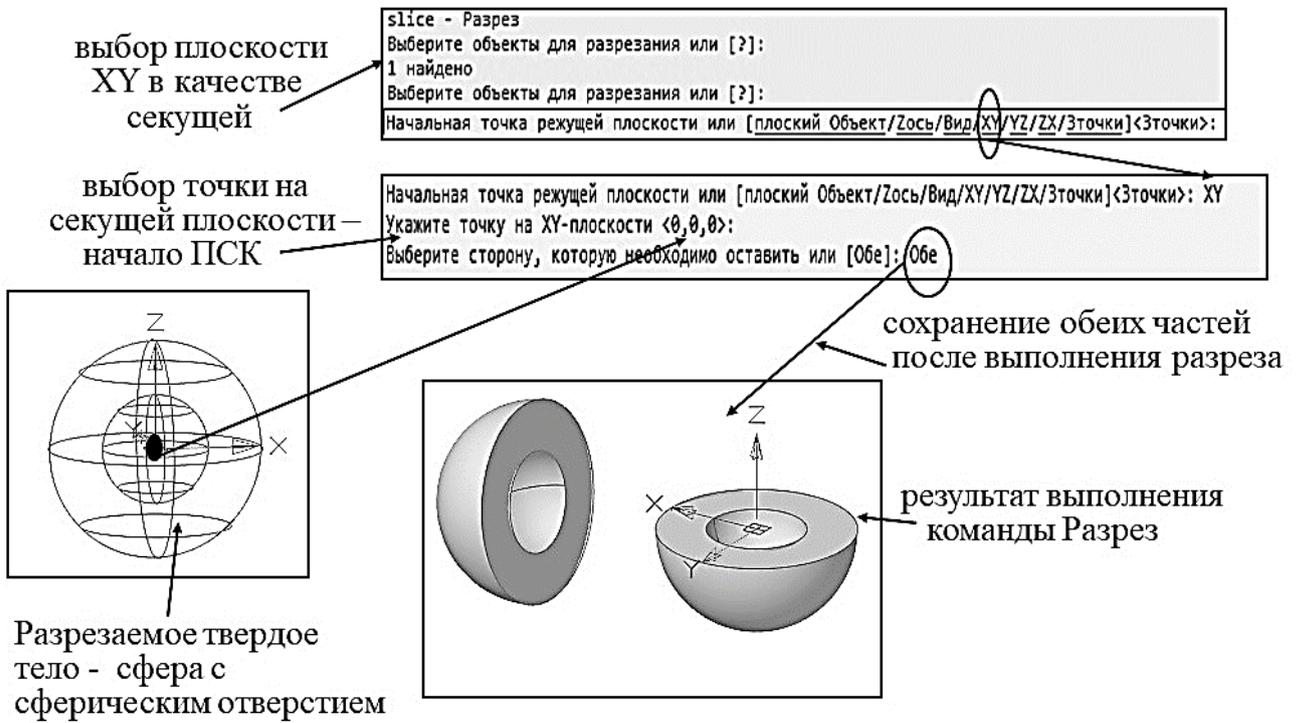
- плоский Объект (для разреза) или Объект (для сечения);
- Z ось;
- Вид;
- XY;
- YZ;
- ZX;
- 3 точки;
- По умолчанию (2 точки).

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

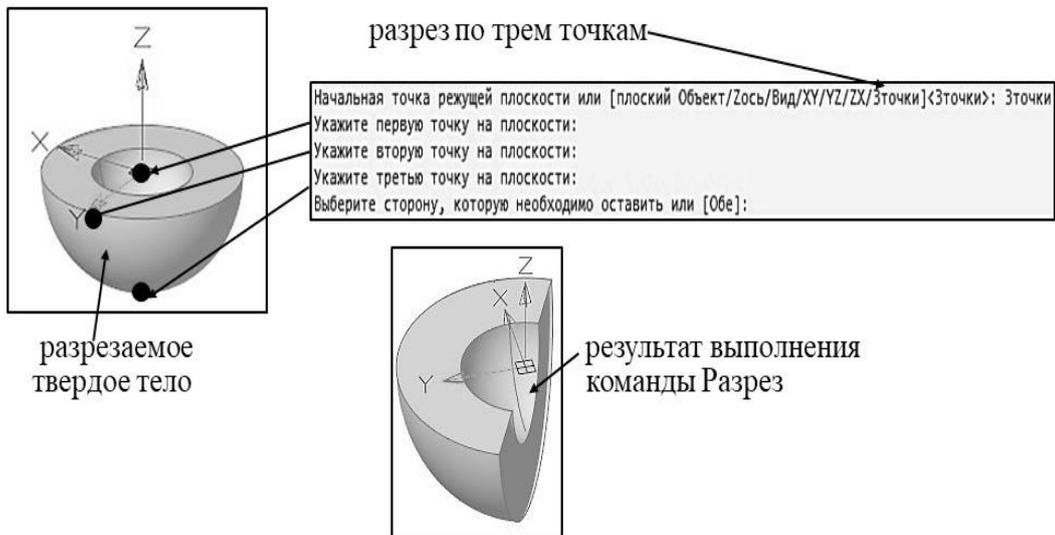
- **Плоский объект (или объект)** – положение секущей плоскости определяется плоским объектом, например, окружностью, эллипсом, полилинией и т.п.;
- **Z ось** - положение секущей плоскости определяется путем задания одной точки на этой секущей плоскости и второй точки на оси Z или нормали на этой плоскости;
- **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

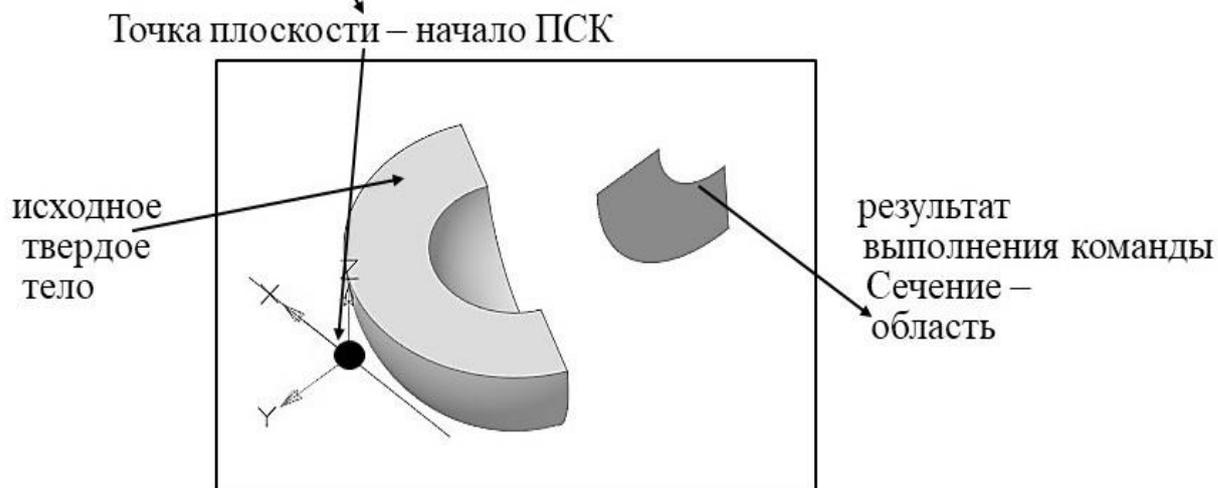
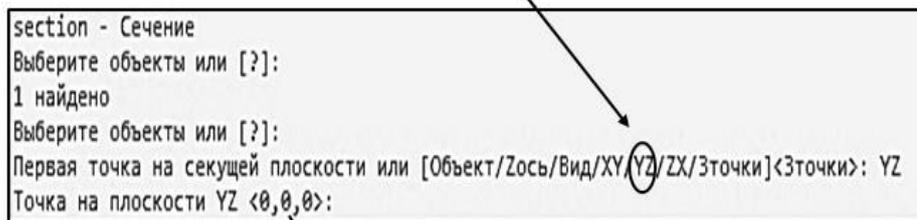
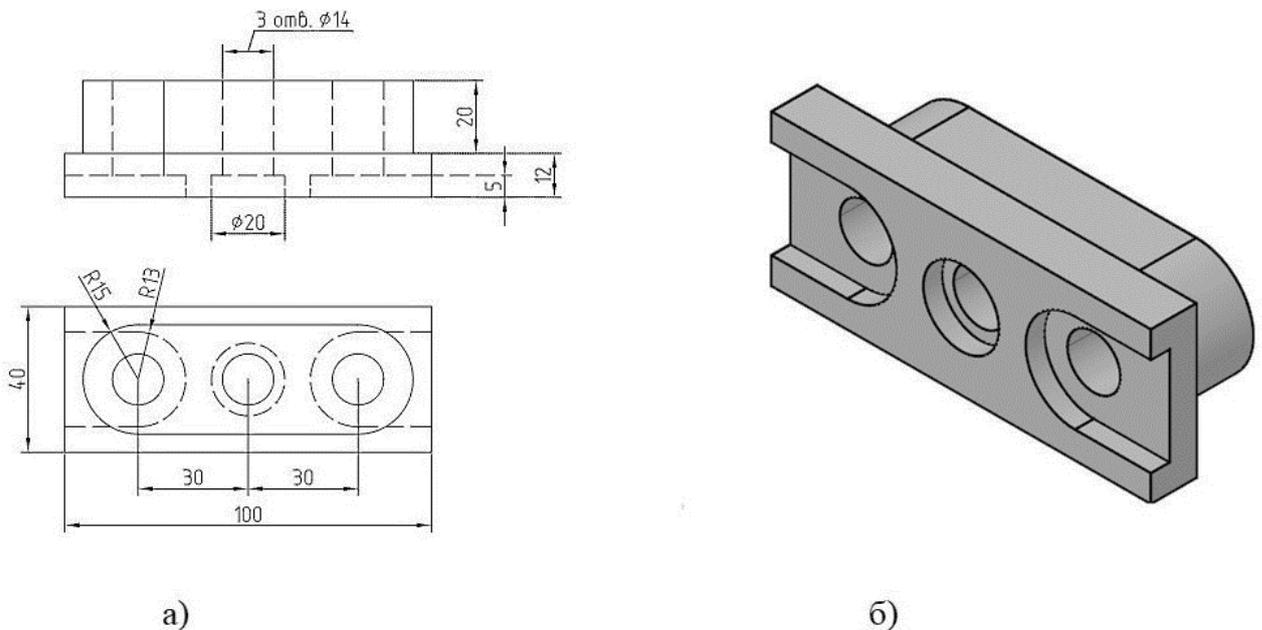


Рис. 2.28. Выполнение команды Сечение при выравнивании секущей плоскости по плоскости YZ

### 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),



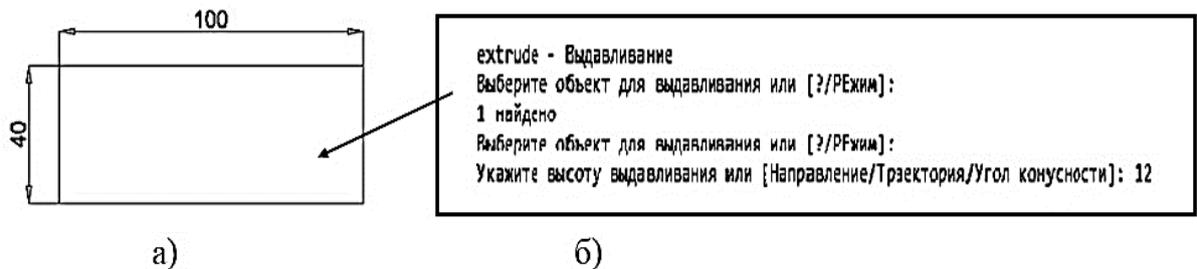
**Рис. 3.1. Твёрдая модель детали:**

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

Для разработки твёрдой 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 необходимо 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 твёрдой модели является построение параллелепипеда, который представляет собой основание твёрдой 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 твёрдой 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**.

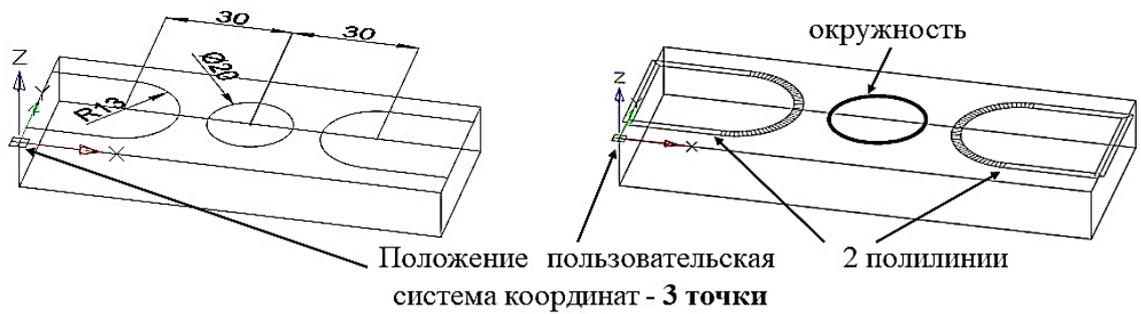
После создания эскиза необходимо выполнить команду **Выдавливание** прямоугольника на высоту 12. Диалог команды **Выдавливание** в этом случае показан на рис. 3.2. б). Результат выдавливания – это твёрдый параллелепипед.



**Рис. 3.2. Этапы выполнения команды Выдавливание:**

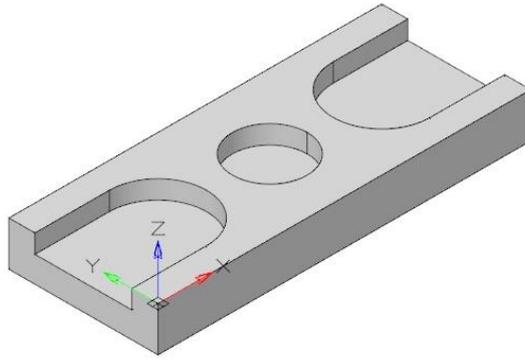
- а) отрисовка прямоугольника с заданными значениями высоты и ширины;
- б) диалог команды Выдавливание

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 будут 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 вычистить 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.

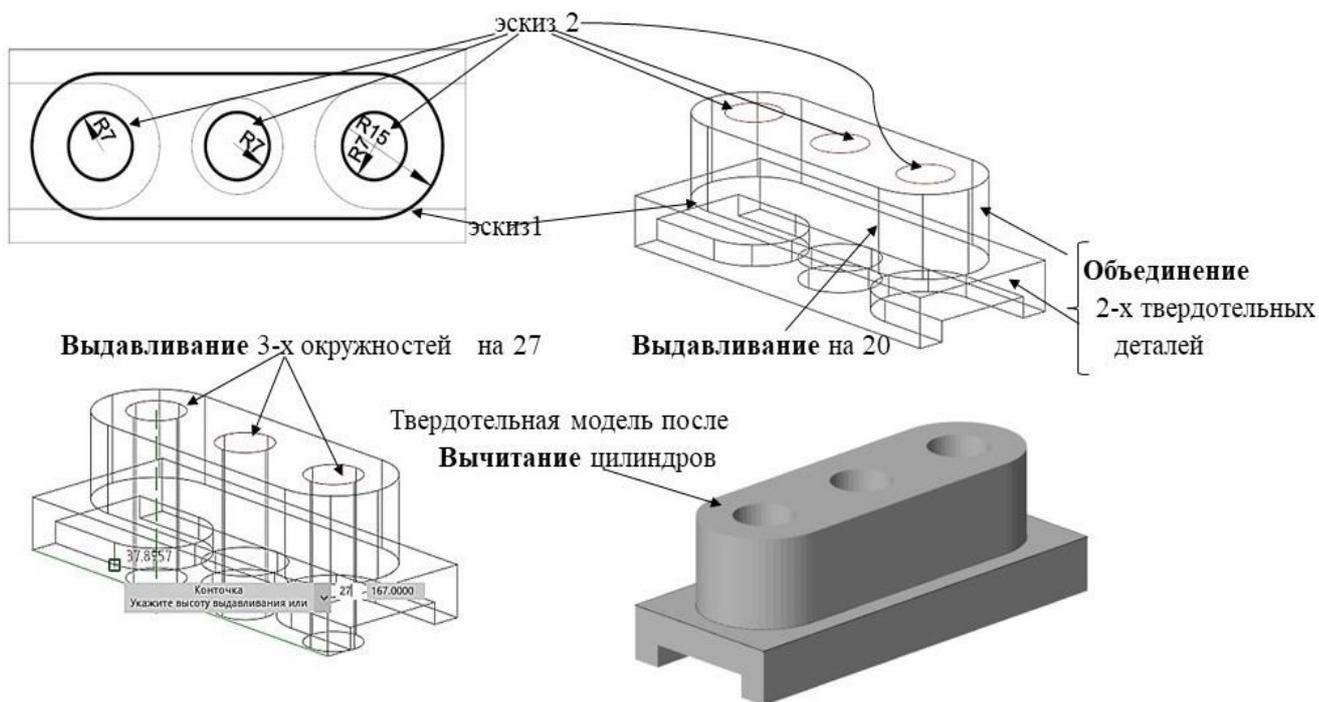


**Рис. 3.4. Промежуточный этап создания твердотельной модели**

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 **XУ** 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.

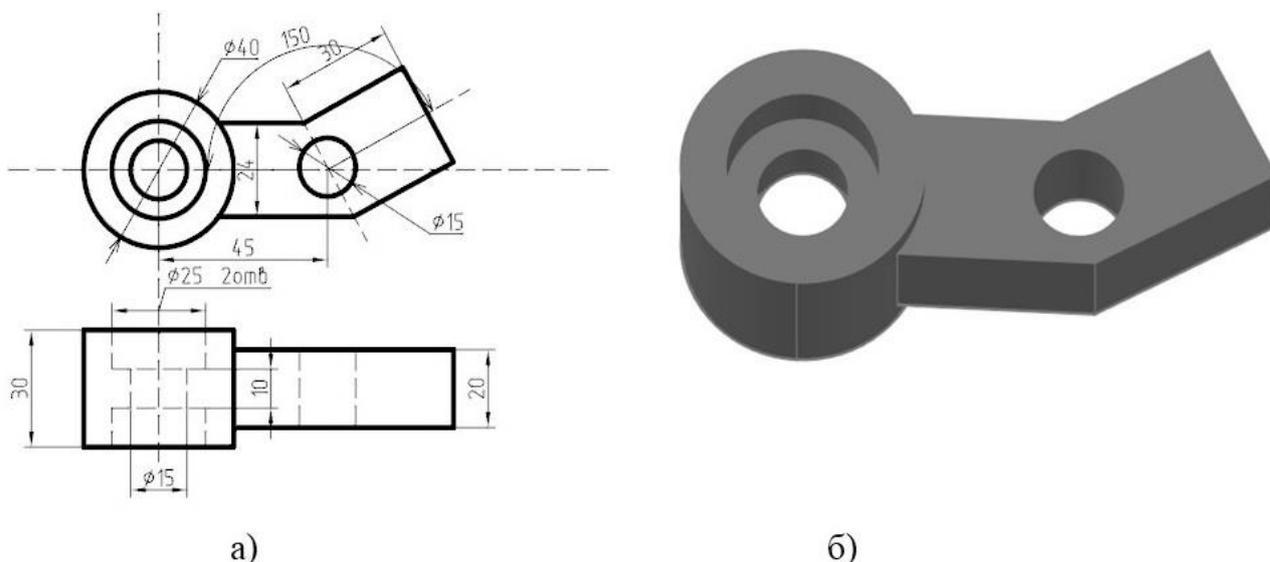
Эти этапы построения твердотельной модели показаны на рис. 3.5.



**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**.



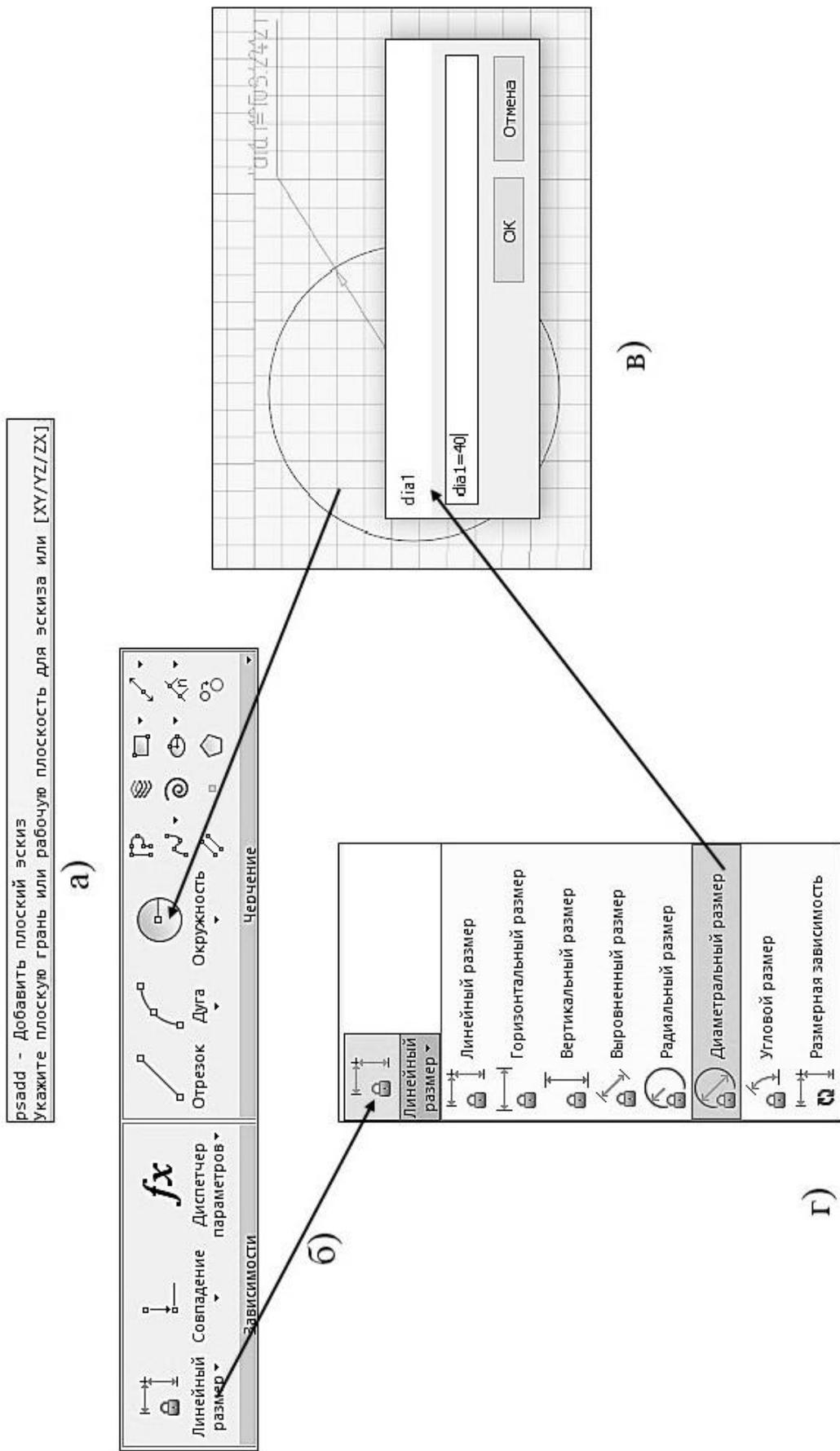
**Рис. 3.7. Команды вкладки 3D-инструменты Ленточного меню, участвующие в построении параметрической модели детали**

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 XY. 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).

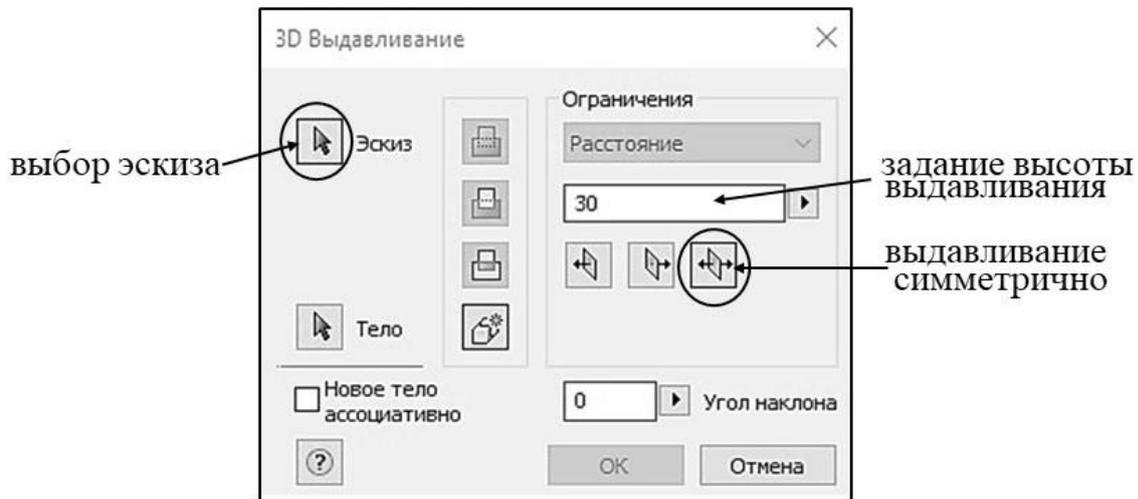


Рис. 3.9. Диалог команды **Выдавливание** при создании цилиндра высотой 30

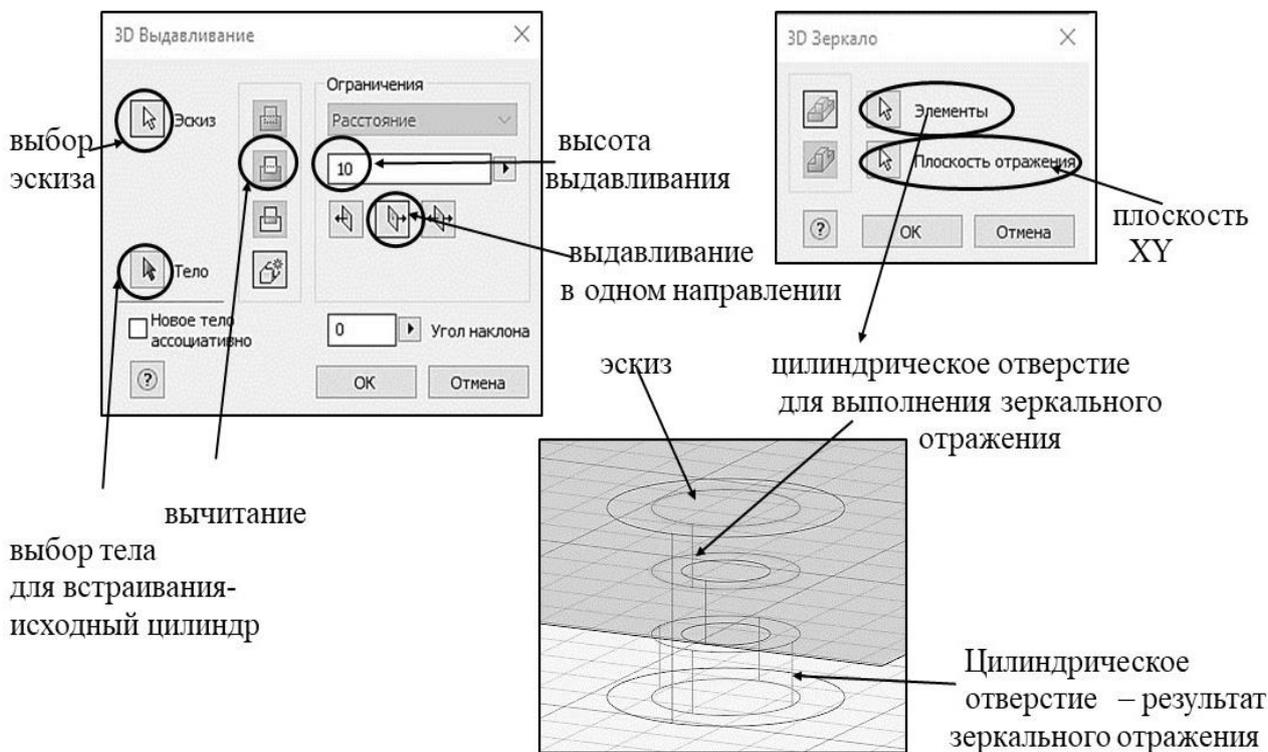
После этого необходимо создать три цилиндрических отверстия внутри цилиндра. Для первого внутреннего отверстия создаем эскиз (окружность диаметром 15) в той же плоскости, что и первый эскиз, т.е. в плоскости XY. Порядок создания данного эскиза такой же, как для эскиза **окружность** для исходного цилиндра. 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 –

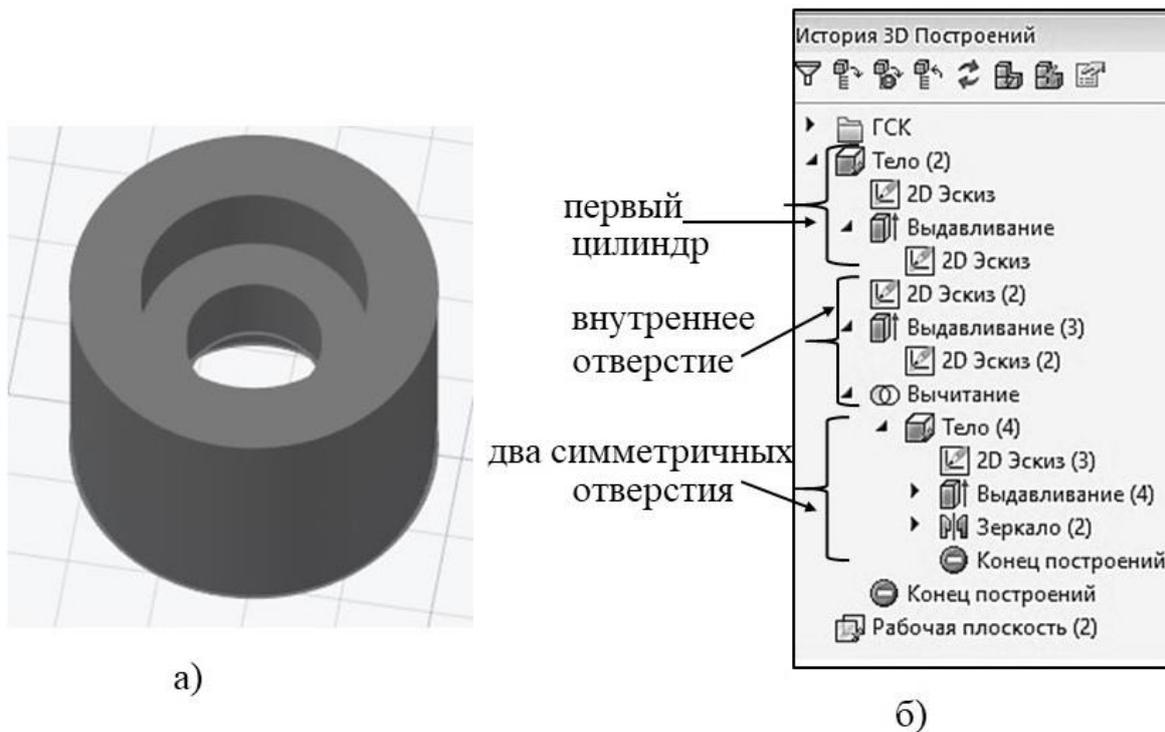
15. В результате на рабочем пространстве появляется рабочая плоскость, совпадающая с верхним основанием цилиндра. Именно в этой плоскости необходимо нарисовать эскиз – окружность диаметром 25. Затем данный эскиз нужно выдавить с вычитанием на высоту 10 внутрь цилиндра (рис. 3.10).

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).

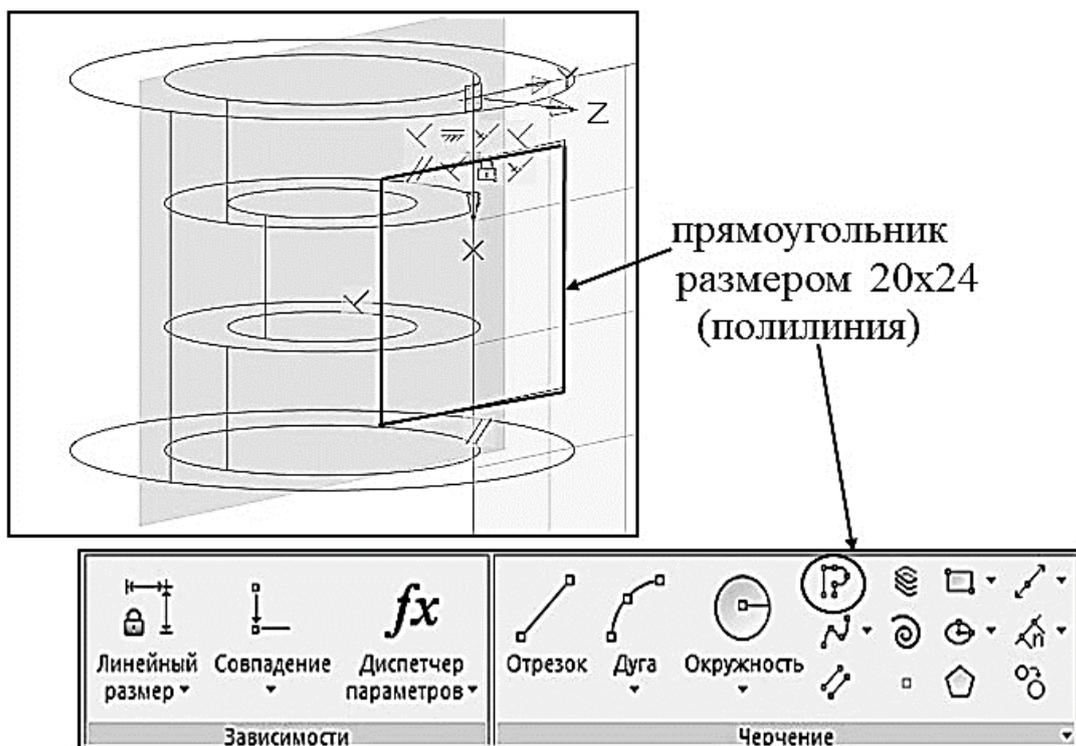
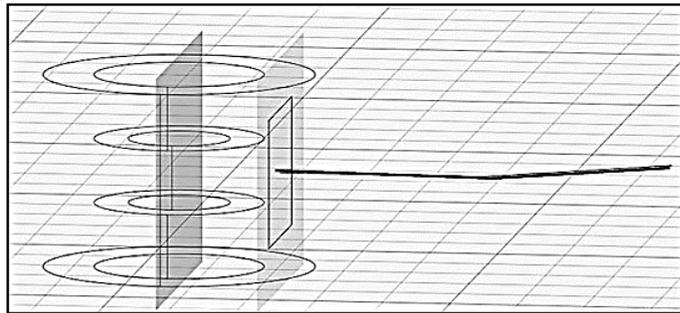
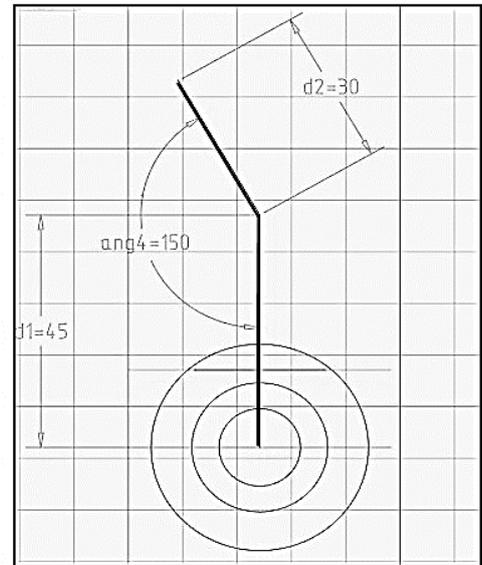


Рис. 3.13. Отрисовка профиля (прямоугольник) для выполнения команды **Вытягивание по траектории**

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



а)

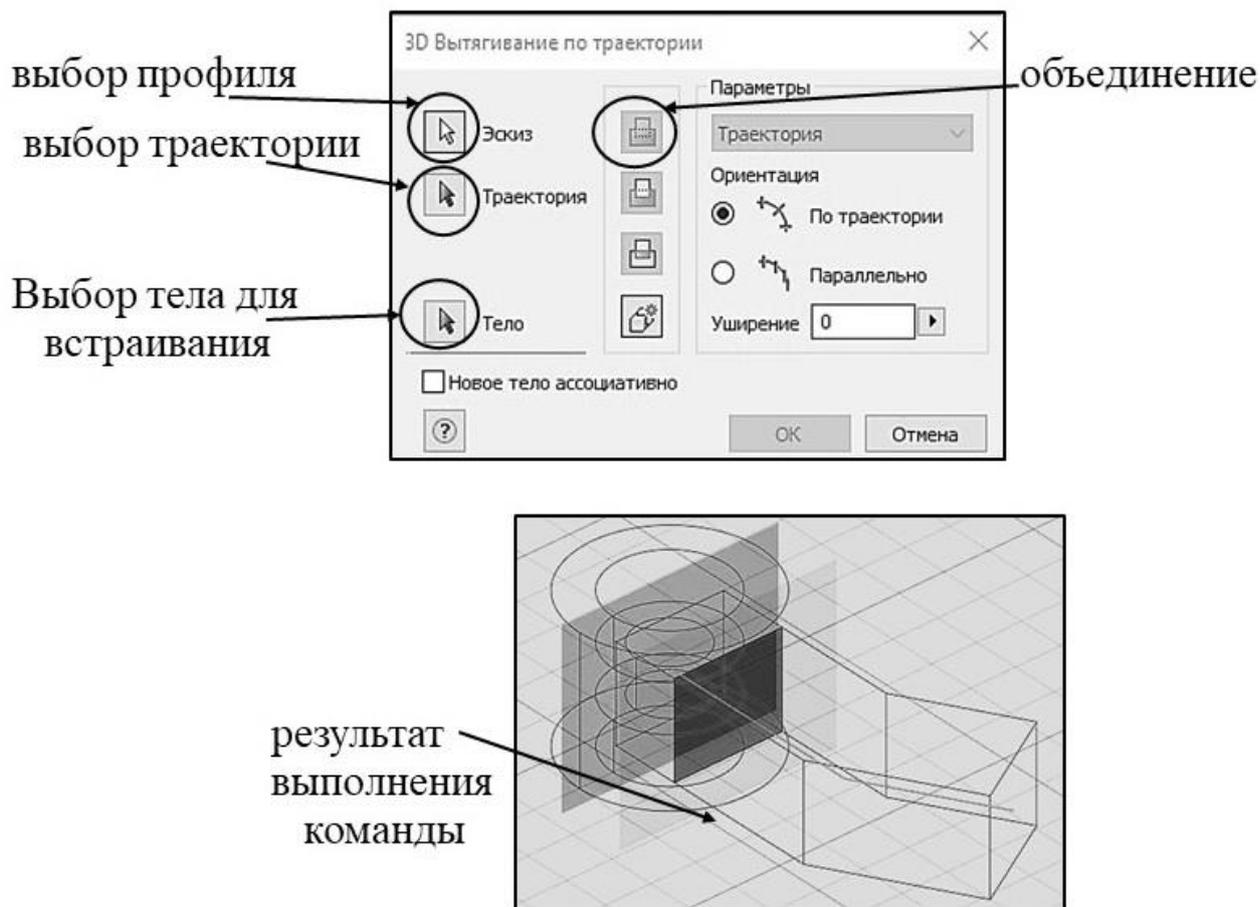


б)

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

а) в пространстве модели; б) в плоскости эскиза

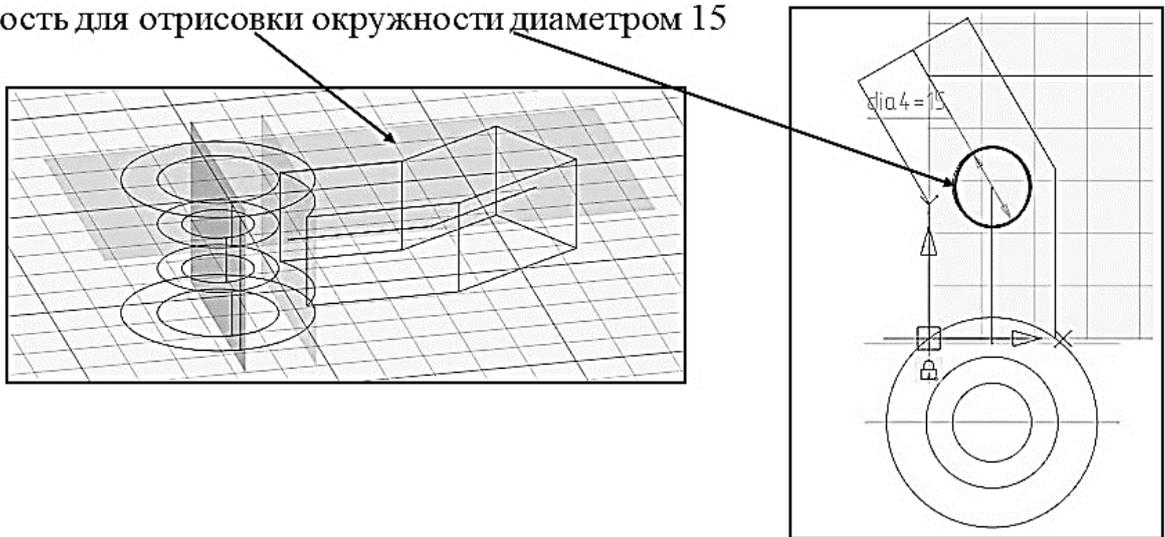
Теперь следует перейти к выполнению команды **Вытягивание по траектории**. Для получения необходимого результата построения нужно сначала выбрать сечение, затем траекторию вытягивания. Для объединения ранее построенного тела и тела, полученного в результате вытягивания по траектории, следует выбрать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



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

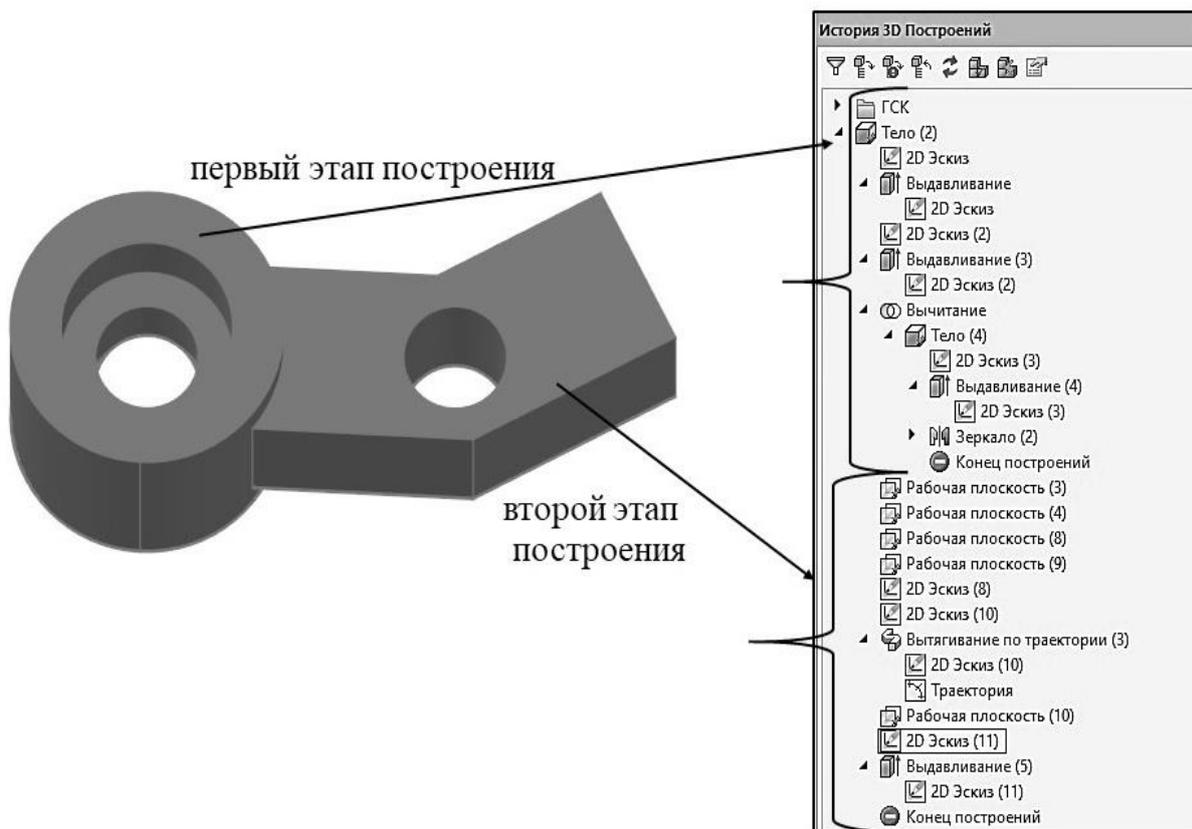
После этого необходимо создать последнее цилиндрическое отверстие. Для этого нужно добавить рабочую плоскость, совпадающую с верхней гранью тела, построенного на основе команды **Вытягивание по траектории**. Такая плоскость может быть построена по аналогии с предыдущими построениями с помощью смещения 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).

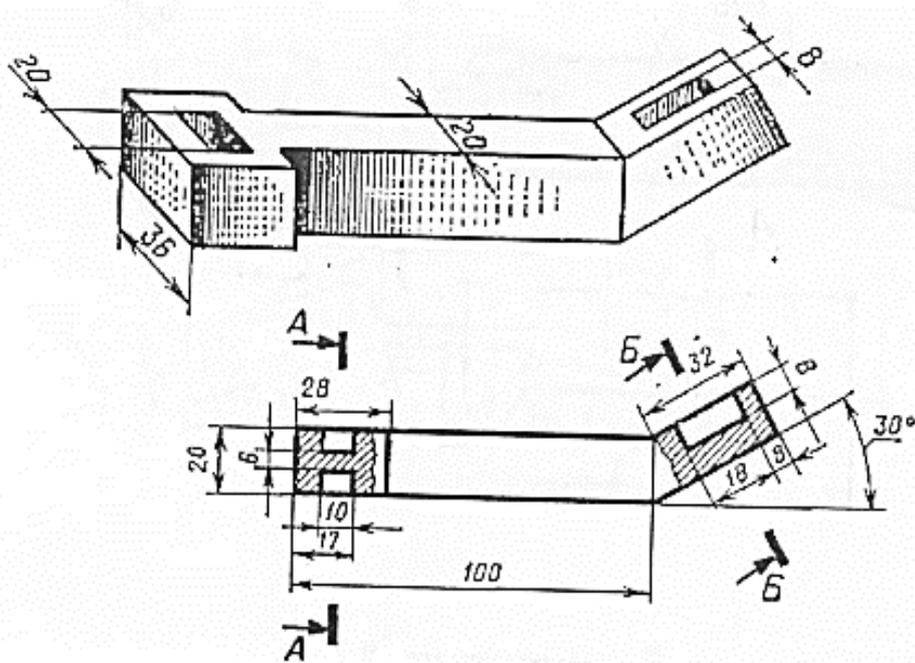


Рис. 4.1. Пример 1

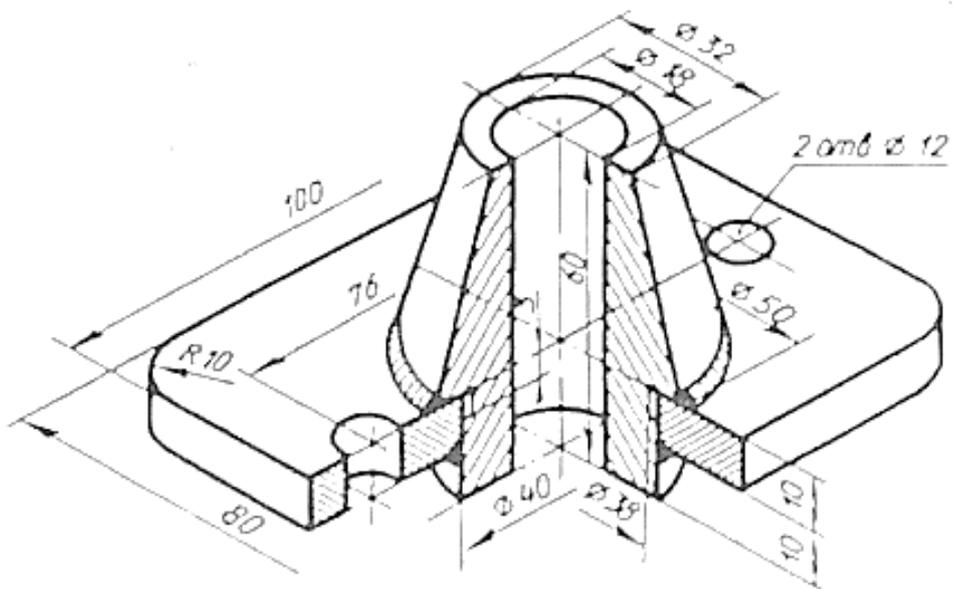


Рис. 4.2. Пример 2

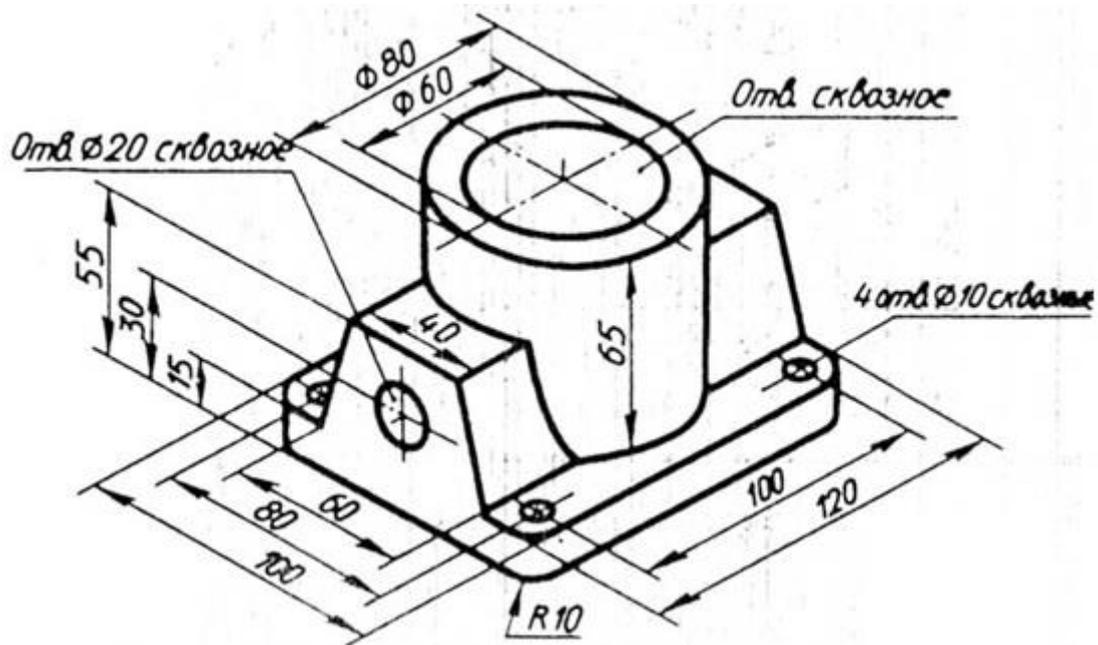


Рис. 4.3. Пример 3

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В предложенном практикуме изложены подходы к разработке твердотельных моделей в САПР nanoCAD в двух доступных в данной системе режимах - прямого и параметрического моделирования. Подробно рассмотрены особенности создания твердотельных моделей в каждом из них. На конкретных примерах показаны этапы создания таких моделей. Предложены примеры деталей для самостоятельного построения. Таким образом, освоение методов, изложенных в данном практикуме, позволит студентам перейти к самостоятельному созданию сложных твердотельных моделей, а значит и к разработке сборок, в среде САПР nanoCAD.

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

### Основной

1. **Кондратьев Д.** Что такое Прямое моделирование? [Электронный ресурс]//САПР-журнал. 2015. URL: <https://sapr-journal.ru/stati/chto-takoe-pryamoe-modelirovanie/> (дата обращения: 15.05.2024)
2. **Полещук Н.Н.** Путь к nanoCAD 2016.- СПб.: БХВ - Петербург, 2017.- 365с.
3. Интерфейс САПР nanoCAD: практикум/ **И.Е. Лешихина, М.А. Пирогова, В.А Краюшкин.** - М.: Издательство МЭИ, 2023. -52с.

### Дополнительный

4. Методы разработки твердотельных моделей в современных САПР: учеб. пособие/ **И.Е. Лешихина, М.А. Пирогова, В.А Краюшкин.** - М.: Издательство МЭИ, 2022. -52с.

*Учебное издание*

**Лешихина Ирина Евгеньевна**  
**Пирогова Марина Аркадьевна**  
**Краюшкин Владимир Анатольевич**

## ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ МОДЕЛИ В САПР NANOCAD

Практикум

Редактор  
Компьютерная верстка

---

Подписано в печать

Печать цифровая.

Формат 60×84/16

Печ. л. 3

Тираж 50 экз Изд. № 23-030

Заказ №

---

Оригинал-макет подготовлен в РИО НИУ «МЭИ».  
111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 14  
Отпечатано в типографии НИУ «МЭИ».  
111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 13