

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

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

**ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ В
СОВРЕМЕННЫХ САПР (НА ПРИМЕРЕ САПР
NANOCAD)**

Учебное пособие

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

Москва
Издательство МЭИ
2026

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 Параметрические модели в современных САПР (на примере САПР nanoCAD): учеб.пособие / И.Е. Лешихина, М.А. Пирогова, В.А. Краюшкин — М.: Издательство МЭИ, 2026. —с.

Рассмотрены возможности создания параметрических моделей в современных САПР. Проанализированы особенности различных типов параметризации: табличной, иерархической, вариационной и геометрической. Рассмотрена реализация каждого из типов параметризации в САПР nanoCAD. Особое внимание уделено задаче разработки параметризованных эскизов в рассматриваемой САПР.

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

**УДК 621.398
ББК 30.2-5-05**

©И.Е. Лешихина, М.А.Пирогова,
В.А. Краюшкин, 2026

© Национальный исследовательский
университет «МЭИ», 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОГЛАВЛЕНИЕ.....	3
ВВЕДЕНИЕ	4
1. ТИПЫ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ, И ИХ ОСОБЕННОСТИ.....	5
1.1. Табличная параметризация.....	6
1.2. Иерархическая параметризация.....	7
1.3. Геометрическая и вариационная параметризации	11
2. РЕАЛИЗАЦИЯ ФУНКЦИОНАЛА ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В САПР NANOCAD	17
3. ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ ПАРАМЕТРИЗОВАННОГО ЭСКИЗА В САПР NANOCAD.....	19
3.1. Создание параметризованного эскиза до выбора команды твердотельного моделирования.....	20
3.2. Создание параметризованного эскиза в режиме Параметрика	30
4. ПРИМЕР СОЗДАНИЯ ТВЕРДОТЕЛЬНОЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ, ПОСТРОЕННОЙ НА ОСНОВЕ КОМАНДЫ ВЫТЯГИВАНИЕ ПО СЕЧЕНИЯМ, В САПР NANOCAD.....	39
5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ И ПРИМЕРЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ ПО РАЗДЕЛУ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ	46
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	49
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	49

ВВЕДЕНИЕ

Для подготовки студентов по направлению «Информатика и вычислительная техника» при изучении основ построения моделей различной сложности используется функционал отечественной Системы автоматизированного проектирования (САПР) nanoCAD. Для создания твердотельных моделей в данной САПР используется два подхода: использование прямого моделирования (режим «**Прямое**») и работа с параметрическими моделями (режим «**Параметрика**»).

Каждый из этих подходов имеет свои особенности. Разработка моделей в режиме прямого моделирования полностью совпадает с соответствующим подходом к разработке таких моделей в САПР низкого уровня, которые использовались в учебном процессе ранее и подробно рассмотрена в учебных пособиях [2,3,4]. Особенности реализации принципа параметризации в САПР nanoCAD требуют особого внимания. Это связано с необходимостью понимания влияния геометрических параметров на результат проектирования и редактирования геометрических моделей.

Работа с деревом построения, т.е. использование иерархической параметризации при создании твердотельных моделей, это один из подходов к реализации принципа параметризации в САПР. Этот подход понятен и хорошо описан во многих источниках. Есть примеры его использования и в САПР nanoCAD [2]. Наибольшую сложность представляет освоение принципов вариационной и геометрической параметризации. Данные принципы реализованы в инструменте создания параметризованного эскиза, а также используются при разработке сборок на основе твердотельных моделей.

Данное учебное пособие посвящено как теоретическим основам создания параметрических моделей, так и практической реализации принципа параметризации в САПР nanoCAD. В пособии на реальных примерах моделирования различных деталей рассмотрены особенности интерфейса режима «**Параметрика**» данной САПР.

1. ТИПЫ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ, И ИХ ОСОБЕННОСТИ

Во всех современных САПР в настоящее время для создания геометрических моделей используется принцип параметризации. Модели, которые создаются на основе этого принципа, называются параметрическими. *Параметрическая модель* – это модель, представленная с помощью совокупности параметров, устанавливающих соотношение между геометрическими и размерными характеристиками моделируемого объекта. Можно сказать, что *параметрическое моделирование* - это моделирование с использованием параметров элементов модели и соотношений между этими параметрами. Параметрами геометрической модели могут быть, например, координаты и размеры геометрических элементов модели.

Математические основы создания сложных твердотельных моделей начали разрабатываться в середине прошлого века. Необходимость использования таких моделей диктовалась требованиями промышленности. Любая геометрическая модель не всегда является окончательной, может подвергаться изменениям в соответствии с требованиями заказчика. Таким образом в САПР должны присутствовать возможности для редактирования геометрических моделей. Поиск решений в данном направлении привел к необходимости добавления параметров в модель, изменение которых может упростить процесс ее редактирования. Изменение того или иного параметра приводит к полному или частичному перестраиванию (пересчета) модели [1].

Первая в мире система параметрического моделирования была разработана в компании PTC (Parametric Technology Corporation) - это САПР Pro/Engineer. В этой САПР было реализовано параметрическое твердотельное моделирование на основе конструктивных элементов. Принцип параметризации был реализован с помощью дерева построения, которое использовалось для быстрой регенерации модели при внесении изменений в дерево. Кроме этого, в этой САПР использовались таблицы типовых моделей и их параметров.

В настоящее время такие принципы параметризации используются во всех САПР. И эти САПР называют параметрическими.

Реально существуют следующие типы параметризации: табличная, иерархическая, геометрическая и вариационная. В современных САПР реализованы все четыре типа параметризации. Каждый из типов параметризации решает свои задачи при создании и редактировании геометрических моделей. Но основная цель их использования – упрощение пересчета модели после изменения некоторых параметров, а также

установка зависимостей между различными геометрическими объектами модели при ее создании.

Рассмотрим подробнее особенности каждого из типов параметризации.

1.1. Табличная параметризация

Простейший тип параметризации – табличная параметризация. Табличная параметризация предполагает наличие таблицы типоразмеров деталей, из которой в зависимости от параметров детали, может быть выбрана необходимая модель. Генерация нового типового объекта производится путем выбора из таблицы типоразмеров. На рис.1.1. показан пример такой таблицы, сформированной в САПР Pro/Engineer.

Имя экземпляра	d16 ДЛИНА_БОЛТА	d17 ДИАМЕТР_БО	F199 ШЕСТИГРАНН	F248 ЗВЕЗДОЧКА	F372 [ФАСКА_1]	ПРИМЕЧАНИЕ	СТАНДАРТ
BOLT	15.0000	4.5000	Y	Y	Y	Шестигранник	БОЛТ5х15
BOLT_5_28	28.0000	5.0000	N	Y	N	Звездочка	БОЛТ5х28
BOLT_5_24	24.0000	5.0000	N	Y	N	Звездочка	БОЛТ5х24
BOLT_5_18	18.0000	5.0000	N	Y	N	Звездочка	БОЛТ5х18
BOLT_6_50	50.0000	6.0000	Y	N	Y	Шестигранник	БОЛТ6х50
BOLT_6_40	40.0000	6.0000	Y	N	Y	Шестигранник	БОЛТ6х40
BOLT_6_30	30.0000	6.0000	Y	N	Y	Шестигранник	БОЛТ6х30
BOLT_6_30_	30.0000	6.0000	Y	N	Y	Шестигранник	БОЛТ6х30
BOLT_4_15	15.0000	4.0000	Y	N	Y	Шестигранник	БОЛТ4х15
BOLT_5_50	50.0000	5.0000	Y	N	Y	Шестигранник	БОЛТ5х50

Рис. 1.1. Пример таблицы типоразмеров, создаваемой в Pro/Engineer

Достоинством такой параметризации является тот факт, что ее использование позволяет существенно сократить и ускорить создание библиотек стандартных элементов. В настоящее время любая современная САПР имеет библиотеки стандартных элементов, в которых находятся геометрические модели типовых деталей. На рис. 1.2. Показан вариант использования табличной параметризации в САПР nanoCAD, а именно работа с моделями типовых элементов.

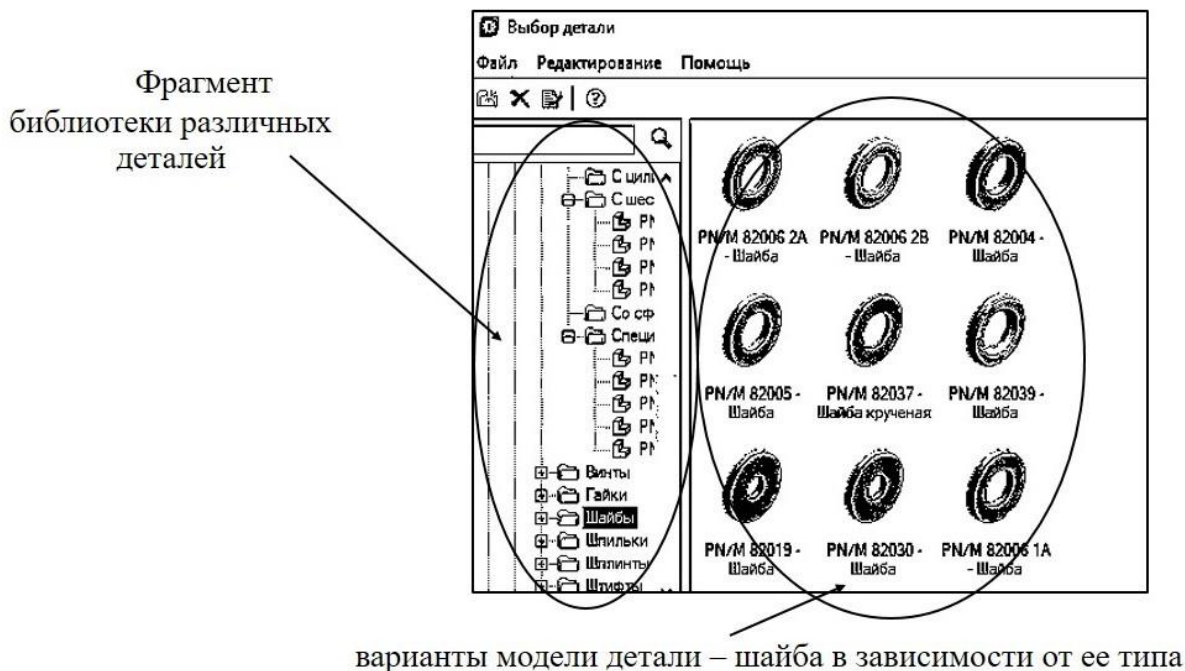


Рис. 1.2. Использование табличной параметризации в САПР nanoCAD

Недостатком табличной параметризации является невозможность задания новых значений параметров и геометрических отношений в модели.

1.2. Иерархическая параметризация

Современные САПР ориентированы на иерархическую параметризацию. Иерархическая параметризация – это параметризация, основанная на истории создания геометрической модели [2,4]. История превращается в параметрическую модель, если с каждой операцией ассоциировать определенные параметры. В ходе создания модели вся последовательность построения, например, порядок выполненных различных команд твердотельного моделирования, отображается в виде дерева построения. Дерево построения обязательно присутствует во всех параметрических САПР. В процессе создания модели на промежуточных этапах создаются так называемые конструктивные элементы (КЭ). Которые и являются промежуточными моделями результирующей твердотельной модели. Иерархическую параметризацию часто называют параметрическим моделированием на основе конструктивных элементов.

Редактирование модели, использующей иерархическую параметризацию, происходит непосредственно в дереве построения путем изменения параметров промежуточных конструктивных элементов.

Пример дерева построения твердотельной параметрической модели в САПР nanoCAD показан на рис.1.3.

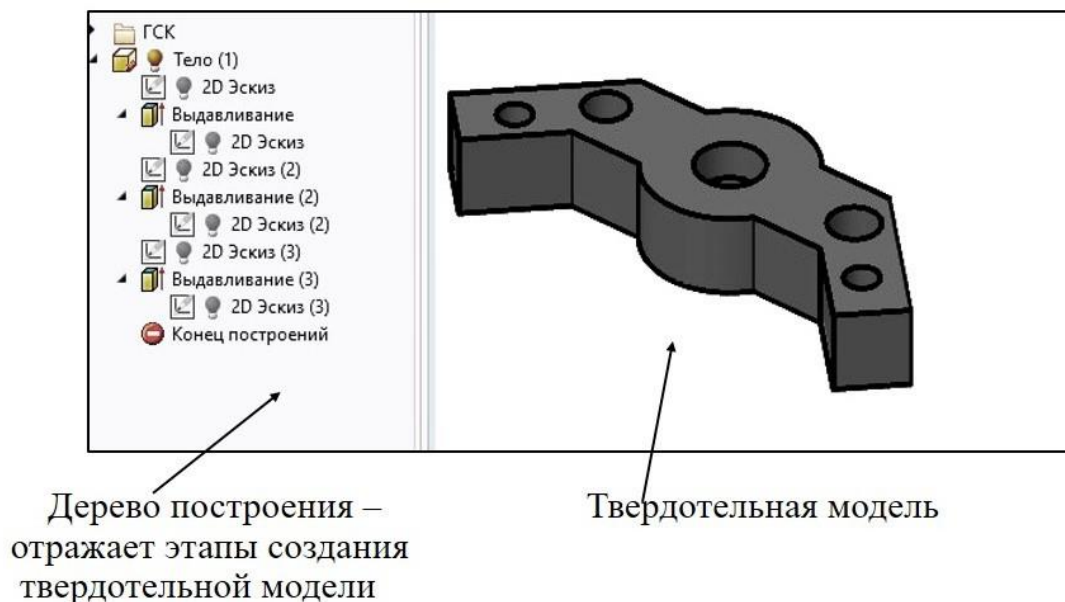


Рис. 1.3. Пример дерева построения для твердотельной параметрической модели, созданной в САПР nanoCAD

Иерархическая параметризация имеет следующие особенности:

- внесение изменений в дерево построения на одном из этапов создания модели приводит к изменению всей модели и дерева построения;
- положение КЭ (геометрических объектов) относительно ранее построенных задается во время его создания;
- положение каждого геометрического объекта полностью управляется его параметрами;
- при редактировании КЭ положение ранее построенных геометрических объектов не меняется (принцип Родитель-Потомок);
- редактировать можно только каждый КЭ отдельно, иерархическая параметризация позволяет создавать полностью определенную геометрическую модель;
- реализация изменения параметров не является сложной, т.к. требуется только один проход по дереву построения.

Подход к разработке геометрической модели на основе иерархической параметризации называют процедурным. Суть данного подхода состоит в следующем: с каждым КЭ связывается определенный набор методов для их создания (например, копирование, удаление; определенные команды создания КЭ); все параметры, необходимые для построения КЭ, делятся на зависимые и независимые. При таком подходе возникает проблема: нельзя использовать циклические зависимости между геометрическими объектами, т.к. изменение параметра может привести к невозможности построения модели.

Иерархическую параметризацию называют жесткой параметризацией. Отличительные особенности жесткой параметризации следующие:

- при жесткой параметризации в модели полностью заданы все связи;
- при создании модели с помощью жесткой параметризации очень важным является порядок определения и характер наложенных связей, которые будут управлять изменением геометрической модели; такие связи наиболее полно отражает дерево построения иерархической параметризации;
- для жесткой параметризации характерно наличие случаев, когда при изменении параметров геометрической модели решение вообще не м.б. найдено, т.к. часть параметров и установленные связи вступают в противоречие друг с другом.

Все эти особенности относятся к иерархической параметризации. Таким образом иерархическая параметризация действительно является жесткой параметризацией.

Рассмотрим подробнее отношение Родитель/Потомок при использовании иерархической параметризации.

Основной принцип иерархической параметризации - фиксация всех этапов построения модели в дереве построения. Это и есть определение отношений Родитель/Потомок. При создании нового КЭ, все другие геометрические объекты, на которые ссылается создаваемый КЭ, становятся его Родителями. Изменение родительского конструктивного элемента приводит к изменению всех его потомков. В некоторых случаях изменение потомка может привести к невозможности пересчета модели, т.к. происходит недопустимое изменение родительского КЭ.

На рис.1.4. и рис.1.5 показано влияние изменений КЭ - потомков на родительский КЭ. В данном примере рассмотрена твердотельная модель, показанная на рис.1.3.

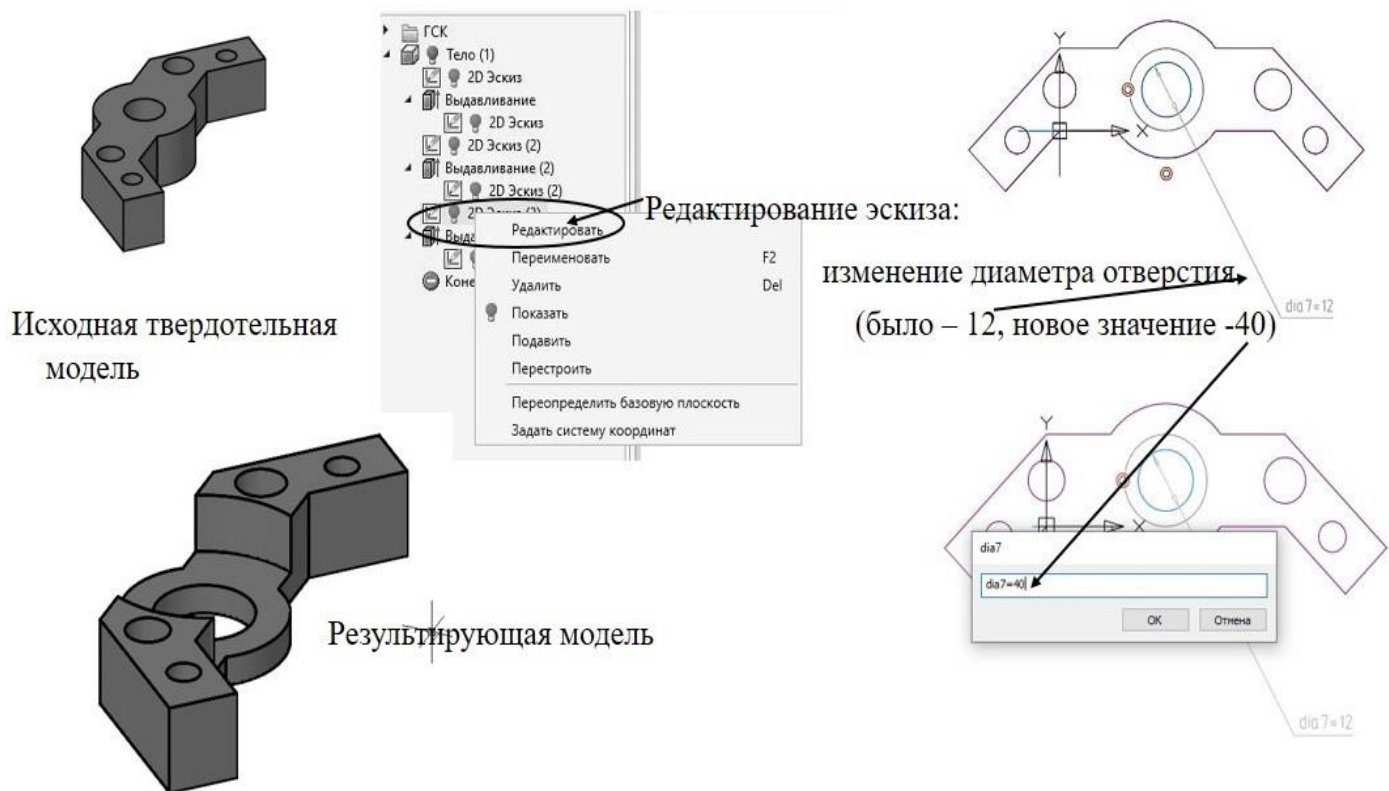


Рис. 1.4. Иллюстрация отношений Родитель/Потомок на примере детали, построенной в САПР nanoCAD (изменение диаметра отверстия)

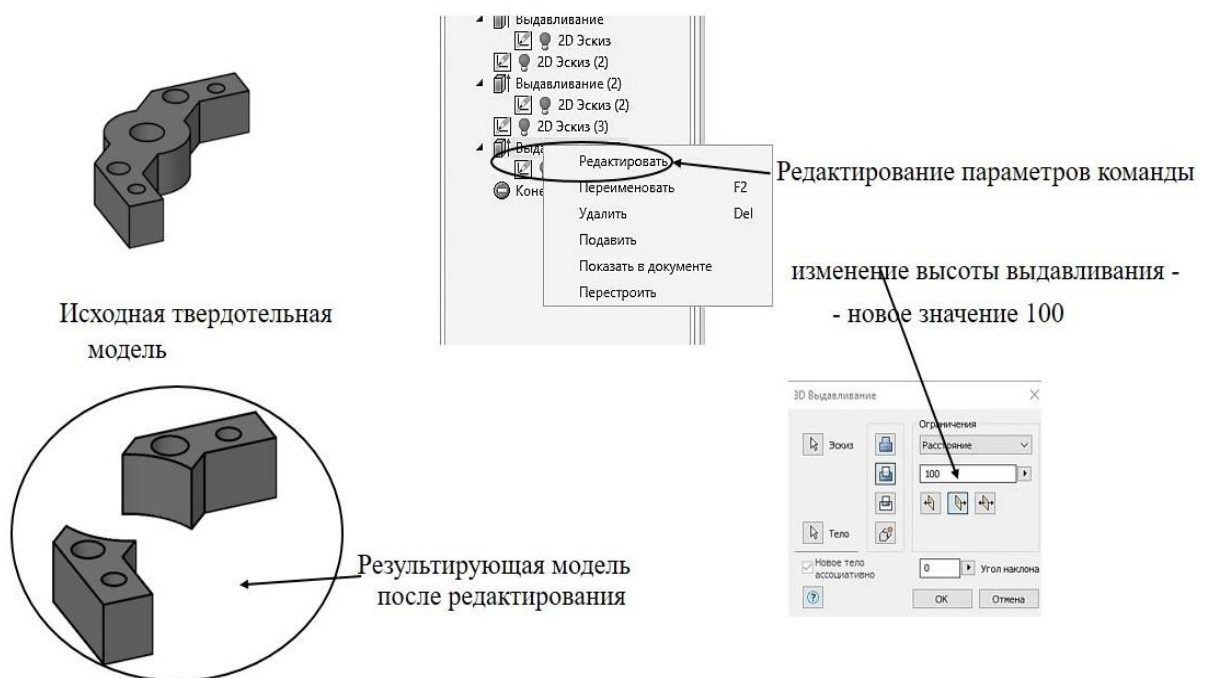


Рис. 1.5. Иллюстрация отношений Родитель/Потомок на примере детали, построенной в САПР nanoCAD (изменение высоты выдавливания)

Помимо явных достоинств иерархической параметризации следует отметить и ее недостатки:

- введение циклических зависимостей в модели приведет к отказу системы в создании такой модели (ранее созданные КЭ не могут зависеть от КЭ, построенных позднее);
- ограничены возможности редактирования такой модели из-за отсутствия достаточной степени свободы (есть только возможность редактирования параметров каждого элемента по очереди);
- сложность и непрозрачность в некоторых случаях (дерево построения больших размеров) для пользователя;
- дерево построения может быть очень сложным, поэтому пересчет модели потребует много времени;
- решение о том, какие параметры менять, происходит только в процессе построения;
- Невозможность применения этого подхода при работе с разнородными и унаследованными данными.

1.3. Геометрическая и вариационная параметризации

Следует отметить, что геометрическая модель имеет свою структуру данных, которая включает в себя различные геометрические характеристики (координаты точек, уравнения прямых, кривых, поверхностей и т.п.) – все это можно назвать параметрами геометрической модели.

Для редактирования геометрической модели с учетом этих параметров могут использоваться следующие подходы:

- изменение численных значений параметров одного геометрического элемента, входящего в геометрическую модель, независимо от другого;
- использование геометрических зависимостей и ограничений, т.е. редактирование отдельных элементов геометрической модели происходит в связке друг с другом.

Для реализации второго подхода используется геометрическая и вариационная параметризации.

Рассмотрим особенности геометрической параметризации. Геометрическая параметризация основана на пересчете параметрической модели в зависимости от геометрических параметров родительских объектов.

Перечислим некоторые геометрические параметры (геометрические зависимости), влияющие на модель, построенную на основе геометрической параметризации:

- параллельность геометрических объектов;
- их перпендикулярность;
- касательность;
- концентричность окружностей;

- и т.п.

Основной особенностью геометрической параметризации является то, что в ней используются принципы ассоциативной геометрии.

Прообразом геометрической и вариационной параметризации является объектная привязка [2,3,4], используемая в САПР AutoCAD и САПР nanoCAD. Под объектной привязкой понимается задание геометрических параметров, о которых говорилось выше, при отрисовке примитивов [2,3]. С помощью этого инструмента можно выполнить отрисовку примитивов в соответствии геометрическими параметрами. Но при этом ограничения, определяемые выбранными параметрами, исчезают при редактировании одного из примитивов. Это связано с тем, что такой тип параметров не является достаточно сильным для сохранения зависимости примитивов при их независимом редактировании. На рис. 1.6 показаны особенности объектной привязки САПР. В этом примере видно, что выбранная привязка по касательной исчезает при перемещении одной из окружностей.

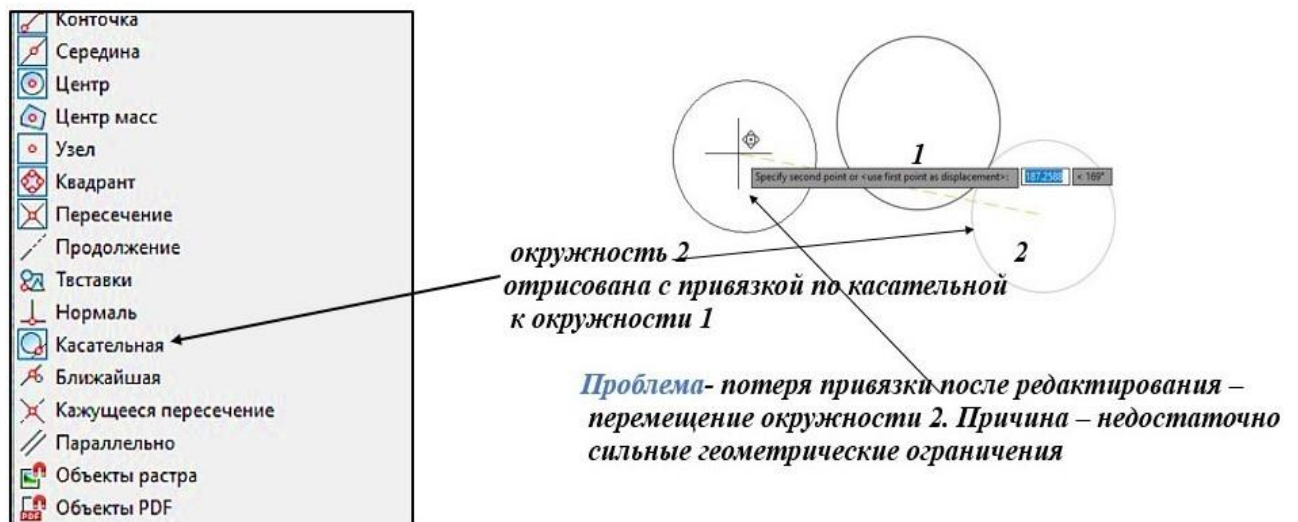


Рис. 1.6. Особенности объектной привязки в САПР nanoCAD

Развитием геометрической параметризации является внесение в модель более сильных геометрических ограничений. Например, в nanoCAD (а также и в других САПР) используются так называемые зависимости, которые можно считать развитием объектной привязки. Подробно этот инструмент будет рассмотрен в главах 2 и 3.

Геометрические ограничения – связывание параметров геометрических объектов геометрической модели логическими или параметрическими соотношениями. Геометрическими объектами (как уже говорилось выше) являются: точки, прямые, кривые второго порядка, параметрические кривые, плоскости, аналитические и параметрические поверхности и т. п.

Параметрическими соотношениями являются: геометрические и размерные соотношения; уравнения и системы уравнений, связывающие между собой параметры геометрических объектов. Уравнения, связывающие параметры называют вариационными связями.

Дадим определение вариационной модели и вариационной параметризации. Параметрическая модель с геометрическими ограничениями и вариационными связями называется вариационной моделью. Параметризация, использующая геометрические ограничения и вариационные связи называется вариационной параметризацией [1].

Следует отметить, что геометрические ограничения в вариационных параметрических моделях носят декларативный характер [1] (не конструктивный). Такие ограничения могут образовывать циклы (в отличие от иерархической параметризации), для удовлетворения которых нужно изменять все связанные соотношениями элементы.

Традиционно в САПР вариационная параметризация используется при создании двумерных параметризованных эскизов, которые являются основой для разработки твердотельных моделей, а также при разработке сборок на основе твердотельных моделей.

Основными особенностями вариационной параметризации являются следующие:

- параметры не являются определяющими в вариационной модели, главная роль - у связывающих их ограничений;
- относительное положение группы геометрических объектов можно задать или поменять в любой момент времени с помощью ограничений;
- история построения не влияет на результат;
- допускаются циклические связи между геометрическими объектами;
- возможно динамическое перемещение геометрических объектов при условии выполнения всех вариационных связей;
- для изменения параметров всей модели требуется решение системы уравнений;
- одновременное удовлетворение всех ограничений, а не одного за другим в соответствии с историей построения.

В отличие от иерархической параметризации вариационная и геометрическая параметризации относятся к мягкой параметризации. Мягкая параметризация — это метод построения геометрических моделей, в основе которого лежит - в общем случае - принцип решения системы нелинейных уравнений, описывающих связи между геометрическими параметрами объекта. В вариационной параметризации все связи задаются с помощью уравнений и систем уравнений. В геометрической параметризации связи задаются геометрическими соотношениями параметров. Таким образом обе эти параметризации действительно можно отнести к мягкой параметризации.

Остановимся подробнее на типах ограничений, которые определяют вариационные связи. Данные ограничения связаны с особенностями создания и типом модели [4] (b-гер, C-гер модель), с требованиями разработчиков и т.п. К таким ограничениям относятся следующие:

- с топологией b-гер модели связаны ограничения: инцидентность поверхностей и плоскостей (граней), кривых и отрезков прямых (ребер), точек (вершин);
- с геометрией b-гер модели связаны ограничения: инцидентность, параллельность, перпендикулярность прямых, плоскостей; соосность и/или концентричность поверхностей вращения (поверхности 2-ого порядка), касание, симметрия;
- для КЭ (твердые тела в c-гер модели): параллельность осей, соосность и/или концентричность базовых элементов формы (например, цилиндров, сфер, конусов и торов);
- с точки зрения пользователя: любые геометрические ограничения (в том числе, фиксация координат и размеров).

Как говорилось выше, вариационные связи - это уравнения, которые связывают между собой различные параметры, определяющие геометрическую модель. В зависимости от типа вариационной связи в уравнении могут присутствовать различные параметры. Например,

- для фиксирующих связей – это значение координат, фиксация координат точки;
- для размерных связей – это линейные размеры в плоскости, размеры по направлению, угловые размеры;
- для связи положения геометрических объектов: равенство координат, симметрия точек; касание, сопряжение кривых в плоскости; положение точки на кривой, или поверхности, или плоскости; ортогональность плоскостей или векторов; параллельность плоскостей или векторов.

Примером фиксирующих связей может быть, например, фиксация линейного размера. Пусть необходимо сделать константой расстояние между двумя точками p_2 и p_1 . Т.е. $|p_2 - p_1| = \text{const}$, такой фиксирующей связи соответствует следующее

выражение: $\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} = \text{const}$.

Примером связи положения геометрических объектов является, например, параллельность векторов. Такой связи соответствует равенство нулю векторного произведения этих векторов. Математическое выражение - $(p_1 - p_2) \times (p_3 - p_4) = 0$.

На основе различных вариационных связей составляются системы алгебраических уравнений или неравенств, решение которых приводит к перестройке геометрической модели

Управление геометрическими объектами с помощью вариационных связей показано на рис. 1.7.



Рис. 1.7. Управление геометрическими объектами с помощью вариационных связей

Для решения геометрических задач, возникающих при создании вариационных параметрических моделей в современных САПР, используется встроенный в них программный модуль, который называется Вариационным Геометрическим Решателем (ВГР) [1]. Точное определение ВГР следующее: ВГР - это решатель системы геометрических ограничений (систем нелинейных уравнений) – программный модуль, встраиваемый в САПР, который совместно с другими модулями САПР позволяет решить задачу позиционирования геометрических объектов по отношению друг к другу. На рис.1.8 схематично показаны задачи и место ВГР в структуре современных САПР.

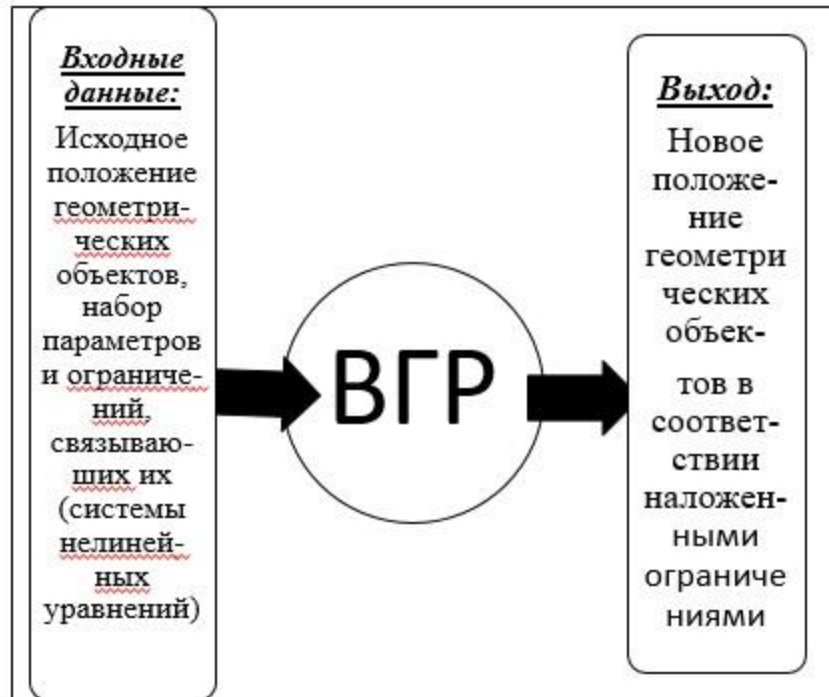


Рис. 1.8. Задачи ВГР в структуре современных САПР

Перечислим основные функции ВГР:

- наложения минимального набора ограничений, позволяющих решить систему линейных или нелинейных уравнений;
- выделение из решаемой задачи (из системы линейных или нелинейных уравнений) хорошо определенных, избыточно определенных и недоопределенных частей;
- решение задачи размещения геометрических объектов в соответствии с заданными ограничениями;
- выполнение задачи динамического изменения геометрии.

ВГР может быть встроен в ядро любой САПР. Для построения двумерных параметризованных эскизов используется двумерный ВГР, для создания трехмерных параметрических моделей и сборок используется трехмерный ВГР.

В качестве примера создания параметрических моделей в современных САПР рассмотрим функционал параметрического моделирования САПР nanoCAD.

2. РЕАЛИЗАЦИЯ ФУНКЦИОНАЛА ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В САПР NANOCAD

В САПР nanoCAD реализованы два подхода к созданию твердотельных моделей: прямое моделирование – создание b-rep модели [4], в которой твердотельная модель рассматривается, как совокупность связанных топологических объектов (режим «**Прямое**»); и параметрическое моделирование, при использовании которого твердотельная модель представляет собой параметризованный объект, содержащий необходимые для быстрого редактирования модели геометрические и вариационные параметры, а также историю построения (режим «**Параметрика**») [2]. Функционал САПР nanoCAD для прямого моделирования подробно рассмотрен ранее в практикуме [2]. Основные подходы к реализации параметрического моделирования в данной САПР также были рассмотрены в этом практикуме. Но для углубленного понимания особенностей параметрического моделирования в САПР nanoCAD необходимо прежде всего освоить инструмент создания параметризованных эскизов, в котором используется вариационная и геометрическая параметризации. Прежде чем перейти к подробному изучению этого инструмента рассмотрим основные команды параметрического моделирования САПР nanoCAD.

Команды САПР nanoCAD, используемые для визуализации трехмерных моделей, которые созданы как в режиме «**Параметрика**», так и в режиме «**Прямое**», абсолютно одинаковые и подробно рассмотрены в практикуме [2].

Команды параметрического моделирования САПР nanoCAD находятся во вкладке **3D-инструменты** Ленточного меню при выбранном режиме **Параметрика**. В рассматриваемой вкладке есть несколько панелей. В каждой панели сгруппированы определенные команды, используемые при создании параметрических моделей. Рассмотрим некоторые из них (рис.2.1).



Рис. 2.1. Панели вкладки 3D-инструменты для создания параметрических моделей

1. Панель **Добавить эскиз** предназначена для создания параметризованного эскиза. После перехода к команде **Добавить эскиз** появляются новые панели, которые позволяют создавать параметризованный эскиз на основе вариационной и геометрической параметризации.

Параметризованный эскиз может быть создан также при использовании команд панелей **Черчение** и **Редактирование** вкладки **Главная** ленточного меню. Вариационные связи и геометрические зависимости на такой эскиз накладываются при использовании функционала, расположенного в панелях вкладки **Зависимости** ленточного меню. Это следующие вкладки: **Геометрические**, **Параметрические размеры**, **Управление**.

Подробно возможности создания параметризованных эскизов в САПР nanoCAD рассмотрены в следующей главе.

2. Панель **Параметрическое моделирование** содержит четыре команды создания параметрических моделей по кинематическому принципу: **Выдавливание**, **Вращение**, **Вытягивание по сечениям** и **Вытягивание по траектории**. Диалог некоторых из этих команд и их особенности использования были рассмотрены в практикуме [2]. В последующих главах данного учебного пособия функционал создания моделей по кинематическому принципу будет также рассмотрен.
3. Панель **Элементы** позволяет создавать так называемые фичерсы. Фичерсы – это параметризованные объекты, привязанные к другим элементам геометрической модели. По-другому их можно определить следующим образом: это одиночные или составные конструктивные геометрические объекты, содержащие информацию о своем составе и легко изменяемые в процессе проектирования. Важной особенностью фичерсов является то, что они помнят свое окружение не независимо от внесенных в геометрическую модель изменений. В САПР nanoCAD есть возможность создания следующих фичерсов: скругление, фаска, резьба.
4. Панель **Булевы операции** предназначена для выполнения булевых операций **Вычитание**, **Объединение**, **Пересечение** над твердыми телами. Следует отметить, что данные операции могут быть выполнены в процессе выполнения любой из команд построения параметрического твердого тела по кинематическому принципу.
5. Панель **Массивы** содержит в себе команды: **3D Прямоугольный массив**, **3D Круговой массив**, **3D Зеркало**. В результате выполнения этих команд создаются параметрические модели, представляющие собой тиражирование параметрических тел по определенному закону. Некоторые особенности выполнения этих команд были рассмотрены в практикуме [2], примеры их использования будут рассмотрены в данном учебном пособии.

6. Панель **Вспомогательные** предназначена для создания вспомогательных геометрических объектов, упрощающих процесс создания параметрических моделей: рабочая плоскость, рабочая ось, рабочая точка.

Во вкладке **3D – инструменты** есть и другие панели, которые в данном учебном пособии не рассматриваются. Некоторые из них были рассмотрены в практикуме [2].

В САПР nanoCAD реализованы все типы параметризации. Вариационная и геометрическая параметризации используются при создании параметризованных эскизов. В приложении **Механика** (является развитием САПР nanoCAD) эти типы параметризации используются для создания сборок на основе тел. В САПР nanoCAD есть простейшие способы для создания сборок, в которых также реализованы принципы вариационной и геометрической параметризации. Табличная параметризация используется в приложении **Механика** для формирования семейств элементов. Иерархическая параметризация также реализована в САПР nanoCAD. Если используются команды создания моделей по кинематическому принципу вкладки **3D – инструменты** при выбранном режиме **Параметрика**, то результирующие модели являются параметрическими, и для них формируется дерево построения. Дерево построений в САПР nanoCAD отображается в функциональной панели (немодалном окне) **История 3D построений**. Если это немодальное окно отсутствует на рабочем поле, то оно может быть вызвано из панели **Функциональные панели** вкладки **Настройки** ленточного меню [2]. Редактирование параметрической модели может происходить непосредственно в дереве построения.

Перейдем к рассмотрению особенностей создания параметризованных эскизов в САПР nanoCAD.

3. ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ ПАРАМЕТРИЗОВАННОГО ЭСКИЗА В САПР NANOCAD

Эскиз является основой для создания твердотельной модели, как при прямом моделировании, так и при параметрическом моделировании. В случае параметрического моделирования эскиз является также параметризованным. Для создания параметризованного эскиза используется вариационная и геометрическая параметризация. Параметризованный эскиз может быть создан в режиме создания твердотельной модели, или независимо от последующего использования созданного эскиза. Подходы к созданию параметризованного эскиза в обоих случаях похожи, но есть и некоторые отличия. Рассмотрим особенности каждого из этих способов.

3.1. Создание параметризованного эскиза до выбора команды твердотельного моделирования

При разработке твердотельной модели можно создать эскиз до входа в команду твердотельного моделирования. В САПР nanoCAD для этого необходимо воспользоваться командами отрисовки и редактирования примитивов. Эти команды находятся в ленточном меню во вкладке **Главная** [3].

Для того, чтобы эскиз стал параметризованным, необходимо при создании эскиза использовать возможности наложения геометрических и вариационных зависимостей на элементы эскиза. Для создания таких зависимостей используются команды САПР nanoCAD, находящиеся во вкладке **Зависимости**. Вкладка **Зависимости** содержит в себе три панели: **Геометрические**, **Параметрические зависимости**, **Управление** (рис.3.1)



Рис. 3.1. Вкладка Зависимости ленточного меню

Панель **Геометрические** позволяет наносить геометрические зависимости на примитивы эскиза. Настройка геометрических зависимостей происходит в диалоговом окне, которое может быть вызвано из панели **Геометрические** вкладки **Зависимости** ленточного меню (стрелка в левом нижнем углу) или из панели **Управления** (кнопка **Настройка наложений**) (рис.3.1). В данном диалоговом окне содержатся все возможные типы геометрических зависимостей. Именно в этом диалоговом окне можно удалить те зависимости, которые при создании конкретного параметризованного эскиза не нужны. Все заданные геометрические зависимости отражаются в панели **Геометрические**. Диалоговое окно настройки геометрических зависимостей показано (**Настройка наложения зависимостей**) на рис.3.2.

Выбраны все типы
геометрических зависимостей

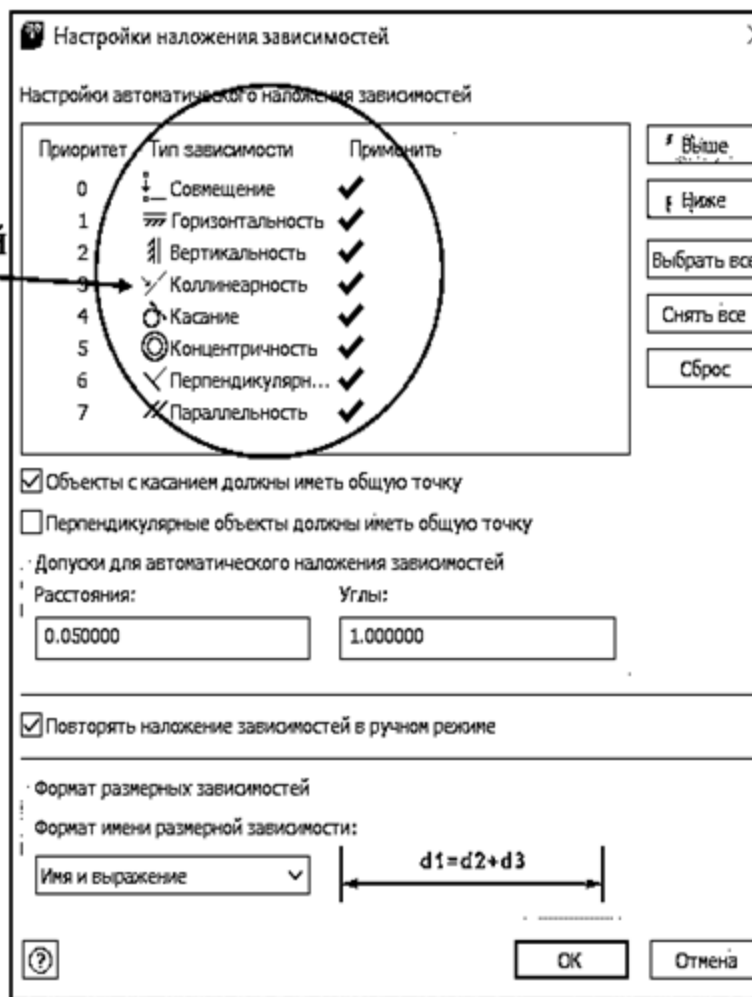


Рис. 3.2. Диалоговое окно настройки наложения геометрических зависимостей

Во вкладке **Зависимости** есть панель **Параметрические размеры**. С помощью опций этой панели можно проставить линейные, диаметральный, радиальные и угловые размеры (рис.3.3). Все эти размеры являются параметрическими.

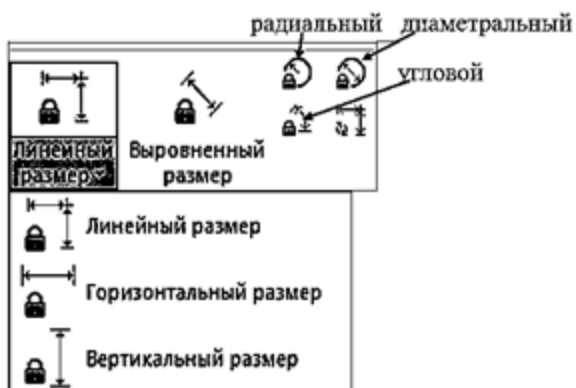


Рис. 3.3. Диалоговое окно Параметрические размеры, которые можно нанести на параметризованный эскиз

Этим размерам присваиваются символьные значения, которые могут участвовать, как переменные в формулах, связывающих различные размеры в вариационные зависимости. Каждый размер эскиза может быть изменен в момент его нанесения. Но наиболее характерным для параметризованных эскизов является так называемое динамическое нанесение размеров. При этом размеры изменяются в специальном диалоге, который вызывается через диспетчер параметров панели **Управление** вкладки **Зависимости**. Динамическое нанесение размеров будет рассмотрено позже при выполнении примера.

Рассмотрим этапы создания эскиза в данном режиме для разработки твердотельной модели, показанной на рис. 3.4.

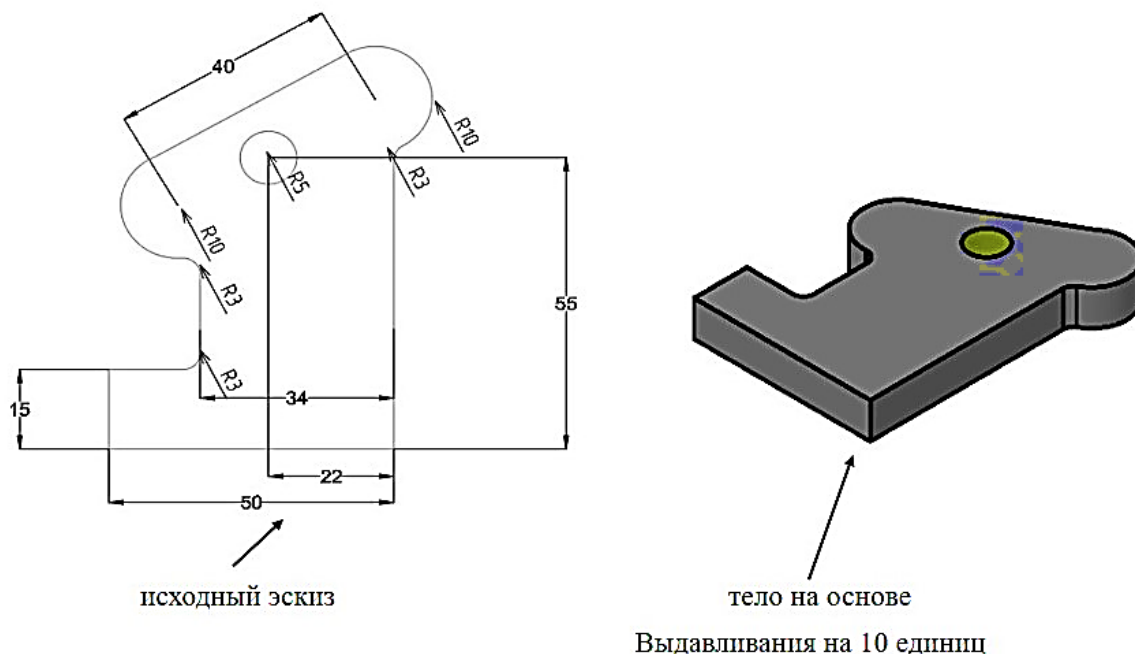


Рис. 3.4. Твердотельная модель и эскиз, необходимый для ее создания

Параметризованный эскиз для данной детали будем создавать, сначала не связывая его с командами параметрического моделирования. В этом случае для создания эскиза используются команды двумерного моделирования, которые находятся в панели **Черчение** вкладки **Главная**.

Сначала отрисуем базу для создания эскиза (шестиугольник) с помощью команды **Отрезок** или **Полилиния**. После этого необходимо перейти во вкладку **Зависимости** и задать геометрические зависимости, необходимые для правильной отрисовки эскиза. В данном случае это – геометрические зависимости – вертикальный, горизонтальный, параллельный (рис.3.5).

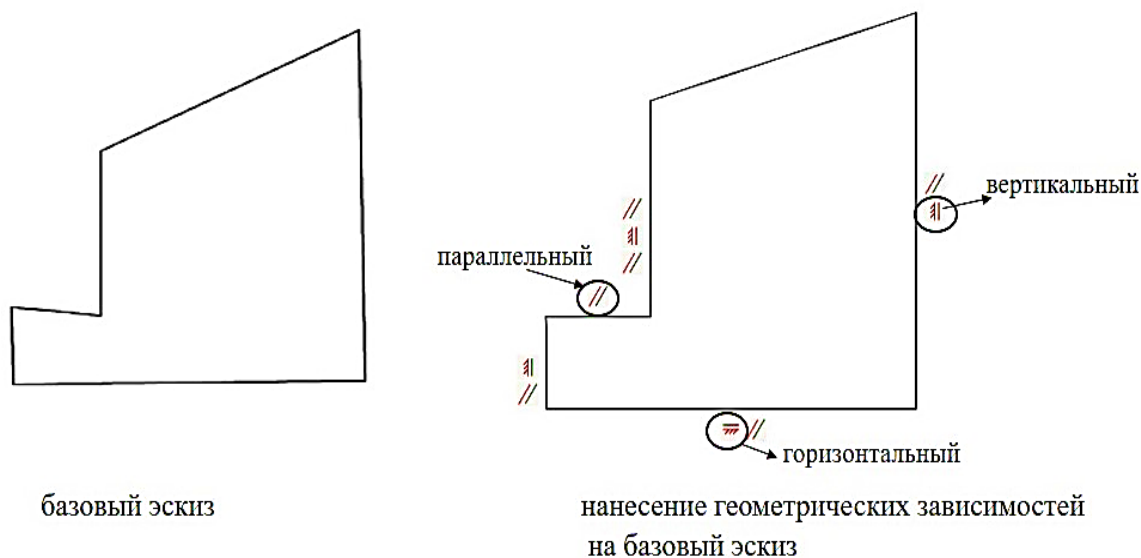


Рис. 3.5. Нанесение геометрических зависимостей на базовый эскиз

После этого необходимо нанести размеры на базовый эскиз. Для этого также используются команды нанесения размеров панели **Параметрические размеры** вкладки **Зависимости**. На рассматриваемом эскизе необходимо проставить линейные и угловые размеры. Простановка размеров ничем не отличается от аналогичных команд вкладки **Главная**. Например, для простановки линейного размера нужно задать две крайние точки линейного примитива и указать точку, где будет находиться размер.

Как говорилось ранее, значение размера может быть изменено в процессе простановки в специальном окне, которое появляется после задания примитива, на который наносится размер. Таким же образом может быть изменен размер после его простановки, если его выделить двойным нажатием на левую клавишу мыши (рис.3.6).



Рис. 3.6. Изменение значения размера независимо от других размеров эскиза

Такой подход к простановке размеров допустим. В этом случае происходит изменение размера после отрисовки каждого примитива независимо от других размеров эскиза. Т.е. не учитываются геометрические и вариационные связи.

Для параметризованных эскизов разумнее использовать динамическое нанесение размеров – изменение всех размеров сразу с пересчетом двумерной модели и изменением ее отрисовки. При таком подходе учитываются все параметры эскиза. Но при этом варианте изменения значений размеров может произойти искажение эскиза. Такая ситуация возникает, если не все геометрические и вариационные связи учтены в эскизе.

При динамическом нанесении размеров используется **Диспетчер параметров** панели **Управления** вкладки **Зависимости** ленточного меню. После простановки размеров на эскизе и нанесении логических связей, при нажатии на кнопку **Диспетчер параметров**, на экране появляется диалоговое окно **Менеджер параметров**. В параметризованном эскизе все размеры являются параметрами, влияющими на отрисовку эскиза. **Менеджер параметров** представляет собой таблицу, в первой колонке которой находятся символьные наименования всех размеров. Во второй колонке могут быть записаны математические выражения, связывающие символьные обозначения размеров. В этой колонке могут также находиться просто значения этих размеров. В третьей колонке находятся реальные значения размеров, полученные либо в результате расчета по формуле из второй колонки, либо просто значения, которые перенесены из соответствующей строки второй колонки. Четвертая колонка называется - **Связанный объект**. В связи с тем, что в рассматриваемом случае использование эскиза не определено (т.е. не связано пока ни с одной командой твердотельного моделирования), данная колонка менеджера параметров здесь – пустая (в данном режиме создания параметризованного эскиза ее содержание меняется после привязки эскиза к твердотельной модели). Последняя колонка – примечания – также может оставаться пустой.

В верхней части менеджера параметров есть три кнопки, позволяющие удалять выделенный размер (параметр), добавлять параметр, выделять параметры, относящиеся к 3D моделированию. Следует обратить внимание на кнопки внизу менеджера параметров. Кнопки **Применить** и **Обновить** позволяют перестроить модель после изменения параметров без выхода из менеджера параметров. Периодически это делать нужно. В частности, для того, чтобы исключить искажения эскиза в процессе изменения значений размеров (параметров) и иметь возможность вернуться к старым значениям.

Рассмотрим для нашего примера эскиз с уже нанесенными размерами и то, как выглядит **Менеджер параметров** после первой простановки размеров. Значения во второй и третьей колонке **Менеджера параметров** в этом случае совпадают (рис.3.7).

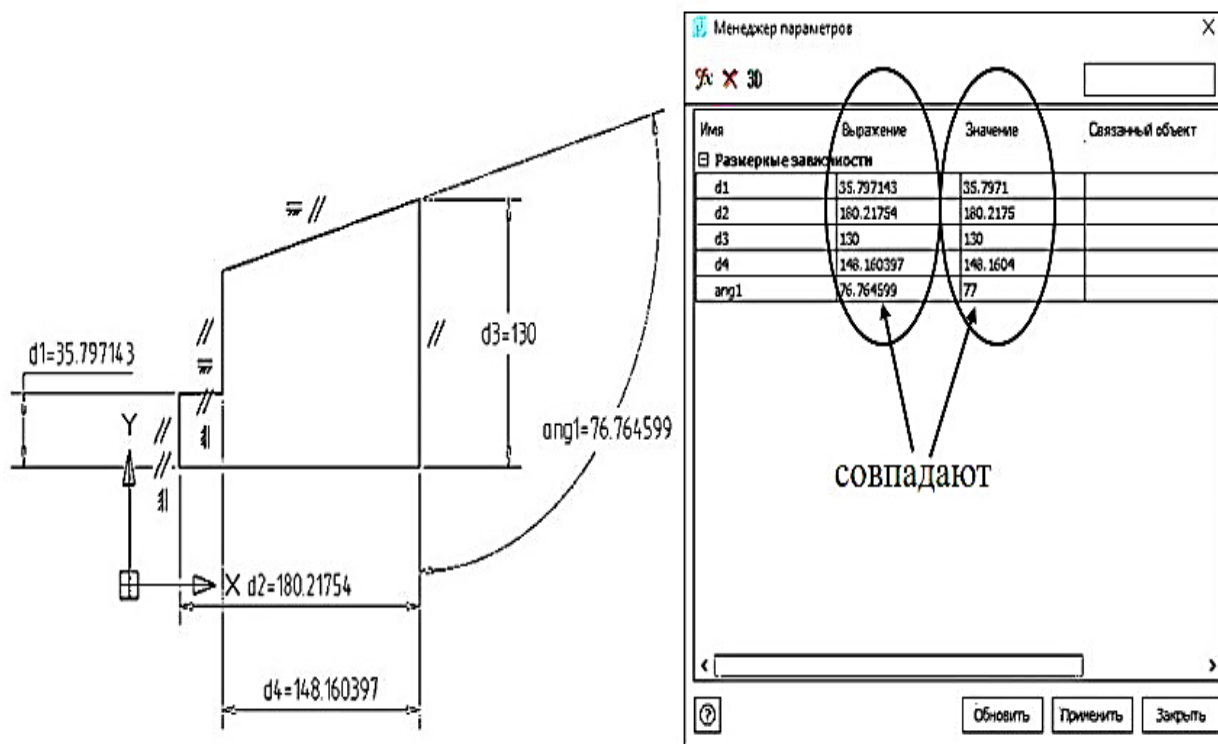


Рис. 3.7. Эскиз и Менеджер параметров после первой простановки размеров

Теперь необходимо проставить размеры в динамическом режиме через **Менеджер параметров**. В каждой строке второй колонки нужно ввести новое значение размера либо записать формулу для расчета значения размера. В рассматриваемом примере для размера d4 в соответствующей строке второй колонки записана формула, связывающая этот размер с размером d2. После заполнения второй колонки менеджера параметров происходит изменение значений во всех строках третьей колонки **Менеджера параметров**. (рис.3.8).

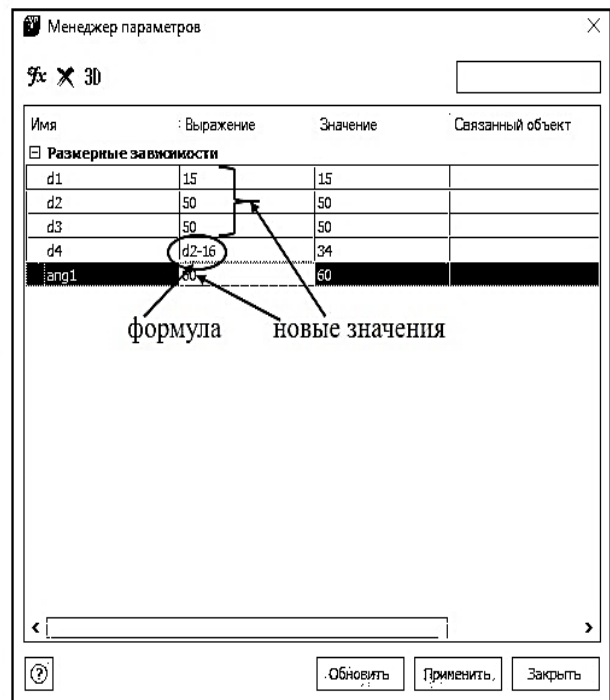
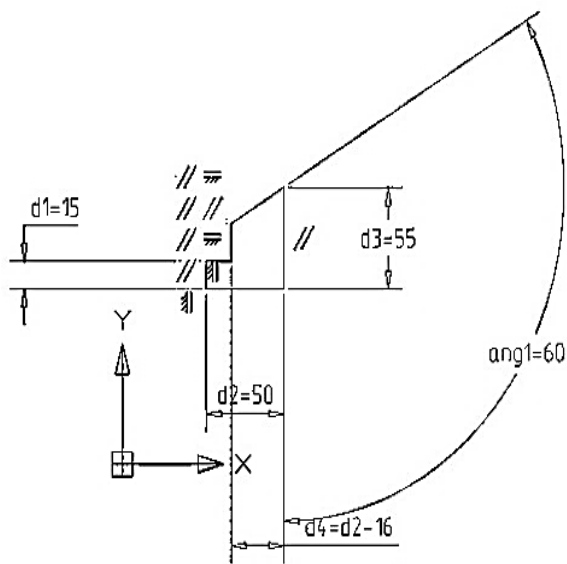


Рис. 3.8. Простановка новых размеров на эскизе в с помощью Менеджера параметров

Продолжим дальнейшее построение эскиза. Выполним построения, показанные на рис.3.8. Добавим необходимые геометрические зависимости. **Менеджер параметров** на этом этапе претерпевает изменения (рис.3.8).

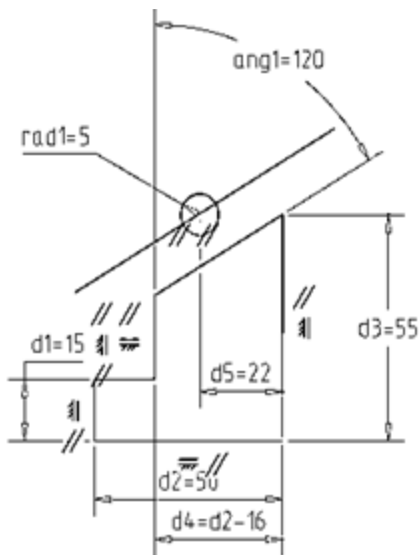


Рис. 3.9. Добавление новых примитивов в эскиз

Затем необходимо изменить размер линии, параллельной верхнему основанию шестиугольника. Для этого используем простановку размера – **Выравненный**. Затем дорисовываем необходимые примитивы. Четыре окружности, отрезок прямой, параллельный верхнему основанию шестиугольника. Для отрисовки используем команды двумерного моделирования панели **Черчения** вкладки **Главная** ленточного меню [3]. Также необходимо задать геометрические зависимости: попарное равенство диаметров (радиусов) окружности, параллельность прямых. После выполненных действий эскиз и **Менеджер параметров** имеют вид, показанный на рис. 3.10.

Менеджер параметров

Имя Выражение Значение

☒ **Размерные зависимости**

d1	15	15
d2	50	50
d3	55	55
d4	d2-16	34
ang1	120	120
d5	22	22
rad1	5	5
d6	40	40
dia1	6	6
rad2	10	10

Обновить Применить Закрыть

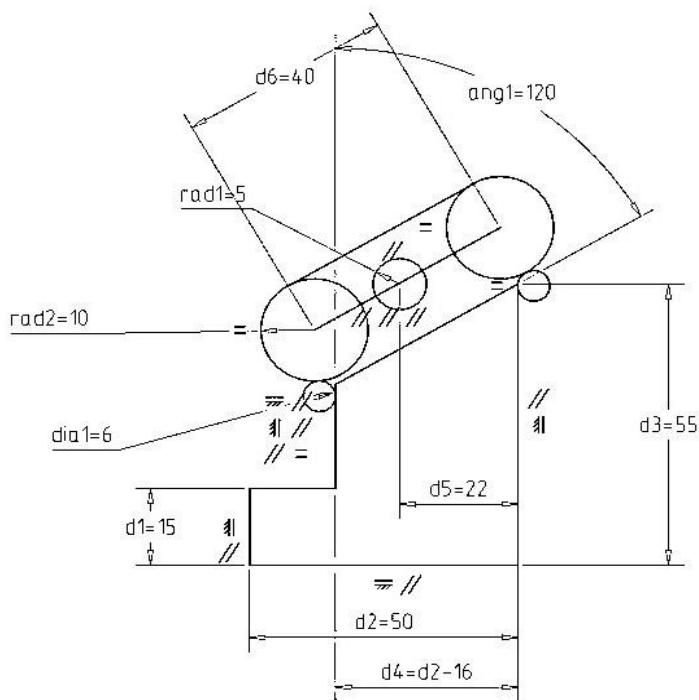


Рис. 3.10. Изменение эскиза и Менеджера параметров после добавления новых примитивов

На последнем этапе создания эскиза необходимо, используя команды панели **Редактирование** вкладки **Главная**, выполнить удаление ненужных примитивов, а также сделать скругление. Результирующий эскиз показан на рис. 3.11.

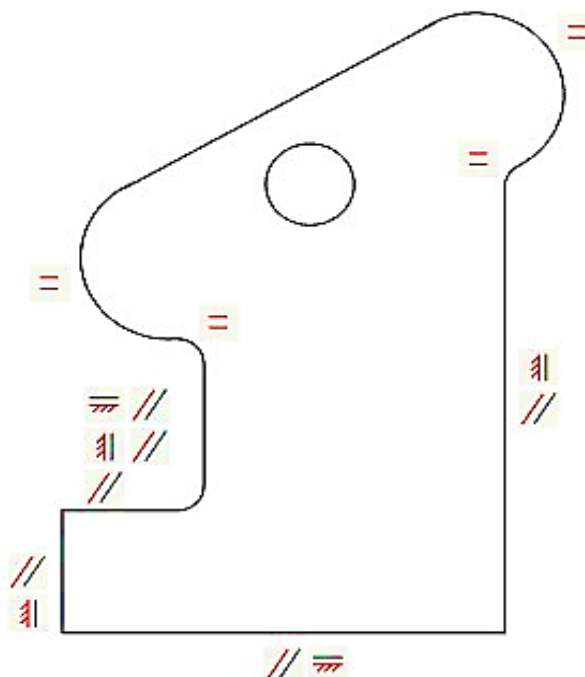


Рис. 3.11. Результирующий параметризованный эскиз

На основе построенного эскиза можно создать заданную на рис.3.4. твердотельную модель, используя команду твердотельного параметрического моделирования – **Выдавливание**. Подробно выполнение этой команды рассмотрено в практикуме [2]. После создания эскиза описанным выше способом, его нужно связать с выполнением команды параметрического твердотельного моделирования. Для этого в первую очередь необходимо проверить, является ли эскиз замкнутым контуром. Основные приемы такой проверки описаны в пособиях [3,4]. В рассматриваемом примере контур является замкнутым. После связывания эскиза с выполняемой командой, если он является замкнутым, происходит его закрашивание – выделение цветом. Если эскиз не выделяется цветом, значит он незамкнутый.

Для получения заданной твердотельной модели (рис.3.4) потребуется выполнить команды твердотельного параметрического моделирования дважды: первый раз для получения твердотельной модели без отверстия (рис.3.12), второй раз для создания отверстия в твердом теле (рис. 3.13).

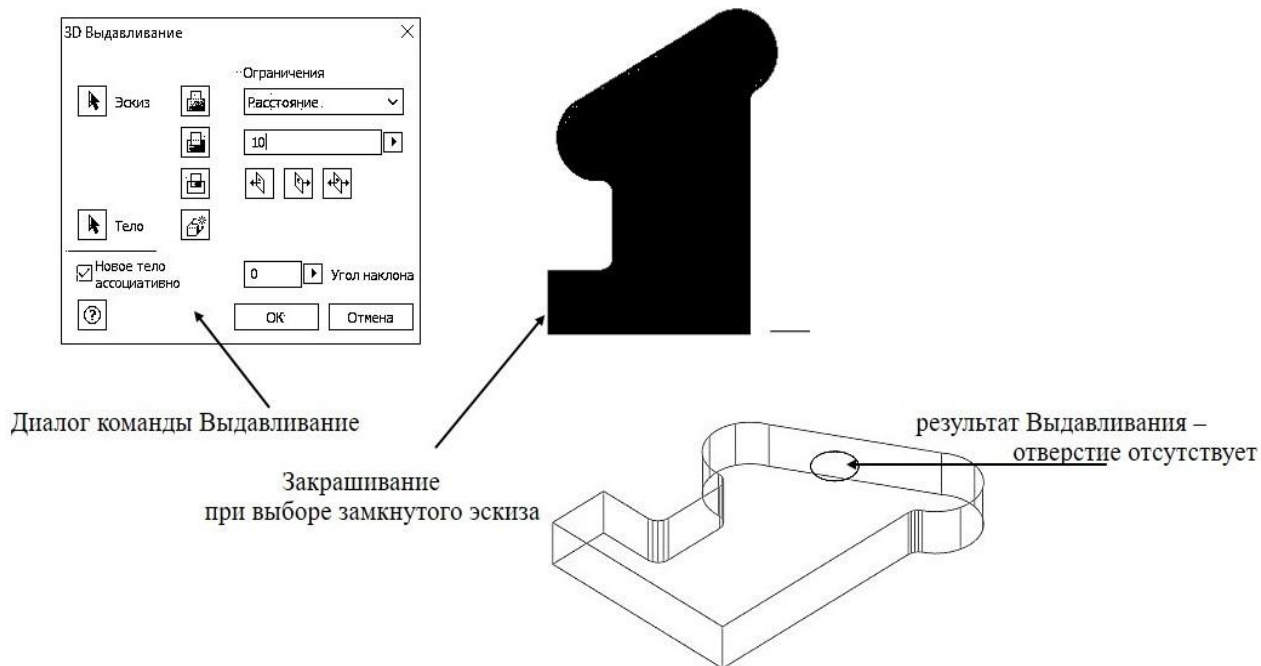


Рис. 3.12. Выполнение первой команды выдавливания

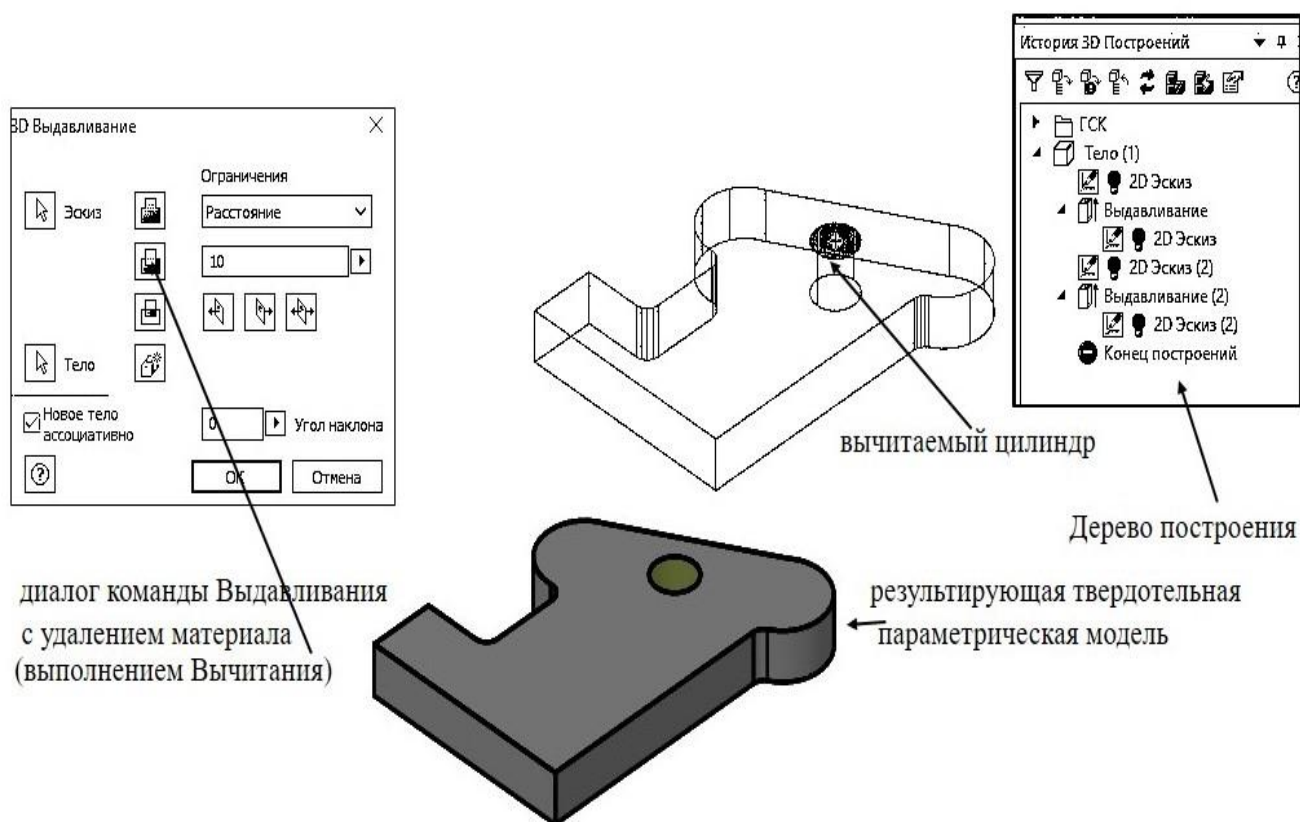


Рис. 3.13. Выполнение второй команды выдавливания для создания цилиндрического отверстия

После выполнения команды твердотельного параметрического моделирования в менеджере отображается новая информация. Во-первых, в столбце - **Связанный объект**, появляется строка **2D эскиз**, что указывает

на связь эскиза с командой твердотельного моделирования. Во-вторых, появляется информация о параметрах выполненных команд твердотельного параметрического моделирования (рис. 3.14).

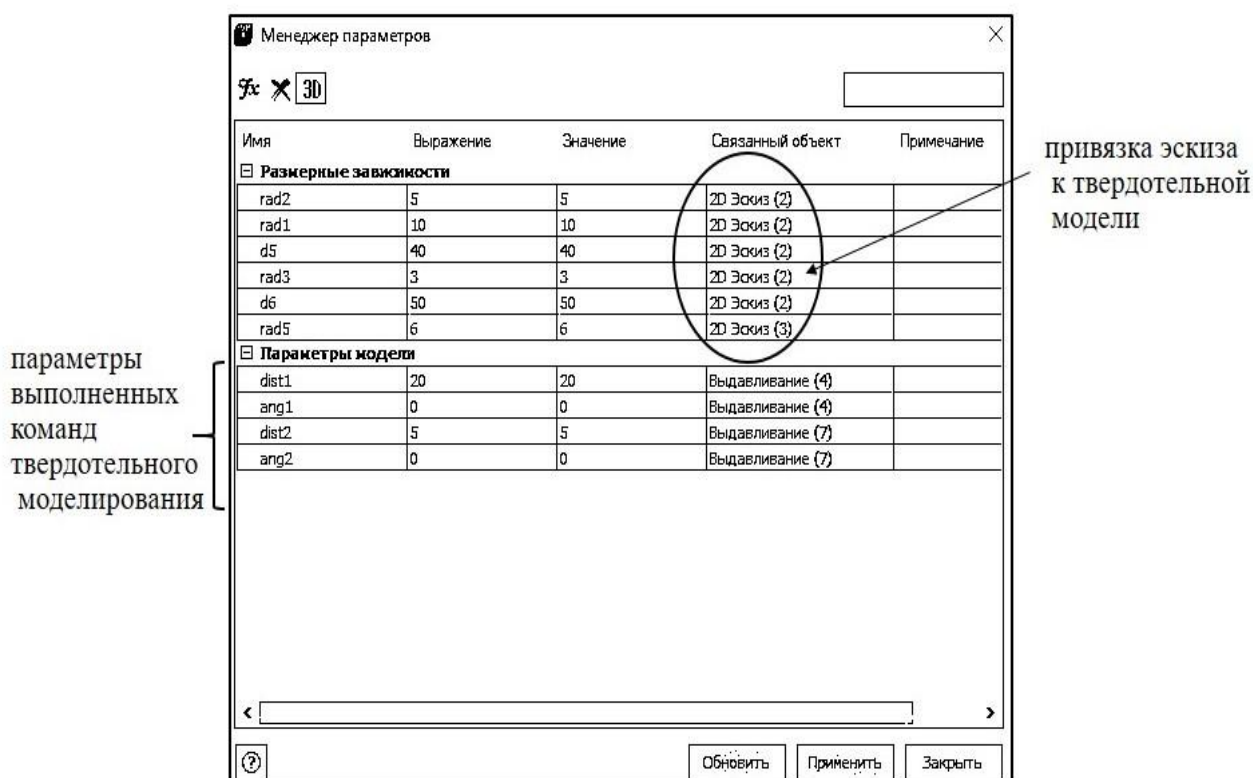


Рис. 3.14. Менеджер параметров после выполнения команд твердотельного параметрического моделирования

В следующем параграфе рассмотрим еще одну возможность создания параметризованного эскиза средствами САПР nanoCAD.

3.2. Создание параметризованного эскиза в режиме Параметрика

В предыдущем параграфе было рассмотрено создание параметризованного эскиза без определения его дальнейшего использования, т.е. независимо от возможного его применения для создания твердотельной параметрической модели. В данном параграфе рассмотрены этапы создания параметризованного эскиза, назначение которого определено, т.е. он разрабатывается в связке с одной из команд твердотельного параметрического моделирования.

Для создания такого эскиза при выбранном режиме **Параметрика** необходимо использовать панель **2D эскиз** вкладки **3D - инструменты**. Некоторые возможности создания параметризованного эскиза в этом режиме рассмотрены в практикуме [2]. В данном разделе уделено внимание анализу различий создания параметризованного эскиза в режиме, рассмотренном в предыдущем параграфе, и в режиме 3D параметрического моделирования.

Главное отличие состоит в том, что эскиз, создаваемый в режиме 3D параметрического моделирования, сразу связан с последующим созданием твердотельной параметрической модели.

Создание эскиза начинается с обращения к команде **Добавить эскиз** (рис.3.15). Следует обратить внимание на то, что в команде создания эскиза могут быть выбраны разные режимы, включая изменение плоскости эскиза и редактирование эскиза.



Рис. 3.15. Вызов команды создания параметризованного эскиза в режиме Параметрика вкладки 3D - инструменты

Следующий шаг - выбор плоскости, в которой этот эскиз будет разрабатываться. Это может быть одна из координатных плоскостей; или плоскость, созданная с помощью команды **planeCAD**; или грань твердого тела. Этапы выбора плоскости подробно рассмотрены в практикуме [2].

После задания плоскости появляются панели, позволяющие создавать эскиз с помощью команд черчения, редактировать его, а также накладывать на эскиз параметрические связи. По сути происходит тоже самое, что и при создании параметризованного эскиза в режиме, рассмотренном в предыдущем параграфе. Но есть некоторые отличия.

Прежде всего эти отличия есть в представлении панелей инструментов, позволяющих создавать параметризованный эскиз (рис.3.16).

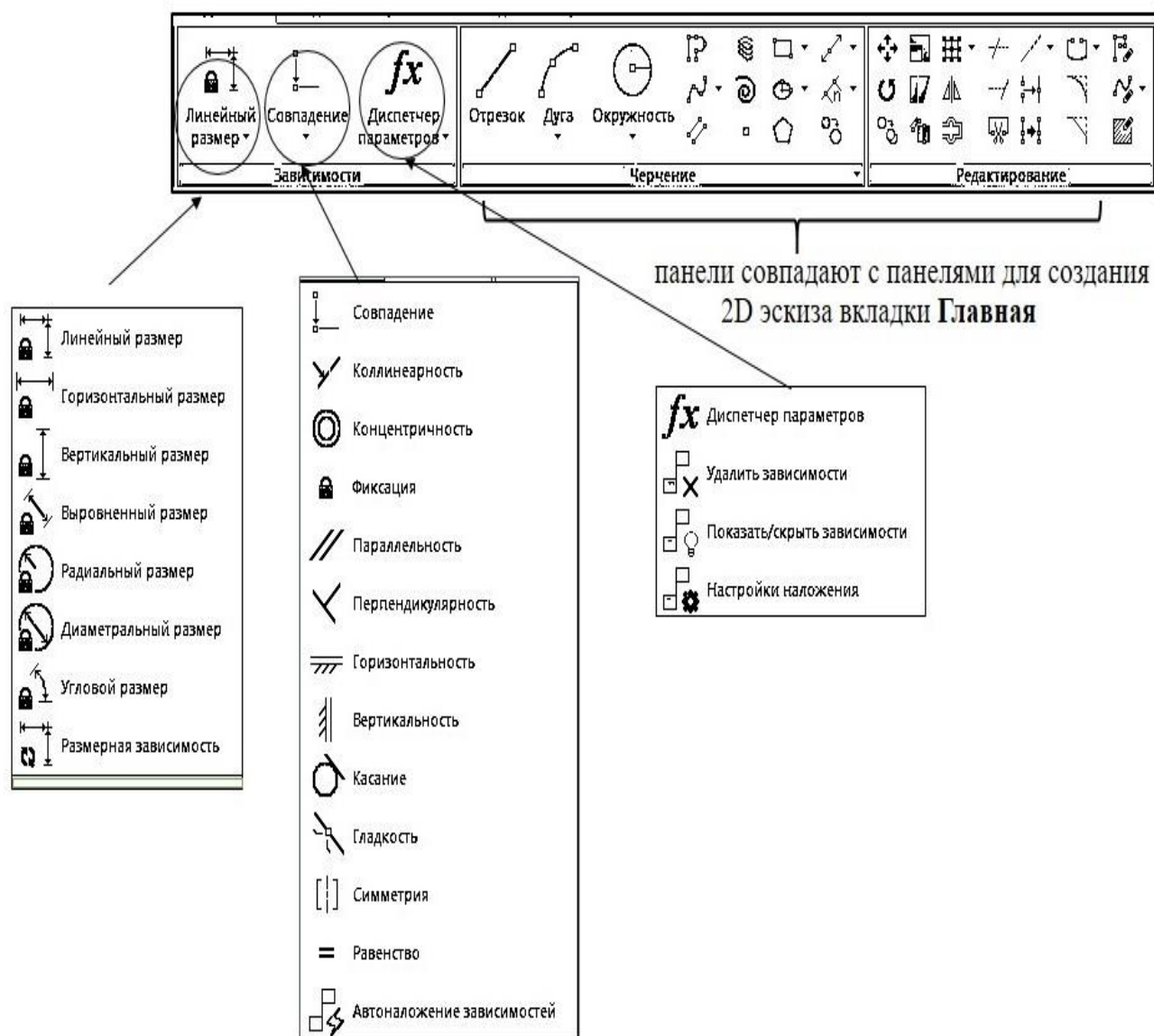
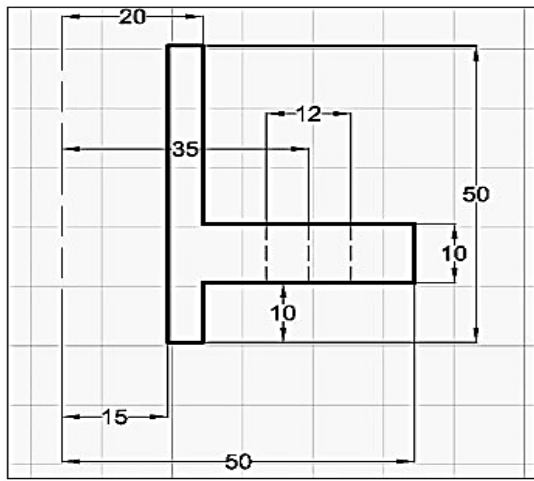
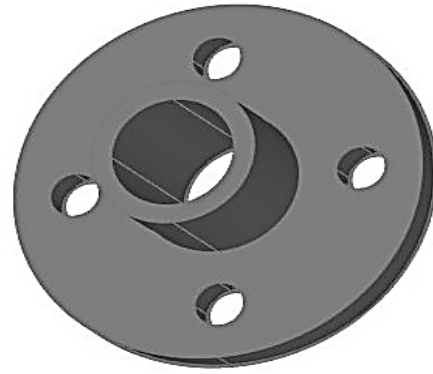


Рис. 3.16. Возможности для создания параметризованного эскиза в режиме Параметрика

Особенности создания параметризованного эскиза и его использования для создания параметрических моделей в режиме **Параметрика** рассмотрим на примере создания параметрического тела вращения. Эскиз для построения тела вращения и результат выполнения соответствующей команды параметрического моделирования показаны на рис.3.17.



Эскиз

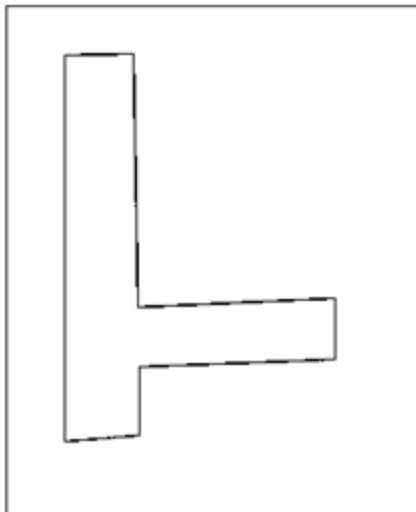


Тело вращения

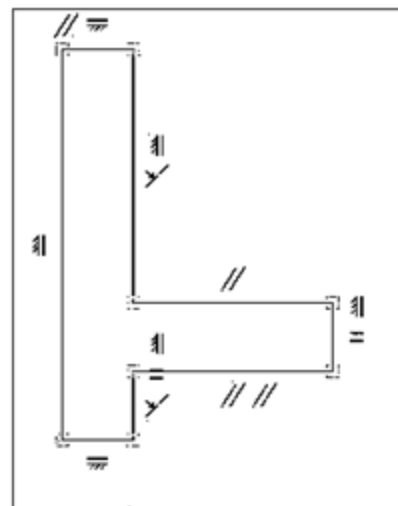
Рис. 3.17. Тело вращения и эскиз для его создания

Разработка параметризованного эскиза для построения рассматриваемого параметризованного тела содержит этапы, аналогичные тем, которые рассматривались в предыдущем параграфе.

После обращения к команде **Добавить эскиз** и выбора плоскости его отрисовки необходимо с помощью команд панели **Черчение** (рис.3.15) построить чертеж без точного нанесения размеров (эскизный режим). Затем нанести все необходимые геометрические зависимости. В данном случае это – вертикальность, горизонтальность, параллельность и равенство, перпендикулярность. На рис. 3.18 показан результат выполненных действий.



Базовый эскиз для тела вращения



Базовый эскиз с геометрическими зависимостями

Рис. 3.18. Базовый эскиз для построения тела вращения и нанесение на него геометрических зависимостей

На следующем шаге следует добавить в эскиз ось вращения, которая необходима для построения тела вращения. Затем нужно проставить на эскизе размеры, не изменяя их значения. На рис.3.19 показан результат выполненных шагов и **Менеджер параметров**, соответствующий эскизу, который создан на данном этапе. Следует обратить внимание на то, что в столбце **Менеджера параметров Связанный объект** сразу появляется информация – 2D объект. В предыдущем режиме создания параметризованного эскиза (параграф 3.1) этой информации не было (рис. 3.7).

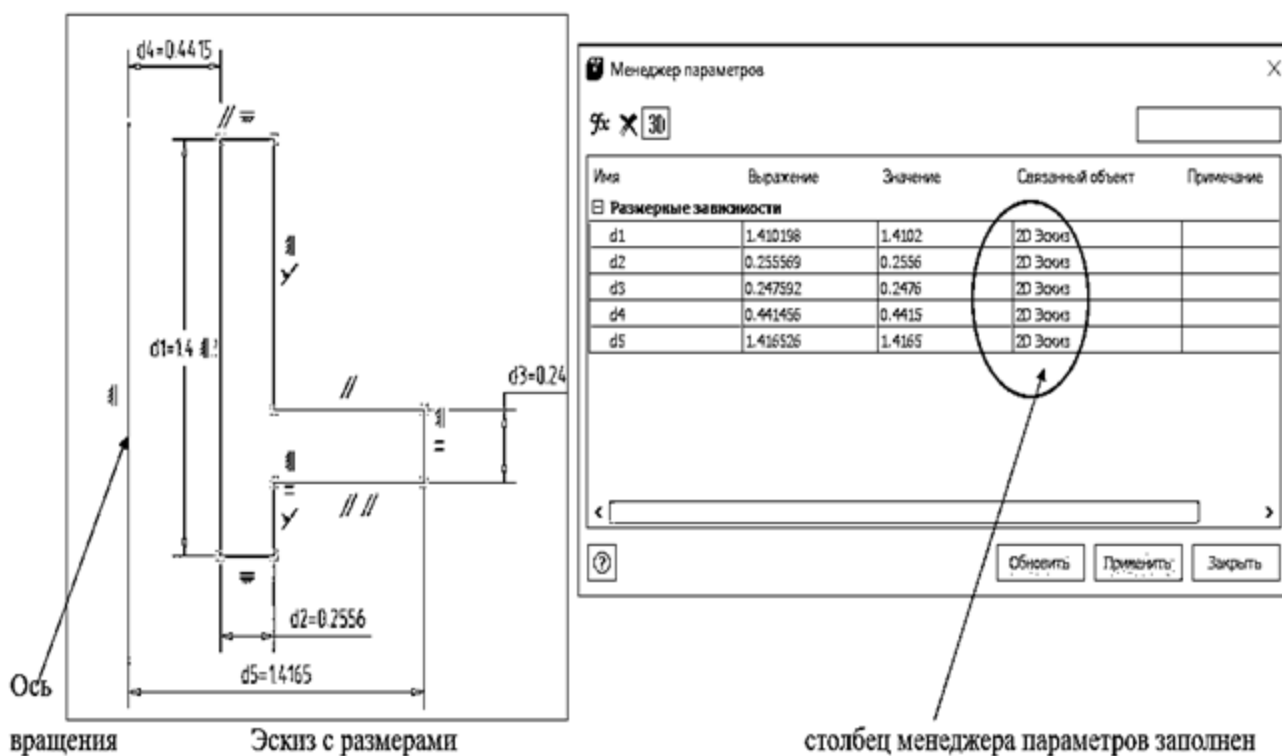
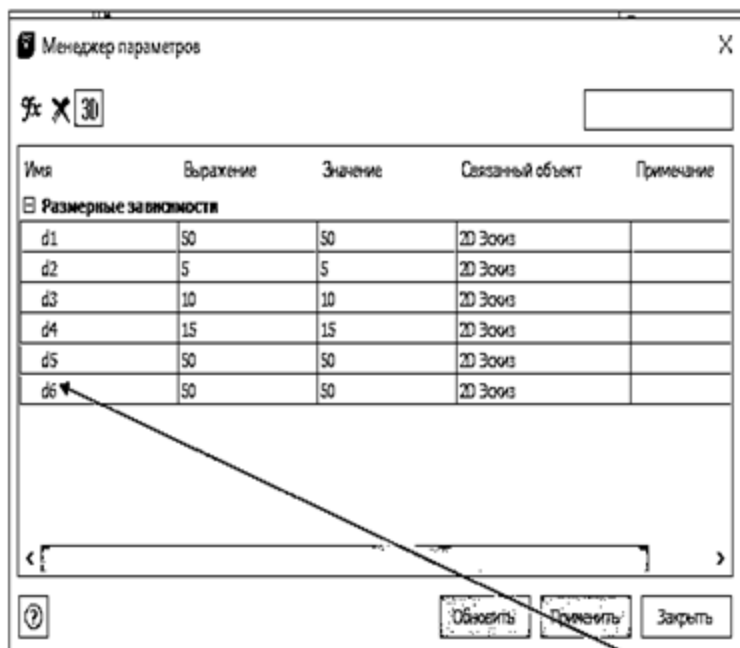
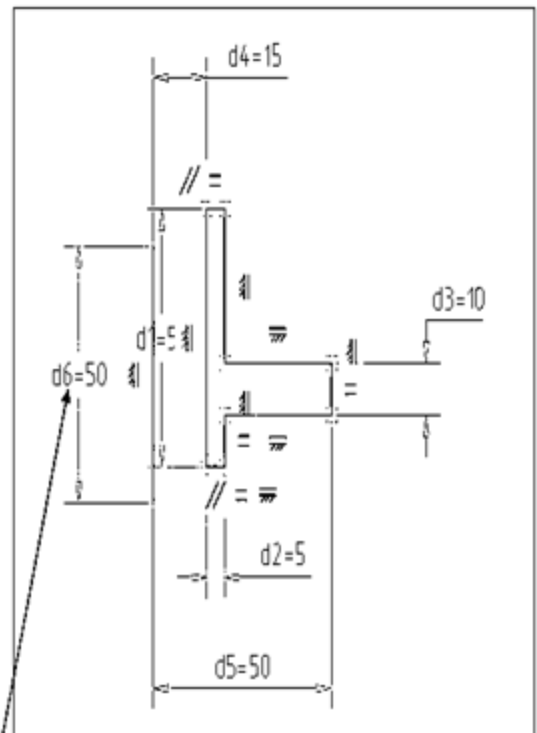


Рис. 3.19. Эскиз после добавления оси, простановки размеров, и его Менеджер параметров

На следующем этапе необходимо изменить значения размеров в менеджере параметров на реальные. Предварительно необходимо добавить размер отрезка прямой, определяющего ось вращения = размер d6 (рис. 3.20).



Изменение размеров в менеджере параметров



Добавлен размер d6 – размер отрезка прямой, определяющего ось вращения

Рис.3.20. Менеджер параметров и эскиз после ввода реальных значений размеров

После нанесения реальных размеров можно перейти к созданию твердотельной параметрической модели на основе команды вращения. Для этого необходимо выбрать команду **Вращение** панели **Параметрическое моделирование** вкладки **3D - инструменты**. Сначала необходимо выбрать эскиз. В данном режиме создания параметризованного эскиза его выбор довольно простой, т.к. он уже привязан к созданию твердотельной параметрической модели. Затем необходимо выбрать ось вращения и угол вращения. В результате этих действий происходит создание параметрического тела вращения (рис.3.21).

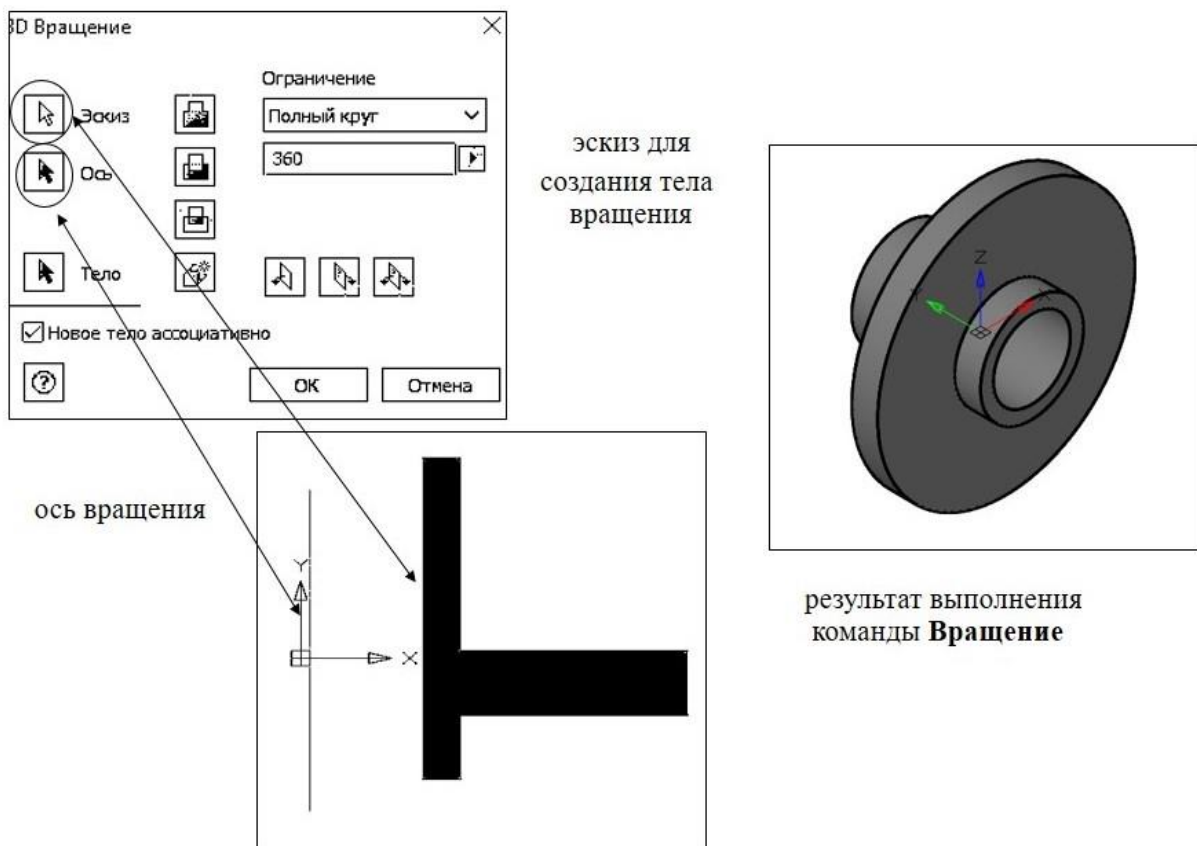


Рис.3.21. Выполнения команды Вращение

После выполнения команды **Вращение** необходимо построить 4 отверстия (рис.3.17). Для этого нужно выполнить последовательно три действия: **добавить рабочую плоскость**, создать одно отверстие с помощью команды **Выдавливание** с вычитанием материала и создать **3D круговой массив**. Все эти действия выполняются с помощью команд твердотельного параметрического моделирования в режиме **Параметрика**.

Первый шаг – добавление рабочей плоскости. Для этого необходимо в панели **Вспомогательные** вкладки **3D – инструменты** выбрать опцию **Добавить рабочую плоскость**. Эта плоскость совпадает с нижней гранью тела вращения (рис.3.22).

Второй шаг – создание одного отверстия. Для этого нужно выдавить с удалением материала предварительно созданный на рабочей плоскости эскиз. Эскиз можно было создать просто на нижней грани тела вращения. Но для освоения опции **Добавить рабочую плоскость**, эскиз создан на рабочей плоскости. При таком варианте после входа в команду создания параметризованного эскиза в качестве плоскости, на которой отрисовывается эскиз, нужно выбрать ранее созданную рабочую плоскость. Этапы создания отверстия в параметрическом теле показаны на рис. 3.23.

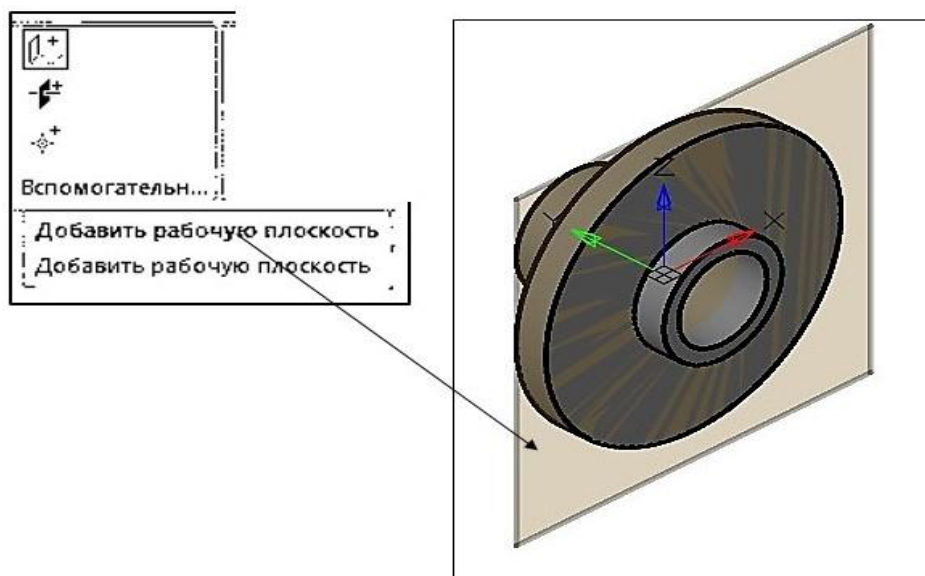


Рис.3.22. Добавление рабочей плоскости

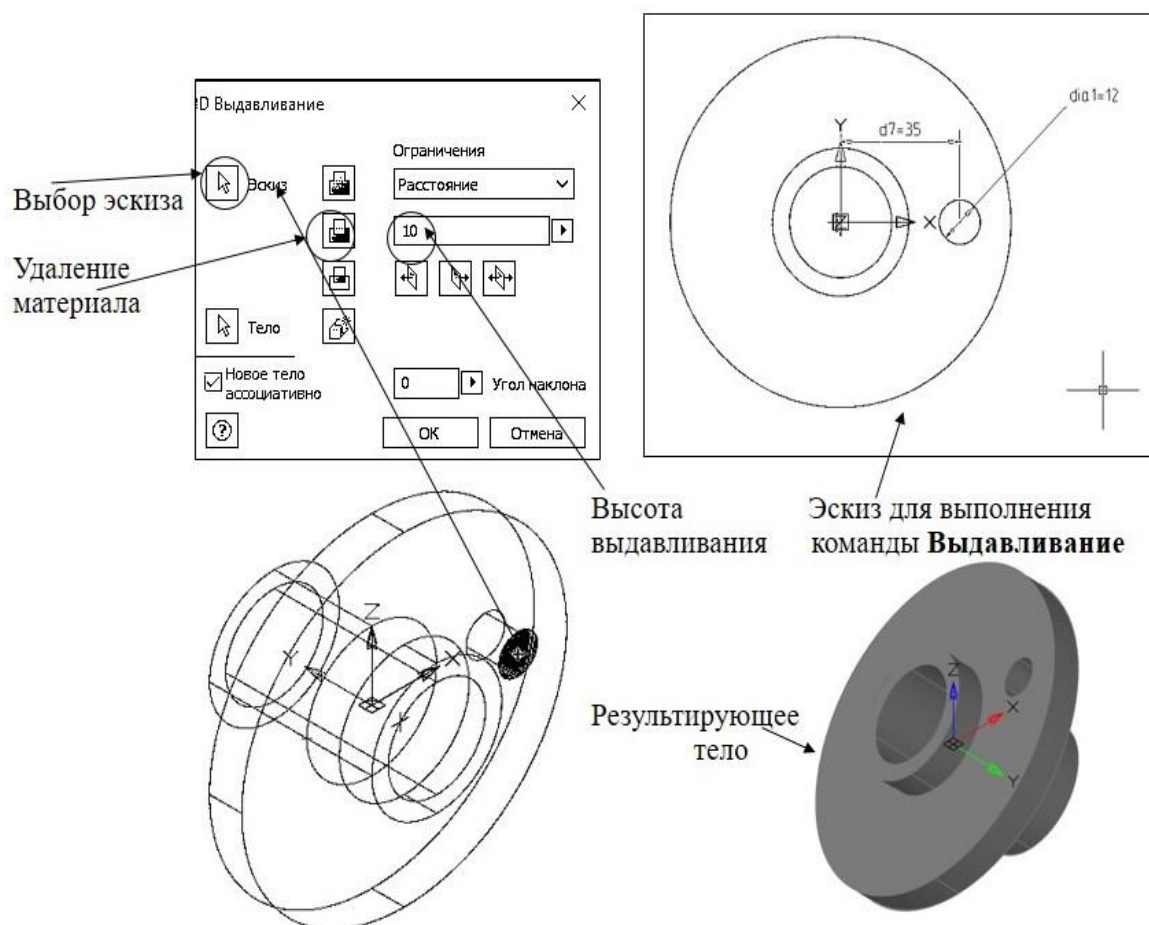


Рис.3.23. Этапы создания отверстия в параметрическом теле

Последний шаг – это создание массива из отверстий с помощью команды **3D Круговой массив**, который необходимо вызвать из панели **Массивы** вкладки **3D - инструменты** ленточного меню. Этапы создания массива из четырех отверстий показаны на рис.3.24.

На рис.3.25. показана результирующая параметрическая модель, ее дерево построения и **Менеджер параметров**. Следует обратить внимание на содержание **Менеджера параметров**. В нем присутствуют все размерные параметры эскизов, а также параметры команд твердотельного параметрического моделирования.

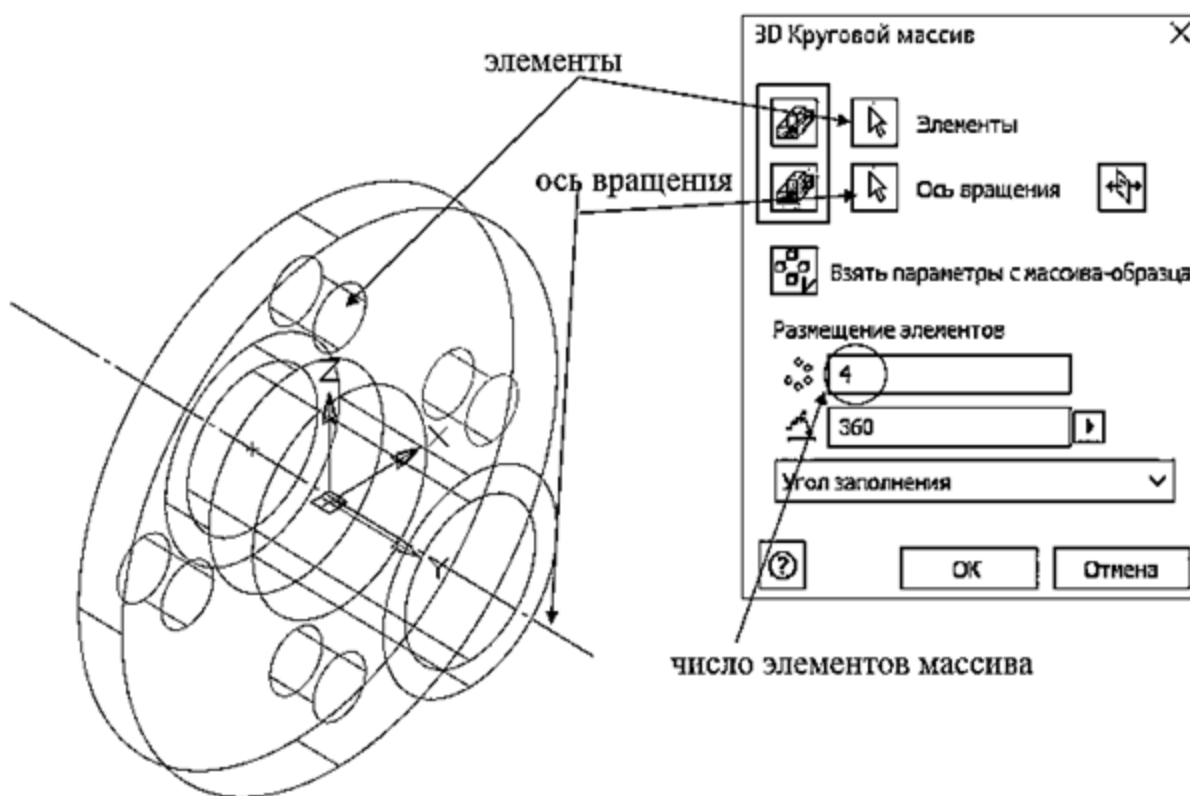


Рис.3.24. Этапы создания массива из четырех отверстий

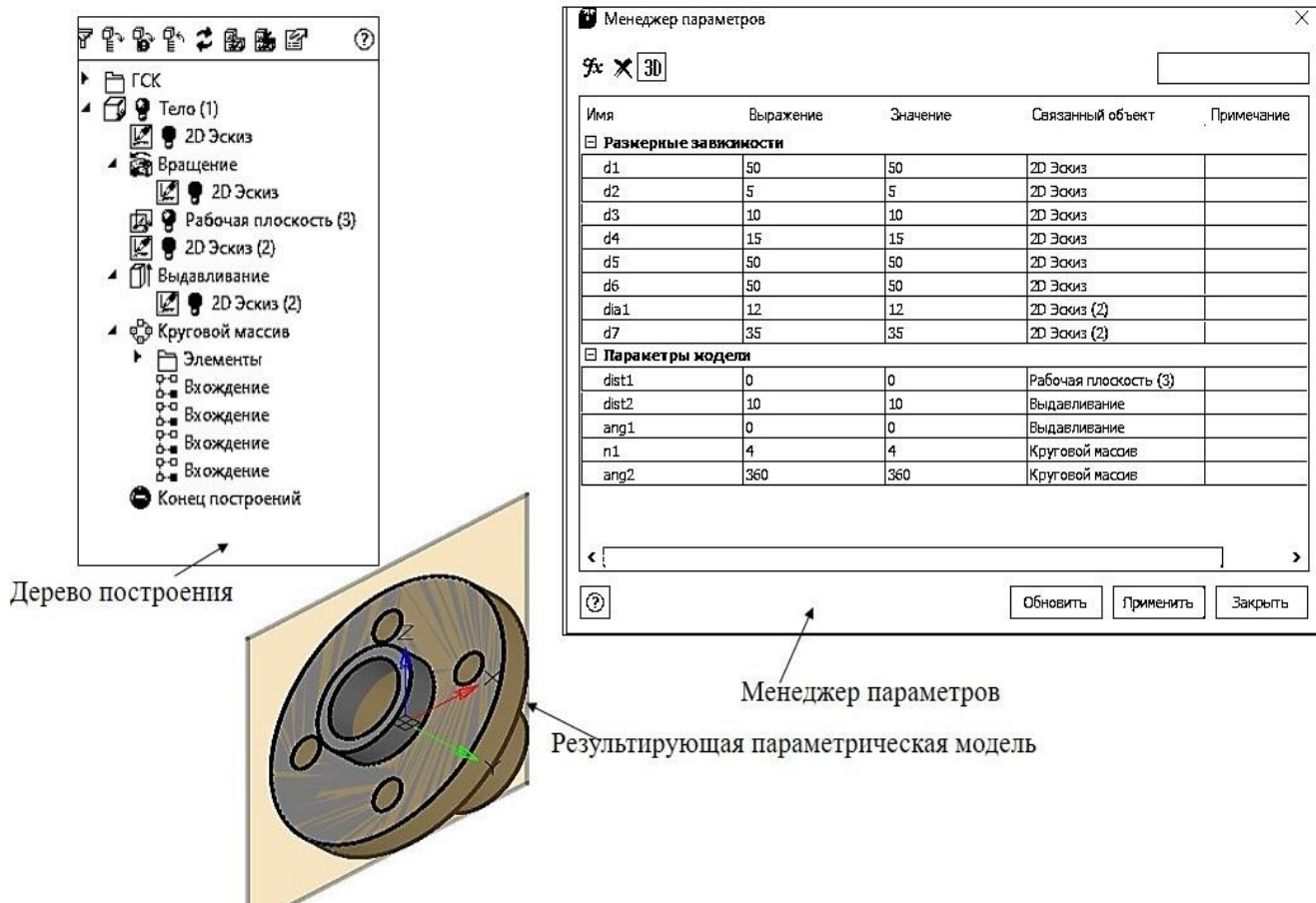


Рис.3.25. Результирующая параметрическая модель и ее параметры

В данной главе подробно рассмотрены возможности САПР nanoCAD для создания параметризованных эскизов. В двух рассмотренных режимах есть различия, которые сводятся в основном к различным диалогам команд создания этих эскизов. Главное преимущество второго подхода состоит в том, что эскиз сразу привязан к параметрическому твердотельному моделированию. В связи с этим работа во вкладке **3D - инструменты** при создании параметризованного эскиза более удобна для разработчика параметрических тел.

4. ПРИМЕР СОЗДАНИЯ ТВЕРДОТЕЛЬНОЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ, ПОСТРОЕННОЙ НА ОСНОВЕ КОМАНДЫ ВЫТЯГИВАНИЕ ПО СЕЧЕНИЯМ, В САПР NANOCAD

В предыдущей главе рассмотрены примеры создания параметрических тел на основе команд **Вращение** и **Выдавливание**. Построение параметрической модели с помощью команды **Вытягивание** по траектории подробно рассмотрено в пособии [2]. В данной главе уделим внимание команде параметрического моделирования **Вытягивание по**

сечениям. Эта команды имеет несколько различных опций. Рассмотрим одну из них – построение тела по двум сечениям, которые расположены в разных плоскостях. Для этого рассмотрим следующий пример (рис. 4.1).

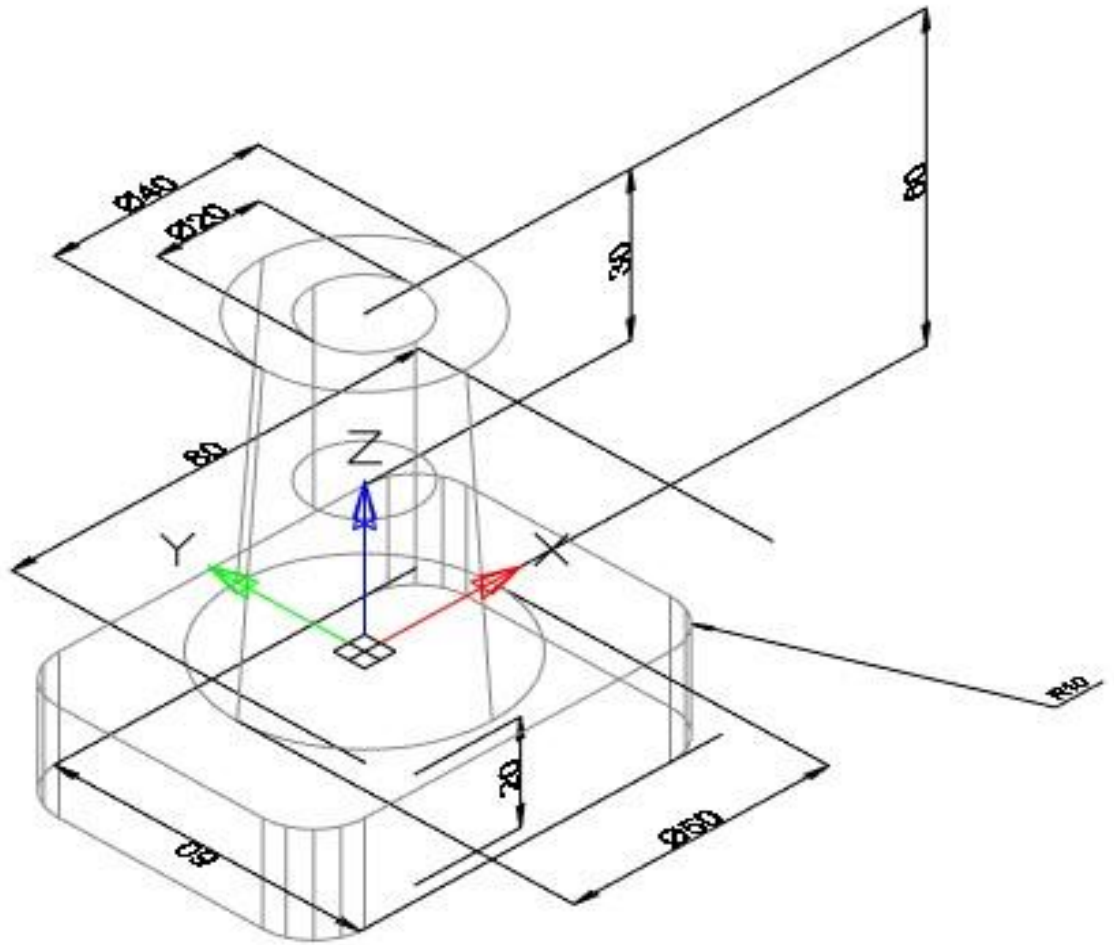


Рис. 4.1. Тело, построенное на основе команд параметрического моделирования, включая команду Вытягивание по сечениям

При разработке моделей такого типа перед началом разработки модели нужно выбрать команды твердотельного моделирования и последовательность их выполнения. Для разработки твердотельной параметрической модели, показанной на рисунке 4.1., необходимо выполнить следующие команды: **Выдавливание**, **Скругление**, **Вытягивание по сечениям**, **Выдавливание с удалением материала**.

Первый этап создания параметрической модели. Необходимо выполнить команду **Выдавливание** прямоугольника на высоту – 20. В результате построено параметрическое тело – параллелепипед размером 60x80x20. Последовательность шагов на данном этапе показаны на рис. 4.2.

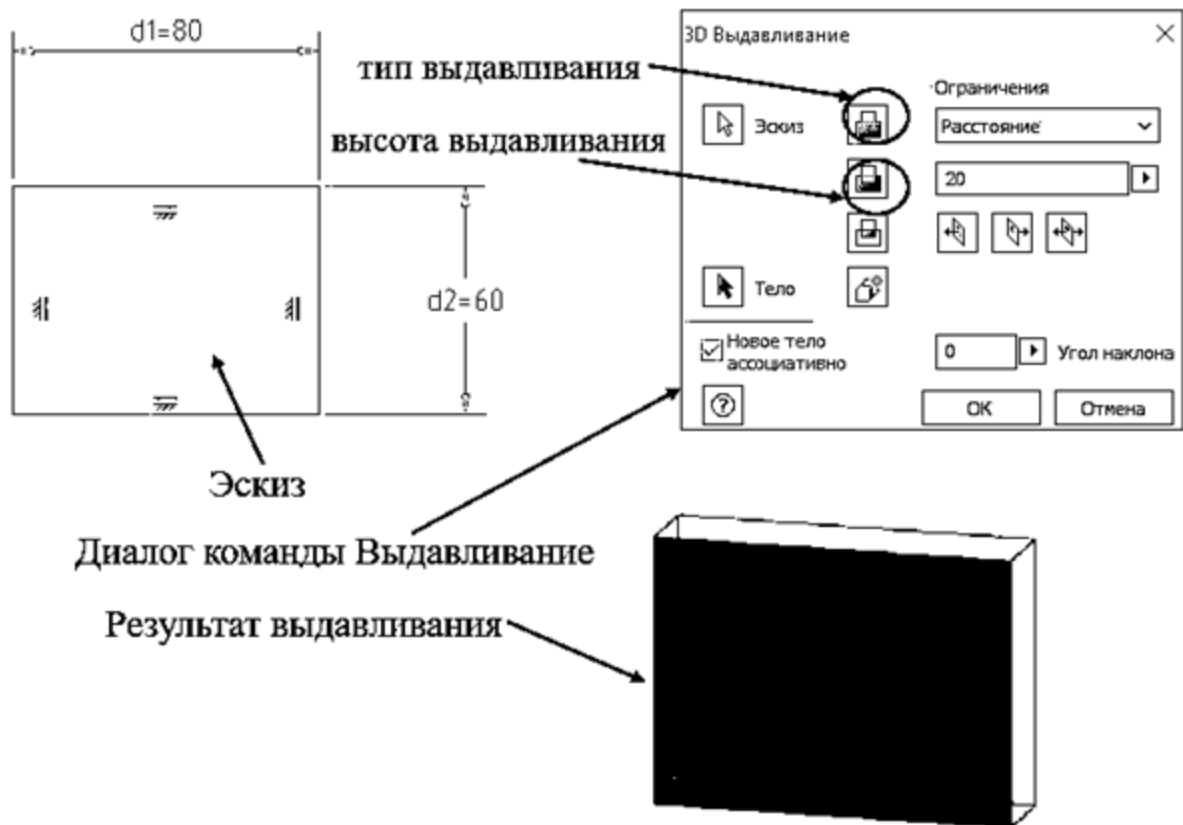


Рис. 4.2. Выполнение команды Выдавливание для построения параметрического тела - параллелепипеда

Второй этап создания параметрической модели. Выполнение скруглений на боковых ребрах параллелепипеда. Рассмотрим сначала особенности команды **Скругление**. Данная команда создает фичерс – параметризованный элемент, связанный с твердотельной параметрической моделью, в данном случае - с параллелепипедом. Диалог этой команды для нашего примера показан на рис.4.3. Следует отметить, что для выбора примитива, на котором выполняется скругление, в команде есть четыре возможности: **Выбрать цепь ребер с указанием грани**, **Выбрать замкнутую цепь ребер**, **Выбрать одно ребро**, **По касательным ребрам**. В данном примере необходимо воспользоваться опцией - **Выбрать одно ребро**. При этом, чтобы выбрать сразу четыре ребра в команде, нужно осуществлять выбор каждого следующего ребра с одновременным нажатием клавиши **Ctrl**. На рис. 4.3. показаны этапы выполнения этой команды в рассматриваемом примере.

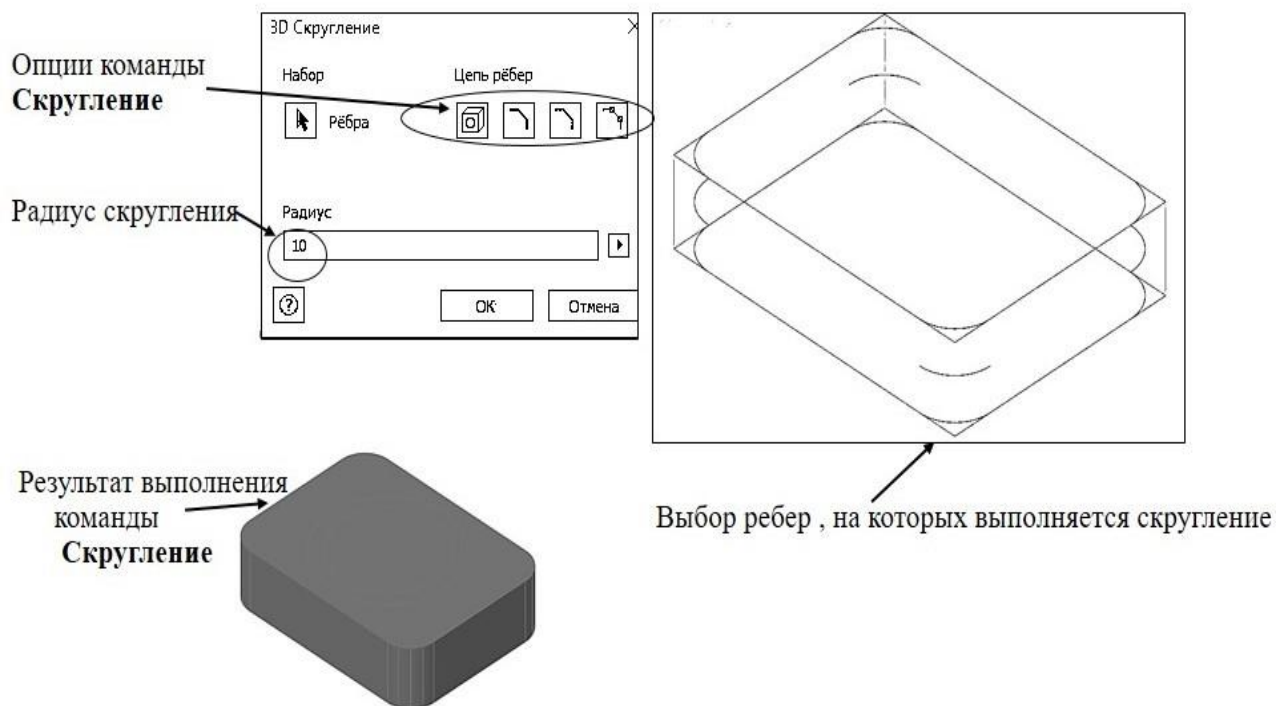


Рис. 4.3. Диалог команды Скругление и этапы ее выполнения в рассматриваемом примере

Третий этап создания параметрической модели. Создание усеченного конуса с помощью команды **Вытягивание по сечениям**. Прежде чем рассмотреть последовательность шагов при создании такого параметрического тела, уделим внимание интерфейсу и особенностям выполнения команды **Вытягивание по сечениям**.

Алгоритм построения тел и поверхностей по сечениям описан в [4]. В САПР nanoCAD реализованы все возможности алгоритма построения таких моделей. Команда **Вытягивание по сечениям** позволяет построить параметрическое тело на основе нескольких сечений. Это может быть простое соединение этих сечений. Либо можно задать направляющую кривую (или несколько кривых), чтобы построить более сложную модель на основе смешивания сечений при перемещении вдоль выбранной направляющей кривой. Диалог команды **Вытягивание по сечениям** САПР nanoCAD показан на рис. 4.4.

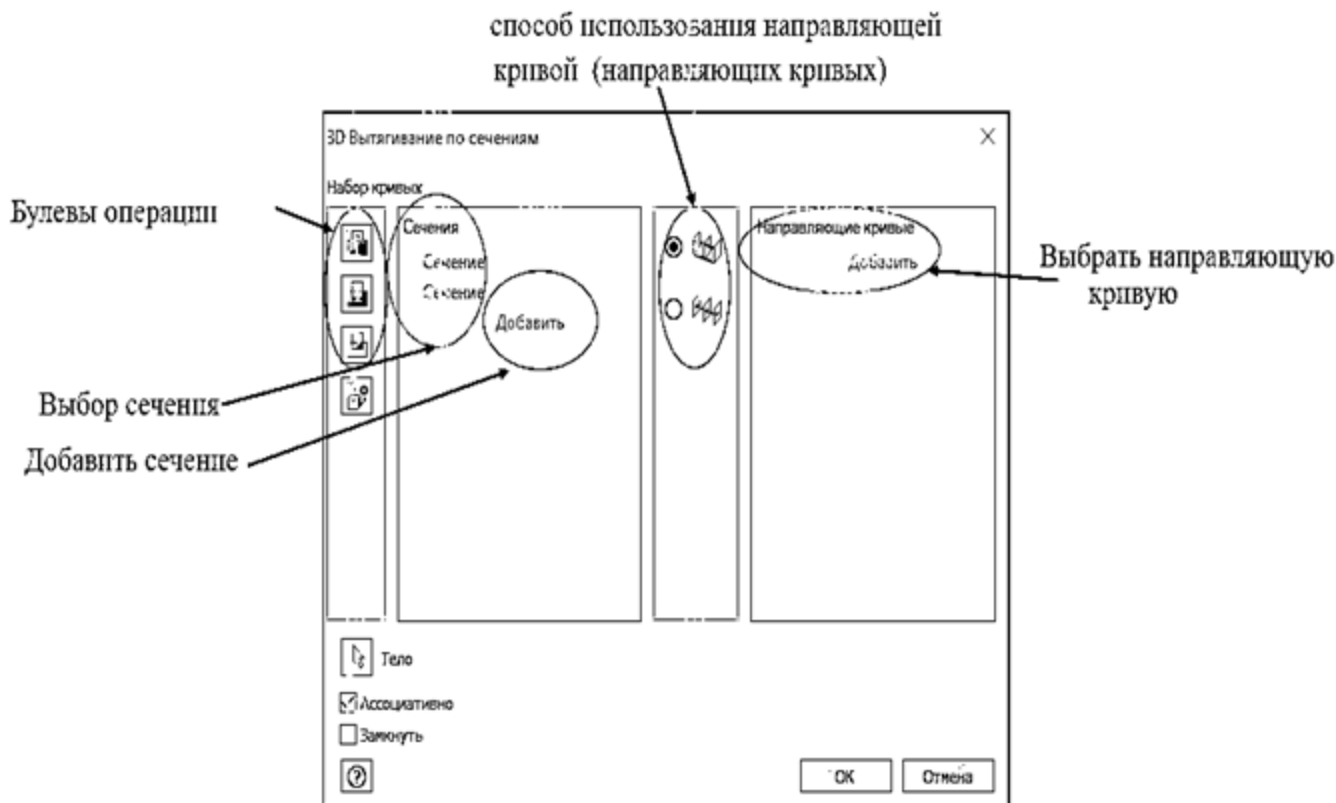


Рис. 4.4. Диалог команды Вытягивание по сечениям

Для того чтобы построить усеченный конус перед вызовом команды **Вытягивание по сечениям** нужно построить два сечения, находящиеся в параллельных плоскостях на расстоянии друг от друга по вертикали – 60. Эскиз для первого сечения, окружность радиусом 25, строится на верхней грани параллелепипеда. При входе в команду **Добавить эскиз** необходимо выбрать именно эту плоскость для отрисовки первого сечения. Второе сечение, окружность радиусом 20, располагается в плоскости, параллельной верхнему основанию параллелепипеда на расстоянии 60. Поэтому для отрисовки второго сечения необходимо сначала добавить рабочую плоскость, параллельную верхнему основанию параллелепипеда.

После создания двух сечений можно построить усеченный конус, используя команду **Вытягивание по сечениям**. После вызова команды сначала нужно выбрать первое сечение, а затем, через опцию **добавить** в левой части диалогового окна, выбрать второе сечение. Затем нажать на **OK**

В результате выполнения этих шагов имеем параметрическую модель – твердотельный усеченный конус. На рис. 4.5. показано расположение двумерных эскизов в плоскостях и выбор эскизов при построении тела по сечениям.

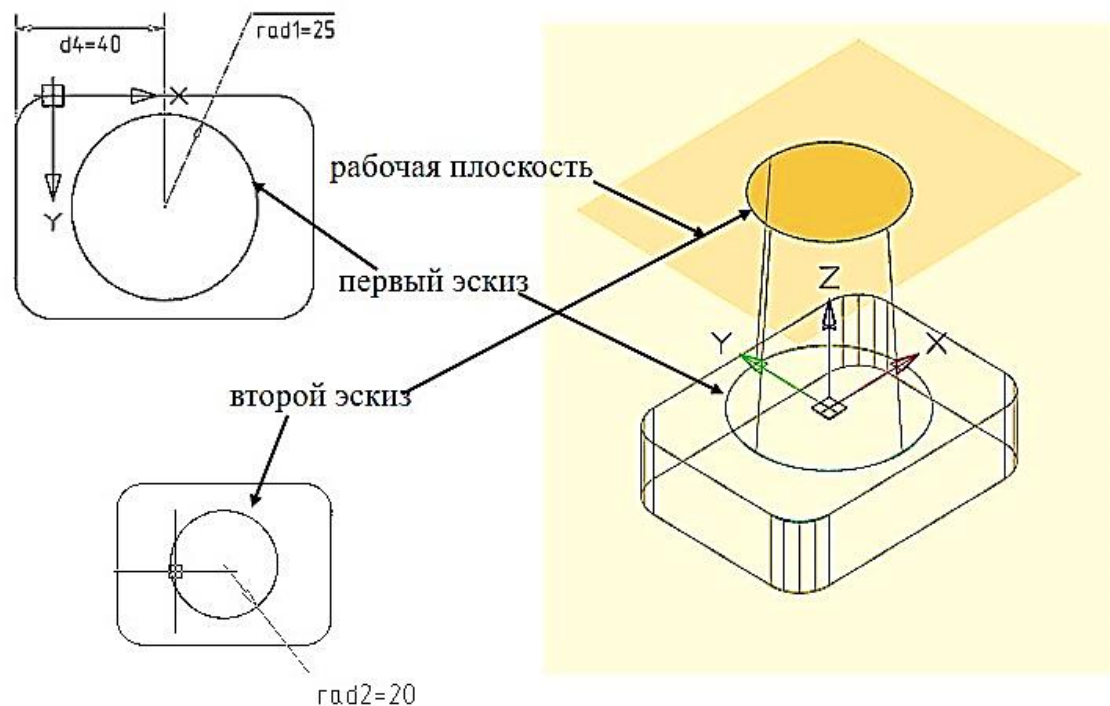


Рис. 4.5. Сечения, используемые при выполнении команды Вытягивание по сечениям

Четвертый этап создания параметрической модели. На этом этапе необходимо создать цилиндрическое отверстие радиусом 10 на глубину 30. Для этого необходимо отрисовать окружность радиусом 10 на верхнем основании усеченного конуса и выдавить его на глубину 30 с удалением материала в ранее созданном параметрическом твердом теле. На рис. 4.6 показаны этапы создания этого отверстия.

На рис 4.7. показано результирующее тело и дерево построения построенного параметрического тела.

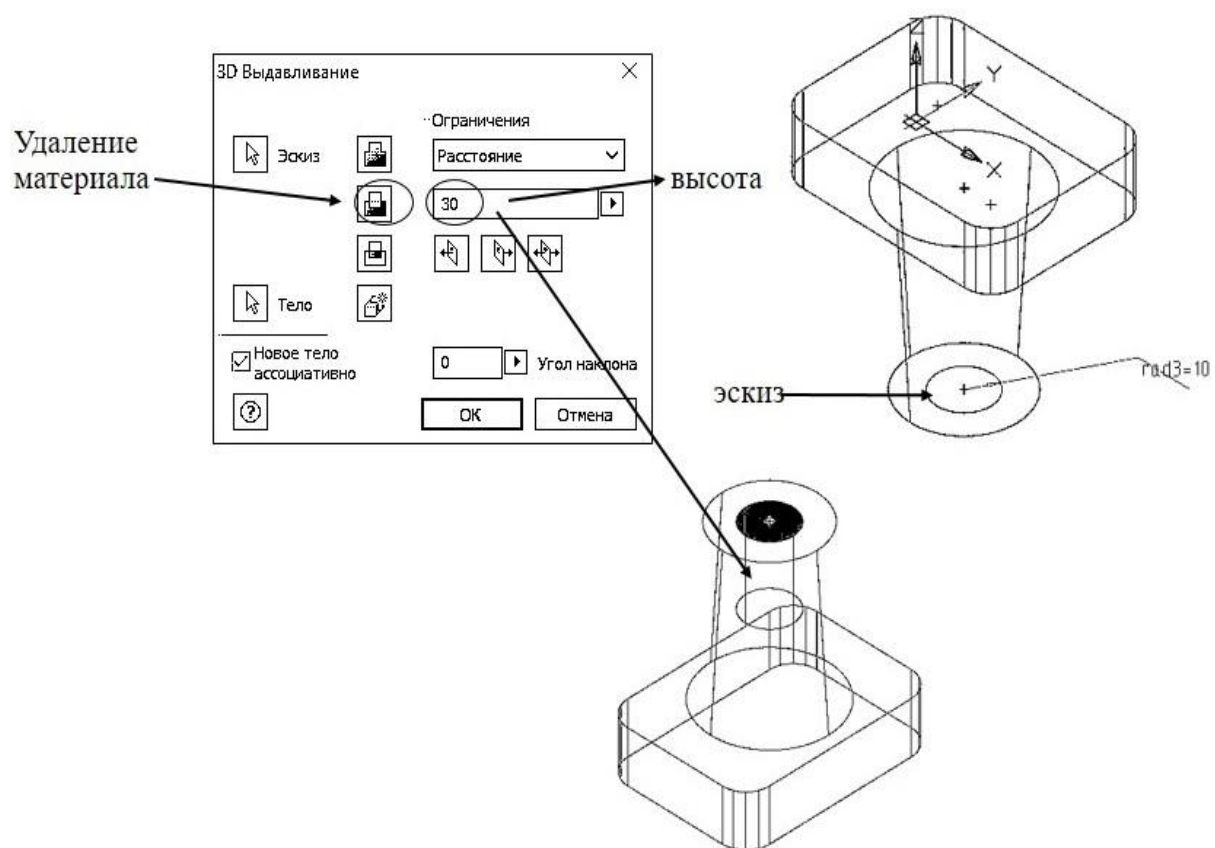


Рис. 4.6. Создание цилиндрического отверстия в твердом теле

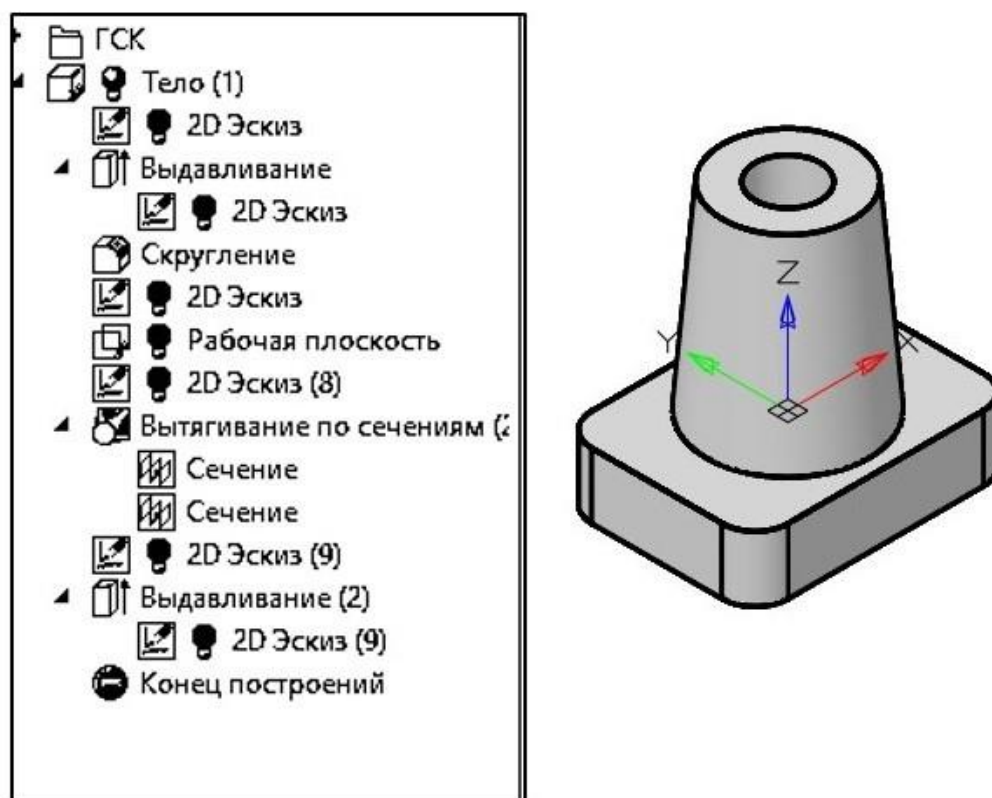


Рис. 4.7. Параметрическая модель и ее дерево построения

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ И ПРИМЕРЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ ПО РАЗДЕЛУ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Для закрепления изложенного в учебном пособии материала приведем список вопросов, на которые необходимо дать ответы:

1. Дайте определение параметрической модели.
2. Какие типы моделей используются в современных САПР?
3. Какие особенности у иерархической параметризации?
4. Какие особенности у вариационной и геометрической параметризации?
5. Поясните отношение Родитель - Потомок в иерархической параметризации.
6. Какой тип параметрических моделей относится к жесткой параметризации?
7. Какой тип параметрических моделей относится к мягкой параметризации?
8. Приведите примеры геометрических зависимостей.
9. Какие бывают вариационные связи?
10. Для построения каких моделей в современных САПР используются вариационная и геометрическая параметризация?
11. Какие функции в современных САПР выполняет ВГР?
12. Чем отличается параметризованный эскиз от обычного двумерного эскиза?
13. Как в САПР nanoCAD происходит динамическое нанесение размеров?
14. Какие типы параметрических моделей можно создать в САПР nanoCAD?
15. Перечислите команды параметрического моделирования, имеющиеся в САПР nanoCAD.

Приведем также варианты практических заданий.

Первый вариант практического задания. По двум видам детали (рис.5.1) постройте параметрическую твердотельную модель в САПР nanoCAD. По дереву построения модели поясните ход ее создания.

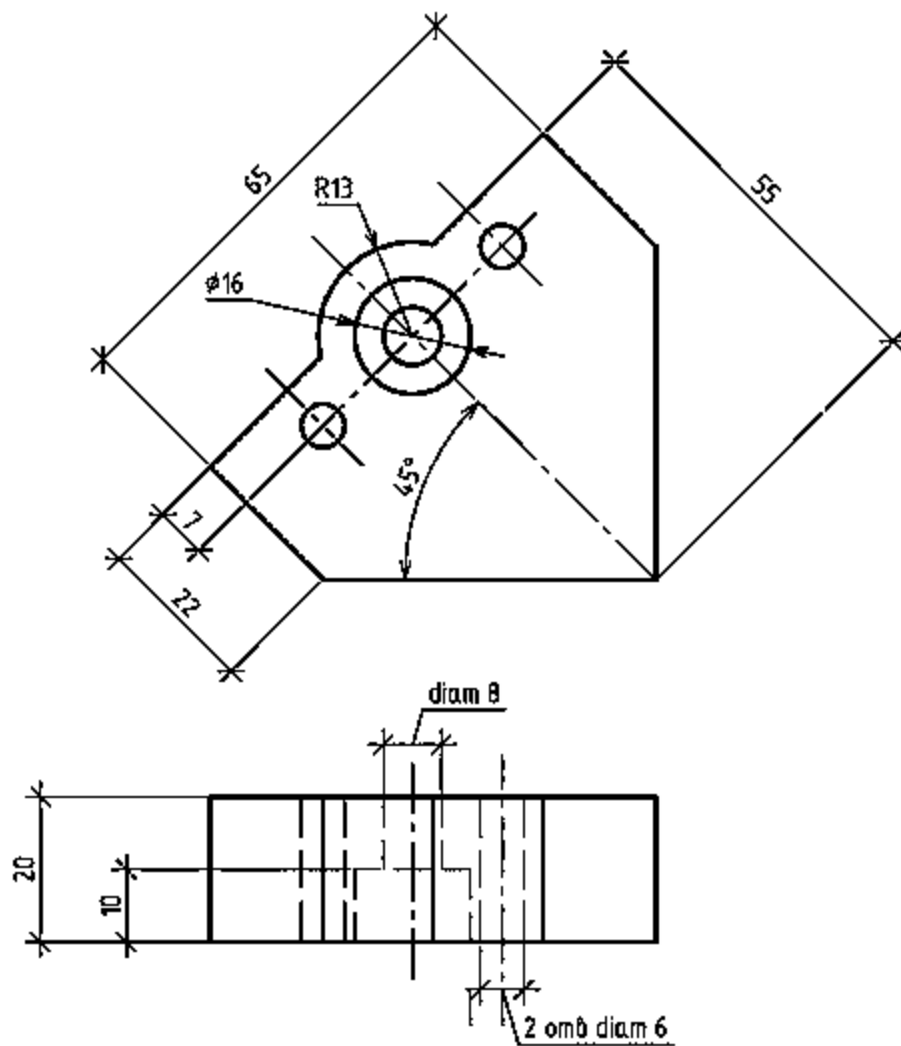


Рис. 5.1. Пример 1

Второй вариант практического задания. По Изометрической проекции твердого тела (рис.5.2) определите последовательность выполнения команд параметрического моделирования САПР папоCAD. Постройте параметрическую модель тела. Покажите **Дерево построения**. По заданию преподавателя, используя дерево построения, отредактируйте созданную модель. Например, для данной модели, необходимо увеличить диаметр и глубину отверстия, используя дерево построения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В предложенном учебном пособии изложены подходы к разработке твердотельных параметрических моделей в современных САПР на примере САПР папоCAD. Рассмотрены теоретические вопросы, связанные с параметрическим моделированием. Подробно проанализированы особенности создания таких твердотельных моделей в современных САПР, включая папоCAD. На конкретных примерах показаны этапы создания параметризованных эскизов. Предложены вопросы для самопроверки по изложенному материалу, а также примеры практических заданий по данной теме. Таким образом, освоение методов, изложенных в данном учебном пособии, позволит студентам перейти к самостоятельному созданию сложных параметрических моделей в САПР папоCAD.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основной

1. **Ушаков Д.М.** Введение в математические основы САПР: курс лекций.- М.:ДМК Пресс,2011.-208с.
2. **Твердотельные модели в САПР папоCAD: практикум / И.Е. Лешихина, М.А. Пирогова, В.А. Краюшкин** — М.: Издательство МЭИ, 2024. -44с..
3. **Интерфейс САПР папоCAD: 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**

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ В СОВРЕМЕННЫХ САПР (НА ПРИМЕРЕ САПР NANOCAD)

Учебное пособие

**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