

Министерство науки и высшего образования Российской
Федерации Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Невинномысский технологический институт (филиал) СКФУ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению практических работ
по дисциплине

«Проектное моделирование и прототипирование»

для студентов направления подготовки

09.03.02 Информационные системы и технологии

Направленность (профиль) Цифровые технологии химических
производств

Невинномысск 2024

Практическая работа №1

Тема: «3Dпринтер.»

Цель: изучить основные конструктивные особенности устройства 3D принтеров и применяемых материалов для объёмной печати.

Задачи:

1. Изучить конструкцию 3D принтера.

Теоретические сведения:

Тип устройства принтера для 3Д печати похож со своим собратом, изготавливающим любые изображения в формате 2Д. Основным отличием считается способность продвинутого принтера печатать объёмные элементы. Так, к привычной длине и ширине, здесь добавляется еще и глубина. Нужно понимать, что абсолютно все 3Д принтеры имеют одинаковый набор рабочих элементов.

Любое устройство, печатающее в трех плоскостях, состоит из таких рабочих элементов:

- Экструдер. Он нагревает и выдавливает вязкий пластик;
 - Платформа. Основа, на которой проходит процесс;
 - Мотор. Он двигает необходимые элементы принтера;
 - Фиксаторы. Специальные датчики, стопорящие подвижные части принтера во время работы. Они не позволяют выйти за границы платформы;
 - Рама;
 - Картезианский робот. Устройство, способное двигаться по 3-м осям.

Зная устройство машины, становится понятен принцип работы 3Д принтера. Конечно, это основные рабочие узлы, принимающие непосредственное участие в создании трехмерных конструкций. Наглядное устройство принтера

показано на рисунке

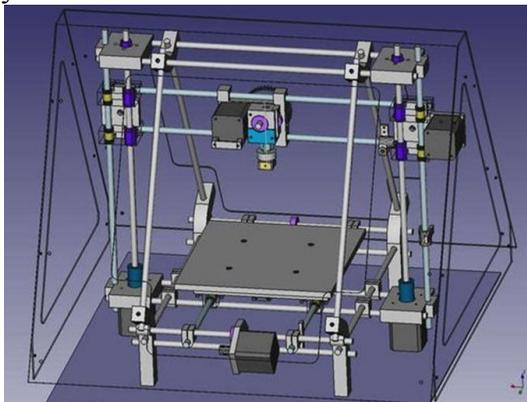


Рис. 1.1. Конструкция 3D принтера

Основные процессы регулируются с помощью ПК:

- Температура сопла;
- Скорость подачи пластиковой нити;
- Работа мотора.

Базовой системой 3Д принтеров сегодня считается Arduino с открытой архитектурой. А программа должна выбираться в зависимости от конкретной модели машины. Чаще всего, изготовители рекомендуют использовать только фирменное программное обеспечение. Сегодня 3Д принтер можно рассматривать как специализированное оснащение для специалистов, которые смогут решить массу задач с помощью этого устройства.

Ход работы:

1. Изучить материал для выполнения данной лабораторной работы.
2. Описать основные узлы, входящие в конструкцию 3Dпринтера.
3. Сформировать отчет

Практическая работа №2

Тема: «Выбор материалов для объемной печати»

Цель: изучить применяемых материалов для объемной печати на 3D принтерах.

Задачи:

1. Провести анализ применяемых в аддитивных технологиях материалов.

Теоретические сведения:

Несмотря на то, что рынок филаментов регулярно пополняется новыми материалами, пластик и его различные сплавы до сих пор занимают лидирующие позиции.

Дело не только в том, что львиную долю оборудования для трехмерной печати составляют FDM-принтеры. Производство и последующее использование «полимерных» чернил обходится в разы дешевле, нежели использование металлоглины или фотополимеров.

Самые распространенные материалы для 3D печати - термопластики PLA и ABS, но на самом деле список материалов можно продолжать очень долго. Эти материалы могут содержать нейлон, поликарбонат, полипропилен и многое другое. Сейчас возможна печать деревом, металлом, углеродным волокном и многими другими материалами.

Термопластики PLA и ABS фактически стали стандартными материалами, используемыми для 3D-печати

Наиболее часто применяемые материалы для печати показаны в таблице 1.

Материалы для 3D печати

Таблица 1

Материал	Легкость использования	Физические свойства		
		Прочность	Гибкость	Долговечность
PLA	+	2	1	2
ABS		2	2	3
PETG (PET, PETT)		2	2	3
Nylon		3	3	4
TPE, TPU, TPC		1	4	3
PC		4	2	4

Ход работы:

1. Изучить материалы с данной лабораторной работе
2. Описать особенности выбора материала для объемной печати.
3. Описать отличительные особенности материалов для объемной печати.
4. Сформировать отчет.

Практическая работа №3

Тема: «Технологии 3D печати»

Цель: изучить основные технологии 3d печати.

Задачи:

1. Описать технологии, применяемые для создания деталей различных конструкций.
2. Изучить принцип работы 3D принтера.

Теоретические сведения:

В настоящее время на рынке существуют различные аддитивные системы, производящие модели по различным технологиям и из различных материалов. Однако, все они работают по схожему, послойному принципу построения физической модели, который заключается в следующем:

- считывание трёхмерной 3D геометрии из CAD-систем
- разбиение трёхмерной модели на горизонтальные сечения (слои) с помощью специальной программы, поставляемой с оборудованием или используемой как приложение
- построение сечений детали слой за слоем снизу-вверх, до тех пор, пока не будет получен физический прототип модели. Слои располагаются снизу-вверх, один над другим, физически. Построение прототипа продолжается до тех пор, пока поступают данные о сечениях CAD-модели.

Всего различают несколько основных технологий 3D печати:

- Метод постепенного наложения пластика;
- Стереолитографическое моделирование;
- Лазерное спекание.

Метод послойного наплавления термопласта. Большинство 3D принтеров работает с термопластиком, в том числе с полилактидом. Он отличается природным происхождением и неспособностью выделять вредные вещества. Работа заключается в подаче тонкой нити вязкого пластика в трубу сопла. Она и формирует необходимый элемент.

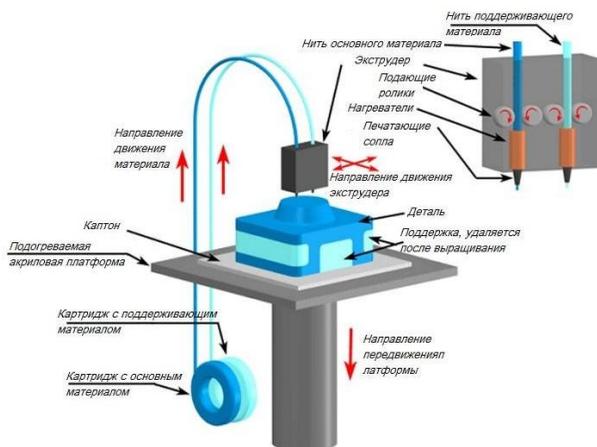


Рис. 3.1. Схема работы 3D принтера

Стереолитографическая печать эта технология широко применяется в стоматологии. С ее помощью изготавливают зубные протезы. Главным преимуществом таких принтеров считается высокое качество изготовленных конструкций. К тому же эти установки гораздо дешевле. Они не нуждаются в зеркалах, что делает устройство гораздо проще.

Лазерное спекание. Для этой технологии используют легко плавящийся пластик. Мощный луч прорисовывает объект. Это действие спекает материал. И так слой за слоем проходит моделирование выбранного элемента. После завершения печати остатки материала просто отряхиваются.

Минусов этого метода считается пористая поверхность изделия.

Во время печати принтер считывает 3D-печатный файл (в формате STL), содержащий данные трехмерной модели, и наносит последовательные слои жидкого, порошкообразного, бумажного или листового материала, выстраивая трехмерную модель из серии поперечных сечений. Эти слои, соответствующие виртуальным поперечным сечениям в CAD-модели, соединяются или сплавляются вместе для создания объекта заданной формы. Основным преимуществом данного метода является возможность создания геометрических форм практически неограниченной сложности.

«Разрешение» принтера подразумевает толщину наносимых слоев (ось Z) и точность позиционирования печатной головки в горизонтальной плоскости (по осям X и Y). Разрешение измеряется в DPI (количество точек на дюйм) или микрометрах (устаревшим термином является «микрон»). Типичная толщина слоя составляет 100мкм (250 DPI), хотя некоторые устройства вроде Objet Connex и 3D Systems ProJet способны печатать слоями толщиной от 16мкм (1 600 DPI). Разрешение по осям X и Y схоже с показателями обычных двухмерных лазерных принтеров. Типичный размер частиц составляет около 50-100мкм (от 510 до 250 DPI) в диаметре.

Построение модели с использованием современных технологий занимает от нескольких часов до нескольких дней в зависимости от используемого метода, а также размера и сложности модели. Промышленные аддитивные системы могут, как правило, сократить время до нескольких часов, но все зависит от типа установки, а также размера и количества одновременно изготавливаемых моделей.

Ход работы:

1. Выбрать одну из аддитивных технологий
2. Провести подробное описание выбранной технологии изготовления детали на 3D принтере.
3. Сформировать отчет.

Практическая работа №4

Тема: «Проектирование моделей в виртуальной среде»

Цель: приобретение практических навыков моделирования деталей в САД системе.

Задачи:

1. Научиться создавать 3D модели машиностроительных изделий.
2. Научиться менять точность цифровой модели
3. Изменить формат цифровой модели

Теоретические сведения:

3D-модели создаются методом ручного компьютерного графического дизайна или за счет 3D-сканирования. Ручное моделирование, или подготовка геометрических данных для создания трехмерной компьютерной графики, несколько напоминает скульптуру. 3D-сканирование – это автоматический сбор и анализ данных реального объекта, а именно формы, цвета и других характеристик, с последующим преобразованием в цифровую трехмерную модель.

Традиционные производственные методы вроде литья под давлением могут обходиться дешевле при производстве крупных партий полимерных изделий, но аддитивные технологии обладают преимуществами при мелкосерийном производстве, позволяя достигнуть более высокого темпа производства и гибкости дизайна, наряду с повышенной экономичностью в пересчете на единицу произведенного товара. Кроме того, настольные 3D-принтеры позволяют дизайнерам и разработчикам создавать концептуальные модели и прототипы, не выходя из офиса.

При построении твердотельной модели в компьютерной среде, модели строятся не идеальной линией, а множеством отрезков. Такой подход облегчает работу ядра программы. Для создания детали на 3Д принтере необходимо минимизировать длину прямых отрезков на криволинейной поверхности, чтобы деталь получилась наиболее точной. Примером этого может служить настройка качества отображения в программе.

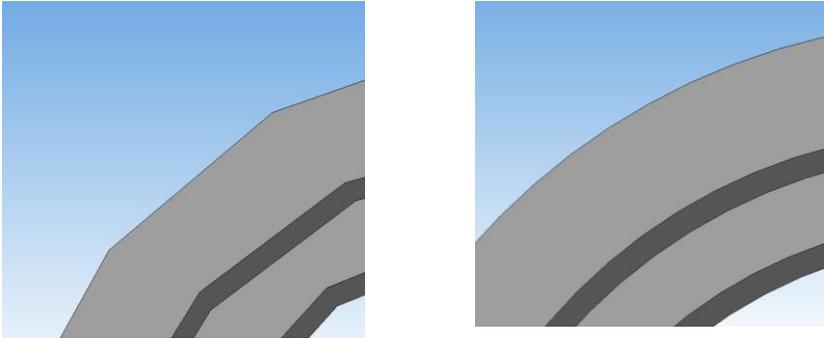


Рис. 4.1. Пример качества 3D модели в САD системе:
а – до минимального качества модели; б – улучшенной
качество модели

Для достижения лучшего качества изготавливаемой детали при программировании управляющей программы для 3Д принтера необходимо выбрать максимальное разрешение точек детали.

Ход работы:

1. Создать 3D модель детали и ее рабочий чертеж в системе Компас 3D.

По заданию преподавателя создать твердотельную модель детали для дальнейшего проектирования технологической подготовки аддитивными технологиями.

2. Сформировать отчет.

Практическая работа №5

Тема: Интерфейс программы «Интерфейс программы Компас 3D»

Цель: изучить интерфейс программы Компас 3D для подготовки детали к печати.

Задачи:

1. Изучить интерфейс программы Компас 3D.
2. Изучить порядок подготовки модели к печати в программе Компас 3D.

Теоретические сведения:

Система Компас-График V8 с модулем трехмерного твердотельного моделирования КОМПАС-3D предназначена для автоматизации проектно-конструкторских работ в различных отраслях деятельности и создания трехмерных параметрических деталей.

Сейчас трудно представить себе современное промышленное предприятие или конструкторское бюро без компьютеров и специальных программ, предназначенных для разработки конструкторской документации или проектирования различных изделий. Применение вычислительной техники в данной области стало свершившимся фактом, доказало свою высокую эффективность.

Переход на машинное проектирование позволяет существенно сократить сроки разработки конструкторской и технологической документации и тем самым ускорить начало производства новых изделий. Одновременно повышается качество, как самих конструкторских разработок, так и выпускаемой документации.

Система **Компас-График (Компас-3D)** предназначена для выполнения учебных проектно-конструкторских работ в различных отраслях деятельности. Она может успешно

использоваться студентами машиностроительных, приборостроительных, архитектурных, строительных вузов и техникумов при выполнении домашних заданий, курсовых и дипломных работ.

Программа содержит достаточный чертежный инструментарий для выполнения чертежей любого уровня сложности с полной поддержкой российских стандартов. Простой и понятный интерфейс этой программы удачно сочетается с гибкостью профессиональной системы при построении, выделении, удалении объектов чертежа, наборе текста по ГОСТ, простановке размеров всех типов, допусков формы и расположения поверхностей, позиций, баз и т.п.

Интерфейс системы (начало работы)

Запуск программы осуществляется через меню “ПУСК” операционной системы Windows, как показано на рисунке 1.

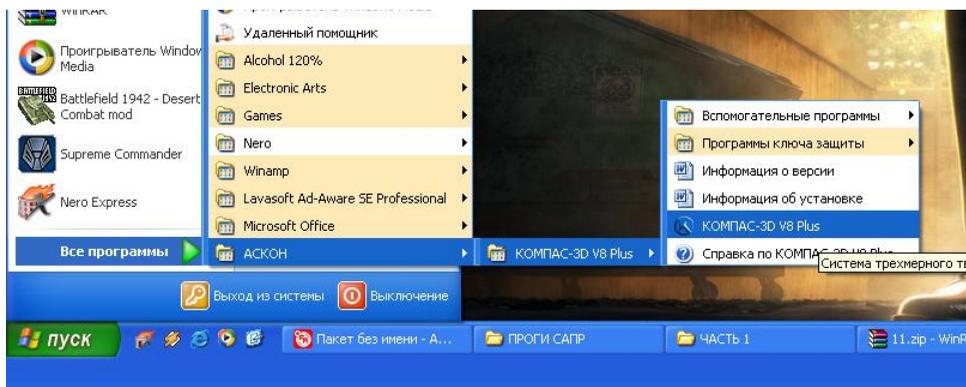


Рис.1. Запуск программы Компас 3D.

После запуска программы вы увидите главное окно программы Компас-3D, как изображено на рисунке 2.

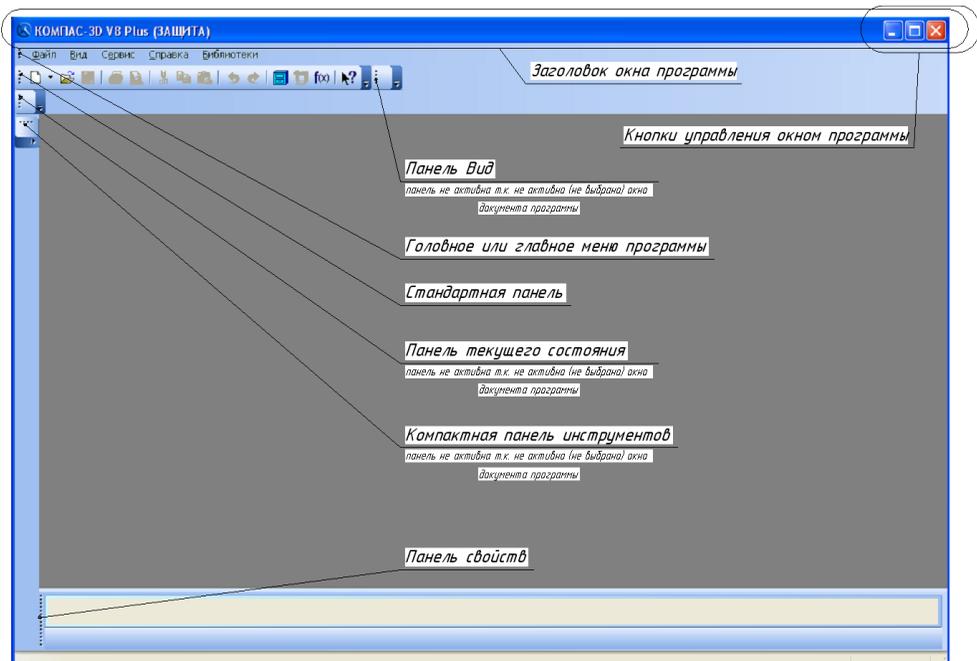


Рис.2. Главное окно программы Компас 3D.

Настройка параметров Компас-3D

Настройка параметров системы Компас-3D означает выбор параметров оформления чертежа в соответствии с Единой системой конструкторской документации - ЕСКД, которые наилучшим образом соответствуют выбранному Вами формату чертежа. Выберите в головном меню команду Сервис - Профили, появится окно «Профили пользователя», показанное на рисунке 3. В данном окне выберете профиль “default”, что означает профиль по умолчанию в системе ЕСКД, после этого “Применить”, а затем “Выход” что бы закрыть приложение.

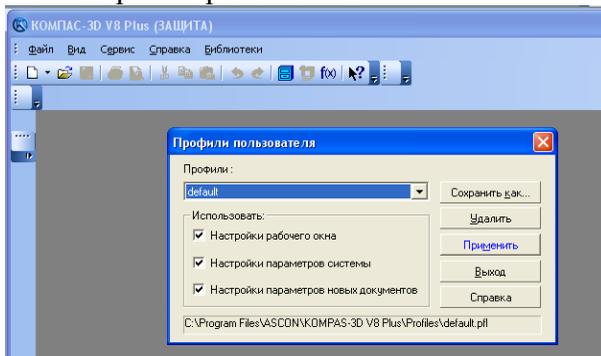


Рис.3. Выбор профиля пользователя программы Компас 3D

Типы документов, создаваемых в системе Компас-3D

В системе Компас-3D существует возможность создавать следующие виды документов.

Графические документы

Чертеж. Чертеж содержит графическое изображение изделия, основную надпись, рамку. Дополнительные объекты оформления - знак неуказанной шероховатости, технические требования и т.д. Файл расширения (*.cdw).

Фрагмент - вспомогательный тип графического документа. Фрагмент отличается от чертежа отсутствием рамки, основной надписи и других объектов оформления документа. Файл расширения (*.frw).

Текстовый документ - документ, содержащий преимущественно текстовую информацию. Файл расширения (*.kdw).

Спецификация - документ, содержащий информацию о составе сборки, представленную в виде таблицы. Спецификация оформляется рамкой и основной надписью. Файл расширения (*.spw).

Трехмерные модели

Сборка - модель изделия, состоящего из нескольких деталей с заданным взаимным положением. Файл расширения (*.a3d).

Деталь - модель изделия, изготавливаемого из однородного материала, без применения сборочных операций. Файл расширения (*.m3d).

Окно выбора создаваемого документа показано на рисунке

4.

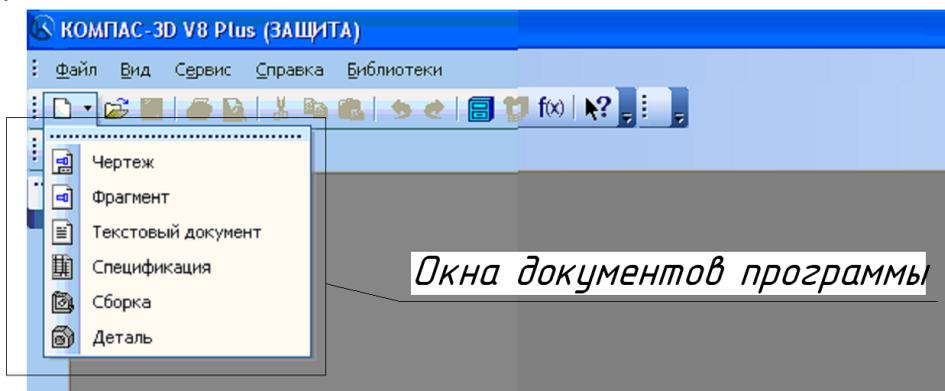


Рис.4. Окно выбора создаваемого документа.

Ввиду того, что Компас-3D – это многооконная программа, то после выбора окна документа программы необходимо их настроить для быстрого доступа. Найти в головном меню, показанном на рисунке 2, заголовок – "Окно" поставить галочку относительно строки – "Показать закладки", так как это изображено на рисунке 5.

Кнопки управления окном документа программы или закладкой

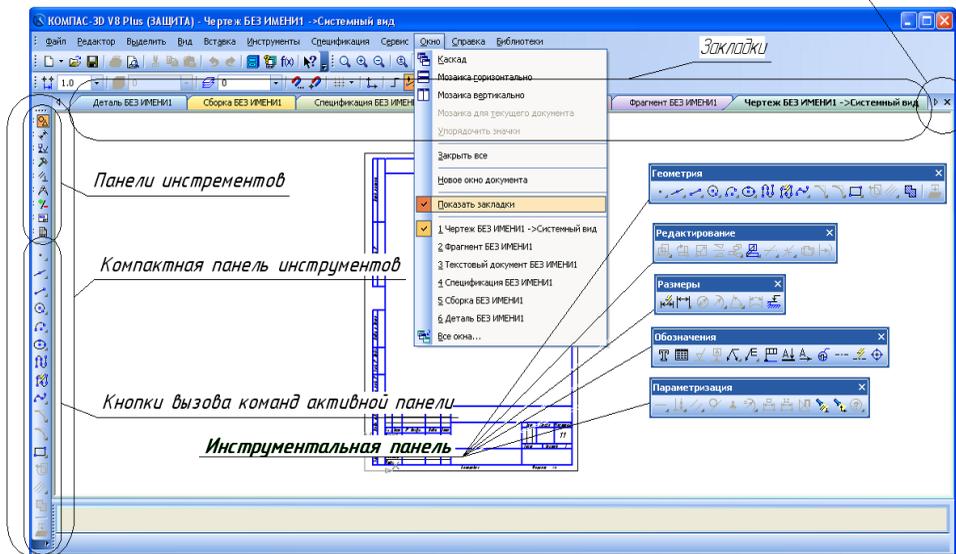


Рис.5. Расположение различных панелей и команд в рабочем окне программы.

Описание панелей приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Описание панелей программы Компас 3D.

Название	Описание
1	2
Головное меню	Служит для вызова команд системы. Содержит названия страниц меню (рис. 2).
Инструментальная панель	Содержат кнопки вызова команд системы (рис. 2,3).
Компактная панель	Содержит несколько инструментальных панелей и кнопки переключения между ними (рис. 2,3).
Панель свойств	Служит для настройки объекта при его создании или редактировании (рис. 2).
Панель специального управления	Содержит кнопки, с помощью которых выполняются специальные действия, такие как: Создать объект, Выбор базового

	объекта, Автосоздание объекта и т. д. (рис.4).
Дерево построения чертежа	Окно Дерева построения может размещаться только внутри окна документа. Дерево построения - это представленная в графическом виде последовательность видов, составляющих чертеж. Они отображаются в Дереве в порядке создания (рис.4).
Панель вида	Команды управления отображением информации внутри окна документа программы (рис.4).
Стандартная панель	Панель, на которой расположены кнопки вызова команд стандартных операций с файлами и объектами (рис. 2).

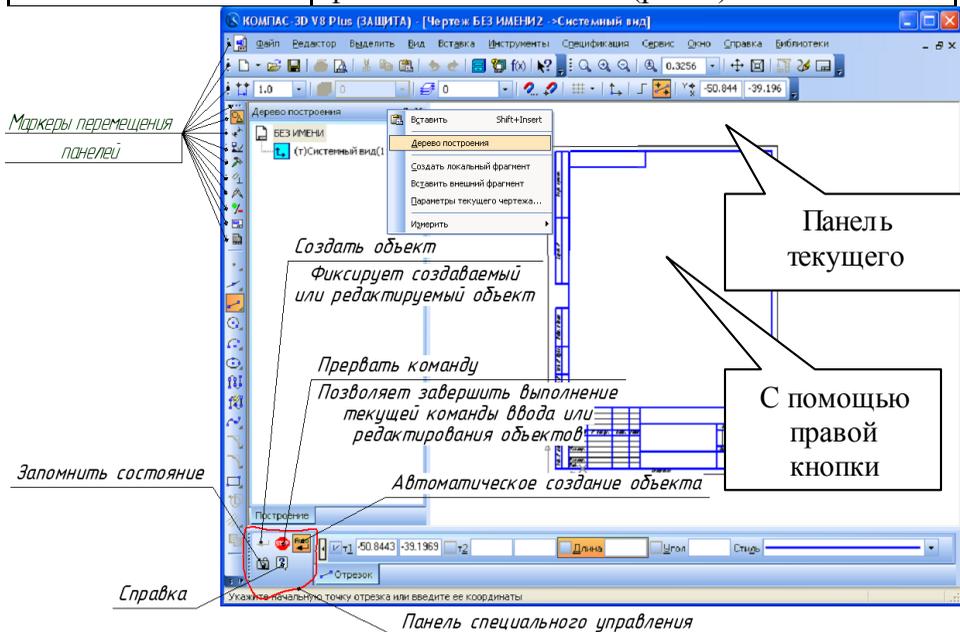


Рис.6. Расположение различных панелей в программе Компас 3D.

Управление отображением документа в окне

Компас - График предоставляет широкий набор средств для сдвига изображения в окне и изменения масштаба. Но необходимо понимать, что изменение масштаба отображения не влияет на реальные размеры объектов.

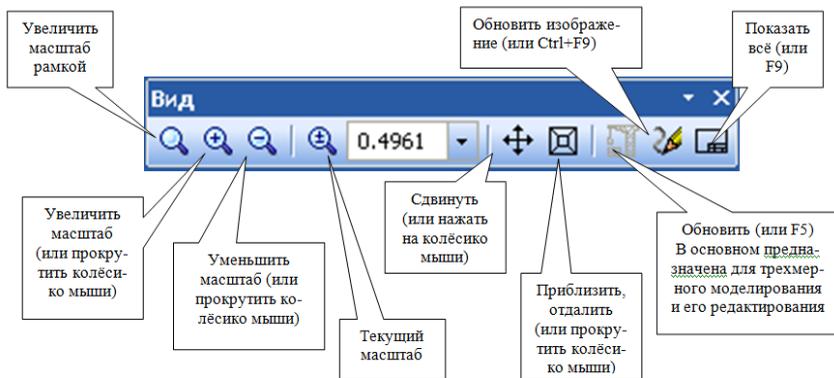


Рис.7. Панель управления изображением в окне программы.

В скобках указаны команды, с помощью которых можно их выполнить, не прибегая к панели вида (попробуйте это сделать самостоятельно). Вы также можете изучить панели самостоятельно с помощью справки в стандартной панели инструментов (Shift+f1).

Ход практической работы

1. Изучить теоретический материал, записав основные моменты практической работы
2. Запустить программу Компас-3D и изучить основные элементы управления, расположение панелей команд.

Содержание отчета:

- титульный лист;
- цель работы;
- основные теоретические сведения;
- выводы по работе.

Контрольные вопросы:

1. Для чего предназначена Система **Компас-График**?
2. Какие виды документов возможно создавать в системе Компас-3D?
3. Перечислите основные панели программы и их предназначение.

Практическая работа №6

Тема: «Моделирование изготовления детали»

Цель: приобретение практических навыков моделирования процесса изготовления детали на 3D принтере.

Задачи:

1. Подготовка виртуальной модели к печати.
2. Создание управляющей программы для моделирования технологического процесса.
3. Генерирование управляющей программы в G-кодах, для изготовления детали.

Теоретические сведения:

Благодаря доступности 3D принтеров, в настоящее время существует множество различных программ и приложений для создания 3D моделей. Ушло в прошлое то время, когда требовалось специальное образование, знание технического английского языка и много времени для создания самой простой виртуальной, объемной 3D модели. Есть много больших профессиональных программ моделирования, которые используют специалисты для создания 3D графики, сложных многослойных виртуальных моделей.

Слайсер - компьютерная программа, послойно преобразующая виртуальную трехмерную модель в машинный код (G-code), позволяющий аддитивному автоматизированному устройству изготовить деталь из специализированного материала.

В зависимости от используемой технологии послойного или поверхностного формирования детали результатом работы слайсера могут быть файлы, содержащие в себе данные о способах формирования слоёв - векторные линии, растровые

плашки, пути перемещения, нормали к поверхности и другие определяющие или управляющие данные.

Теория замощений (паркета) в упрощённом виде гласит – любую поверхность можно замостить (описать) бесконечным набором многоугольников без взаимных наложений и просветов. Перефразируя это утверждение можно сказать, что любую модель можно напечатать, порезав её на слои.

Слайсеры делятся на два основных вида: универсальные и специализированные (корпоративные). Как правило, специализированные «заточены» под одну технологию, торговую марку или модельную линейку принтеров. Универсальные имеют большую вариативность в настройках и рассчитаны на широкий спектр совместимых устройств.

Постольку 3D печать, это процесс, состоящий из большого количества необходимых для выполнения условий, то и настроек их параметров довольно много. И все они разнонаправленные, не линейные. Поэтому удобно и понятно их структурировать это большая задача, овладеть которой весьма непросто. Разработчики пытаются выстроить интуитивно понятные взаимосвязи между основными блоками настроек: принтер, модель, материал, профиль печати, экструдер(ы), дополнительные опции, скрипты и макросы. Они то привязывают отправную точку к материалу, то к настройкам принтера, то к процессу обработки модели (профилю печати) (Simplify, CURA), то к настройкам экструдера. Каждый создатель слай- сера применяет свою философию в этом вопросе.

Тем не менее, структурно все слайсеры, помимо главного вычислительного ядра программы, отвечающего за математические расчеты геометрических форм и конвертацию их в язык машинного управления g-code, имеют стандартные блока настроек. Обобщённо их шесть.

1. Настройки программы - слайсера. Они определяются творческим потенциалом разработчика.

На качество печати настройки программы практически

не влияют. Однако иногда позволяют пользователю не «заблудиться в трёх соснах» и правильно выставить единицы измерения, скорости соединения портов, визуализацию результатов слайсинга, отображение модели и другие полезные опции.

2. Настройки принтера.

Под этим термином мы понимаем не только «железо» принтера, но и его управляющую электронику.

Совместимость программного обеспечения. Количество доступных настроек варьируется в зависимости от профессиональной «продвинутости» каждого конкретного слайсера.

Упрощённые или «модельные» (штатные) программы позволят вам выбрать только модель принтера. Универсальные «Pro» версии потребуют указать какой язык G-code понимает прошивка платы управления. Иногда даже позволяют настроить значения скоростей перемещения, ускорений, рывков (jerk), ретрактов (откатов нити) (Например, CURA v4.6) что позволит такому слайсеру более корректно рассчитывать время на выполнение печати.

Механика. «Расскажите» слайсеру, чем ему придётся управлять. Какая у вашего принтера механическая система перемещения – дельта, декартовая, рука робота, какие габариты зоны печати, какие отступы от краёв допустимы,

Экструдеры. Сколько у него экструдеров. Какого диаметра установлено сопло. Какая максимальная температура поддерживается конструкцией hotend (горячего наконечника). Каково расстояние между соплами в двухэкструдерном исполнении.

3. Настройки материала. Настройки профилей филамента: диаметр нити, температура плавления, плотность, производитель, цена и др.

4. Настройки модели. Инструменты управления масштабированием и позиционированием модели в рабочей зоне. Инструменты для «ремонта» и модификации

загруженной модели.

5. Настройки слайсинга (нарезки). Инструменты и параметры формирования детали из модели.

Вспомогательные инструменты и управление объектами – поддержки, стены, башни, плиты и сервисные операции.

6. Дополнительные сервисы: последовательности команд – скрипты, макросы;

Ход работы:

Написание управляющей программы для 3D принтера осуществим с помощью программы.

Этапы подготовки будут выглядеть следующим образом:

1. Добавление геометрии детали в рабочую область программы-принтера

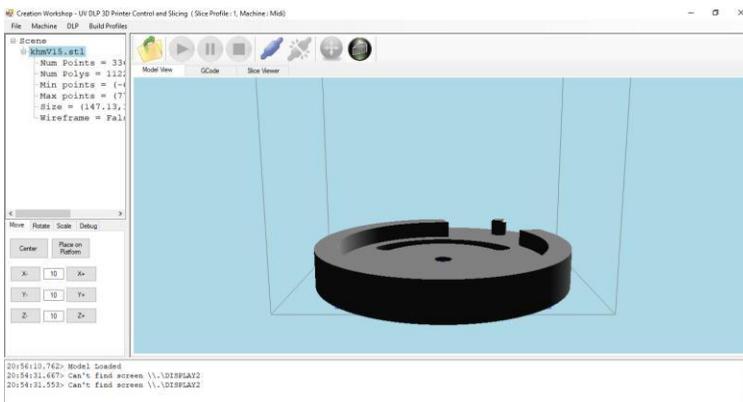


Рис. 6.1. 3D модель в окне программы

2. Настройка параметров печати

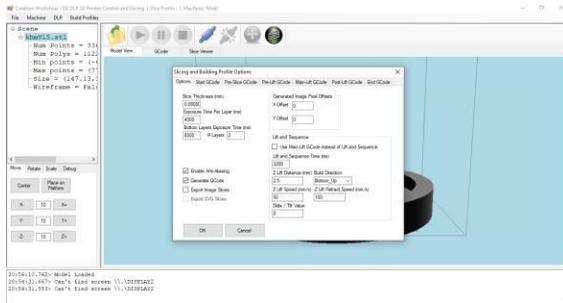


Рис. 6.2. Окно настройки параметров печати

3. Генерирование программы и послынная проверка операций печати

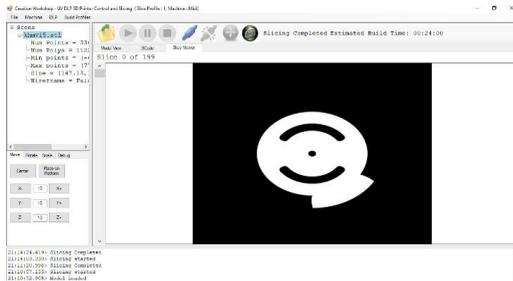


Рис. 6.3. Моделирование технологического процесса

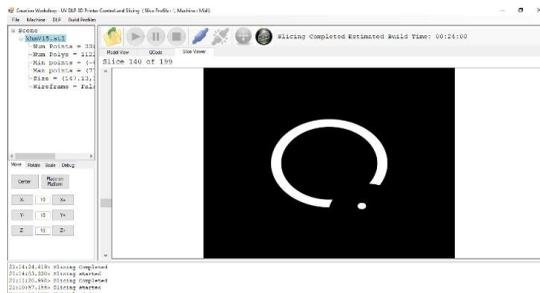


Рис. 6.4. Послойная проверка качества печати

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Демидов А.В., Нилов В.А. Прототипирование деталей машин: учеб. пособие [Электронный ресурс] / А.В. Демидов, В.А. Нилов. – Электрон. текстовые, граф. дан. (2,9 Мб). – Воронеж: ВГТУ, 2021. – с., (10 уч.-изд.л.). – 1 диск. – <http://catalog.vorstu.ru>
2. Демидов А.В. Программное обеспечение проектирования КПО: учеб. пособие [Электронный ресурс] / А.В. Демидов Воронеж: ВГТУ, 2021. – 177 с.
3. Берлинер, Э.М. САПР в машиностроении [Текст] / Э.М. Берлинер. – М.: Форум, 2022. – 448 с. – 13 экз.
4. Иванов, А.А. Автоматизация технологических процессов и производств: учеб. пособие для вузов [Текст] / А.А. Иванов. – М.: Форум, 2012. – 223с. – 13 экз.
5. Демидов, А.В. Основы конструирования деталей машин: учеб. пособие [Текст] / А.В. Демидов. – Воронеж: ГОУВПО «ВГТУ», 2020. – 183 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1. Практическая работа №1.....	4
2. Практическая работа №2.....	6
3. Практическая работа №3.....	8
4. Практическая работа №4.....	11
5. Практическая работа №5.....	13
6. Практическая работа №6.....	24
Библиографический список.....	29

Основы аддитивных технологий

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению практических работ
по направлению 09.03.02 Информационные системы и технологии
Направленность (профиль) Цифровые технологии
химических производств

Составитель

Павленко Елена Николаевна

Министерство науки и высшего образования Российской
Федерации Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Невинномысский технологический институт (филиал) СКФУ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению практических работ
по дисциплине

«Проектное моделирование и прототипирование»
Моделирование и прототипирование в Kompas-3D

для студентов направления подготовки
09.03.02 Информационные системы и технологии

Невинномысск 2024

ВЕДЕНИЕ

Компьютерная графика позволяет осуществлять конструкторские разработки в двух направлениях.

Первое направление базируется на двухмерной геометрической модели и использовании компьютера как особого средства, позволяющего значительно ускорять процесс конструирования и улучшать качество оформления конструкторских документов. Центральное место в этом подходе к конструированию занимает чертеж, который содержит всю необходимую графическую информацию для изготовления какого-либо изделия.

В основе **второго направления** лежит пространственная геометрическая модель изделия, которая является более наглядным способом представления оригинала и более мощным и удобным инструментом решения геометрических задач. Чертеж в этих условиях играет вспомогательную роль, а способы его создания основаны на методах компьютерной графики.

При использовании первого направления (традиционный процесс конструирования) обмен информацией осуществляется на основе конструкторской, нормативно-справочной и технологической документации; при использовании второго – на основе компьютерного представления геометрического объекта общей базы данных, что способствует эффективному функционированию программного обеспечения САПР.

1. ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Под геометрическим моделированием понимают создание моделей ГО, содержащих информацию о геометрии объекта.

Моделью ГО называется совокупность сведений, однозначно определяющих его форму и размеры. Например, отрезок может быть представлен двумя (двухмерная модель) или тремя (трехмерная модель) координатами двух крайних точек; окружность – координатами центра и радиусом и. т. д.

Двухмерные модели (ГМ) позволяют создавать чертежи; трехмерные модели (ПГМ) служат для представления изделия в трех измерениях.

Трехмерные модели могут задаваться различными способами:

каркасные, задаются вершинами и ребрами. Эта модель проста, но с ее помощью можно представить в пространстве только ограниченный класс деталей, полигональные (поверхностные) – поверхностями (плоскостями, поверхностями вращения и др.), объемные (твердотельные) – формируются из элементарных объектов (базисных тел) с использованием логических операций объединения, вычитания, пересечения. По таким моделям можно построить не только графические изображения (виды, разрезы, сечения), но и рассчитать его массоинерционные характеристики, такие как масса, объем, момент инерции и др., если ввести понятия о материале и его физических свойствах. Объемные тела и ГМ, образованные из более простых объектов с использованием логических операций объединения, пересечения, вычитания, называются составными ГО.

2. ПРОСТРАНСТВЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В КОМПАС-3D

Система КОМПАС-3D располагает весьма широкими возможностями создания трехмерных моделей самых сложных конструкций, как отдельных деталей, так и сборочных единиц. Причем процесс моделирования аналогичен технологическому процессу изготовления изделия. Осуществляя виртуальную сборку нескольких деталей в сборочную единицу, пользователь может временно отключить изображение какой-либо детали или выполнить любой сложный разрез. В КОМПАС-3D объемные модели и плоские чертежи ассоциированы между собой, любое редактирование модели повлечет за собой изменение в чертеже, созданном по данной модели. КОМПАС-3D располагает широкими возможностями параметризации, которые могут быть применены и к объемному моделированию. Предположим, будущую деталь будут изготавливать штамповкой, тогда необходимо сконструировать пресс-форму. Используя для изготовления станки с ЧПУ, можно создать модель как самой детали, так пуансона и матрицы. В процессе разработки конструктор может наложить ассоциативные связи и если потребуется внести изменения в конструкцию детали, то соответственно изменятся модели пуансона и матрицы, а также произойдет соответствующее изменение в чертежах этих изделий.

2.1 Основные правила работы в среде КОМПАС-3D

В КОМПАС-3D вы можете работать с различными типами документов, которые принято называть средой. Помимо графических, текстовых документов и фрагментов в системе можно работать в среде **трехмерного моделирования и сборки трехмерных моделей**. Для этих целей используется специальная подпрограмма КОМПАС-3D.

В КОМПАС-3D возможно создание **твердотельных моделей** (деталей), которые хранятся в файлах с расширением ***.m3d** и **моделей сборок** (сборочных единиц), которые хранятся в файлах с расширением ***.a3d**.

Рабочее окно среды трехмерного моделирования откроется, если нажать на соответствующую кнопку , которая находится на панели управления (рис. 2.1)

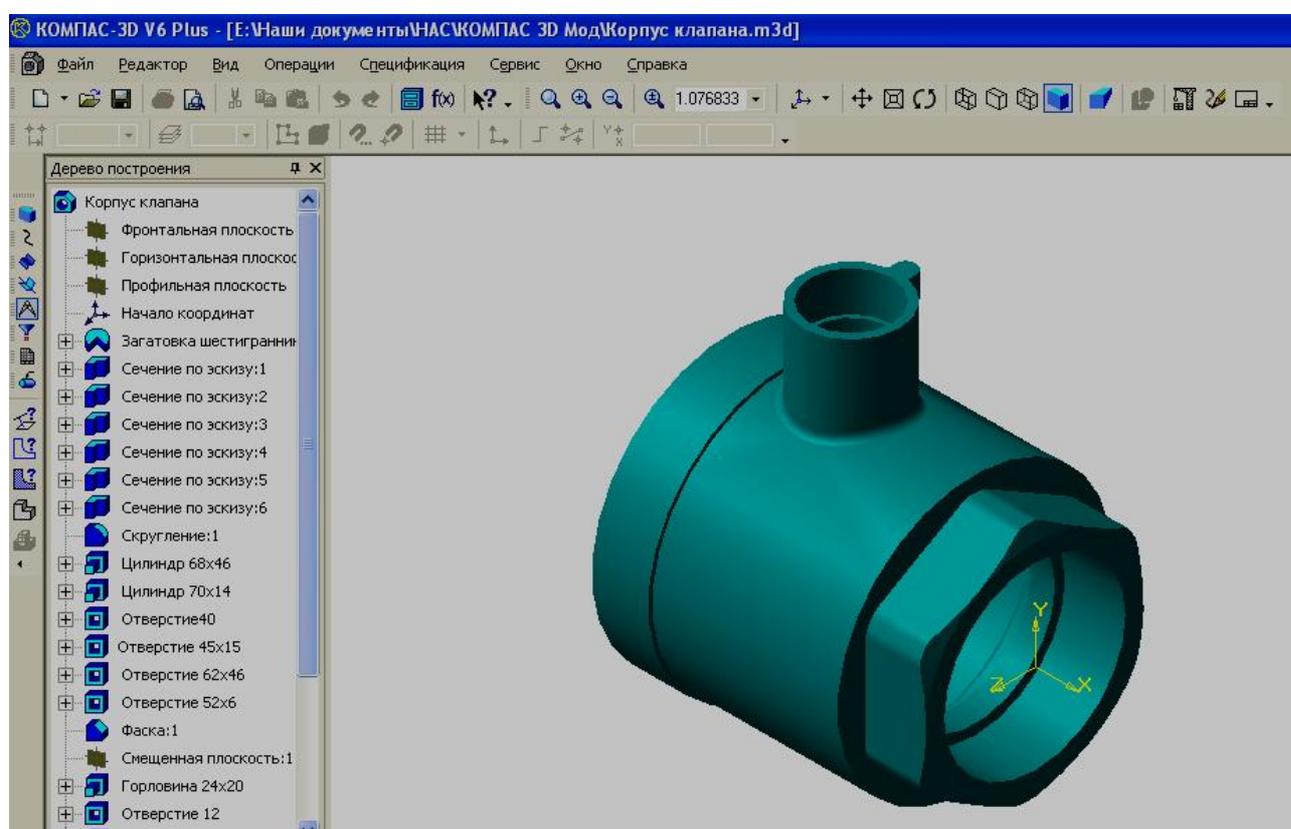


Рис. 2.1

Строка падающего меню расположена в верхней части рабочего окна. Каждый заголовок объединяет определенную группу команд, которая открывается при подведении курсора к заголовку и нажатии мыши на левую клавишу.

Панель управления расположена ниже падающего меню и содержит ряд кнопок с пиктограммами, соответствующими определенным командам управления. Состав кнопок панели управления меняется в зависимости от рабочей среды, однако некоторые остаются постоянными, такие как, «Открыть документ», «Сохранить документ», «Справка» и т. д. (рис.2.2).



Рис. 2.2

Строка текущего состояния отображает текущие параметры КОМПАС -3D и так же зависит от среды (рис. 2.3).



Рис. 2.3

Рабочее поле находится в центре и занимает большую часть экрана. Оно предназначено для создания и редактирования трехмерной модели.

Строка сообщения находится в нижней части экрана и подсказывает очередное действие для выполнения текущей команды или дает пояснения для элемента, на который в данный момент указывает курсор (рис. 2.4).

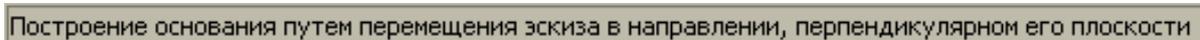


Рис. 2.4

В левой части экрана находится **инструментальная панель**, которая состоит из двух частей. В верхней части расположена **панель переключения**, которая состоит из восьми кнопок переключателей различных режимов работы, а в нижней части - **рабочая панель** того режима работы, переключатель которого находится в функциональном

состоянии. Панель соответствующего режима работ может содержать до 14 кнопок – пиктограмм для вызова конкретной команды (рис. 2.5).



Рис. 2.5

Некоторые кнопки на инструментальной панели могут быть погашены (выделены бледным цветом). Это означает, что соответствующие команды временно недоступны, то есть в данный момент не созданы определенные условия для их выполнения.

Первая кнопка на панели переключения  открывает рабочую панель **Редактирование детали**, которая показана на рис. 2.5.

Кнопка  открывает панель **Пространственные кривые** (рис. 2.6), с помощью которой можно создать цилиндрические и конические винтовые линии, пространственные ломаные линии и сплайны.



Рис. 2.6.

Кнопка  открывает панель **Поверхности** (рис. 2.7), которая содержит ряд кнопок, позволяющих импортировать поверхности, записанные в файлах форматов SAT или IGES в файл модели КОМПАС.



Рис. 2.7

Кнопка  открывает панель **Вспомогательная геометрия** (рис. 2.8), на которой расположены команды, позволяющие создавать вспомогательные объекты: оси, плоскости, линии разреза.



рис. 2.8

Кнопка  открывает панель **Измерения** (рис. 2.9), где находятся команды, обеспечивающие измерения: – линейные, угловые, периметр, площадь, а также значения массо-инерционных характеристик тел.



Рис. 2.9

Кнопка  открывает **Панель фильтров**, с помощью которой можно осуществлять динамический поиск определенного геометрического элемента.

Кнопка  открывает **Панель составления спецификации**

Кнопка **Условные обозначения**  открывают панель, на которой находится кнопка **Условное изображение резьбы** .

Некоторые команды на рабочих панелях имеют несколько модификаций.

В КОМПАС-3D кнопки таких команд отмечены черным треугольником в правом нижнем углу. Например, вспомогательная плоскость может быть построена несколькими различными способами (рис. 2.10).



Рис. 2.10

Процесс формирования модели отображается в специальном окне, которое называется «**Дерево построения**» (рис. 2.11).

Данное окно содержит специальные кнопки управления и позволяет увидеть последовательность всех операций создания модели. Можно изменять размеры и положение окна с помощью кнопок управления в правом верхнем углу. При нажатии на пиктограмму с изображением детали правой клавишей мыши, открывается контекстное меню (рис. 2.12), в котором можно выбрать команды, формирующие свойства материала виртуальной модели.

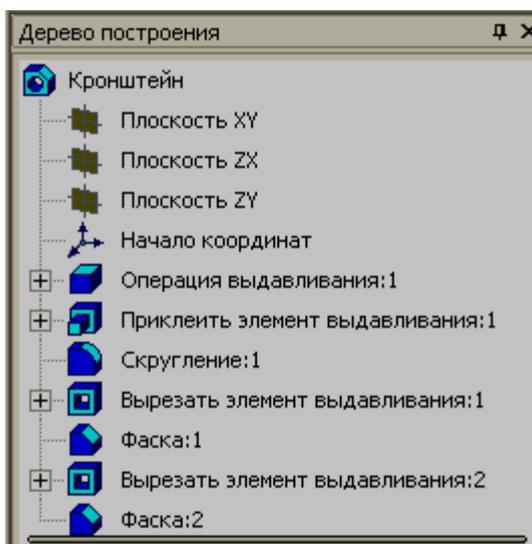


Рис. 2.11

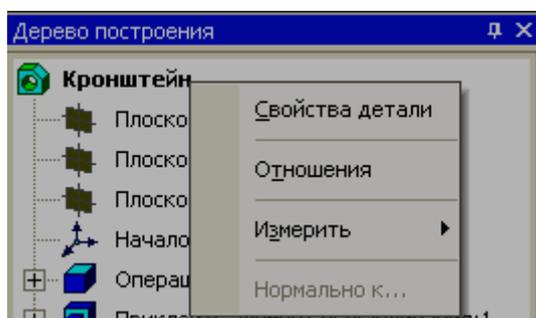


Рис. 2.12

Управление изображением модели осуществляется с помощью группы команд, находящихся в меню «Сервис» (рис. 2.13).

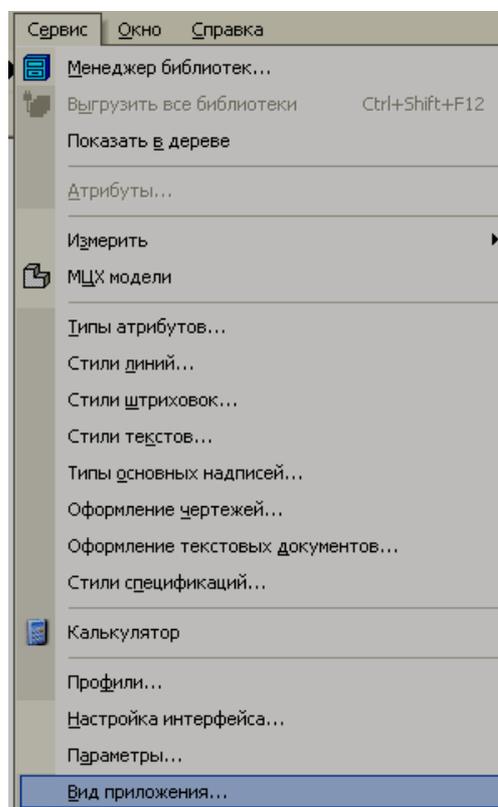


Рис. 2.13

В процессе формирования модели необходимо видеть ее с разных точек зрения. Для этого в КОМПАС-3D предусмотрены различные средства. При произвольном повороте модели используется кнопка

<Повернуть> . Вращение модели в вертикальной плоскости можно осуществить с помощью комбинации кнопок – <Ctrl>+<Sift>+<↑> или <Ctrl>+<Sift>+<↓>.

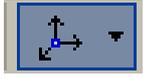
Вращение модели в горизонтальной плоскости можно осуществить с помощью комбинации кнопок – <Ctrl>+<Sift>+<←> или <Ctrl>+<Sift>+<→>.

Вращение модели в плоскости экрана осуществляется с помощью комбинации кнопок – <Alt>+<←> или <Alt>+<→>.

Поворот модели на 90° в вертикальной плоскости можно осуществить с помощью комбинации кнопок – <Пробел>+<←> или <Пробел>+<→>.

Поворот модели на 90° в горизонтальной плоскости можно осуществить с помощью комбинации кнопок – <Пробел>+<↓> или <Пробел>+<↑>.

Виртуальную модель можно расположить на экране в соответствии с шестью основными видами: вид спереди; вид сверху; вид снизу; вид слева; вид справа; вид сзади. Для получения на экране соответствующего вида необходимо воспользоваться **полем управления ориентацией** создаваемой модели, которая находится в строке текущего состояния. Иногда требуется, чтобы параллельной плоскости экрана оказалась не одна из стандартных плоскостей проекций, а определенная грань модели или выбранная пользователем вспомогательная плоскость. Для ввода такой ориентации необходимо указать мышью нужный плоский объект, а затем в строке текущего состояния выбрать **Нормально к...**

Можно расширить список стандартных видов. Для этого необходимо установить свой вид и затем ввести диалоговое окно **«Ориентация вида»** (рис. 2.14), которое открывается с помощью кнопки  на

панели управления . В диалоговом окне необходимо нажать кнопку <Добавить>, и написать имя нового вида.

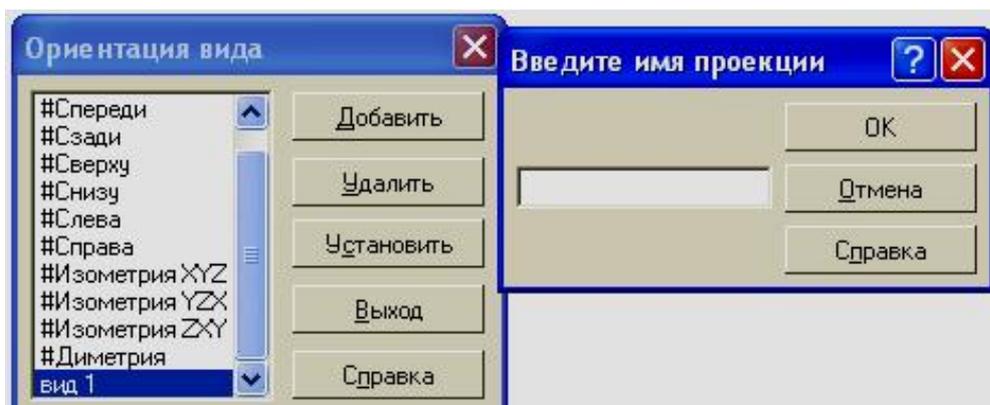


Рис. 2.14

При создании модели в любой момент времени пользователь может изменить способ ее отображения.

Для выбора способа отображения необходимо воспользоваться рядом кнопок на панели управления.

Кнопка <Каркас>  отображает модель в виде ребер и вершин (рис. 2.15).

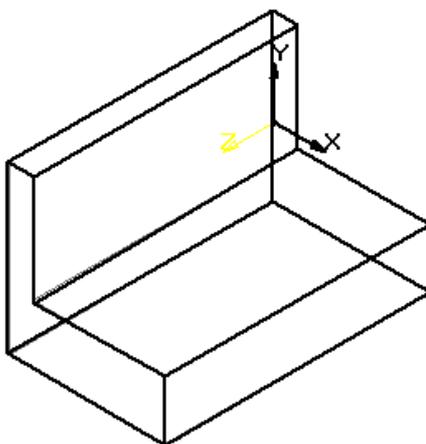


Рис. 2.15

Кнопка *<Без невидимых линий>*  позволяет отобразить модель в виде каркаса, но с удаленными невидимыми линиями (рис. 2.16).

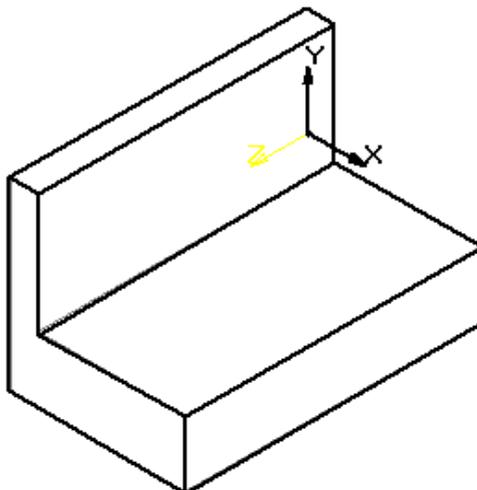


Рис. 2.16

Если все - таки в процессе формирования модели необходимо видеть скрытые от взгляда линии, но не явно, используют кнопку *<Невидимые*

линии тонкие>  (рис. 2.17).

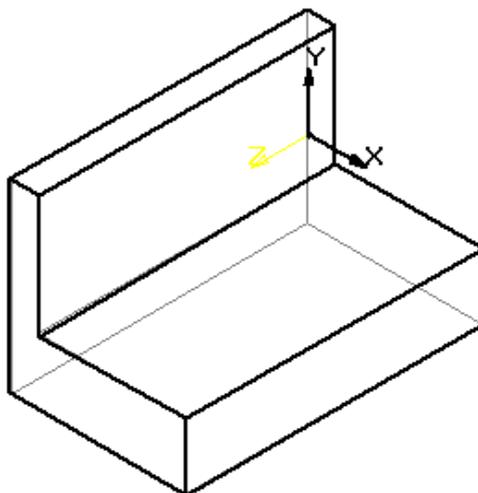


Рис. 2.17

Наиболее реалистично будет выглядеть модель, если включить кнопку

<Полутоновое> . При таком способе отображения будут учитываться оптические свойства поверхности изделия, по образцу которого создается виртуальная модель (рис. 2.18).

Кнопка <Перспектива>  позволяет расположить модель, более оптимальным способом, в соответствии с особенностями зрительного восприятия (рис. 2.19). Точка схода перспективы расположена посередине окна модели.

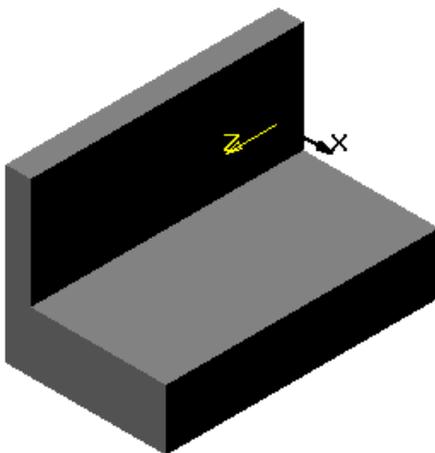


Рис. 2.18

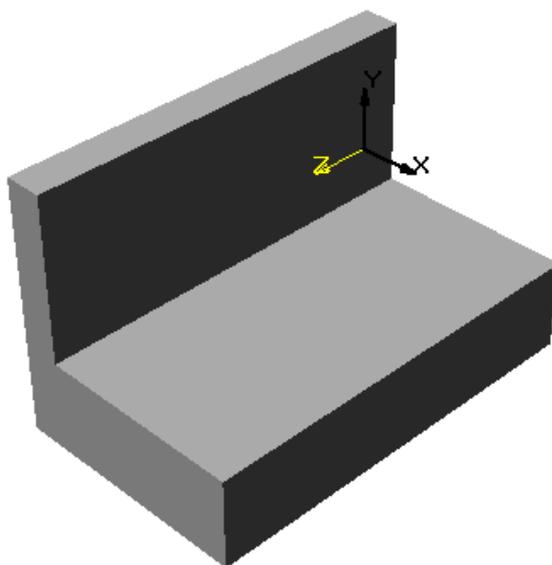
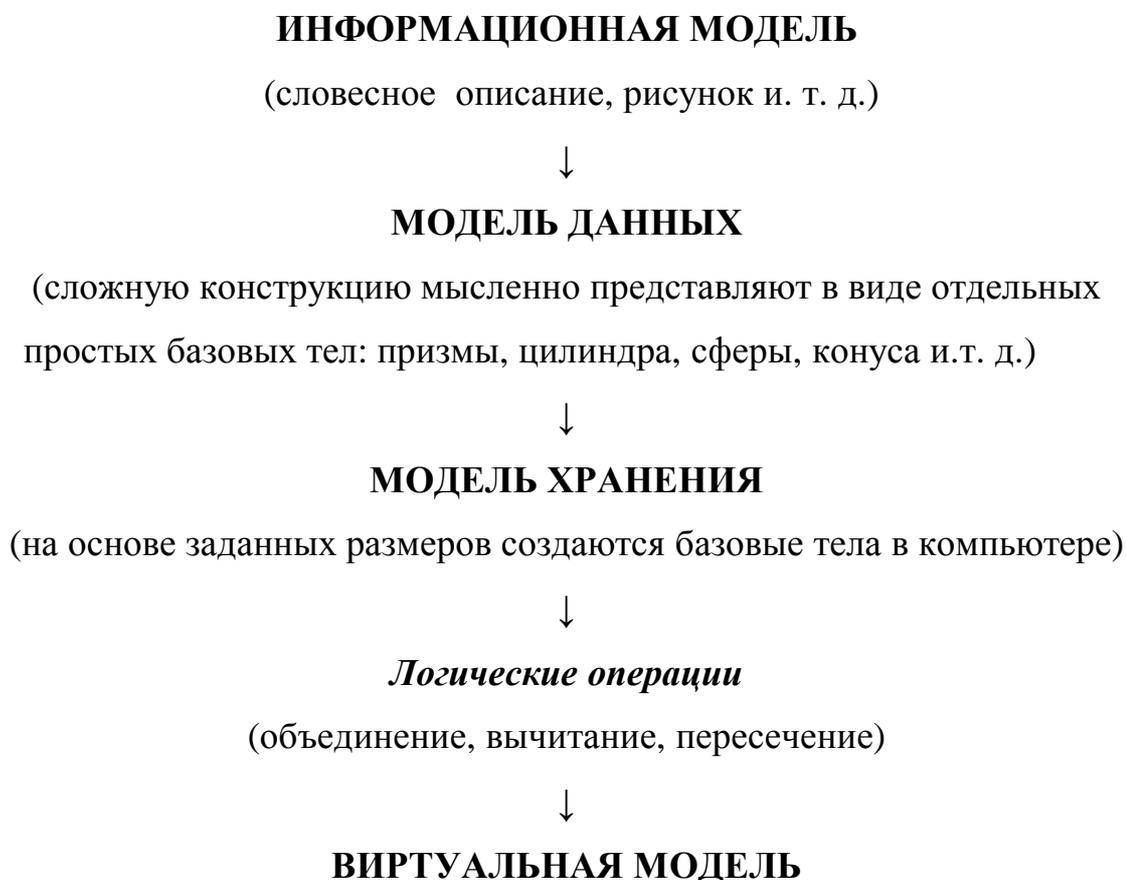


Рис. 2.19

Все команды управления изображением модели являются прозрачными. Это означает, что их можно выполнять во время действия любой другой команды, при этом выполнение другой команды будет приостановлено, а после изменения масштаба, ориентации, или способа отображения – возобновится.

2.2 Создание трехмерных моделей в КОМПАС-3D

Во всех современных системах создание твердотельной модели осуществляется по следующей схеме:



Следуя данной схеме, можно создать модель самой сложной конструкции.

Формирование объемных базовых тел в КОМПАС-3D осуществляется перемещением в пространстве плоского контура.

Перемещение прямоугольника в направлении, перпендикулярном его плоскости, позволит создать призму (рис. 2.20)

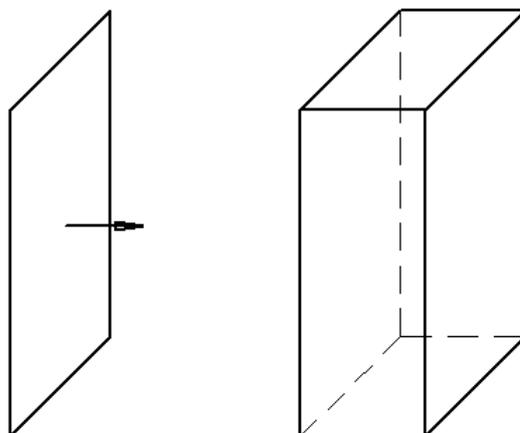


Рис. 2.20

Для создания цилиндра вращения можно воспользоваться перемещением окружности в направлении нормали, но при формировании поверхности вращения более сложной формы наиболее рационально предварительно изобразить контур с помощью ломаной линии и ось вращения (рис. 2.21), а затем выполнить поворот на 360° .

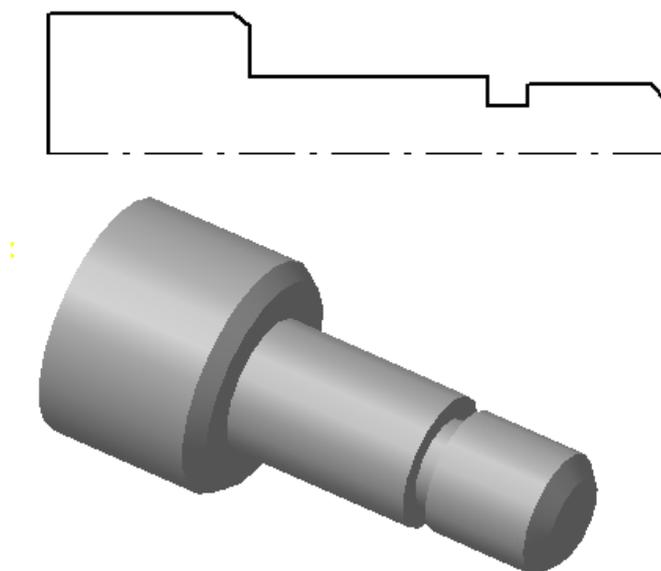


Рис. 2.21

Для создания трубчатой поверхности можно воспользоваться кинематическим перемещением окружности по направляющей линии (рис.2.22).

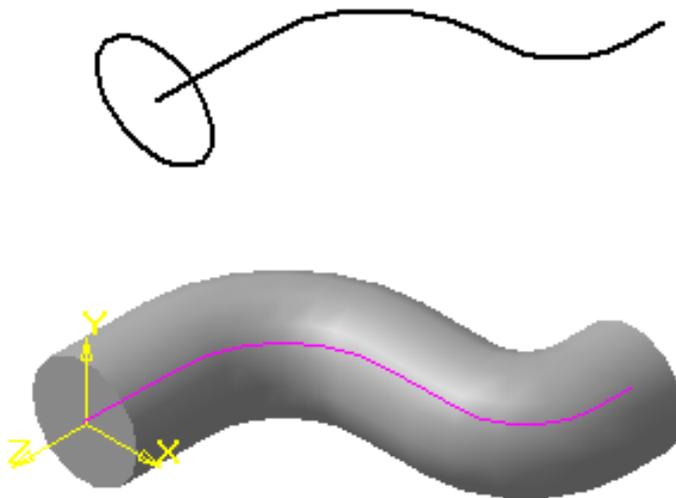


Рис. 2.22

В КОМПАС-3D плоскую фигуру, с помощью которой формируется тело, принято называть **эскизом**, а способ перемещения – **операцией**.

Эскиз располагается в одной из стандартных плоскостей проекций, на одной из плоских граней, принадлежащих модели, или на вспомогательной плоскости, положение которой определено пользователем.

Так как эскиз строится в плоскости, то для его построения используется среда создания графического документа, соответственно **инструментальная панель геометрии, редактирования, параметризации** и. т. д. Он представляет собой набор геометрических примитивов (отрезков, дуг, сплайнов). При создании эскиза можно скопировать ранее созданный фрагмент графического документа.

Основными операциями являются:

- 1. Операция выдавливания** – выдавливание плоского контура (эскиза) в направлении нормали к этому контуру (рис. 2.20);

2. **Операция вращения** – вращение контура вокруг оси (ось выполняется с типом линии **Осевая**), лежащей в плоскости контура (2.21);
3. **Кинематическая операция** – перемещение контура вдоль направляющей (рис. 2.22);
4. **Операция по сечениям** – построение трехмерного объекта по нескольким контурам (сечениям), плоскости которых расположены параллельно друг другу (рис. 2.23).

Каждая операция имеет различные модификации, которые позволяют расширить возможности конструирования модели. Например, в процессе выдавливания многоугольника можно дополнительно задать направление и угол уклона, и тогда вместо призмы можно получить усеченную пирамиду.

Кроме того, если конструкция сложная, то основных операций для ее создания бывает недостаточно. Такая конструкция получается объединением (добавлением) и вычитанием дополнительных объемов. Построению каждого дополнительного объема предшествует создание нового контура (эскиза). Примерами добавления объема могут служить выступы, ребра жесткости, бобышки, а примерами вычитания объема – отверстия, вырезы, канавки, проточки и. т. д.

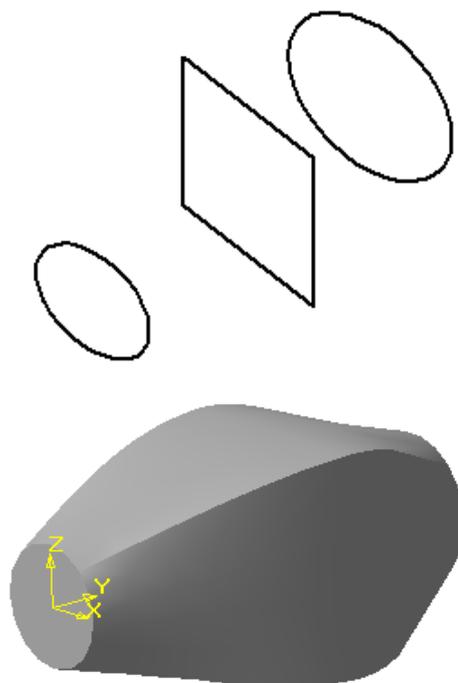


Рис. 2.23

В процессе конструирования объемных моделей удобно пользоваться следующей терминологией:

Грань – гладкая часть поверхности (плоская или криволинейная).

Ребро – прямая или кривая линия пересечения двух соседних граней.

Вершина – точка пересечения ребер.

Тело модели – область пространства, ограниченная гранями модели. Этой области присваиваются свойства материала, из которого впоследствии будет изготовлена деталь. По созданной таким образом модели можно легко определить массо-инерционные характеристики и выполнять прочностные, тепловые и другие расчеты.

Создание новой модели необходимо начинать с анализа информационной модели и мысленного расчленения ее на отдельные простые тела (призму, цилиндр, конус и т.д.) Далее следует определить базовое тело, к которому затем будут добавляться и вычитаться другие элементы конструкции.

Начинают создание модели с базового тела. Для входа в среду трехмерного моделирования нажимаем кнопку *< Деталь >* . На экране появляется окно новой детали. Диалоговое окно «**Дерево построения**» при этом будет содержать наименование детали (по умолчанию **Деталь**), три стандартные плоскости, значок, символизирующий начало координат.

Начинают построение с создания контура (эскиза) базового тела, для этого в дереве построения выбираем элемент **Плоскость XY** (фронтальная плоскость) и щелчком мыши вводим условное изображение ее. Можно выбрать другую плоскость (**Плоскость ZX** (горизонтальная), **Плоскость ZY** (профильная)). Расположение плоскостей совпадает с расположением стандартных, принятых в инженерной графике, однако расположение осей отличается от общепринятых, и выбирается согласно расположению осей на экране дисплея. Выбор не будет влиять на форму и размеры будущей модели, от него будет зависеть лишь ориентация в пространстве.

Плоскость на экране отображается в виде прямоугольного фантома зеленого цвета, который перемещается в пространстве с помощью **поля ориентации**. По периметру и в центре фантома располагаются базовые точки, которые можно перемещать в разные стороны, при этом прямоугольник будет увеличиваться или уменьшаться. Центральная точка определяет положение прямоугольника, а все остальные его ширину и высоту (рис. 2.24). Так как фантом только символизирует плоскость, а она бесконечна, то построения могут располагаться по всему экрану независимо от размеров прямоугольника. Если условное изображение мешает, то щелчок мыши в любом месте рабочего поля удалит фантом.

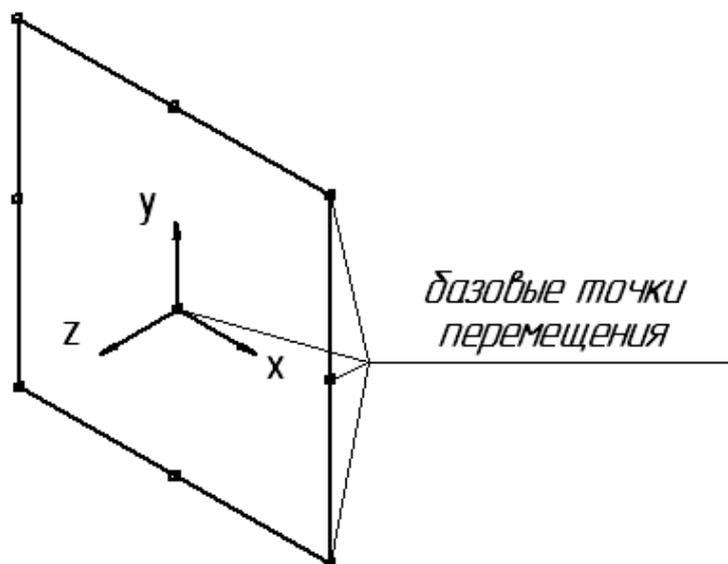
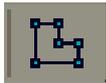


Рис. 2.24

Эскиз удобно строить, если выбранная плоскость располагается параллельно экрану, поэтому для построения во фронтальной плоскости целесообразно выбрать ориентацию - *Спереди*, в горизонтальной – *Сверху*, в профильной – *Слева*. После выбора плоскости и ориентации для построения контура необходимо нажать кнопку на панели управления

<Эскиз> , тогда система перейдет в режим **создания и редактирования эскиза**. Данный режим соответствует среде создания графических документов, поэтому в левой верхней части экрана появится инструментальная панель для **плоской геометрии**, которая подробно была описана в первой части пособия.

Так как большинство моделей строятся выдавливанием некоторого контура (эскиза), то при формировании контура важно соблюдать следующие правила:

1. Под **контуром** понимается любой линейный объект или совокупность последовательно соединенных линейных объектов (отрезков, дуг, сплайнов).

2. Контур всегда выполняется типом линии **Основная**. (Ось вращения выполняется типом линии **Осевая**).
3. Контур не должен иметь точек самопересечения, пересечения с другим контуром или линий наложения (рис. 2.25).
- 4.

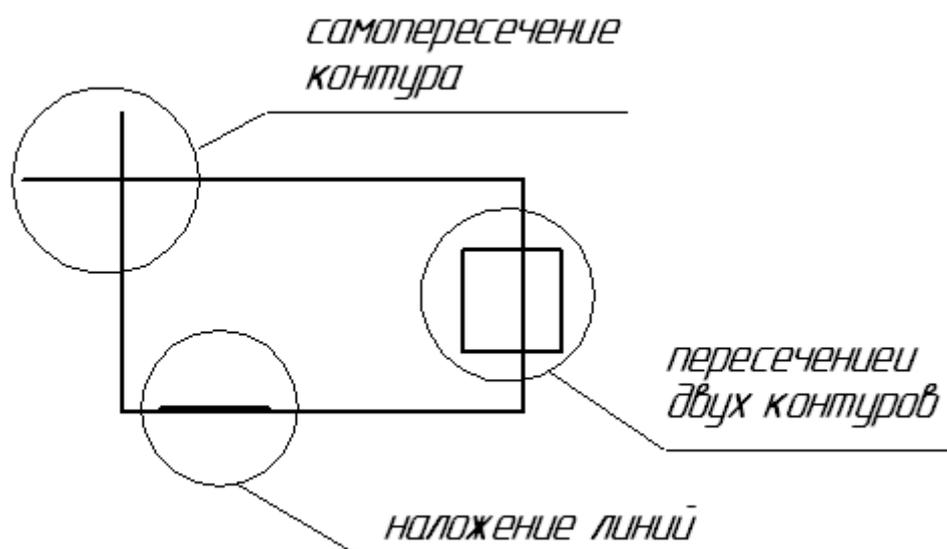


Рис. 2.25

Наиболее трудно обнаружить наложение линий, так как часто одна линия находится поверх другой. Чтобы удалить наложенную линию, можно с помощью кнопки  вырезать контур, а затем обновить изображение  и выявленную оставшуюся линию удалить, после чего с помощью кнопки **<Вставить из буфера>**  вернуть удаленный ранее контур.

5. При выполнении сплошного тела с помощью операции выдавливания контур должен быть замкнутым, в противном случае компьютер создаст тонкостенную оболочку (рис 2.26).

6. Эскиз базовой детали может содержать один или несколько контуров. Если контур один, то он может быть незамкнутым, а если контуров несколько, то все они должны быть замкнутыми. Причем один контур наружный, а все остальные вложены в него (рис. 2.27).
7. Допускается только один уровень вложения.

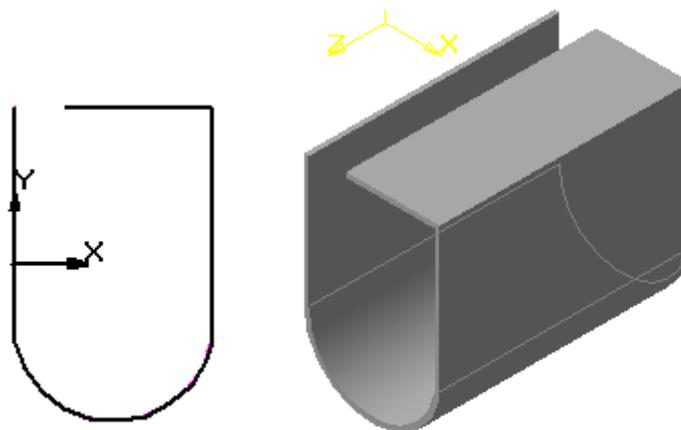


Рис. 2.26

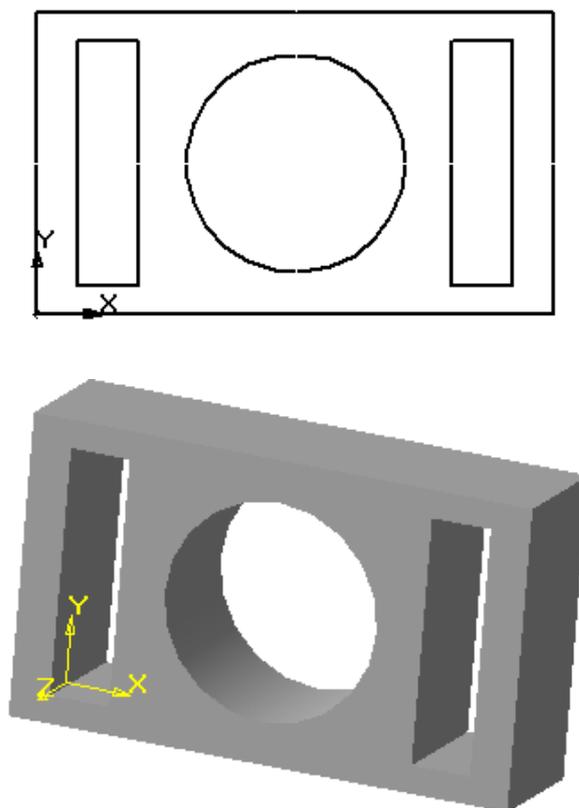


Рис. 2.27

Рассмотрим создание модели в КОМПАС-3D на примере детали цилиндрической формы (рис. 2.28)

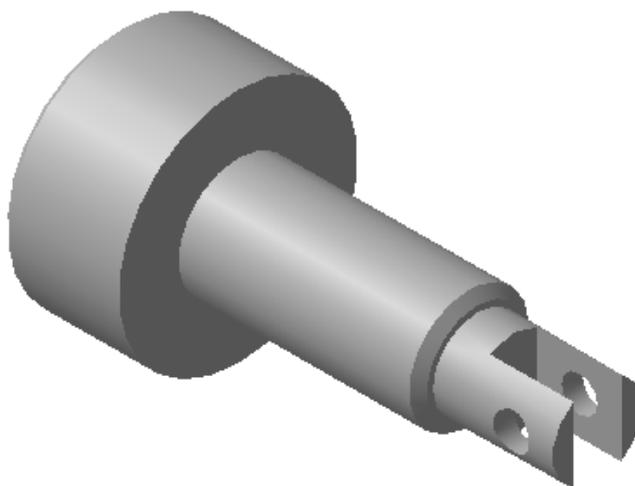


Рис. 2. 28

Начнем формирование модели с построения эскиза, который представляет собой контур половины вала и ось вращения (рис. 2.29) Используя панель геометрии, изображаем ось, затем произвольную ломаную линию, повторяющую конфигурацию вала, без соблюдения размеров.

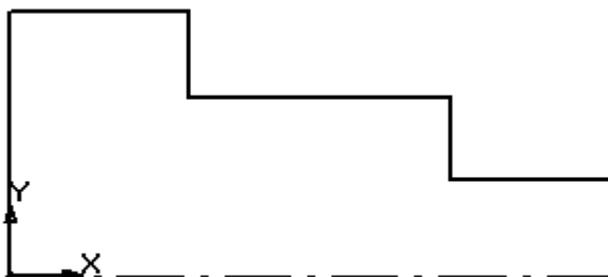


Рис. 2.29

На втором этапе проставляем параметрические управляемые размеры, используя **панель размеров**. При этом можно отключить автоматическое определение качества и предельных отклонений в диалоговом окне **«Параметры новых размеров»**, которое находится в группе команд **Параметры**. Для простановки размеров вводим линейный размер, Указываем необходимый размер двумя граничными точками или базовым объектом, используя кнопку , после чего появится фантом размера. Определим положение размерной линии и нажмем на левую клавишу мыши. При этом на экране отобразится диалоговое окно **«Установить значение размера»** (рис. 2. 30), где необходимо указать числовое значение. Изображение будет автоматически перестраиваться согласно введенному значению.

Таким образом, задаем все предполагаемые размеры будущей модели и формируем эскиз (рис. 2.31).

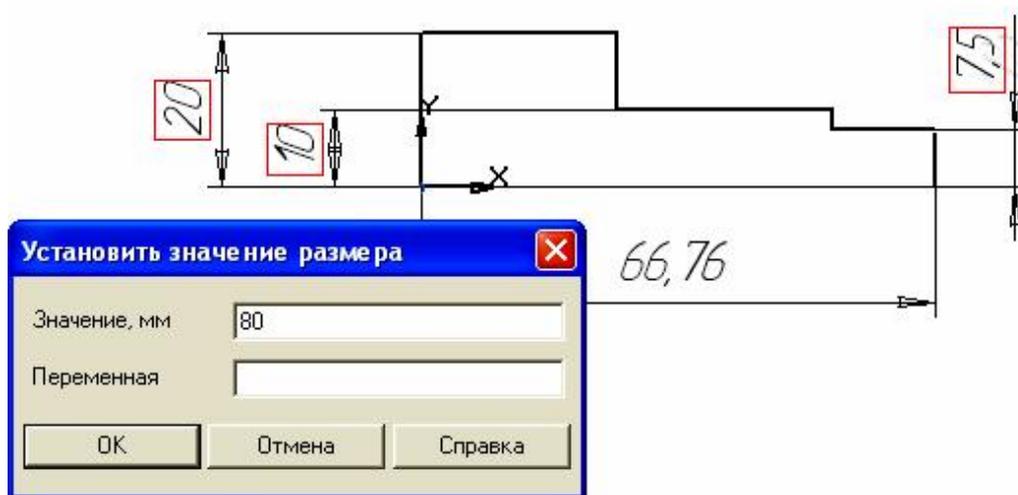


Рис. 2. 30

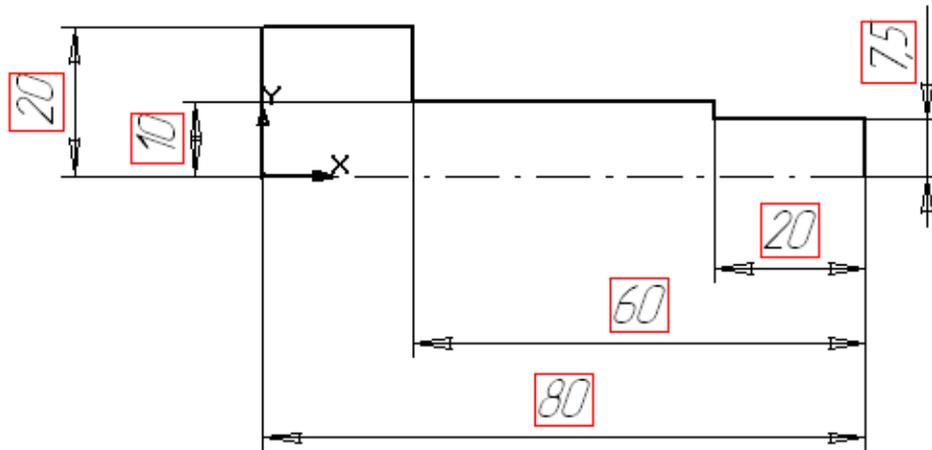


Рис. 2.31

После назначения всех размеров закрываем эскиз, нажимая на



На третьем этапе выбираем кнопку «*Операция вращения*» на панели **Редактирование детали** и в строке **параметров объектов** (рис. 2.32). Задаем все необходимые данные и нажимаем кнопку «*Создать*». Если необходимо создать сплошное тело, то выбираем **Сфероид**, затем открываем закладку *тонкой стенки* и вводим кнопку

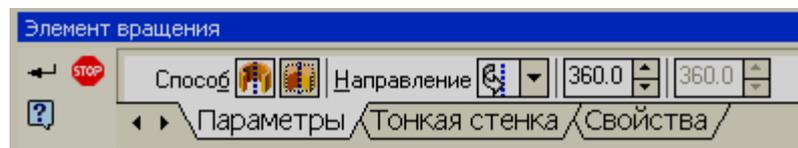


Рис. 2.32

В рабочем окне получаем изображение в виде каркаса. Устанавливаем полутонное отображение и ориентацию - *изометрия XYZ* (рис. 2.33).

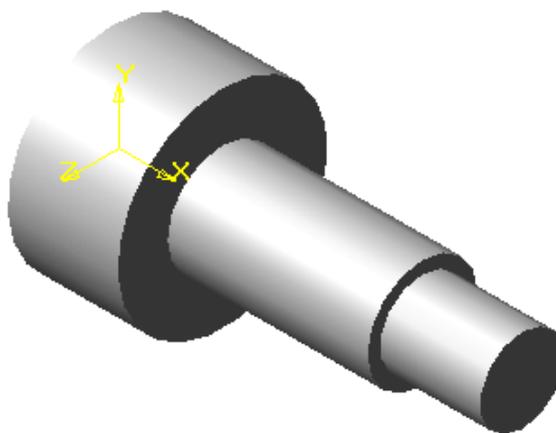


Рис. 2.33

На четвертом этапе с помощью вычитания выполним прорезь тремя плоскостями. Для этого введем новую плоскость, касательную к цилиндрической поверхности. Нажимаем кнопку «*Вспомогательная геометрия*»



, а затем кнопку «*Касательная плоскость*»



Далее следует указать на модели грань, к которой будет строиться дополнительная плоскость, а затем мышью в дереве построений указать одну из возможных плоскостей проекций. В нашем случае возможны варианты: **фронтальная** или **горизонтальная**. Выбираем – **фронтальная**. На экране появляется фантом касательной плоскости (рис. 2.34).

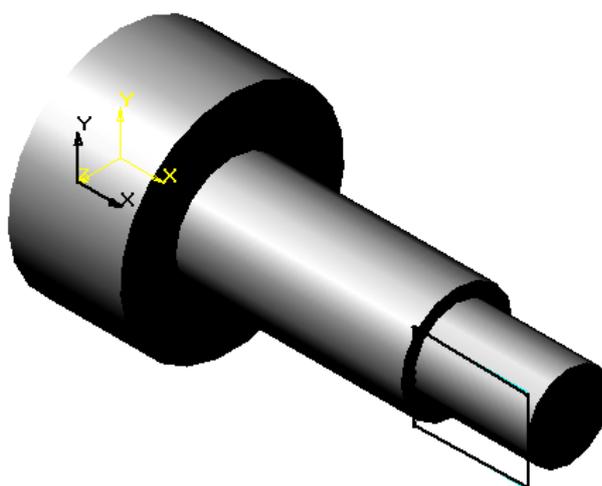


Рис. 2.34

На новой вспомогательной плоскости строим второй эскиз, профиль прорези, проставляем размеры и закрываем эскиз. Для построения эскиза можно было использовать не касательную, а фронтальную плоскость, но тогда вырезать прорезь пришлось бы в двух направлениях. На панели



Построение детали выбираем кнопку «**Вырезать выдавливанием**», на экране появляется строка **параметров объектов**, в которой устанавливаем модификацию – **Через все**, затем нажимаем закладку **вырезание** и в открывшемся диалоговом окне выбираем модификацию – **вычитание элемента** (рис.2.35) и вводим кнопку <**Создать**>.

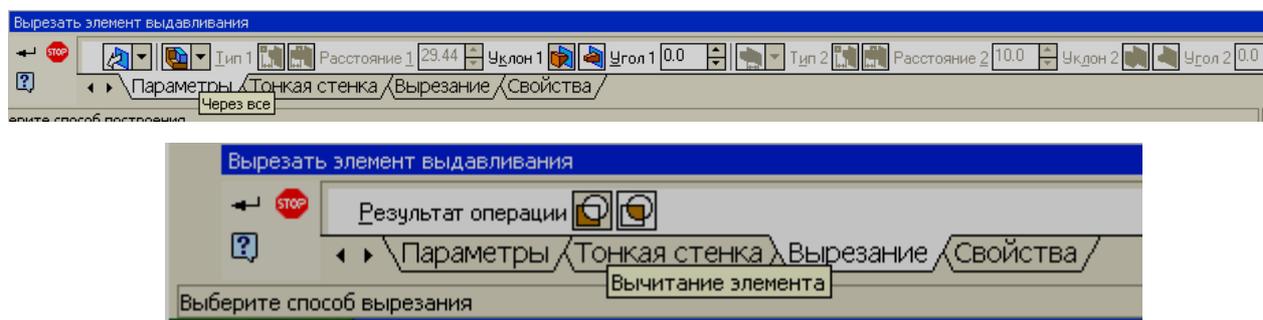


Рис. 2.35

В результате, получаем прямоугольную прорезь (рис. 2.36).

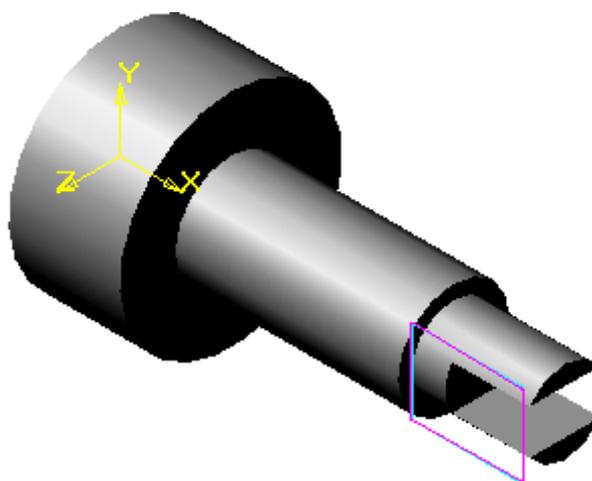


Рис. 2.36

Подобную прорезь можно построить другим способом: добавлением частей цилиндрической поверхности, которые формируются выдавливанием двух секторов окружностей. Как видим, в трехмерном моделировании имеются широкие возможности для воплощения различных конструкторских замыслов.

На пятом этапе выполним отверстия цилиндрической формы. Для этого аналогично предыдущей операции создадим еще одну вспомогательную плоскость, касательную той же грани. Только теперь, эта плоскость будет параллельна **Плоскости ZX** (рис. 2.37).

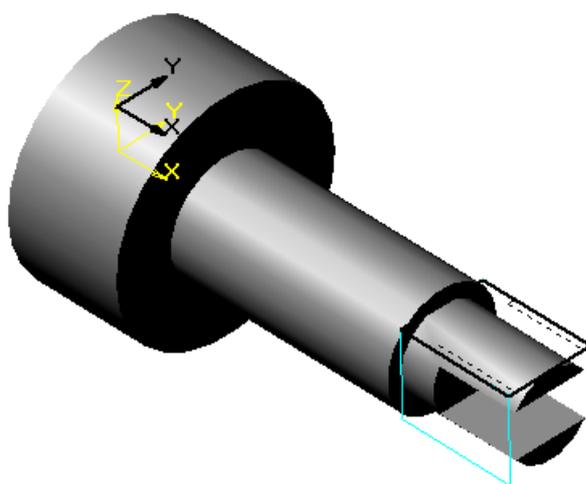


Рис. 2.37

Создаем новый эскиз на вспомогательной горизонтальной плоскости, изображаем окружность и устанавливаем с помощью размеров ее положение и диаметр, после чего повторяем операцию выдавливания (рис. 2.38).

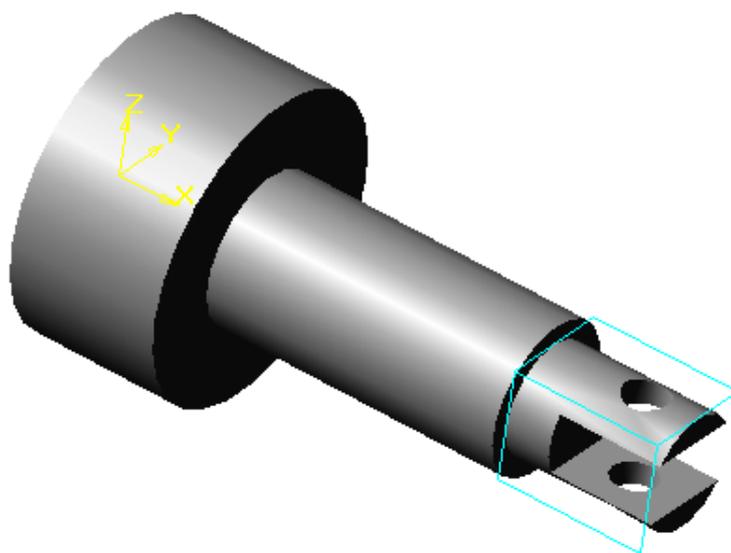


Рис.2.38

На шестом, заключительном этапе формируем фаски, для этого выбираем ребро, в нашем случае - это окружность, нажимаем на панели

Построение детали кнопку **<Фаска>** , и в строке **параметров объектов** (рис. 2.39) устанавливаем необходимые параметры, после чего мышью выбираем кнопку **«Создать»**.

Указываем второе ребро и повторяем операцию формирования фаски, в результате получаем окончательный вариант компьютерной модели вала (рис. 2.40).

Как уже указывалось выше, все операции и их последовательность можно увидеть в окне **«Дерево построения»** (рис. 2.40).

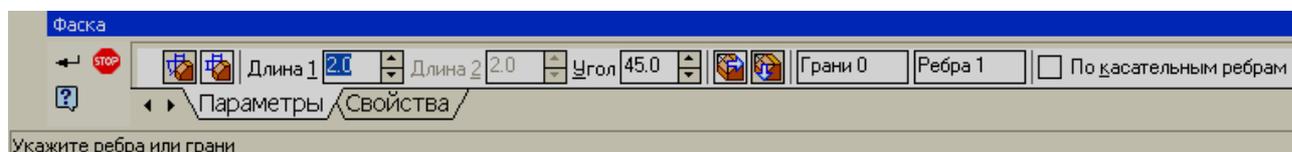


Рис. 2.39

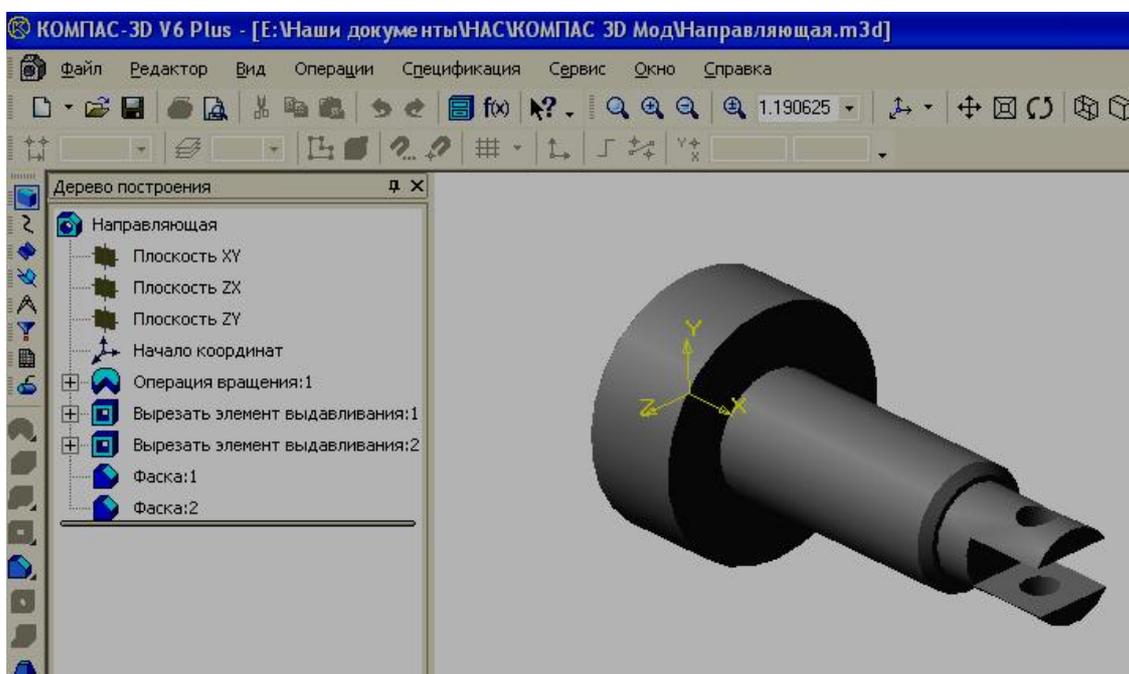


Рис. 2.40

После создания модели необходимо придать ей реалистичный вид, используя оптические свойства материала, из которого предположительно будет изготовлена деталь. Кроме этого, согласно назначенному материалу, можно впоследствии выполнить прочностные расчеты.

Для установления необходимых свойств в меню «Сервис» выберем команду **Параметры**, при этом открывается диалоговое окно (рис. 2.41).

В соответствующем текстовом поле можно ввести обозначение модели и ее название. В окне **Материалы** раскроем раздел **Стали** и выберем из списка **Сталь 40Х ГОСТ 4543 -71**.

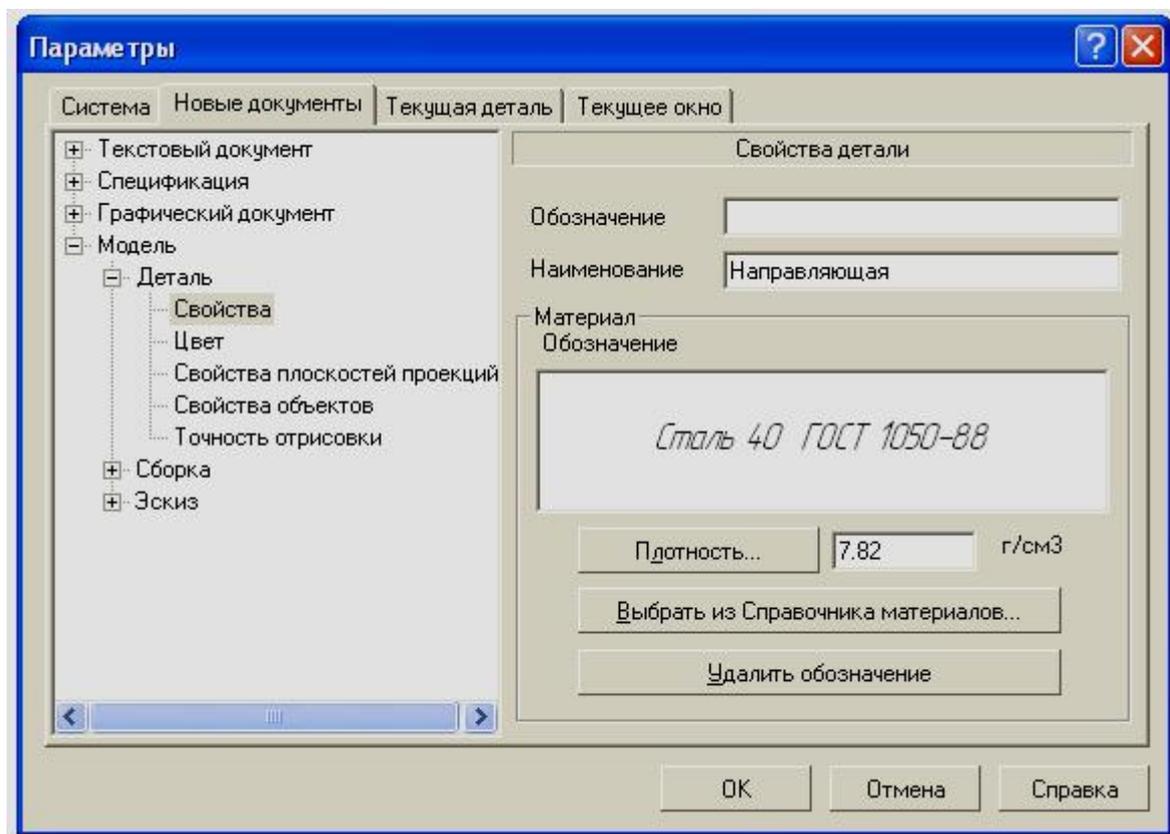


Рис. 2.41

Если нажать кнопку **«Цвет»**, то откроется другая страница диалогового окна (рис. 2.42), где можно подобрать цвет модели и ее оптические свойства.

В верхней части страницы находится окно предварительного просмотра, где изображен шар, и все внесенные корректировки автоматически будут отображаться в этом окне, что позволит визуально оценить установленные пользователем свойства детали.

Если открыть страницу **«Точность отрисовки»**, то можно увеличить или уменьшить точность аппроксимации криволинейных ребер отрезками и криволинейных граней треугольниками. Для изменения точности перемещают стрелку по специальной шкале. Если установить стрелку в крайнее правое положение – **Грубо**, то отображение будет недостаточно реалистичным, но компьютер обработает данные быстро. Если установить

стрелку в крайнее левое положение – *Точно*, то отображение будет более гладким и реалистичным, однако системе понадобится больше времени на обработку данных.

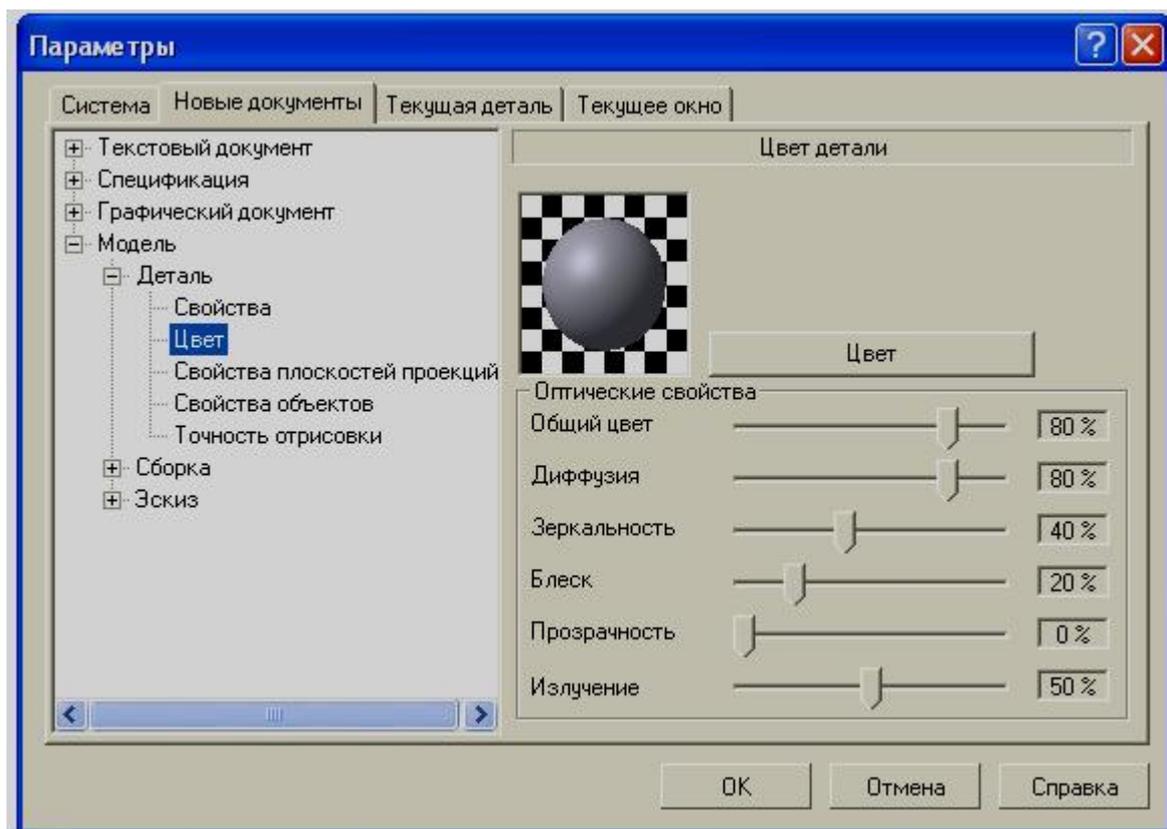


Рис. 2.42

Иногда в рекламных или иных целях необходимо создать модель с комбинированной окраской, то есть изменить окраску отдельных граней. Для этого следует выделить грань и нажать на правую клавишу мыши. На экране появится контекстное меню, в котором выбираем команду **Свойства грани** (рис. 2.43).

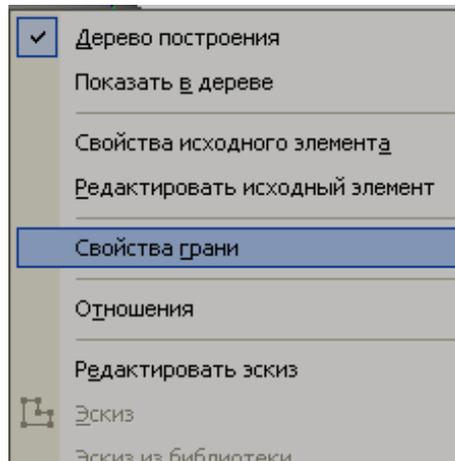


Рис. 2.43

В появившейся строке **параметров объектов** необходимо отключить флажок *Использовать цвет детали* и нажать кнопку **<Цвет>**, после чего выбрать окраску указанной грани из палитры предложенных системой цветов.

Если впоследствии необходимо выполнять прочностные расчеты, то КОМПАС-3D позволяет в автоматическом режиме получить все необходимые данные. Для этого на панели **Измерения** следует нажать

кнопку **<МЦХ модели>** , после чего появится диалоговое окно **«Информация»**. В зависимости от необходимой точности расчета нужно установить количество значащих цифр и единицы измерения строке **параметров объектов**. Дополнительно можно включить флажок *Отрисовать центр тяжести*. Результаты вычислений отобразятся в диалоговом окне (рис. 2.44). Если в момент работы с диалоговым окном

нажать кнопку , тогда положение центра тяжести будет изображаться в виде специального значка и будет хорошо видно при различных поворотах модели (рис. 2.45).

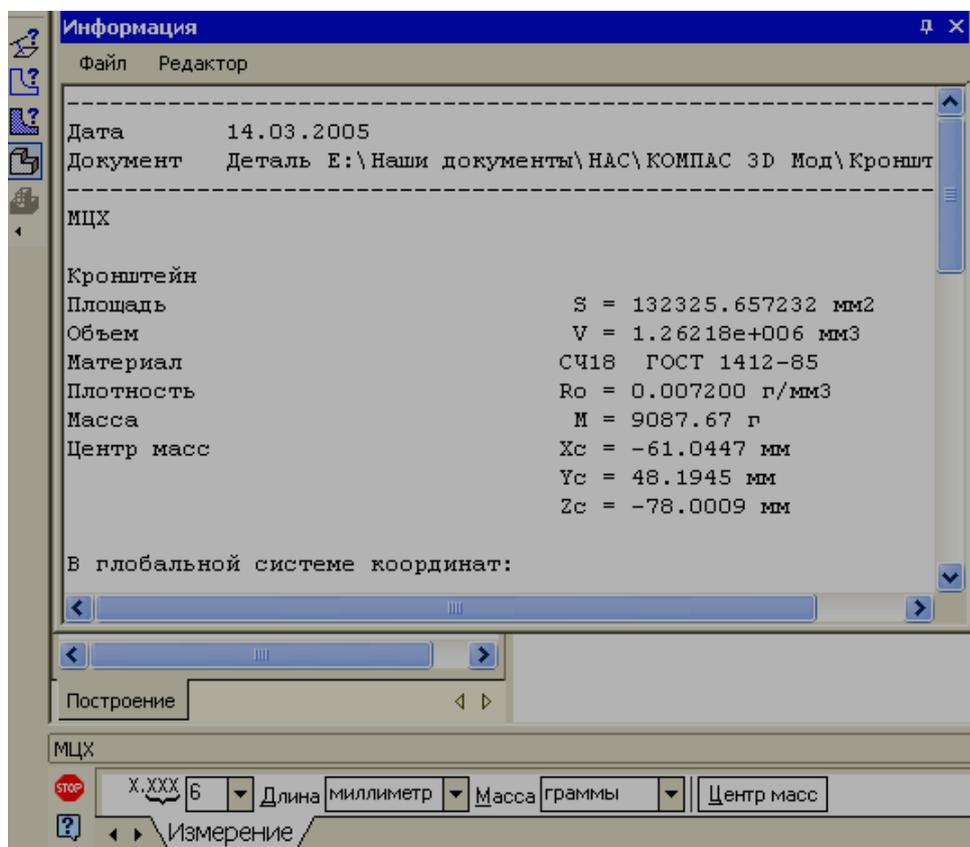


Рис. 2.44

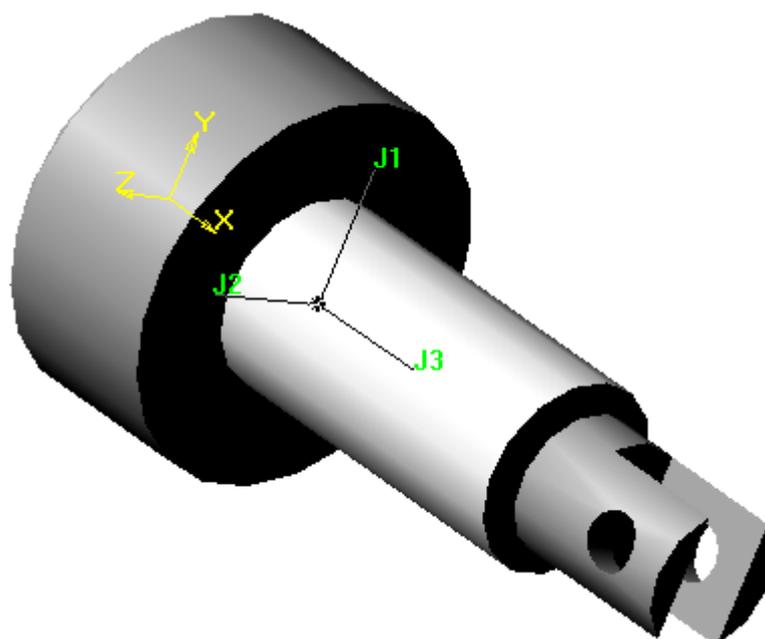


Рис. 2.45

Рассмотрим построение еще одной модели. Ее прообразом является деталь, называемая кронштейном и предназначенная для закрепления вала (рис. 2.46).

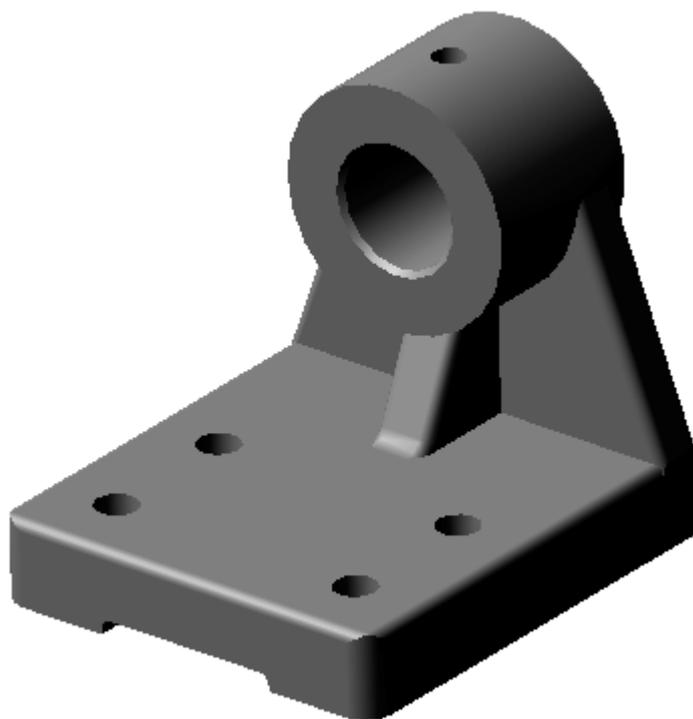


Рис. 2.46

Деталь изготовлена из серого чугуна и мысленно может быть разделена на четыре базовых тела: 1 – основание в виде параллелепипеда; 2 – направляющая, представляющая собой цилиндр с соосным отверстием; 3 – соединительная часть, в виде призмы; 4 – ребро жесткости, также представляющее собой призму.

Начнем построение модели с выбора базового элемента. За базовый элемент детали выберем – 1 призму, основание которой будем строить в горизонтальной плоскости. В дереве построений выделяем **Плоскость ZX** и нажимаем кнопку < **Эскиз** >. Создаем **Эскиз 1** –прямоугольник, проставляем размеры (рис. 2.47).

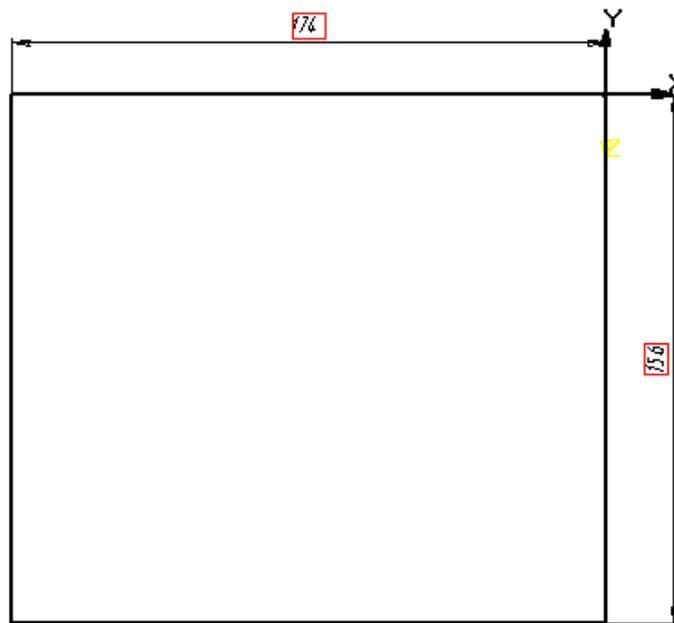


Рис. 2 47

Затем выбираем на панели **Редактирование** детали кнопку **<Выдавить>**  и в открывшейся строке **параметров объектов** задаем толщину призмы, выбираем опцию **Прямое направление** и вводим кнопку **<Создать>** (рис. 2.48).

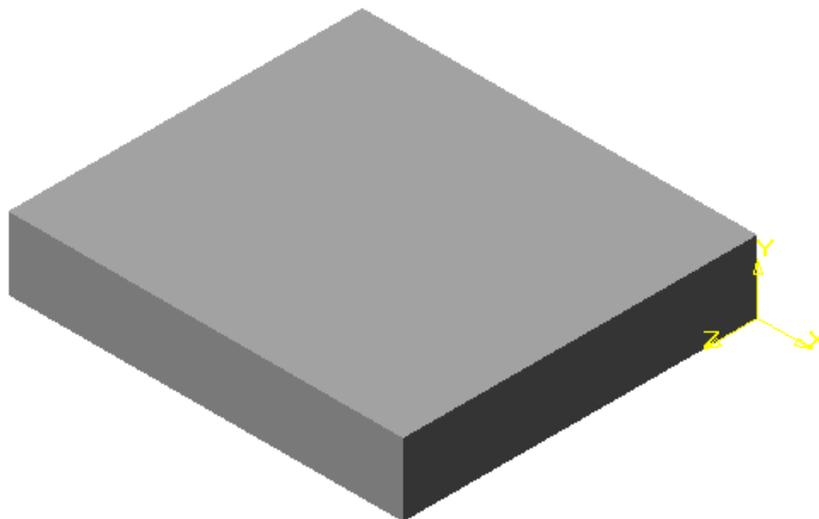


Рис. 2.48

На втором этапе одновременно формируем опорную призму 3 и ребро жесткости 4. Для этого опять вводим **Плоскость ZX** и выполняем **Эскиз 2**, задаем его размеры (рис. 2.49).

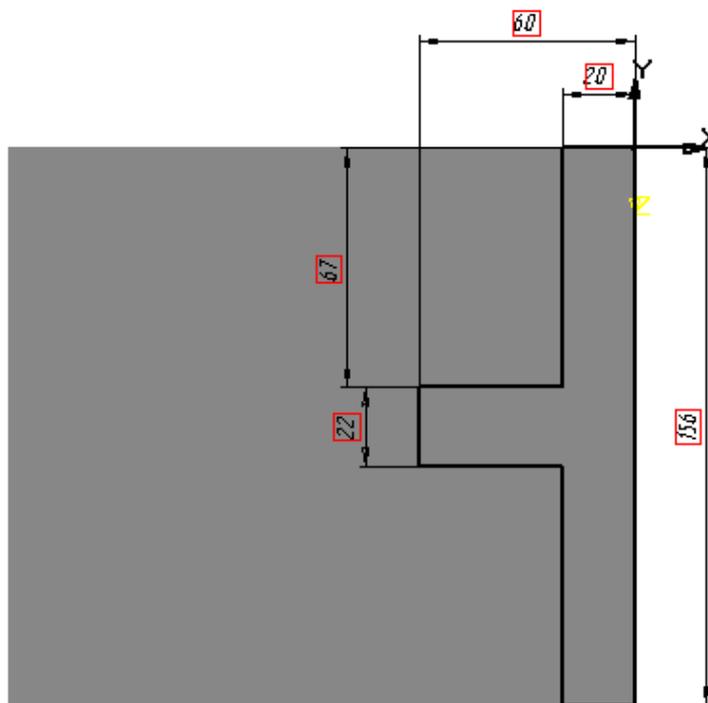


Рис. 2.49

На панели **Редактирование детали** выбираем кнопку **<Приклеить выдавливанием>**  и в строке **параметров объектов** задаем необходимые величины, выбираем опцию **Прямое направление** и вводим кнопку **<Создать>**. Получаем модель в виде, показанном на рис. 2.50

Далее выполним срезы.

В КОМПАС-3D можно удалить часть тела по границе, представляющей собой **плоскость** или **поверхность**, образованную произвольным **эскизом**.

В дереве построений выберем **Плоскость ZY** и создадим **Эскиз 3** (рис. 2.51), при этом деталь расположим в соответствии с осями координат плоского рисунка. Затем выберем на панели **Редактирование детали**

кнопку <Сечение по эскизу>  и выполним срез. Направление среза будет показано стрелкой – фантомом, если оно выбрано неправильно, можно изменить его на противоположное (рис. 2.52).

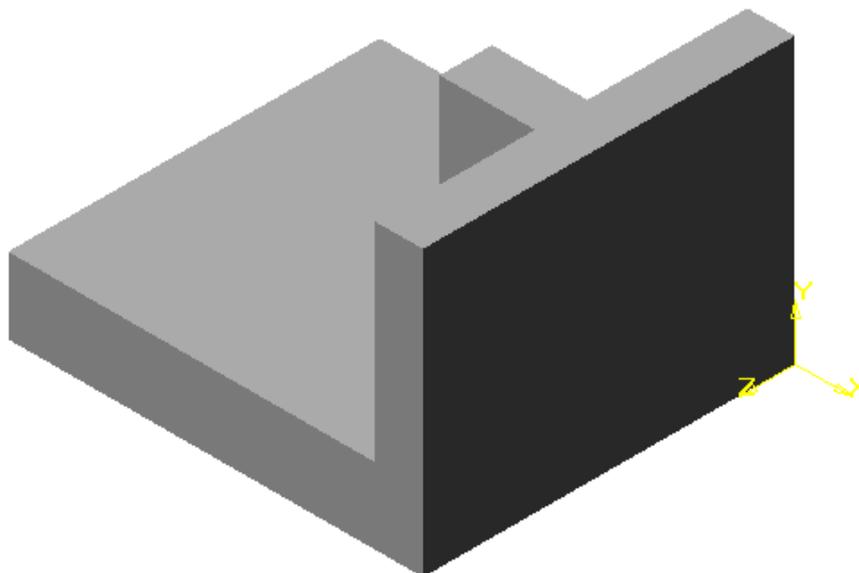


Рис. 2.50

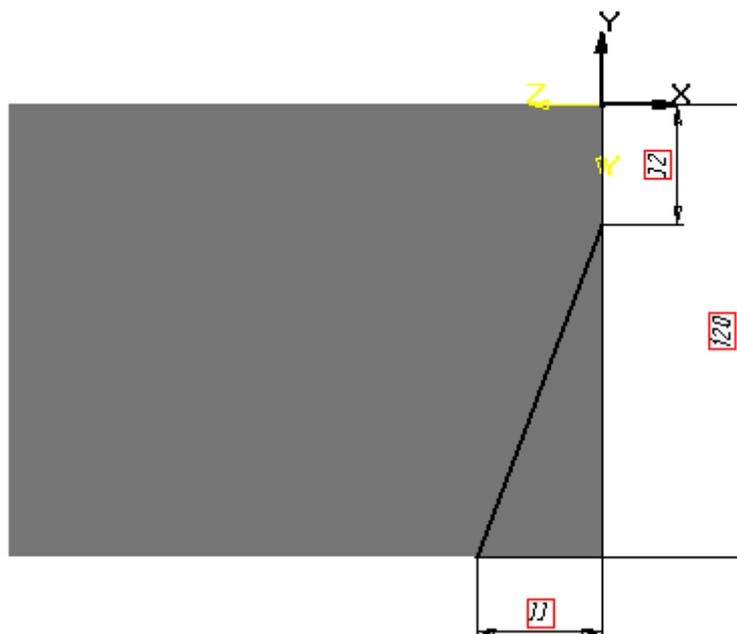


Рис. 2. 51

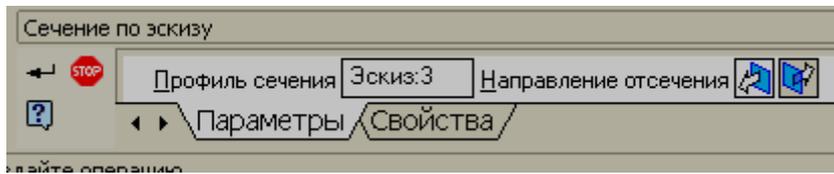


Рис. 2.52

Второй срез выполняем аналогично первому, т. е. создаем **Эскиз 4** (рис. 2.53) и повторяем операцию с помощью кнопки *<Сечение по эскизу>*.

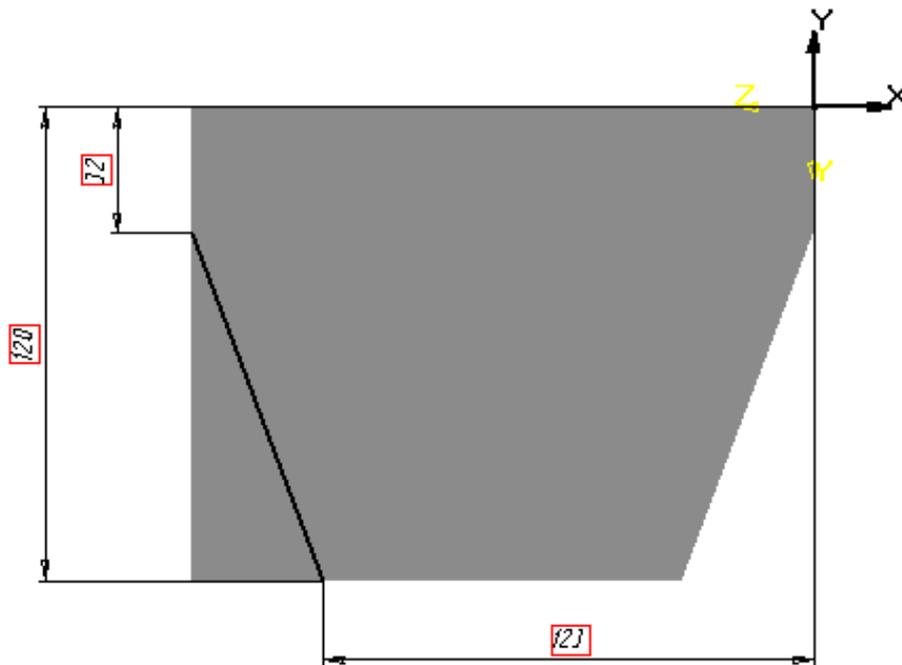


Рис. 2.53

В результате получаем модель, показанную на рис. 2.54.

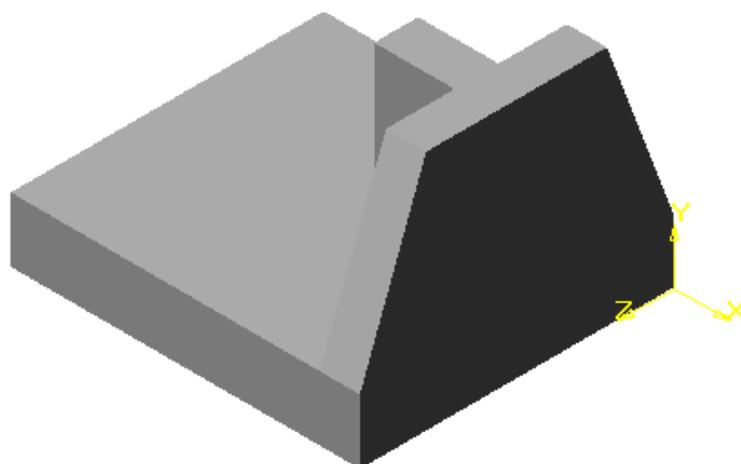


Рис. 2.54

Выполняем срез на ребре жесткости. Для этого выбираем в дереве построений **Плоскость XY** и создаем **Эскиз 5** (рис.2. 55).

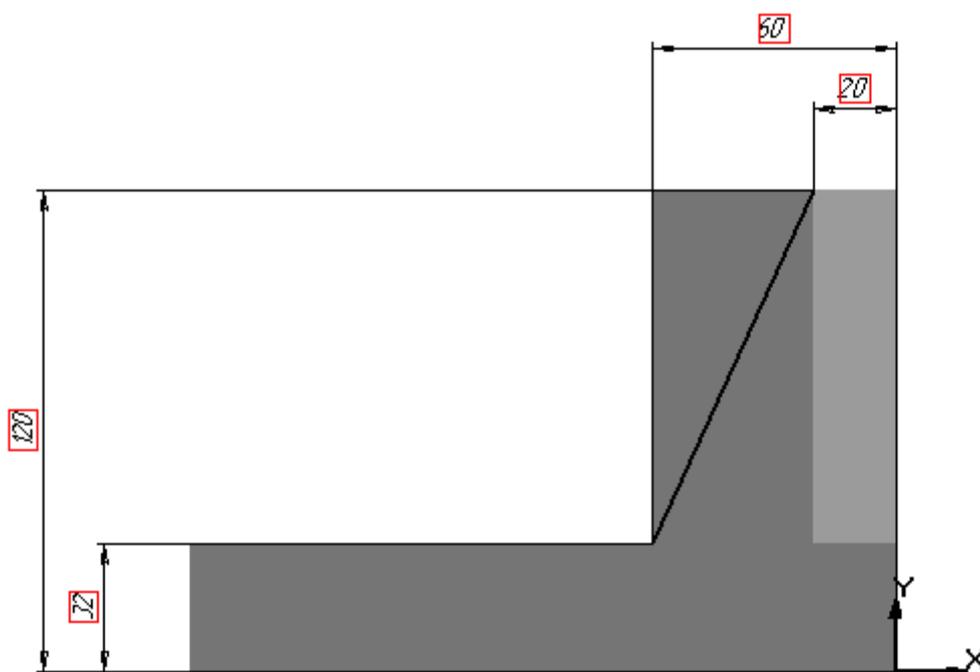


Рис. 2.55

По эскизу выполняем срез, и наша модель приобретет вид, показанный на рис. 2.56.

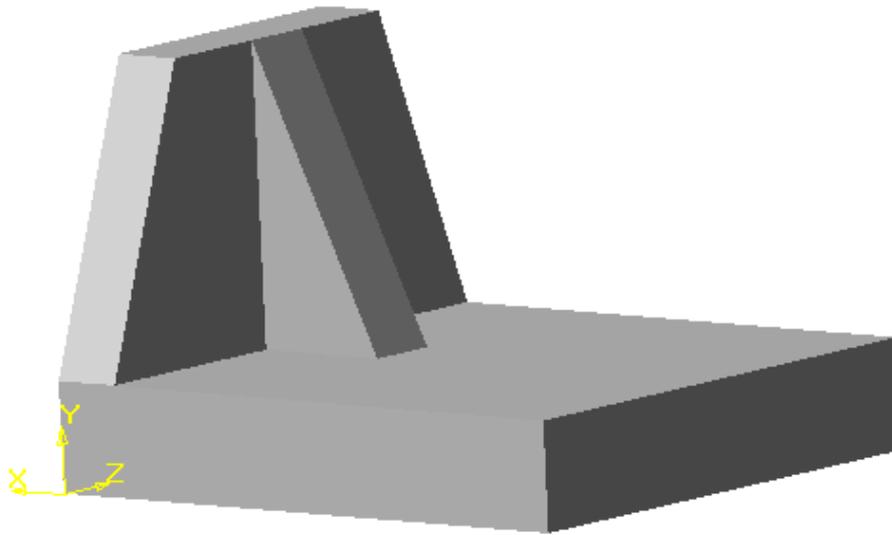


Рис. 2.56

На третьем этапе будем создавать элемент детали, называемой направляющей и состоящей из цилиндрической поверхности и двух отверстий в нем, одно из которых соосно.

В дереве построений выберем **Плоскость ZY** и создадим **Эскиз 6** (рис. 2.57).

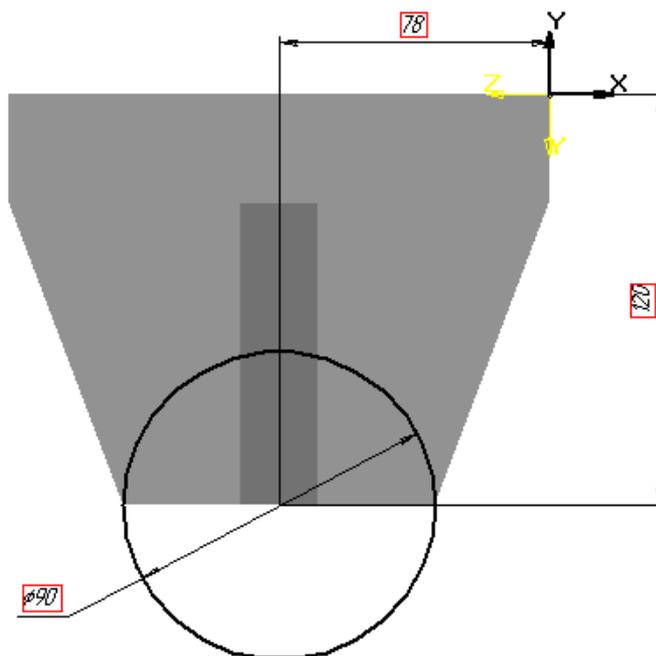


Рис. 2.57

На панели **Редактирование детали** выбираем кнопку

<Приклеить выдавливанием>  и задаем параметры выдавливания (рис. 2.58). Операция выдавливания будет выполняться в двух направлениях. В результате получаем модель, изображенную на рис. 2.59.



Рис. 2.58

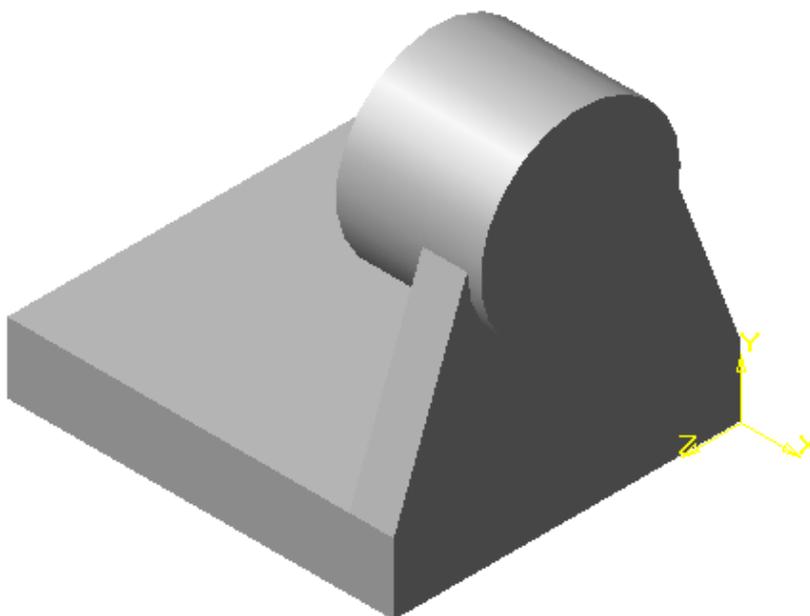


Рис. 2.59

Далее на **Плоскости ZY** формируем **Эскиз 7** в виде окружности, диаметр которой равен диаметру отверстия. На панели **Редактирование**

детали выбираем кнопку **<Вырезать выдавливанием>**  и задаем параметры. Получаем модель, изображенную на рис. 2.60.

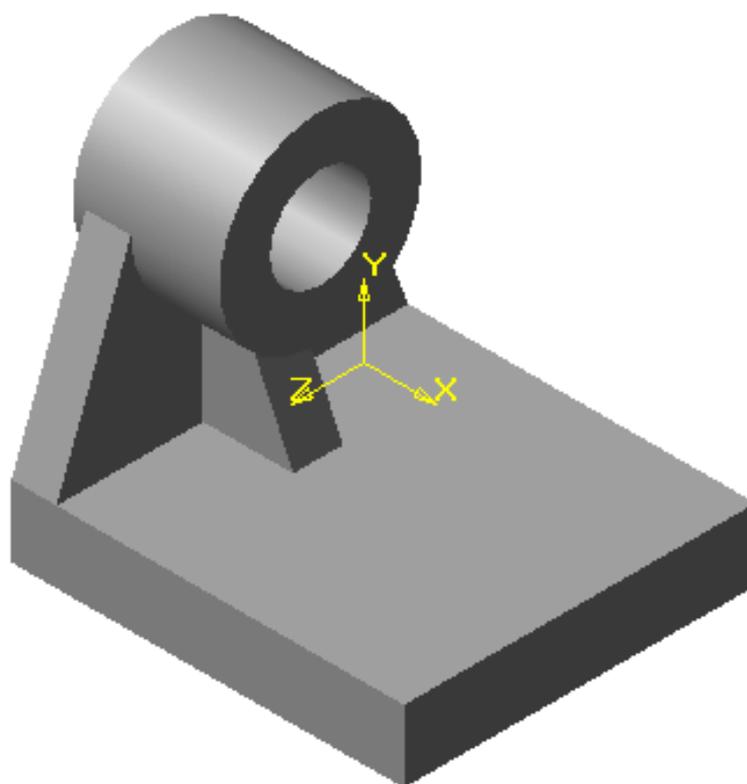


Рис. 2.60

Для того чтобы выполнить отверстие в верхней части направляющей, создадим смещенную плоскость. На панели **Вспомогательной геометрии** нажимаем кнопку *<Смещенная плоскость>*  и в качестве базовой выбираем **Плоскость XY**, а затем величину смещения, которая должна равняться высоте всей детали. На созданной таким образом дополнительной плоскости выполняем **Эскиз 8** (рис. 2.61) и операцию **Вырезать выдавливанием**.

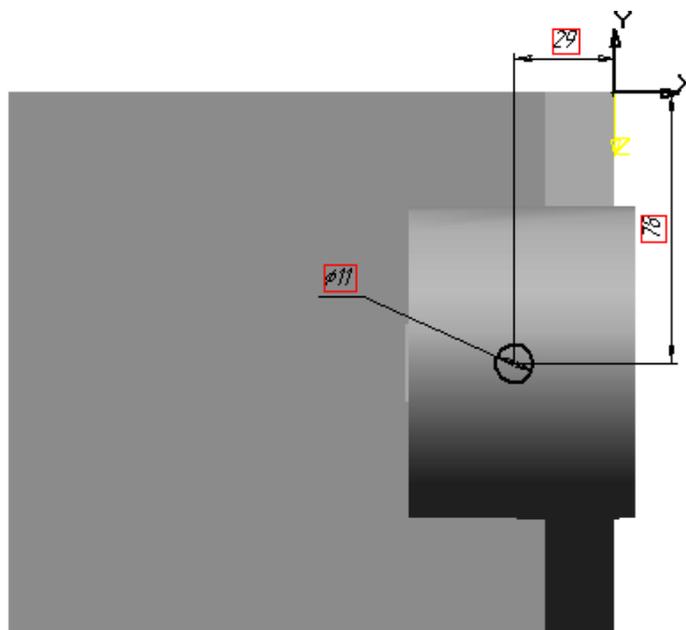


Рис. 2.61

Далее выполним отверстия в основании кронштейна. В дереве построений вводим **Плоскость XY** и создаем **Эскиз 9**(рис. 2.62).

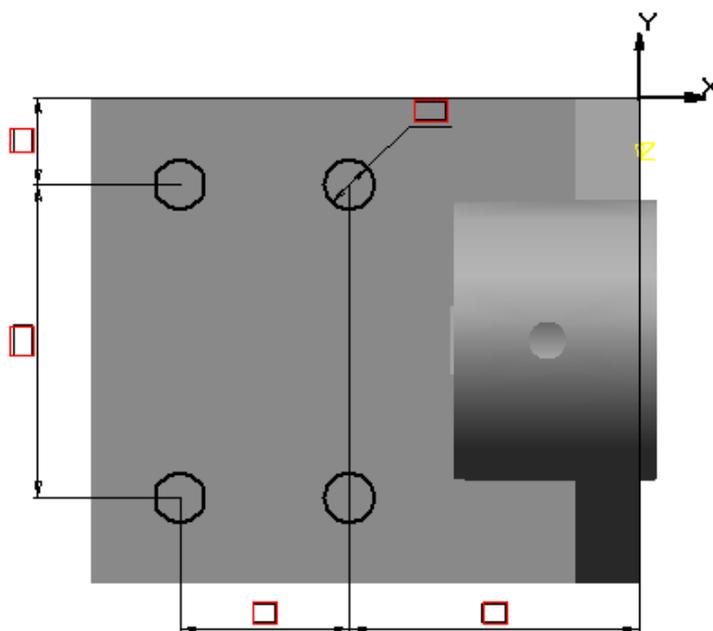


Рис. 2.62

Применим операцию **Вырезать выдавливанием** и получим отверстия для крепления кронштейна (рис. 2.63).

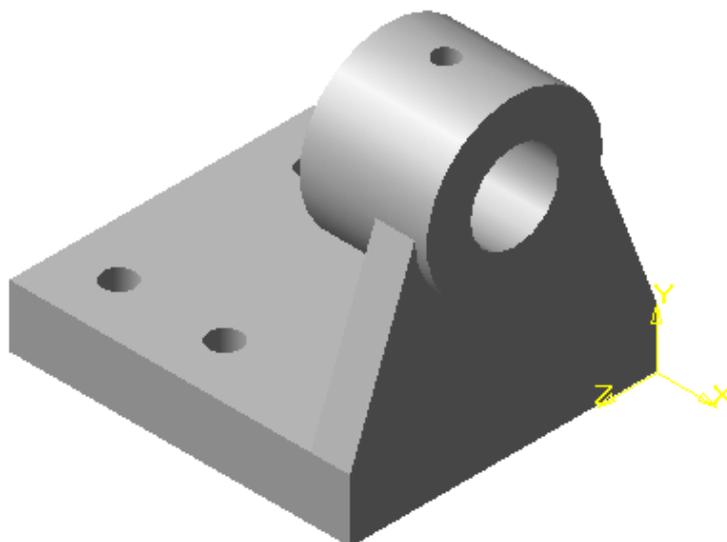


Рис. 2.63

В заключение формируем в основании прорезь. В дереве построений вводим **Плоскость ZY** и выполняем **Эскиз 10** (рис. 2.64), а затем повторяем операцию **Сечение по эскизу**. В результате получаем модель, изображенную на рис. 2.65.

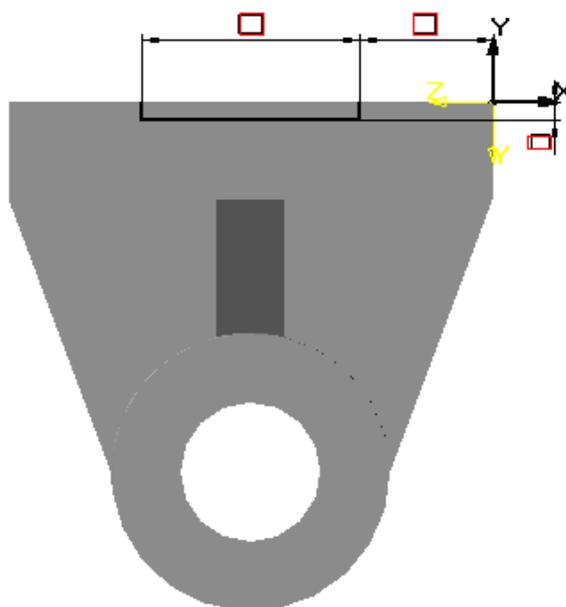


Рис. 2.64

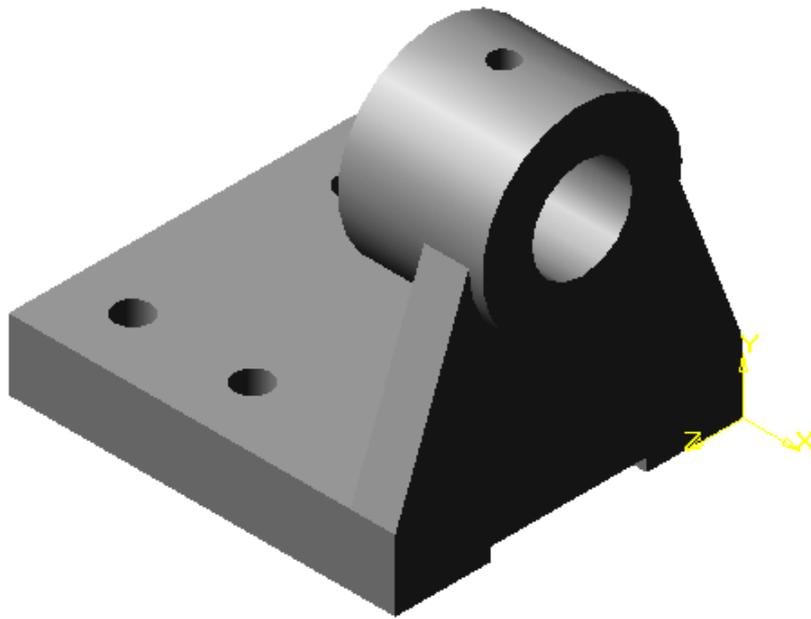


Рис. 2.65

Для того чтобы модель приобрела законченный вид, выполняем сопряжения и фаски, а затем открываем диалоговое окно, в котором устанавливаем название детали и материал, из которого впоследствии она будет изготовлена (рис. 2.66).

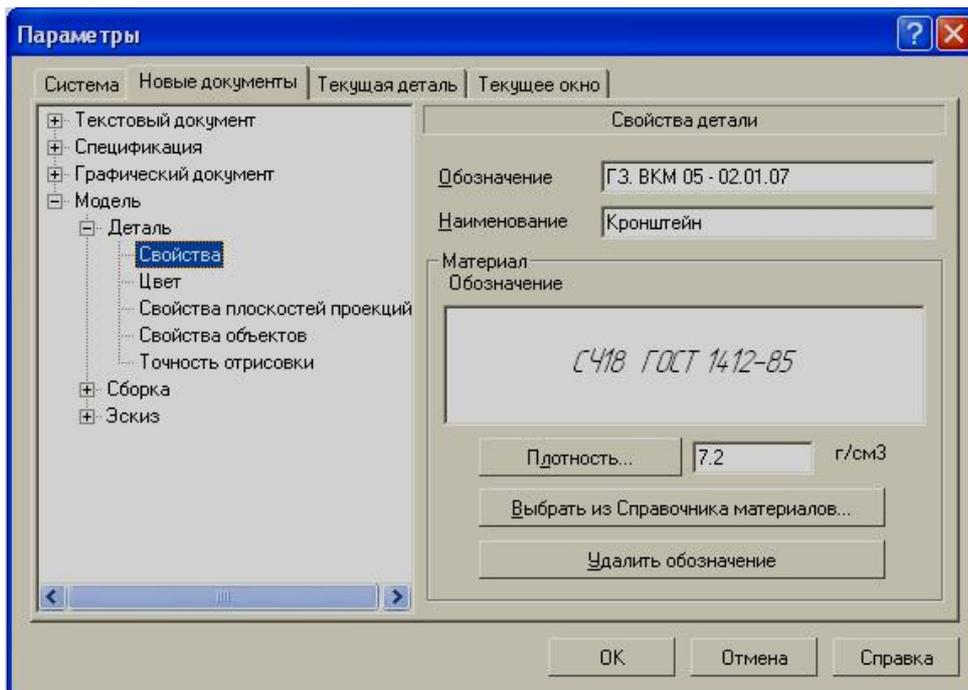


Рис. 2. 66

В конечном варианте модель приобретает вид, изображенный на рис. 2.67.

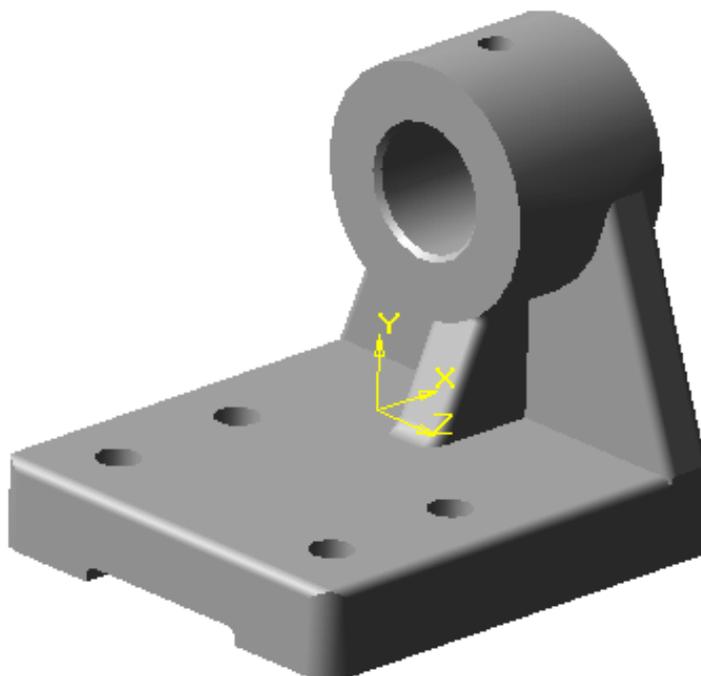


Рис. 2.67

Чтобы показать внутреннее устройство модели, можно выполнить разрез по указанной секущей плоскости, при этом часть модели будет удалена. В данном варианте за секущую плоскость целесообразно принять фронтальную плоскость. Однако, при формировании модели начало координат мы совместили с вершиной прямоугольника (рис. 2.48), лежащего в основании детали. Поэтому в качестве секущей плоскости мы выберем **смещенную фронтальную плоскость**. Величина смещения будет равна половине меньшей стороны основания.

На панели **Вспомогательной геометрии** выбираем кнопку , а в дереве построений вводим **Плоскость XY** и в строке **параметров объектов** задаем величину смещения (рис. 2.68).

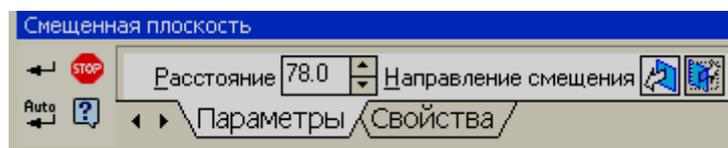


Рис. 2.68

Для создания рассеченной модели в дереве построения следует указать смещенную плоскость, а затем ввести кнопку *<Сечение*

плоскостью> , выбрать направление отсечения и нажать кнопку *<Создать>*. Чтобы выделить сечение, можно изменить цвет грани, полученной при пересечении модели плоскостью (рис. 2.69)..

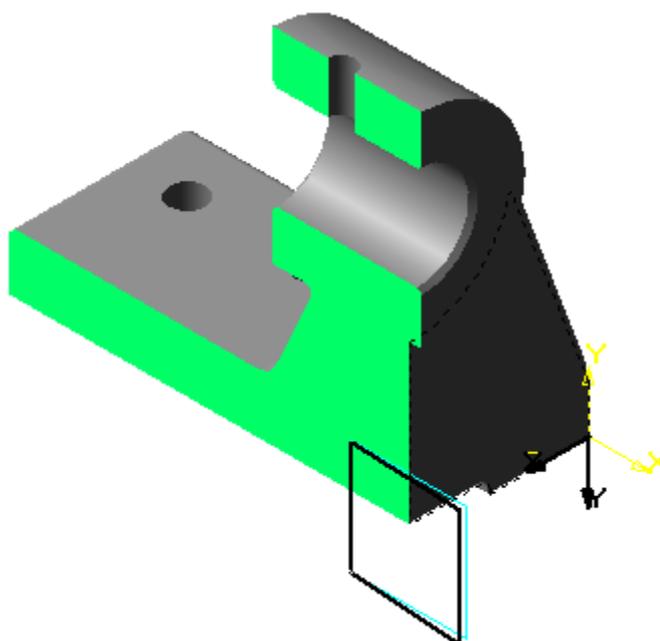


Рис. 2.69

Однако сечение по совмещенной фронтальной плоскости не дает нам полного представления о внутреннем устройстве детали, поэтому в данном случае удобно использовать ступенчатый разрез двумя параллельными плоскостями. Такой разрез детали можно получить, если выполнить его по эскизу. Вы можете удалить часть детали, находящуюся по одну сторону поверхности, перпендикулярной плоскости, в которой будет создан эскиз.

А эскиз в свою очередь является линией сечения. Создадим новый эскиз в **плоскости ZX**, которая совпадает с основанием кронштейна. Установим вид сверху, чтобы правильно определить точки, через которые будет проходить линия сечения. Эскиз сечения должен представлять собой разомкнутую ломаную линию, проходящую через опорные точки. Для правильного указания опорных точек следует выполнить настройку

Глобальных привязок. Нажимаем кнопку **<Привязки>** , которая находится в строке текущего состояния и в дополнение к уже установленным ранее привязкам следует включить привязку **Выравнивание**. С ее помощью можно указывать точки, выравнивая их по горизонтали и вертикали, относительно характерных точек объектов, существующих в эскизе. Для создания линии сечения удобнее выбрать команду **<Непрерывный ввод объектов>** на **Инструментальной панели геометрии** (рис. 2.70).

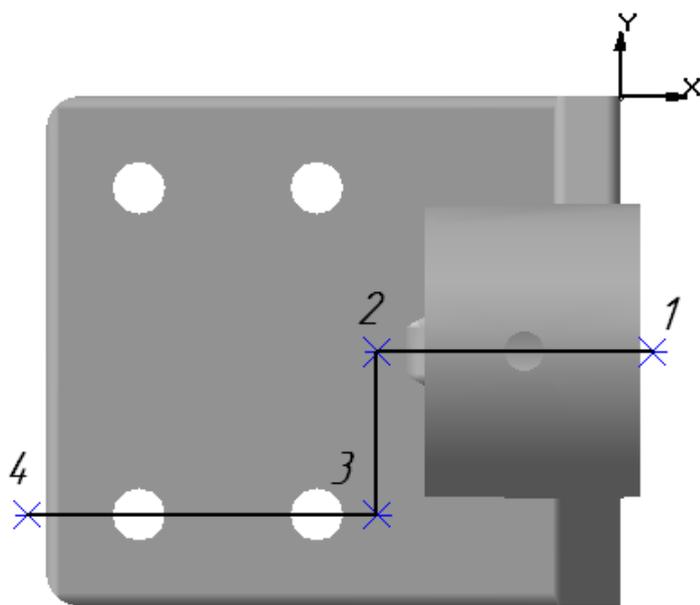


Рис. 2. 70

Если сложно привязаться к каким-либо точкам, то можно предварительно создать их по координатам, а после построения контура удалить их.

Далее выбираем на панели **Редактирование детали** кнопку *<Сечение по эскизу>*  и выполняем срез. На рис. 2.71 показана модель после выполнения сложного разреза.

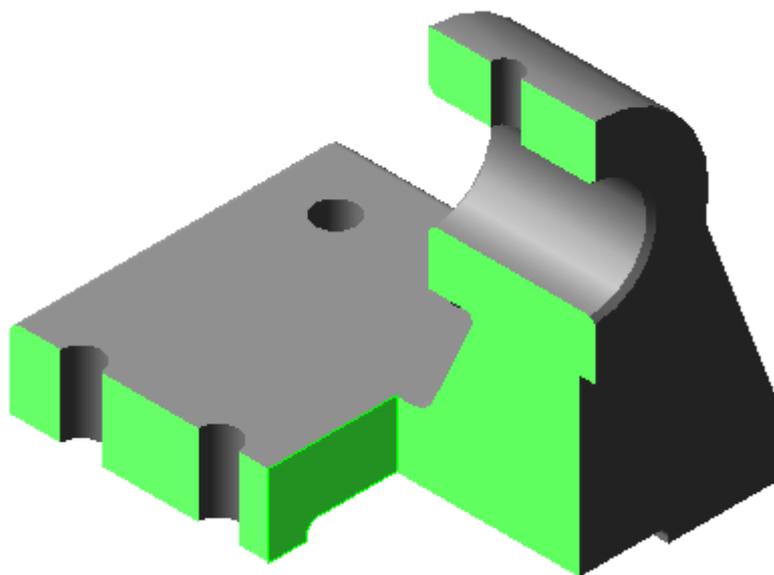


Рис. 2.71

В процессе построения сложных конструкций может быть создано много вспомогательных плоскостей, осей и эскизов, которые будут загромождать изображение модели. В КОМПАС-3D созданы специальные команды, позволяющие управлять видимостью этих элементов, при этом они по-прежнему будут отмечены в **дереве построений**.

Для удаления изображения какого-либо геометрического элемента следует выделить его в дереве построений, а затем щелчком правой клавиши мыши вызвать контекстное меню и выбрать в нем команду **Скрыть**. После этого элемент станет невидимым, а соответствующая ему пиктограмма останется в дереве построений.

В некоторых случаях для полного исчезновения вспомогательных элементов с экрана требуется сначала выделить их, а затем удалить их щелчком левой клавиши мыши в любой точке рабочего поля. Если модель окрашена, тогда исчезнувший элемент оставит след на поверхности, поэтому следует воспользоваться кнопкой **<Обновить изображение>**



Для того чтобы невидимый элемент снова появился на экране, выделите его в **дереве построений** и выполните из контекстного меню команду **Показать**.

Можно сделать невидимыми сразу все вспомогательные плоскости, оси и эскизы. Для этого можно воспользоваться командами в меню **Вид**.

Если в процессе работы вы хотите отказаться от некоторых конструктивных элементов детали, но при этом оставить право вернуться к первоначальному варианту, то можно использовать команду в контекстном меню **Исключить из расчета**. При исключении элемента из расчетов модель перестраивается так, как будто указанный элемент удален, однако информация о нем сохраняется в документе. В **дереве построения** этот элемент будет отображаться более светлым тоном, а рядом с ним появится символ «крест» (рис. 2.72).

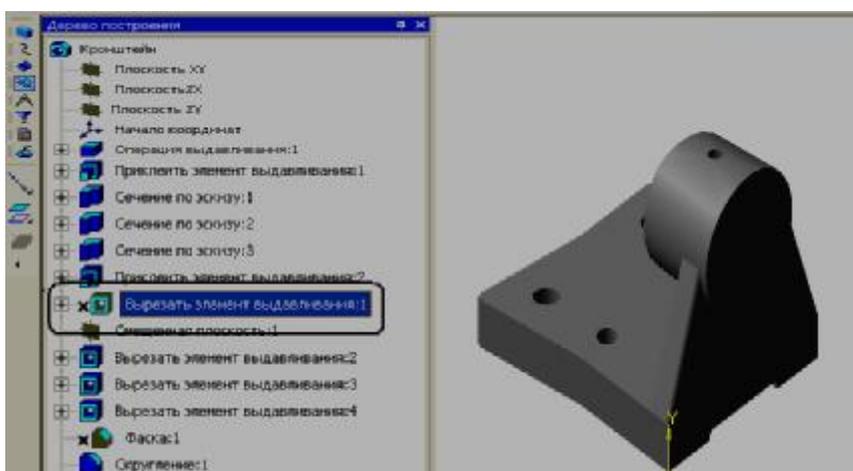


Рис.2.72

Иногда в машиностроительной промышленности встречаются детали, которые имеют элементы конструкции, представляющие собой поверхности переменного сечения. В КОМПАС-3D существуют широкие возможности построения моделей такого типа. Рассмотрим формирование детали, у которой сечение в виде окружности должно плавно переходить в прямоугольное сечение (рис. 2.73).

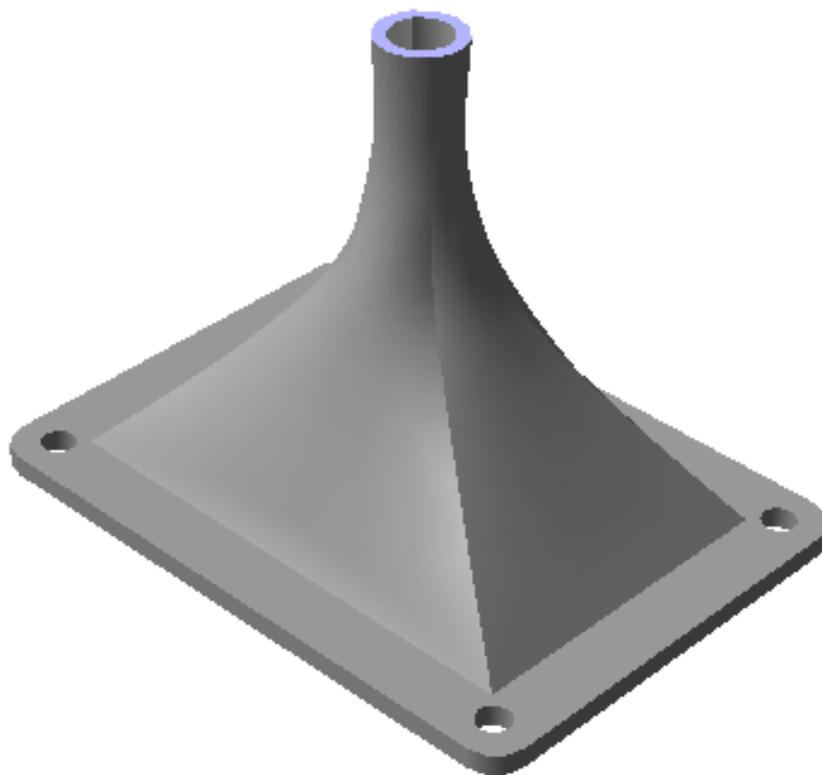


Рис. 2.73

На первом этапе создадим геометрический элемент, представляющий собой поверхность переменного сечения.

Создание элемента по сечениям начнем с формирования эскизов сечений, расположенных в параллельных плоскостях. Для нашей детали возьмем за основу четыре параллельные плоскости. В качестве базовой плоскости выберем **Плоскость ZX**, а три другие создадим как смещенные относительно горизонтальной плоскости.

По умолчанию смещенные плоскости отображаются на экране в виде прямоугольников голубого цвета, но пользователь может изменить окраску. Для этого необходимо в группе команд **Сервис** выбрать **Параметры**, после чего откроется диалоговое окно. В списке параметров выберем последовательно *Свойства объектов* → *Смещенная плоскость* → *Цвет* (рис. 2.74).

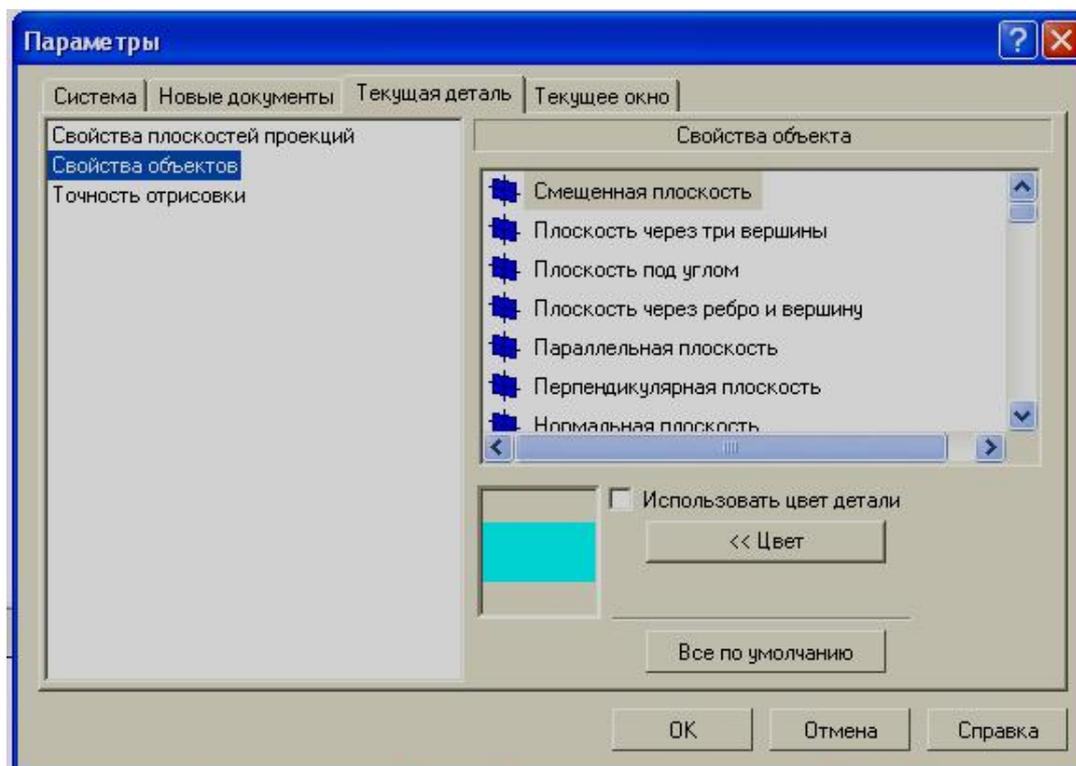


Рис. 2.74

Выберем на панели **Вспомогательная геометрия** кнопку *<Смещенная плоскость>*  и зададим величину смещения. Повторим дважды данную операцию, изменяя величину смещения.

Далее вводим горизонтальную плоскость и создаем **Эскиз 1** (рис. 2.75), при простановке размеров фиксируем начало координат в центре прямоугольника.

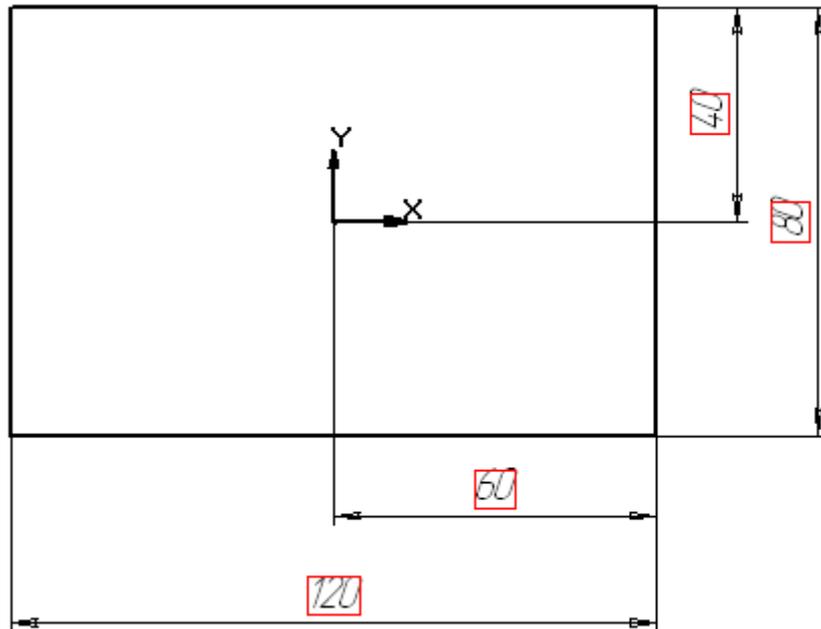


Рис. 2.75

На первой смещенной плоскости создаем **Эскиз 2**, который будет представлять собой окружность (рис. 2.76).

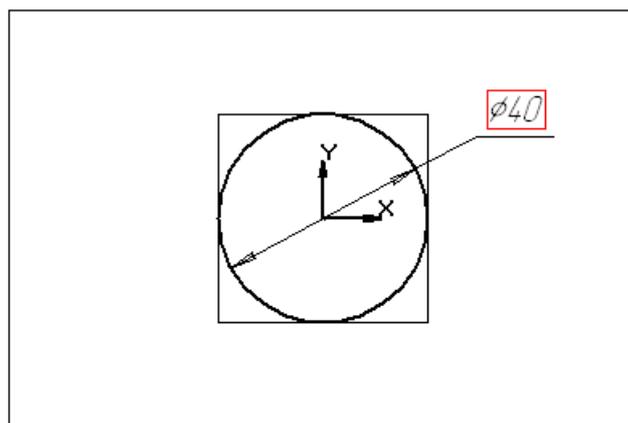


Рис. 2.76

На смещенной плоскости 2 создадим **Эскиз 3**, представляющий собой окружность меньшего диаметра (рис. 2.77).

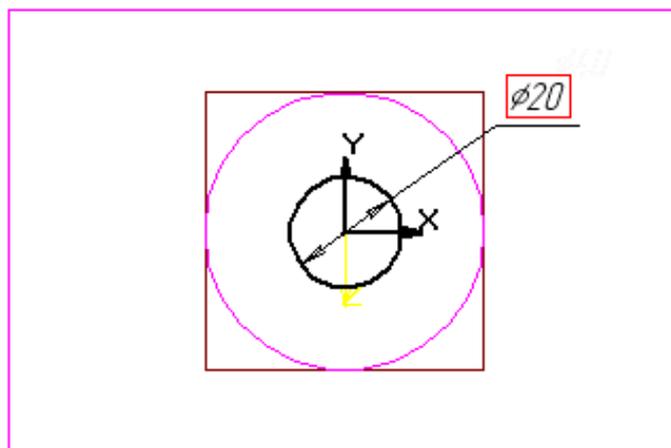


Рис. 2.77

Так как контур, созданный в эскизе 3, будет совпадать с контуром в эскизе №4, то можно скопировать его в *буфер обмена*. Перед копированием необходимо выделить выбранные геометрические элементы

и далее нажать кнопку *<Копировать в буфер>* . Далее на запрос системы следует указать базовую точку (в нашем случае центр окружности). После этого следует закрыть эскиз 3.

После этого выделяем смещенную плоскость 3 и вводим кнопку *<Эскиз>* , а затем кнопку *<Вставить из буфера>*. Система запросит точку вставки, и на смещенной плоскости 3 появится **Эскиз 4**.

В рабочей зоне экрана можно увидеть изображение 4-х эскизов, расположенных в параллельных плоскостях (рис. 2.78).

Теперь можно приступить к формированию самой поверхности.

Выберем кнопку *<Операция по сечениям>*  на панели **Редактирования детали** и в появившейся строке **параметров объектов** включим кнопку **Сечения** , а затем последовательно укажем созданные ранее эскизы (рис. 2.79).

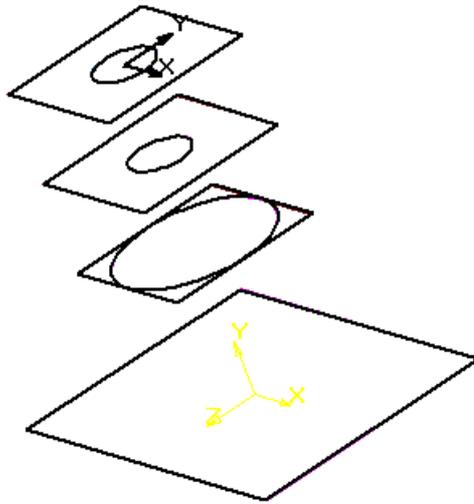


Рис. 2.78

Если кнопка **Автоматическая генерация траектории**  активизирована, то система сама определяет, в какой последовательности соединять сечения. После перечисления эскизов выбираем закладку **тонкая стенка** и (рис. 2. 80) задаем толщину. Нажимаем кнопку **<Создать>**. В результате получаем фрагмент модели (рис.2.81).

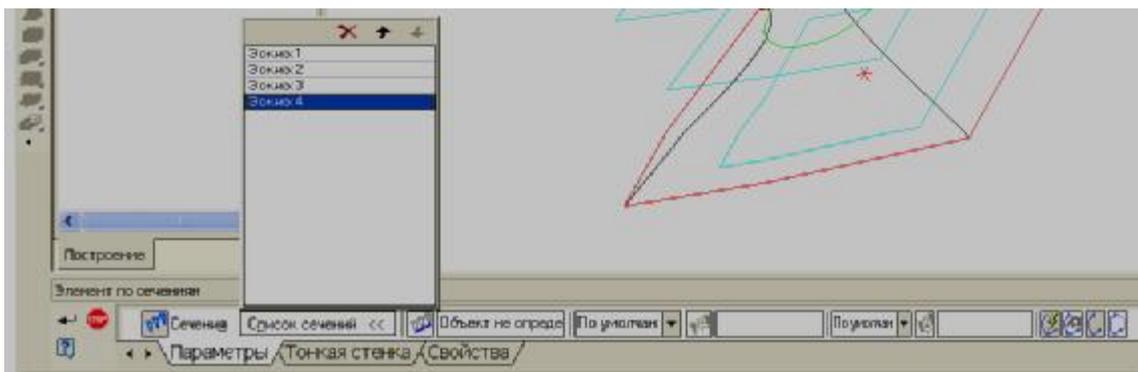


Рис. 2.79

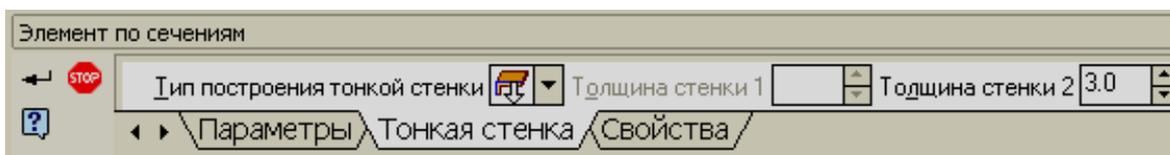


Рис. 2.80

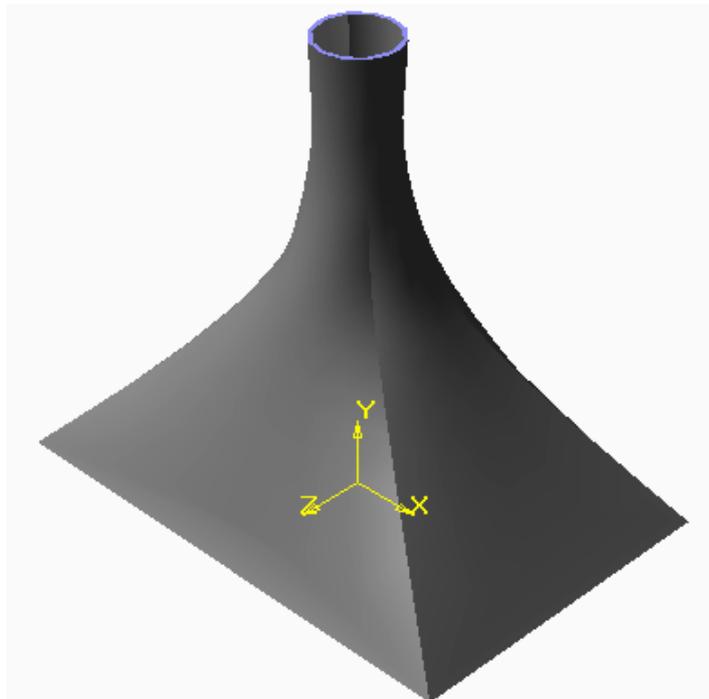


Рис. 2.81

На втором этапе создадим призматическое основание детали. Для этого в дереве построений выберем **Плоскость ZY** и создадим **Эскиз 5** (рис.2. 82).

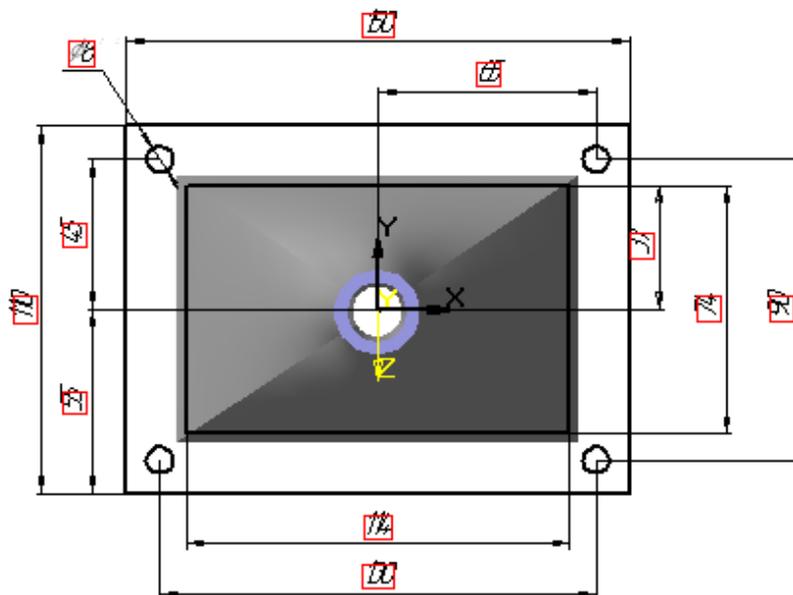


Рис. 2.82

Применим операцию **Приклеить элемент выдавливанием**, затем выполним сопряжение цилиндрическими поверхностями, соосными с отверстиями. В результате получим модель раструба, изображенную на рис. 2.83

В заключении выполним разрез детали, для этого сформируем **Эскиз 6** в горизонтальной плоскости (рис. 2.84), а затем выполним срез по эскизу (рис 2.85).

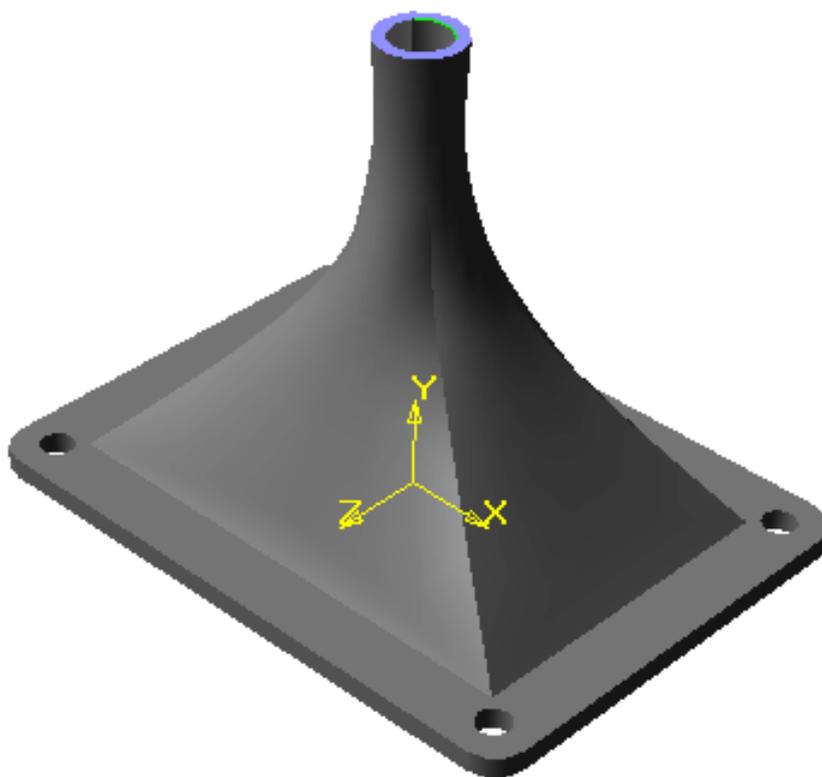


Рис. 2.83

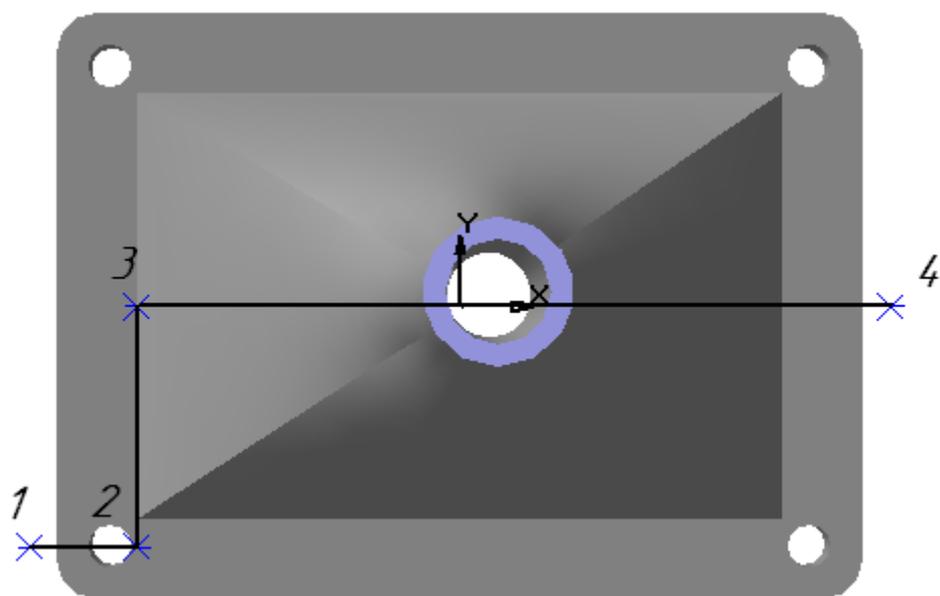


Рис. 2.84

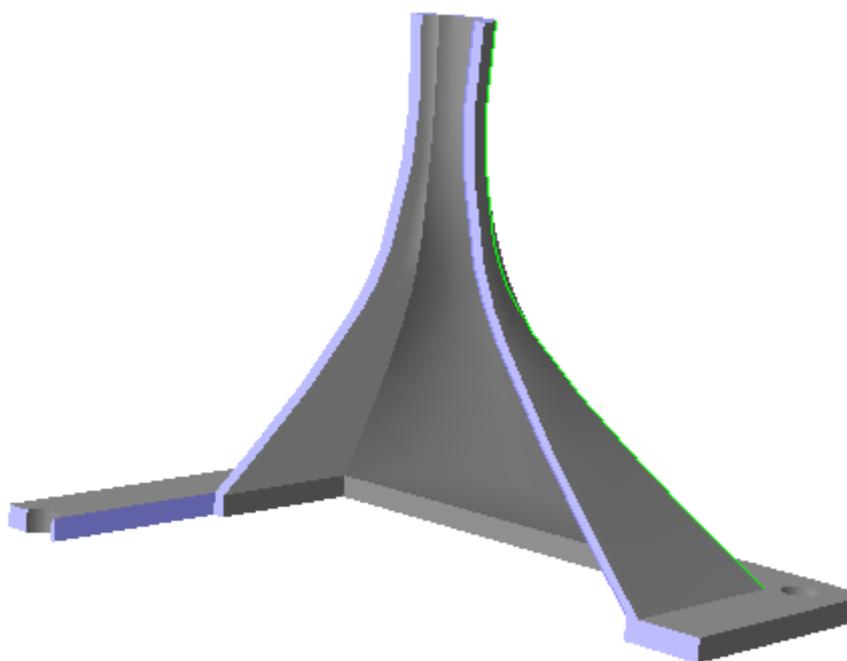


Рис. 2.85

3. СОЗДАНИЕ АССОЦИАТИВНОГО ЧЕРТЕЖА В КОМПАС-3D

Широкие возможности объемного моделирования позволяют проектировать геометрические модели любой сложности, использовать их в прочностных расчетах, в рекламных и дизайнерских программах. Кроме этого по полученной модели можно создать ассоциативный чертеж.

3.1 Построение ассоциативных видов

Выполним построение чертежа детали **Кронштейн**, создание модели которого было описано в предыдущей главе.

Начнем формирование чертежа с создания среды. Выполним последовательно команды **Файл** → **Создать и** введем кнопку на панели

управления **<Чертеж>** , после чего на экране появится новый лист по умолчанию формата **A4** с внутренней рамкой и основной надписью.

Учитывая размеры детали и количество видов, изменим формат документа, для этого выберем группу команд **Параметры** в меню **Сервис**. На мониторе появится диалоговое окно (рис. 3.1).

В списке разделов выберем **Параметры листа** и щелчком мыши раскроем его содержимое, где выделим строку **Формат**, при этом в правой части окна появятся все данные, относящиеся к формату листа.

В списке форматов выберем **A3**, а в группе **Ориентация** включим кнопку **Горизонтальная**, после чего с помощью кнопки **<ОК>** закроем диалоговое окно. Настройка параметров нового графического документа будет закончена.

Формат документа, его ориентацию и стиль можно менять неоднократно в процессе работы над его созданием, если в этом возникнет необходимость.

После формирования формата его можно увидеть полностью, если

нажать кнопку *<Показать все>*  Далее следует приступить к созданию чертежа.

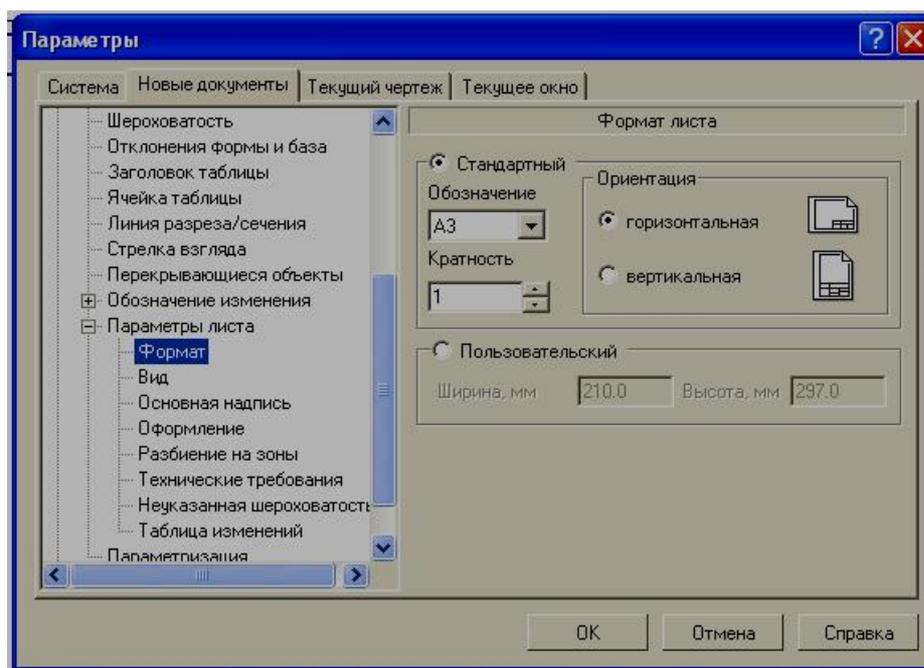


Рис. 3.1

На панели переключений выберем кнопку *<Ассоциативные виды>* , после чего откроется панель **Создание ассоциативных видов** (рис. 3.2).

Ассоциативный вид – это вид неразрывно связанный с трехмерной моделью, по образу которой формируется данный чертеж. Любое изменение формы и размеров модели неизбежно повлечет к соответствующим изменениям в ассоциативных видах.



Рис. 3.2

На рабочей панели введем кнопку *<Стандартные виды>* , при этом на экране появится диалоговое окно, с помощью которого можно открыть папку, где находится необходимый файл, соответствующий модели Кронштейн (рис. 3.3). После чего на поле чертежа отобразится фантом в виде прямоугольников, условно обозначающих три основных вида. В строке **параметров объектов** можно установить ориентацию детали, и тем самым определить главный вид, масштаб, включить или выключить невидимые линии, линии переходов, а также назначить цвет изображения (рис. 3.4).

Для того чтобы наиболее рационально расставить виды на поле чертежа, введем кнопку *<Схема видов>* . В результате откроется диалоговое окно (рис. 3.5), в котором можно установить набор стандартных видов, необходимых для полного представления о форме данной детали.

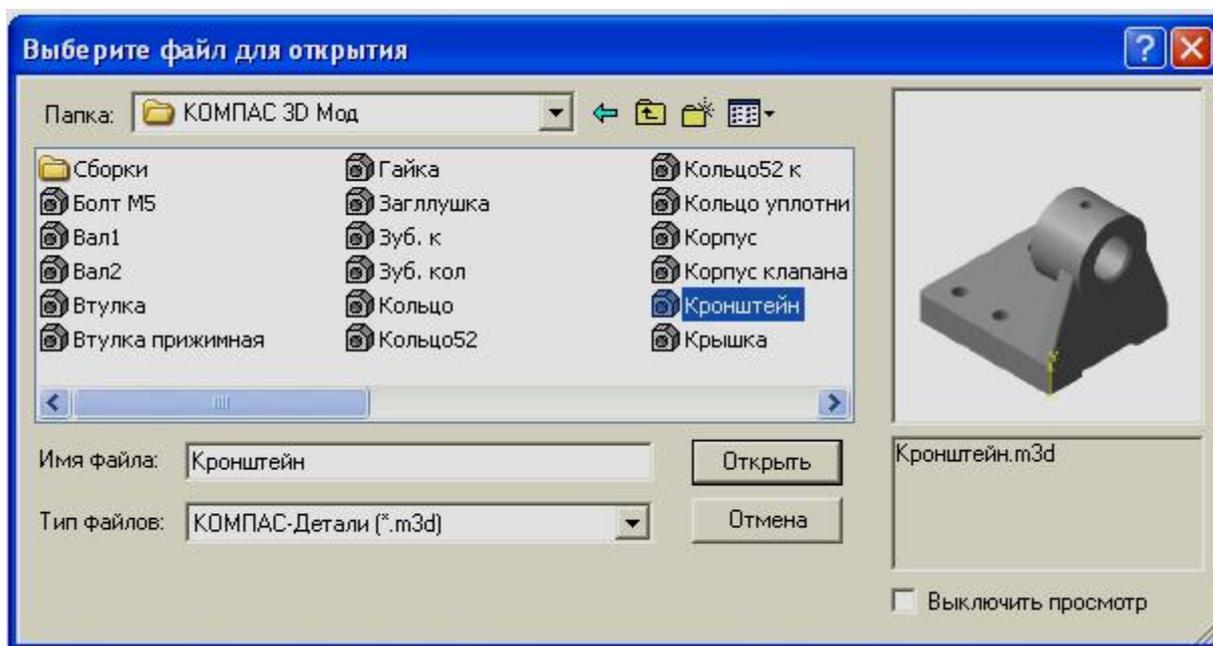


Рис. 3.3

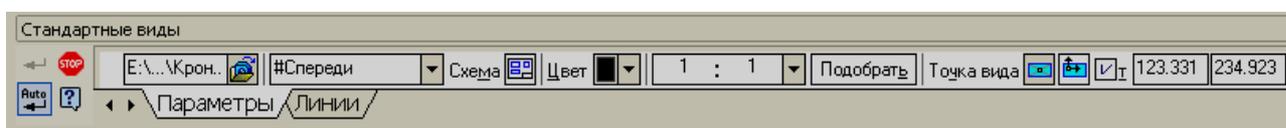


Рис. 3.4

По умолчанию в диалоговом окне установлены три вида: главный вид; вид снизу; вид слева. Остальные основные виды представлены условными прямоугольниками. Если понадобится показать еще какой-нибудь вид, то необходимо указать его мышью. Аналогично можно удалить любой вид, кроме главного. Отменить построение главного вида невозможно.

В нижней части диалогового окна необходимо указать **Зазор по горизонтали** и **Зазор по вертикали**, то есть ввести числовое значение расстояния между видами в горизонтальном и вертикальном направлении.

Выбрав основные виды и установив их настройку, нужно указать положение точки привязки изображения – начала системы координат главного вида.

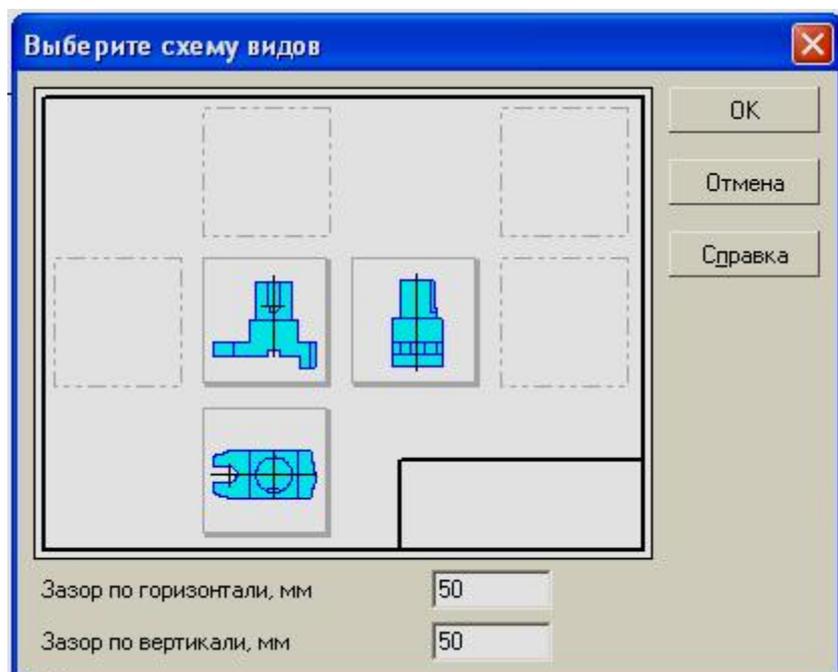


Рис. 3.5

После того, как на поле чертежа появятся выбранные виды, в основной надписи в автоматическом режиме будут установлены все необходимые сведения об изделии. Они передадутся из файла модели (рис.3.6).

					<i>ГЗ. ВКМ 05 - 02.01.07</i>						
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		<i>Лит.</i>	<i>Масса</i>	<i>Масштаб</i>			
<i>Разраб.</i>					<i>Кронштейн</i>					9,09	1:2
<i>Пров.</i>											
<i>Т.контр.</i>										<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Н.контр.</i>					<i>СЧ18 ГОСТ 1412-85</i>						
<i>Утв.</i>					<i>Копировал</i>			<i>Формат А3</i>			

Рис. 3.6

Чертеж детали содержит изображения (виды, разрезы, сечения) изделия, размеры, предельные отклонения, обозначения шероховатости, основную надпись, сведения о материале и технические требования. Некоторые из этих составляющих могут отсутствовать, однако в системе

КОМПАС – ГРАФИК их создание предусмотрено, поэтому в любой момент, по желанию пользователя они могут быть востребованы.

При построении ассоциативных видов необходимо помнить, что понятие «вид» в КОМПАС–ГРАФИК и машиностроительном черчении несколько различно. В черчении видом называется изображение видимой части изделия, обращенной к наблюдателю, и между отдельными видами должна быть установлена проекционная связь. Напротив, в КОМПАС–ГРАФИК под видом понимается любое логически завершенное изображение, и отдельные виды могут быть не связанными между собой.

Вид при формировании чертежа на компьютере – это средство, управляющее структурой изображения. Любой вид обладает рядом параметров:

1. Номер.
2. Масштаб.
3. Угол поворота в градусах.
4. Имя (необязательный параметр).
5. Точка привязки (определяется системой или задается пользователем).

В левой стороны в строке **текущего состояния** кнопка *<Состояние видов>*, справа находится кнопка *<Список видов>* и поле **Текущий вид**, где указывается номер текущего вида. (3.7).



Рис. 3.7

Для получения информации о видах документа введем кнопку *<Состояние видов>*, при этом откроется диалоговое окно (рис. 3.8).

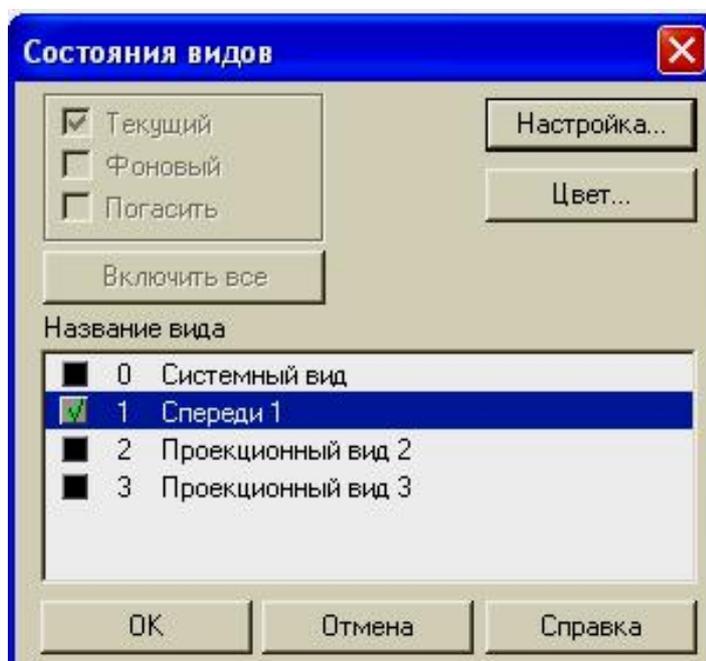


Рис. 3.8

В этом окне приводятся все сведения о видах, которые будут представлены на чертеже. Кроме этого, система автоматически формирует специальный **Системный вид** с нулевым номером. В этом виде выполняется внутренняя рамка и основная надпись. Любой из параметров вида может меняться пользователем в процессе работы. Исключение составляет **Системный вид**. Его параметры неизменны:

1. Номер – 0.
2. Масштаб – 1:1.
3. Угол поворота в градусах – 0.
4. Имя – Системный вид.
5. Точка привязки – совпадает с началом координат листа и находится в левом нижнем углу.

Аналогично, начало абсолютной системы координат чертежа всегда находится в левом нижнем углу.

При расстановке изображений система определяет положение начала координат каждого вида на основе данных о системе координат

трехмерной модели (рис. 3.9). Если вид на чертеже создается вручную, то пользователь сам устанавливает его начало координат. Поэтому, **точка привязки** вида – это его начало координат по отношению к системе координат листа.

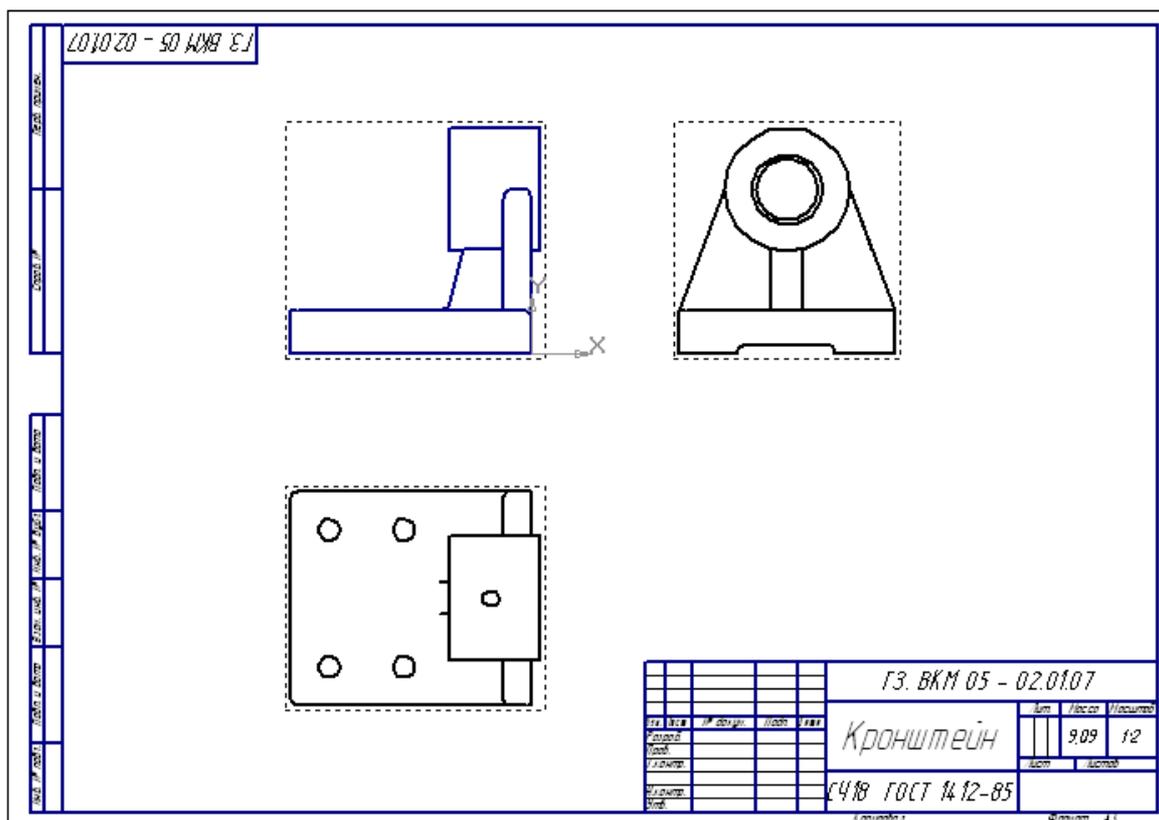


Рис. 3.9

В данный момент времени один из видов обязательно является **текущим**. В диалоговом окне он определяется по «галочке» слева от номера (рис. 3.8). Все вновь создаваемые объекты располагаются в текущем виде и логически принадлежат ему. Поэтому на экране, в любой момент времени отображается только один символ начала координат и принадлежит он текущему виду (рис. 3.9).

Параметры отображения вида устанавливаются в диалоговом окне, которое открывается по схеме **Сервис** → **Параметры** → **Система** → **Виды** (рис. 3.10) По умолчанию виды определяются по номерам, однако

иногда, например, при большом количестве, удобнее дать название каждому виду. Для отображения названий видов следует включить флажок **Отображать имена видов**.

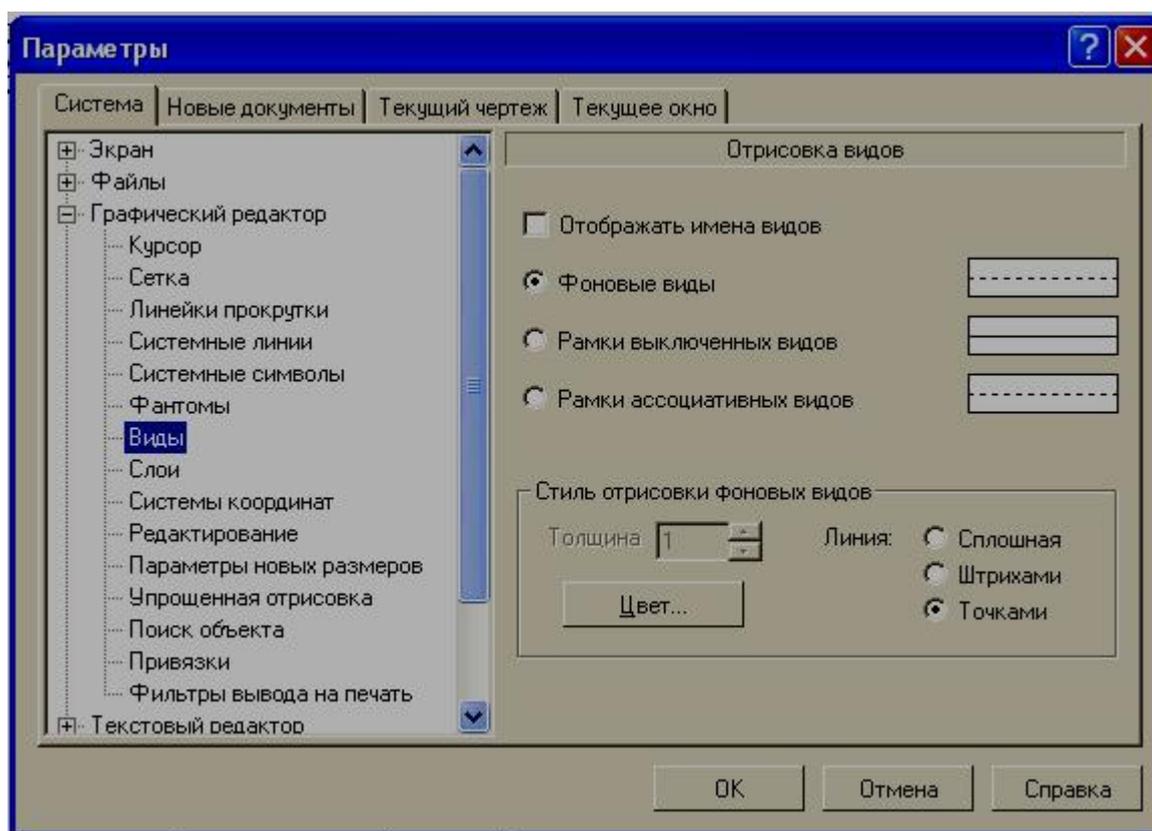


Рис. 3.10

Любой созданный ранее вид может находиться в одном из перечисленных состояний: текущий, активный, фоновый, погашенный.

Текущий вид – вид, в котором формируются все геометрические элементы в настоящее время. Системные линии текущего вида всегда отображаются реальным (установленным в **Настройки**) цветом и стилем.

Активный вид (одновременно может быть несколько видов) – вид, который доступен для редактирования и изображен на экране одним цветом, установленным при создании. Если вид не является фоновым или погашенным, то он активный.

Фоновый вид (одновременно может быть несколько видов) – вид, который нельзя перемещать и редактировать, и используется он для

привязки к объектам, находящимся в этом виде. Элементы фонового вида изображаются на экране пунктирными линиями.

Погашенный вид (одновременно может быть несколько видов) – вид, который не отображается на экране и не доступен для любых операций. При создании ассоциативных чертежей, они могут отображаться условно прямоугольниками бледного оттенка.

Для изменения состояния вида его нужно выделить в диалоговом окне **Состояние видов** и включить соответствующую кнопку (рис. 3.8).

Если надо перевести какой-либо вид в текущий, не обязательно открывать диалоговое окно. Можно выбрать его номер или название из списка поля **Текущий вид** (рис. 3.11).

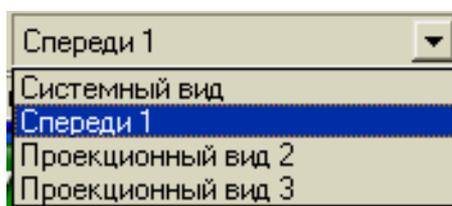


Рис. 3.11

При работе над чертежом очень важно следить, чтобы геометрические объекты, логически связанные между собой, принадлежали одному виду. Например, размеры на виде спереди следует проставлять тогда, когда текущим видом является вид **Спереди 1**.

Если, работая с определенным видом, понадобится изменить цвет линий, масштаб или расположение его на поле чертежа, то это можно сделать с помощью команды **Параметры текущего вида** из меню «Сервис» (рис.3.12).

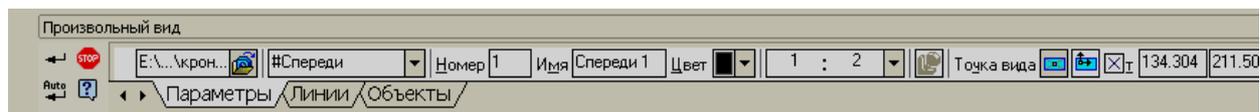


Рис. 3.12

Учитывая габаритные размеры детали **Кронштейн**, из списка стандартных масштабов выберем значение 1: 2. На экране дисплея вид уменьшится в два раза. Изменение масштаба вида не приводит к изменению истинных размеров модели. Таким образом, в отличие от ручного черчения, при работе в КОМПАС-3D нет необходимости пересчитывать реальные размеры.

При создании чертежа можно манипулировать отдельными видами (удалять, перемещать, поворачивать). Проще всего это сделать с помощью мыши. Для этого надо указать на рамку вокруг вида, система выделит соответствующие объекты по умолчанию зеленым цветом. Если необходимо удалить вид следует ввести кнопку *<Delete>*. Если необходимо повернуть или переместить вид, то можно воспользоваться одноименными командами в группе команд **Редактор** (рис. 3.13).

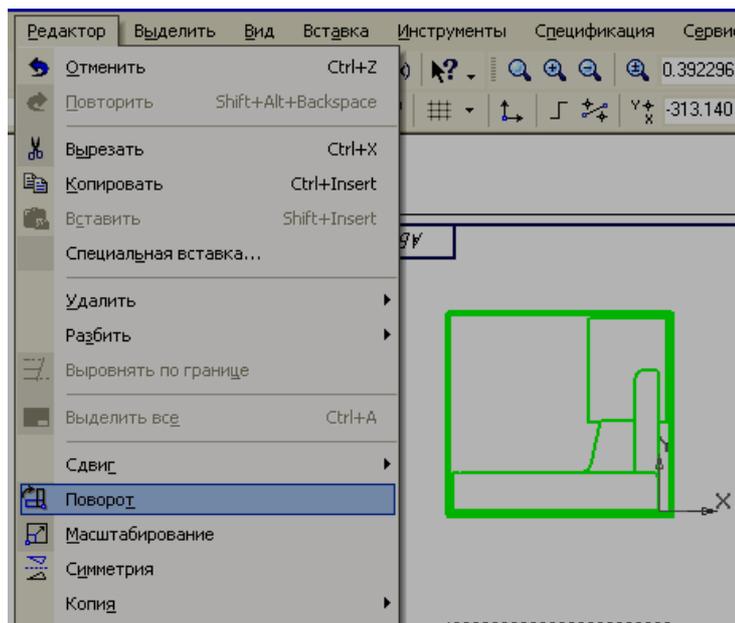


Рис. 3.13

Важным этапом оформления чертежа является изображение **разрезов**. Для того чтобы показать внутреннее устройство кронштейна,

целесообразно выполнить ступенчатый разрез. Построение разреза следует выполнять в следующей последовательности.

1. Вид, на котором будем изображать линию сечения, необходимо перевести в состояние **Текущий**. В нашем случае это – **Проекционный вид 2** (вид сверху).
2. В диалоговом окне **«Установка глобальных привязок»** включить привязку **Выравнивание**.
3. На панели **Обозначения** необходимо выбрать кнопку **<Линия**

разреза> 

4. С помощью привязки **Выравнивание** следует указать точки 1,2,3 и 4, определяющие линию сечения, учитывая, что эта линия должна проходить через центровые точки 5 и 6 соответствующих окружностей (рис. 3.14).
5. При создании линии сечения нужно проверить направление взгляда, которое указывается специальными стрелками. Если оно выбрано неправильно, то его можно поменять на противоположное с помощью специальной кнопки  в строке **Параметров объектов** и ввести кнопку **<Создать объект>**.

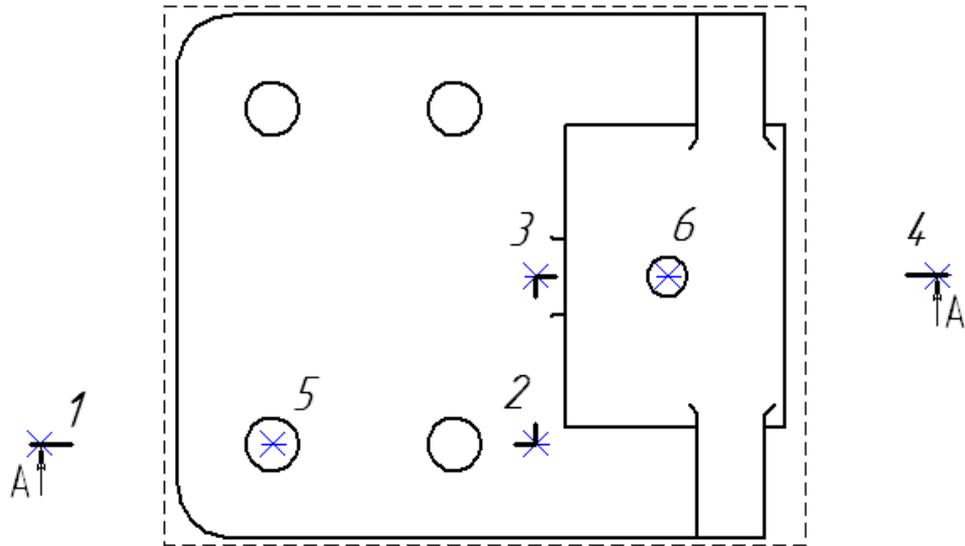


Рис. 3.14

6. На панели **Создание ассоциативных видов** введем кнопку

<Разрез/Сечение> , после чего курсором необходимо указать линию сечения. Если все предыдущие операции были выполнены правильно, то линия сечения обозначится красным цветом. На экране появится фантом в виде габаритного прямоугольника.

7. Далее в строке **Параметров объектов** следует ввести закладку <Штриховка> (рис. 3.15) и задать все параметры штриховки.

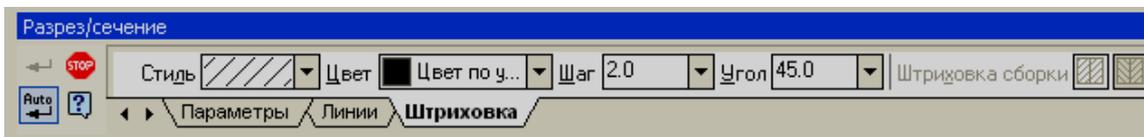


Рис. 3.15

8. Мышью следует указать направление расположения разреза. Он установится в проекционной связи с видом **Сверху** на месте

вида **Спереди**. Новый вид будет текущим и автоматически получит имя **Разрез А – А**.

На данном чертеже в секущую плоскость входит ребро жесткости. В соответствии с правилами построения чертежа ребро жесткости не штрихуется, поэтому в дальнейшем штриховку необходимо будет перестроить в ручном режиме.

В заключение компоновки чертежа необходимо выровнять разрез с видом **Слева**. Для размещения всех видов в проекционной связи следует

воспользоваться командой **Сдвиг**  в сочетании с привязкой **Выравнивание**, которую можно выбрать среди списка локальных привязок. Открыть **Локальные привязки** следует с помощью контекстного меню при нажатии правой клавиши мыши.

В результате получим чертеж представленный на рис. 3.16.

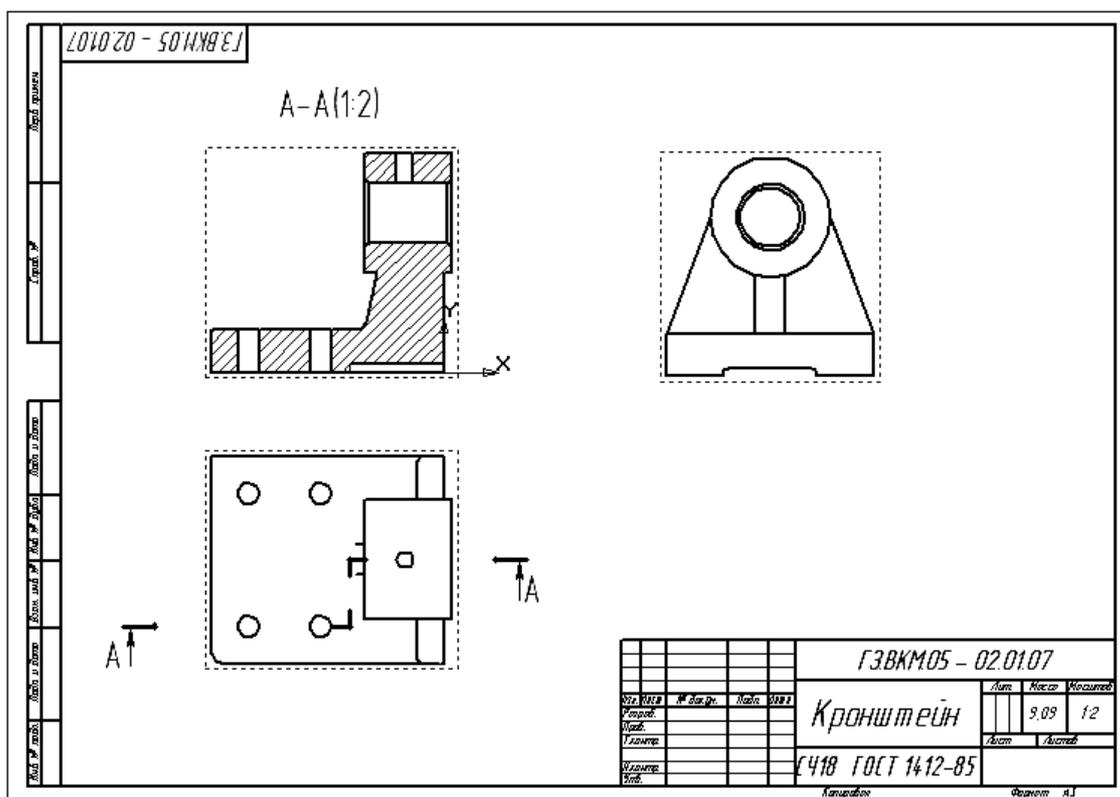


Рис. 3.16

3.2. Оформление ассоциативного чертежа

Полученный в автоматическом режиме чертеж необходимо оформить. Оформление предусматривает: построение осей, простановку размеров, введение технологических обозначений, введение технических требований, заполнение основной надписи.

Поскольку созданный чертеж ассоциативный, т.е. связанный с моделью, то при оформлении его следует воспользоваться режимом параметризации. Для этого в меню **Сервис** → **Параметры** выберем закладку **Текущий чертеж** и откроем диалоговое окно (рис. 3.17), в левой части выделим раздел **Параметризация**. В правой части окна включим флажки **Все** в группах **Ассоциировать при вводе** для объектов оформления и **Параметризовать** для построений.

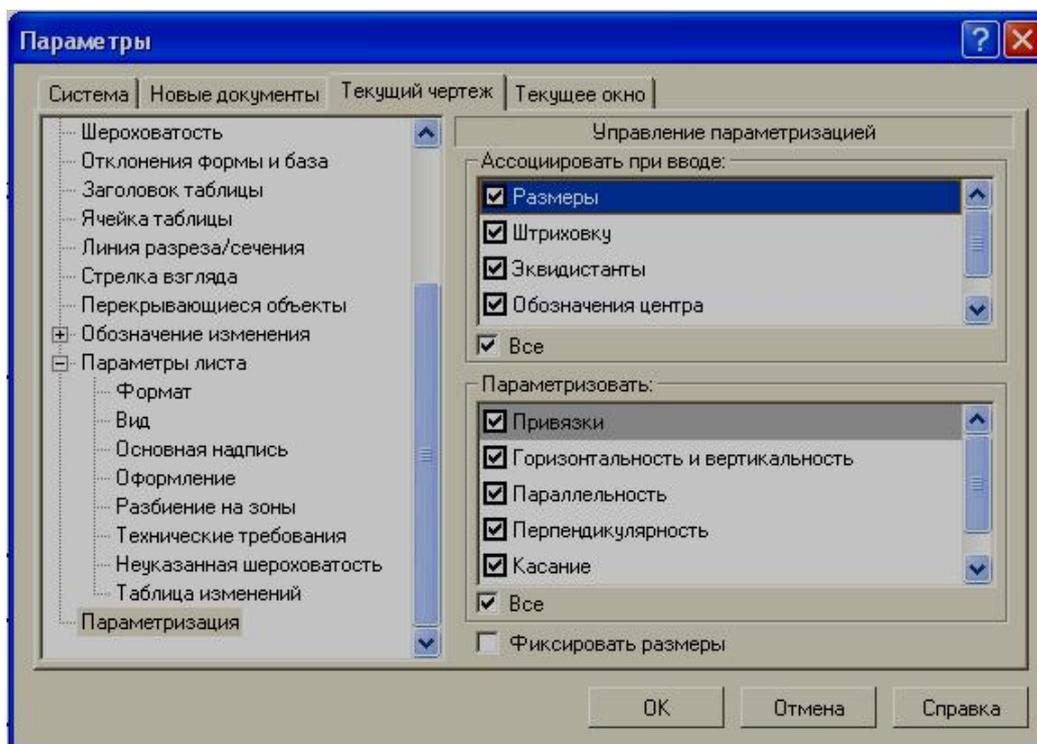


Рис. 3.17

Построение осевых линий

Осевые линии могут строиться как для всего контура определенного вида, так и для отдельных симметричных геометрических элементов (например, цилиндрические отверстия)

Построение осевых линий предусматривает выполнение определенных условий:

1. Необходимо обеспечить ее постоянный выход за пределы контура соответствующего геометрического элемента.
2. При изменении размеров этого геометрического элемента должна соответственно меняться длина ее.
3. При изменении положения геометрического элемента, осевая линия должна изменить свое положение.

Начнем построение осевой линии отверстия в верхней части направляющей на виде **Разрез А – А**. Сначала необходимо убедиться, что вид **Разрез А – А** является **текущим**. Затем выберем кнопку **<Ввод отрезка>** на инструментальной панели геометрии. В строке параметров объекта выберем стиль линии **Осевая** и построим произвольный отрезок. Аналогично выберем кнопку **<Вспомогательная точка>** и введем ряд точек 1,2,3, 4 и 5 (рис. 3.18).

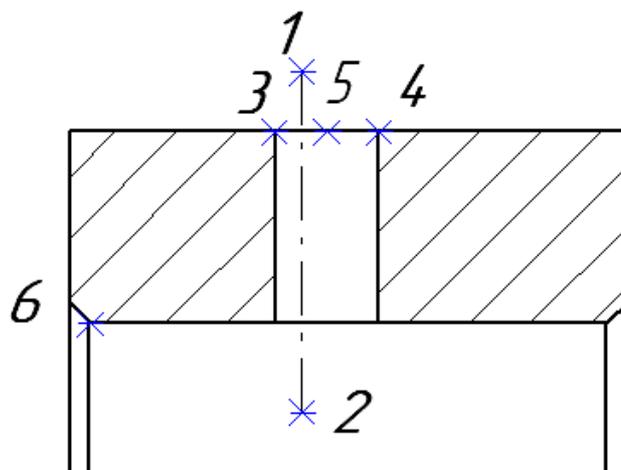


Рис. 3.18

Положение точки 5 введем на середине отрезка 3-4, а затем введем

кнопку *<Выровнять по вертикали>*



и выровняем точки 1 и 5.

Выход осевой линии за пределы контура зафиксируем расстоянием между 1 и 4 точкой, а также между 2 и 6 точками (рис. 3.19).

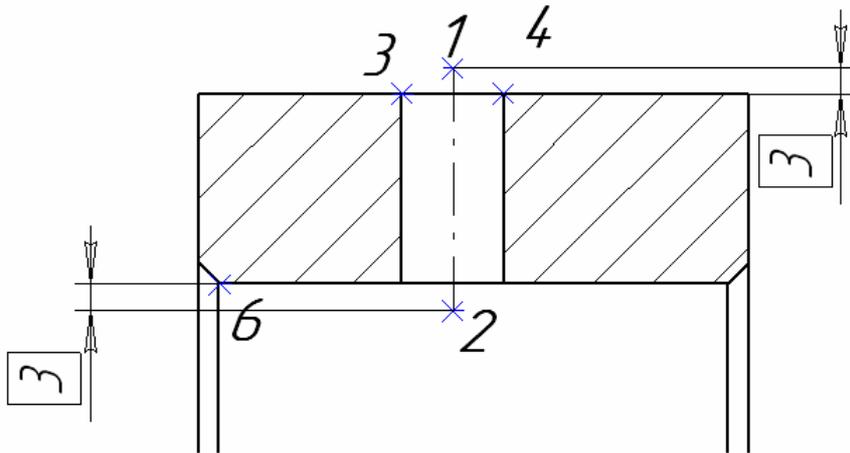


Рис. 3.19

Для всех других отверстий построим осевые линии, аналогично рассмотренному случаю (рис. 3.20).

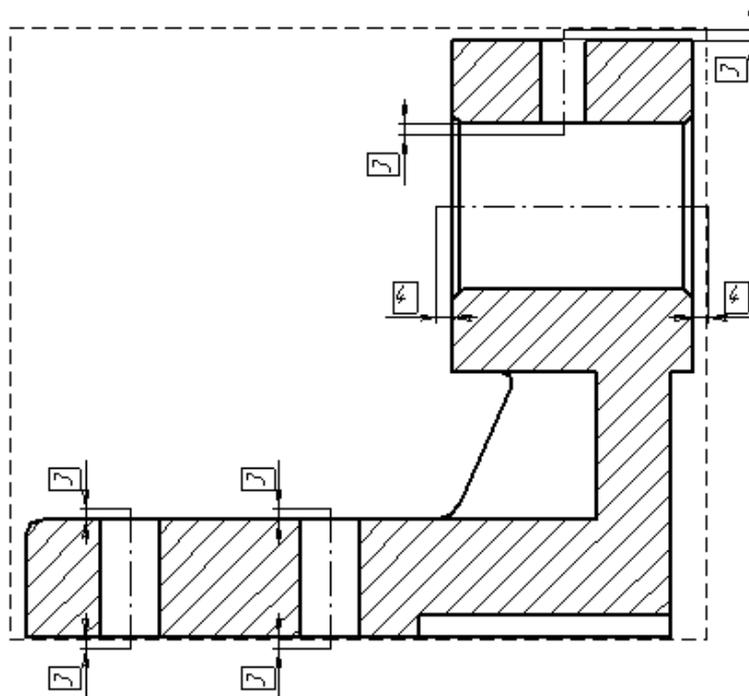


Рис. 3.20

После построения осевых линий, следует отключить кнопку **<Ортогональное черчение>**.

Все построенные ранее размеры носят вспомогательный характер и не должны быть видны на чертеже

Левой клавишей мыши выберем в строке параметров объектов кнопку **<Слой>** и откроем диалоговое окно **Состояние слоев**, где введем кнопку **<Новый>**, которая в свою очередь откроет еще одно окно (рис. 3.21). Дадим название новому слою, после чего в предыдущем диалоговом окне появится имя «Установка осей» (рис. 3.22).

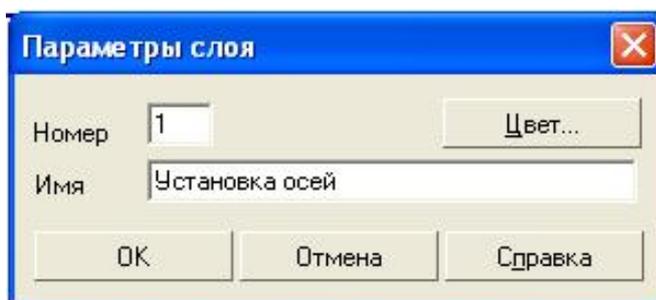


Рис. 3.21

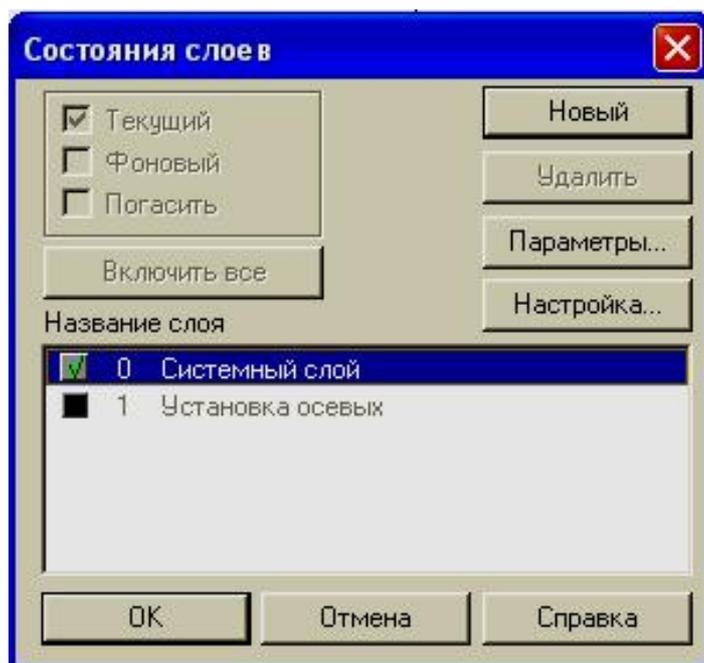


Рис. 3.22

Теперь необходимо перевести вспомогательные размеры в слой №1.

В меню **Выделить** введем команду **По типу**, откроем диалоговое окно (рис. 3. 23) и выберем строку **Линейные размеры** и кнопку **<OK>**.

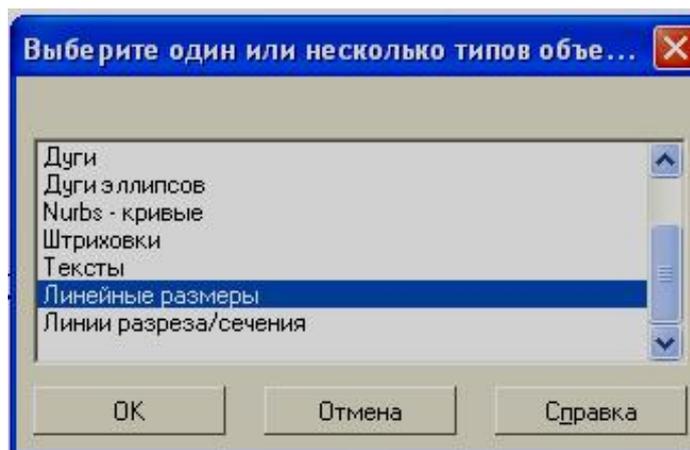


Рис. 3. 23

Затем правой клавишей мыши необходимо щелкнуть в области любого выделенного объекта. Из появившегося контекстного меню выберем команду **Изменить слой** (рис. 3. 24) и в соответствующем диалоговом окне (рис. 3.26) выделим слой №1 и сделаем его текущим.

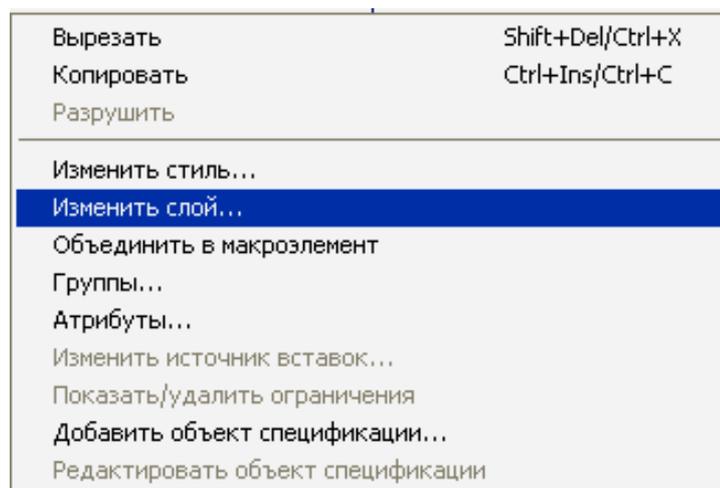


Рис. 3.25

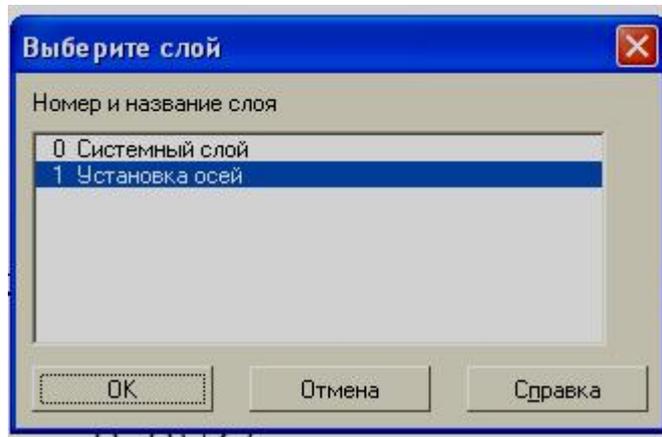


Рис. 3. 26

Теперь, чтобы указанные размеры были невидимыми, необходимо погасить слой **Установка осевых**, для этого вернемся к диалоговому окну **Состояние слоев** (рис.3. 27) и выполним эту операцию, после чего изображение размеров, определяющих длину и положение осевых, исчезнет (рис.3. 28).

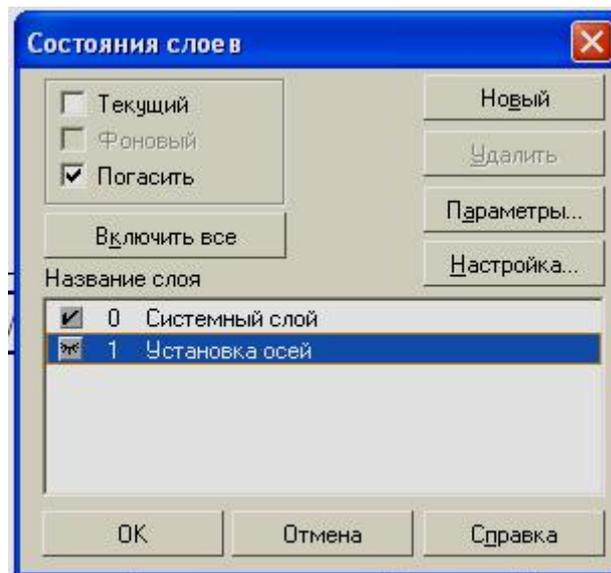


Рис. 3.27

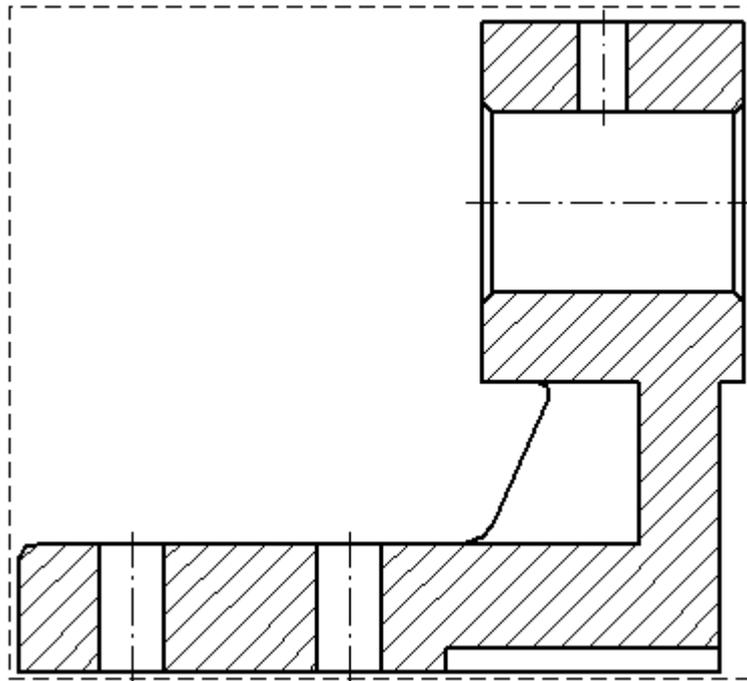


Рис. 3. 28

Выполним построение осевых на виде сверху. Для этого, прежде всего, следует сделать текущим **Проекционный вид 2**, затем необходимо

ввести кнопку *<Обозначение центра>*  на инструментальной панели **обозначений** и указать последовательно окружности. В строке **параметров объектов** следует указать угол наклона, значение которого выбираем равное 0 и другие параметры (рис. 3.29).

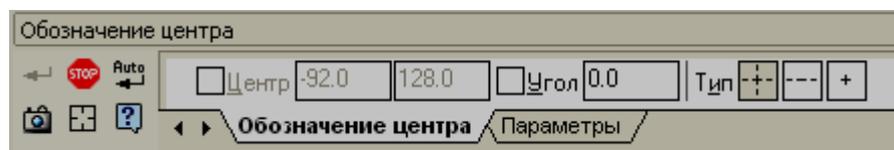


Рис. 3.29

Система отобразит осевые линии. Для того чтобы построить осевую для всего вида, выберем окружность, которая будет расположена на ней, и двойным нажатием на левую клавишу мыши приведем осевую окружности

в состояние редактирования, при этом на экране отобразятся базовые точки в виде маленьких прямоугольников. Если потянуть за такую точку, то можно удлинить осевую линию (рис. 3.30). После выполнения операции для двух точек, находящихся на одной горизонтали, получим осевую линию для всего вида.

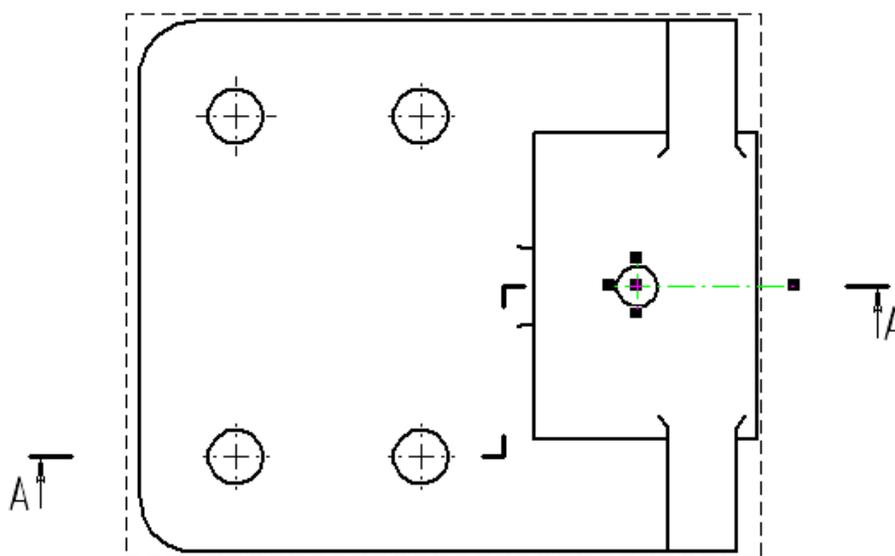


Рис. 3. 30

Выполним осевую линию на **Проекционном виде 3**, зафиксируем положение осевых на виде сверху и слева и аналогично **Проекционному виду 1** выполним перевод вспомогательных размеров в погашенный слой **Установка осевых**. Создание осевых линий можно считать завершенным.

Простановка размеров

Все правила построения размеров были рассмотрены в первой части пособия, поэтому простановка размеров выполняется согласно правилам ЕСКД и методам создания конструкторских документов в КОМПАС-ГРАФИК.

Необходимо помнить, что между простановкой размеров на эскизах, выполняемых в процессе создания модели, и на конструкторских документах есть существенное отличие.

В процессе создания эскизов КОМПАС-3D работает только в параметрическом режиме. При задании того или иного размера, система в автоматическом режиме меняет ранее изображенные геометрические элементы, подстраивая их под заданные параметры.

При создании и оформлении плоских чертежей разработчик может работать как в обычном, так и в параметрическом режиме, но геометрия ассоциативных видов полностью определена текущим состоянием модели. Таким образом использовать параметризацию размеров при оформлении ассоциативных видов нецелесообразно. Эти размеры будут менять свои значения при изменении модели, но вы не сможете их использовать для управления геометрией чертежа.

Переведем в текущее состояние **Проекционный вид 2** и выполним простановку размеров (рис. 3.31)

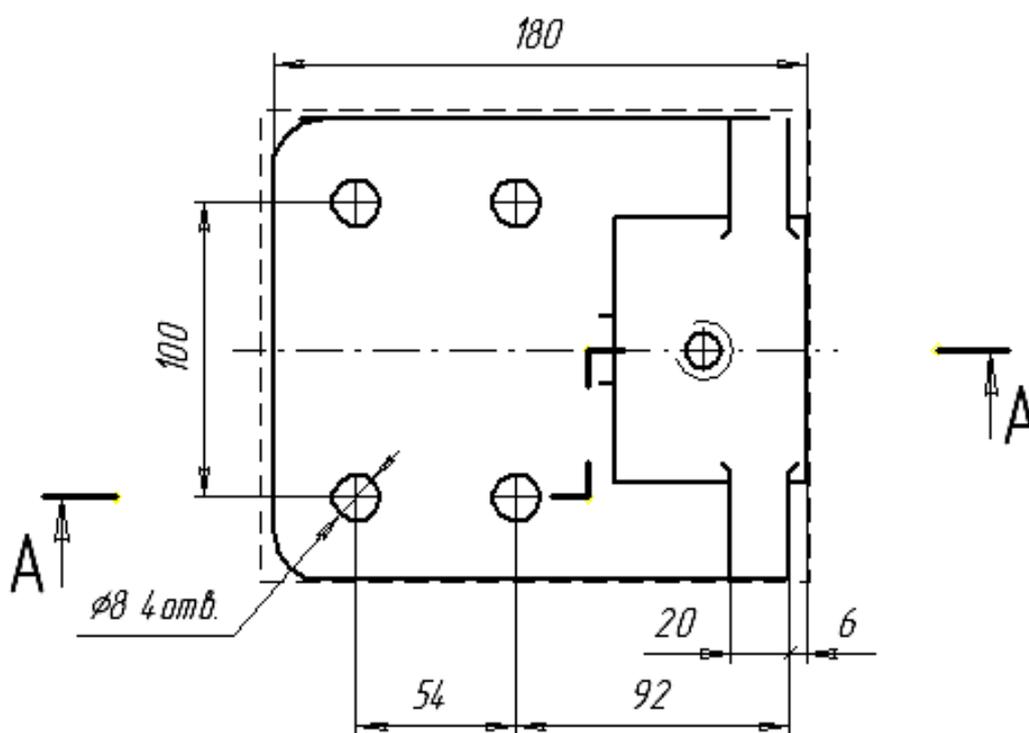


Рис. 3. 31

Аналогично выполняем простановку размеров для двух других видов (рис. 3.32).

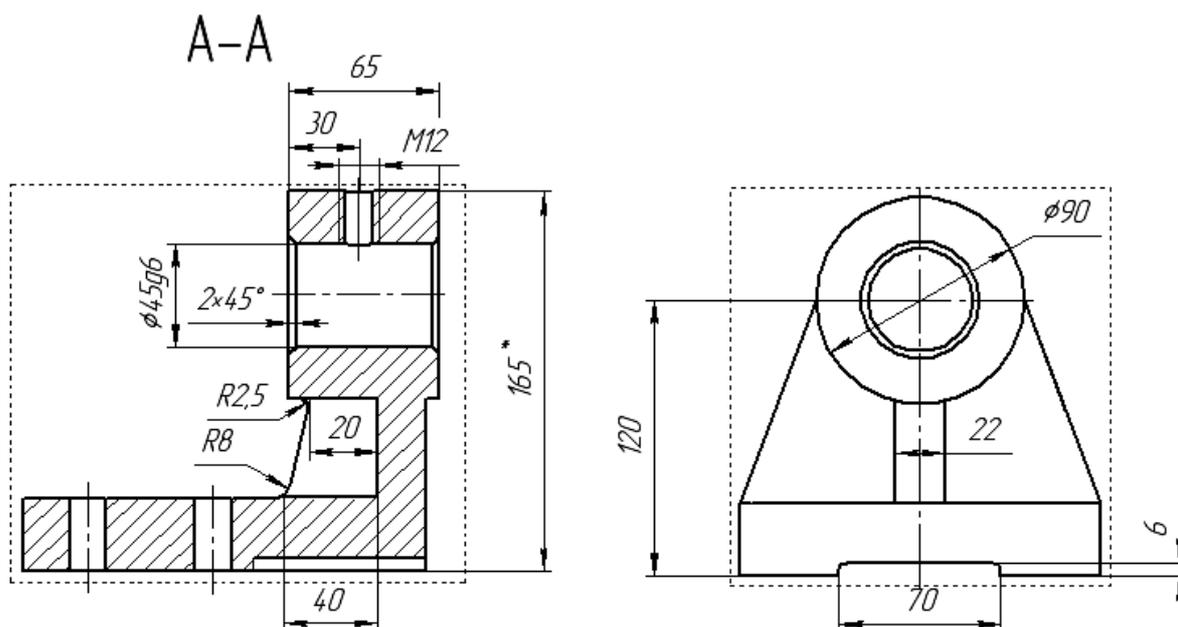


Рис. 3.32

В заключение вводятся технологические обозначения, которые можно создать с помощью **инструментальной панели обозначений** (рис. 3.33)



Рис. 3.33

На главном виде введем обозначение шероховатости. Убедимся, что вид **Разрез А – А** является **текущим** и, используя кнопку , зафиксируем необходимые значения (рис.3.33)

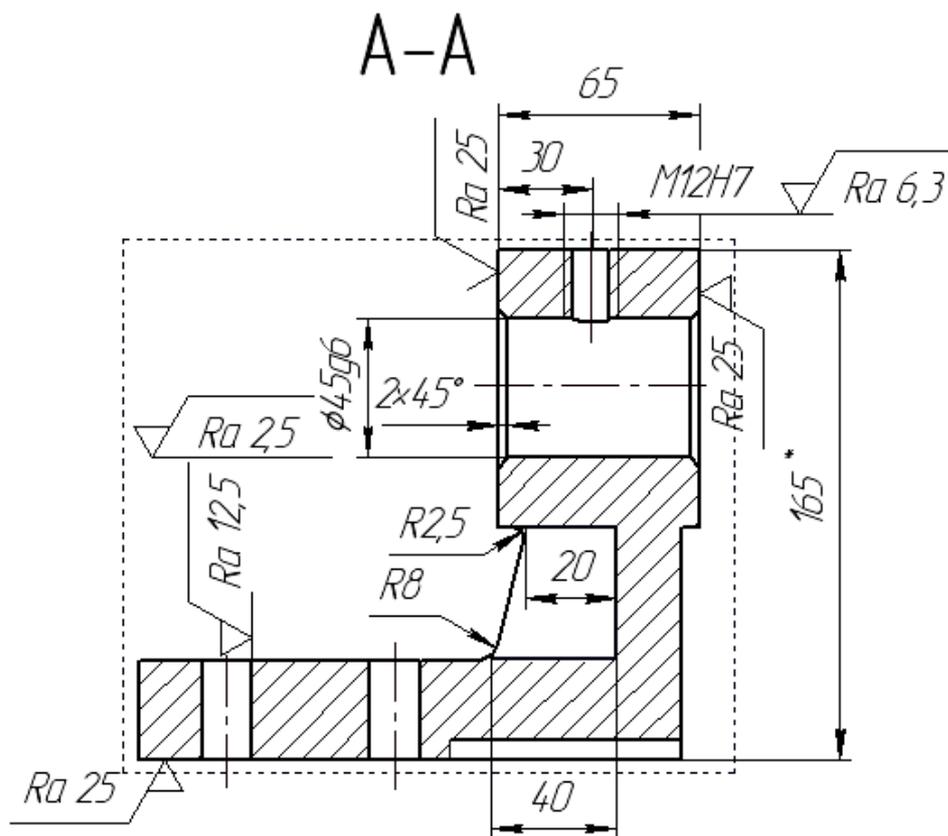


Рис. 3.33

Простановка одинаковой шероховатости, для ряда поверхностей, которая не указана на данном чертеже, выполняется с помощью специального диалогового окна. Окно открывается по схеме **Вставка** → **Неуказанная шероховатость** (рис. 3.34).

В диалоговом окне выбираем необходимые знаки и проставляем в верхнем правом углу (рис. 3.35).

В заключение выполним надписи, определяющие технические требования. Для этого открываем специальное, функциональное окно,

которое выводится по схеме **Вставка** → **Технические требования** (рис.3.36).

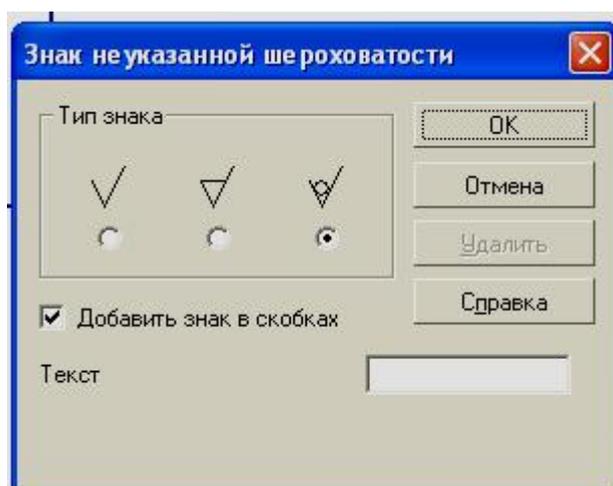


Рис. 3.34

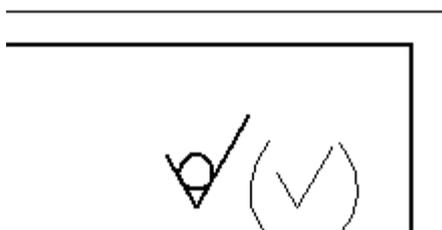


Рис. 3.35

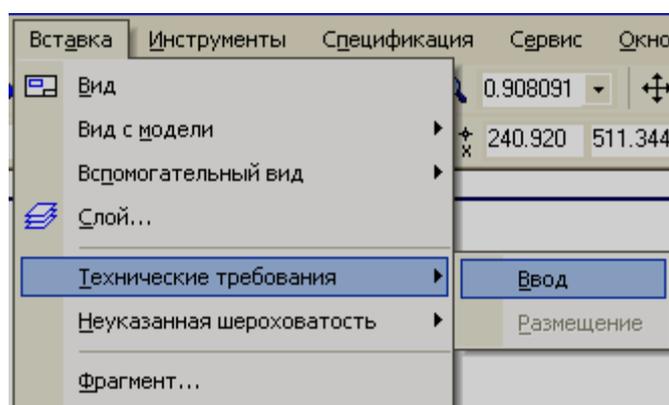


Рис. 3.36

На рис. 3.37 показан завершенный вариант ассоциативного чертежа кронштейна.

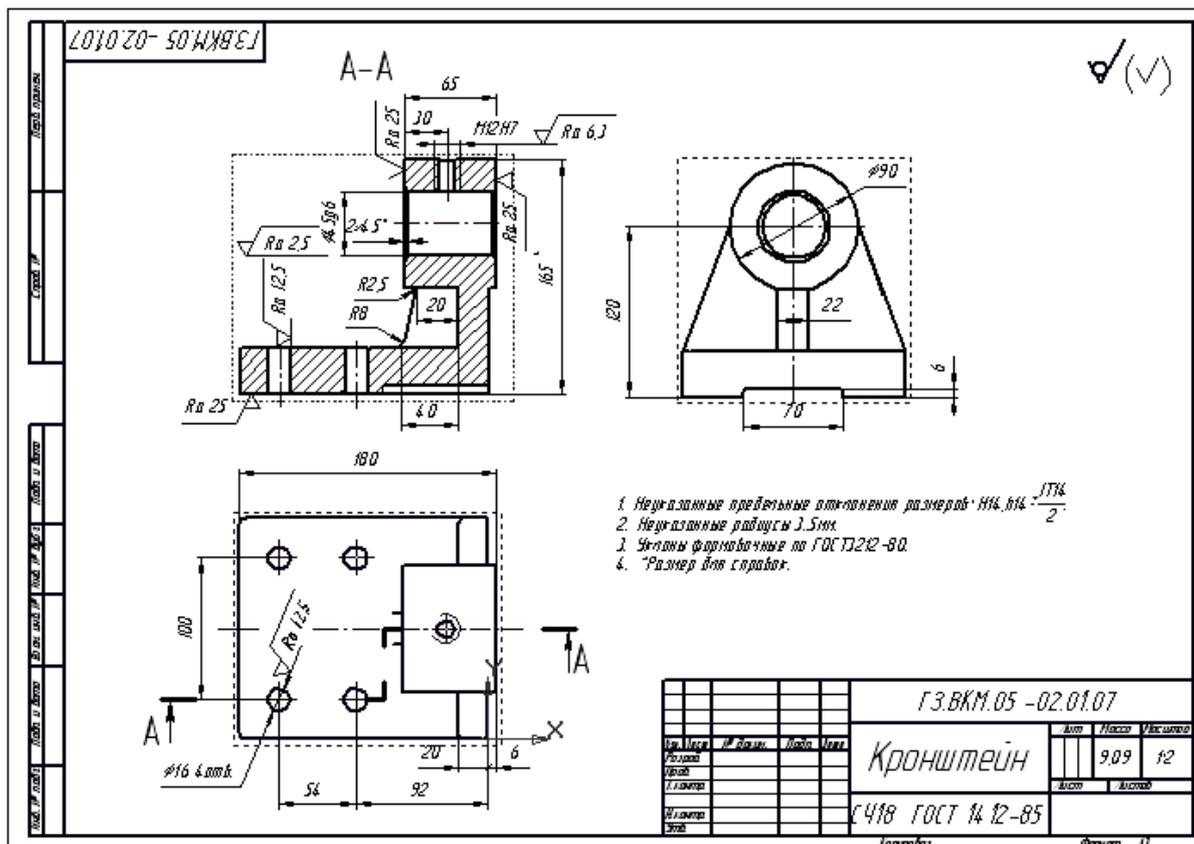


Рис. 3.37

Выполним ассоциативный чертёж детали **Направляющая** (рис. 2. 28).

Аналогично предыдущему примеру введем кнопку на панели

управления **<Чертёж>** , после чего в списке форматов выберем **A3**, а в группе **Ориентация** включим кнопку **Горизонтальная**. На рабочей

панели введем кнопку **<Стандартные виды>** . Для получения полной информации о данной детали достаточно одного вида. Удалим **проекционный вид 2 и 3**, а главный вид расположим на середине листа. Выберем масштаб 2:1 (рис. 3.38).

Выполним построение осевых линий, так же как для предыдущей детали, и покажем на главном виде местный разрез (рис. 3. 39).

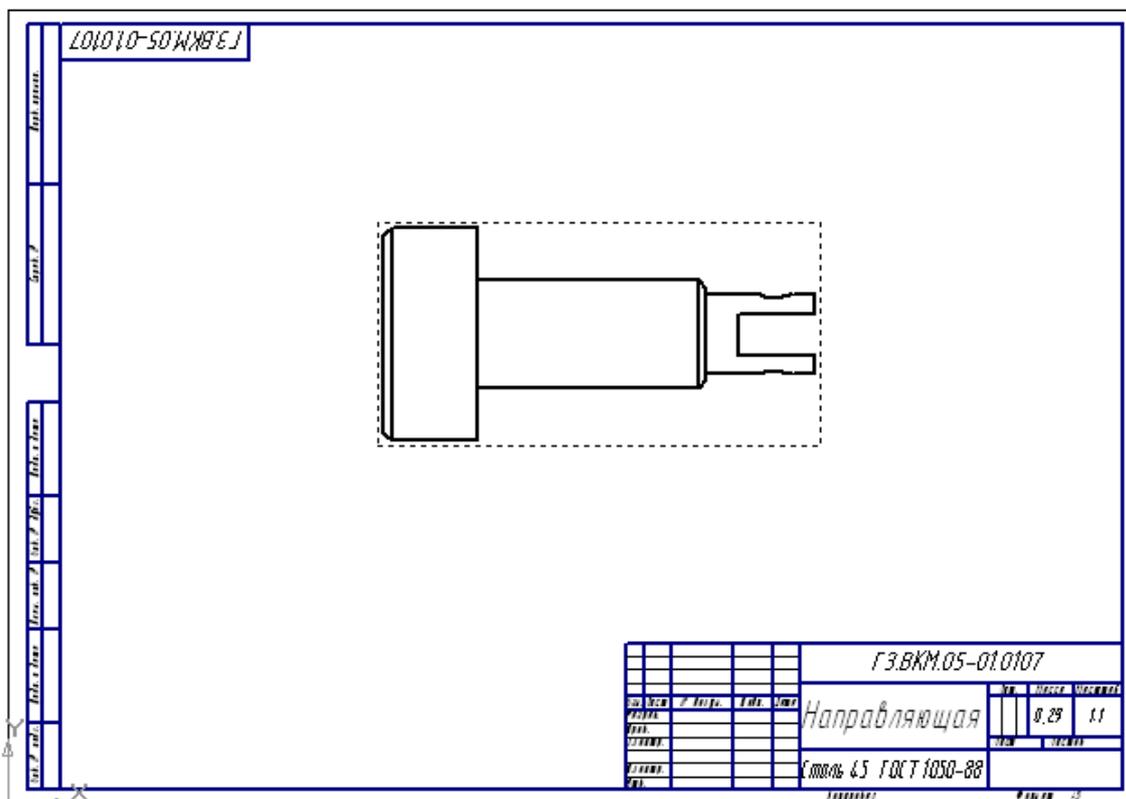


Рис. 3. 38

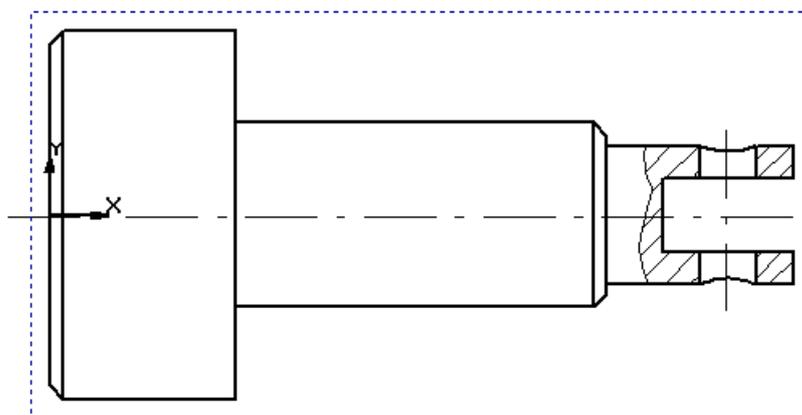


Рис. 3. 39

Выполним простановку размеров и технологических обозначений.

Важным этапом выполнения данного чертежа является простановка допусков отклонения форм и расположения поверхностей.

Как и в предыдущем примере команды для решения данной задачи находятся на **инструментальной панели обозначения** (рис. 3.33).

Для простановки обозначения базовой поверхности необходимо ввести кнопку **<База>** , затем следует указать поверхность (отрезок, определяющий данную поверхность, осевую или выносную линию). На экране появится фантом, по умолчанию система предложит обозначение **A**, но можно внести другое обозначение в строке параметров. Для этого надо щелкнуть мышью в текстовом окне и открыть диалоговое окно (рис. 3.40), а затем ввести другой символ. Проставим обозначения базы **A**, **Б** и **В** (рис. 3.41).

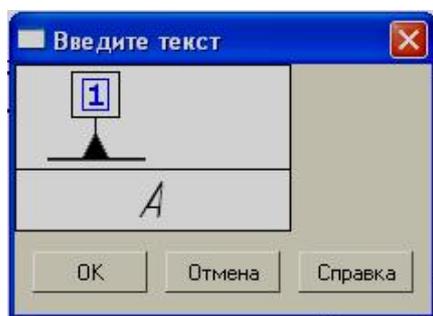


Рис. 3.40

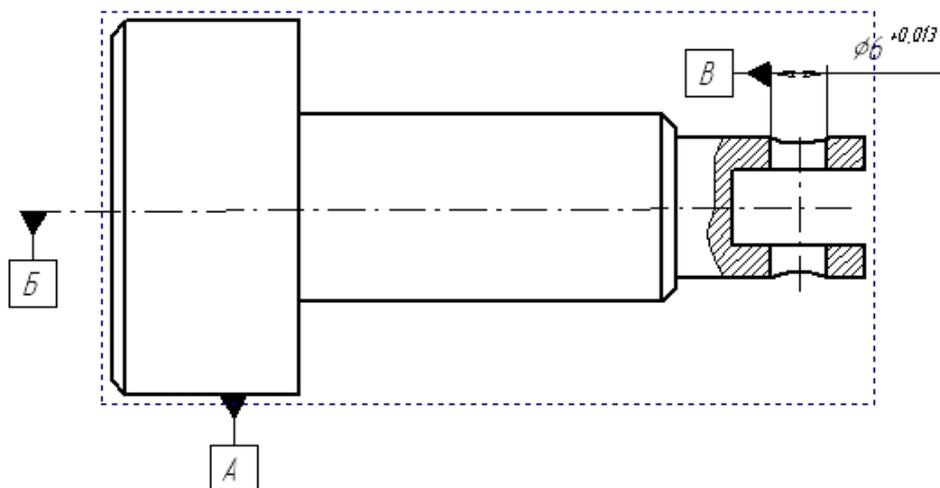


Рис. 3.41

Простановка обозначения допуска формы и расположения поверхности осуществляется с помощью кнопки **<Допуск формы>** .

После запуска команды укажите мышью примерное положение таблицы. На экране появится фантом в виде прямоугольника с базовой точкой привязки (крестик) к рамке. Если необходимо изменить базовую точку, то следует ввести кнопку , после чего в строке **параметров объектов** можно выбрать одно из возможных положений точки.



Рис. 3. 42

Теперь можно приступить к формированию и заполнению ячеек таблицы. Введем кнопку *<Создание таблицы>*  и откроем диалоговое окно. В диалоговом окне поэтапно выберем все необходимые параметры (рис. 3. 43).

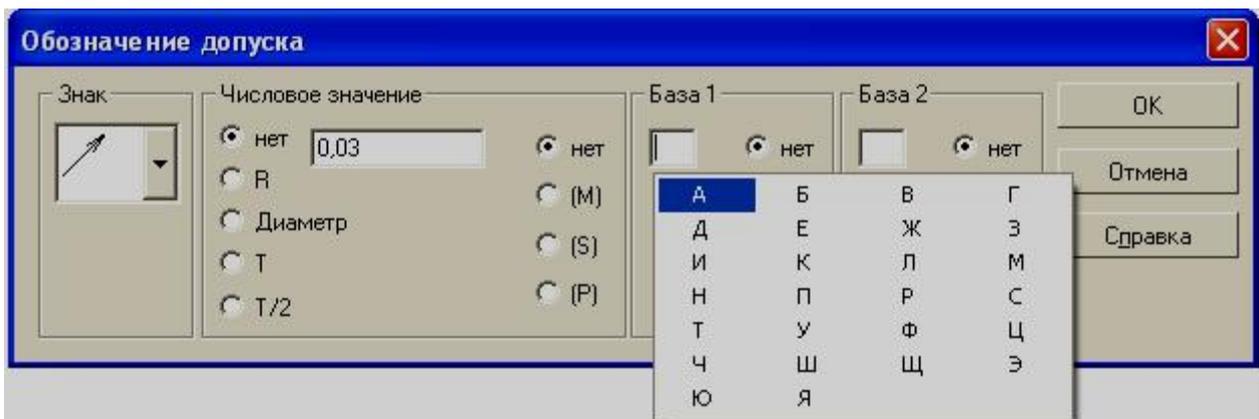
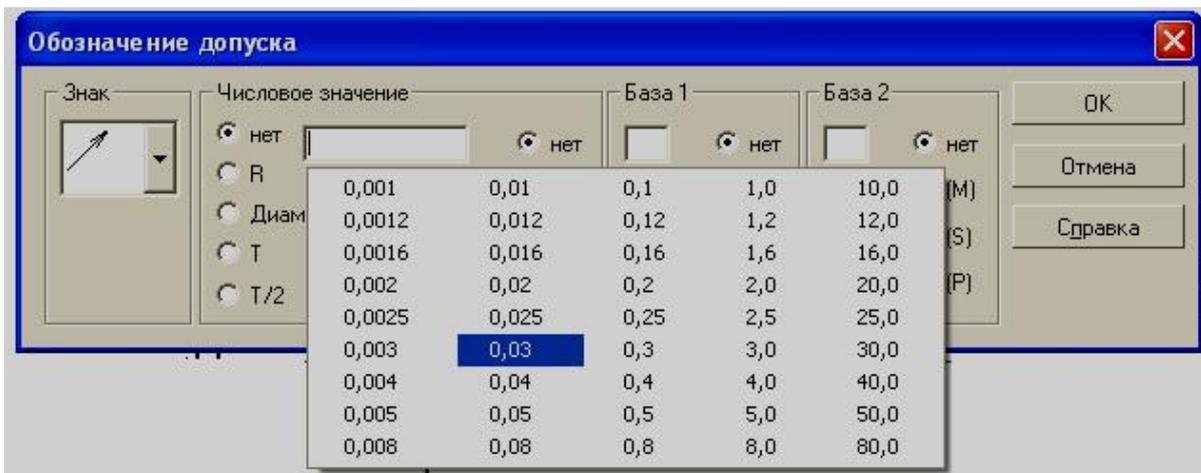
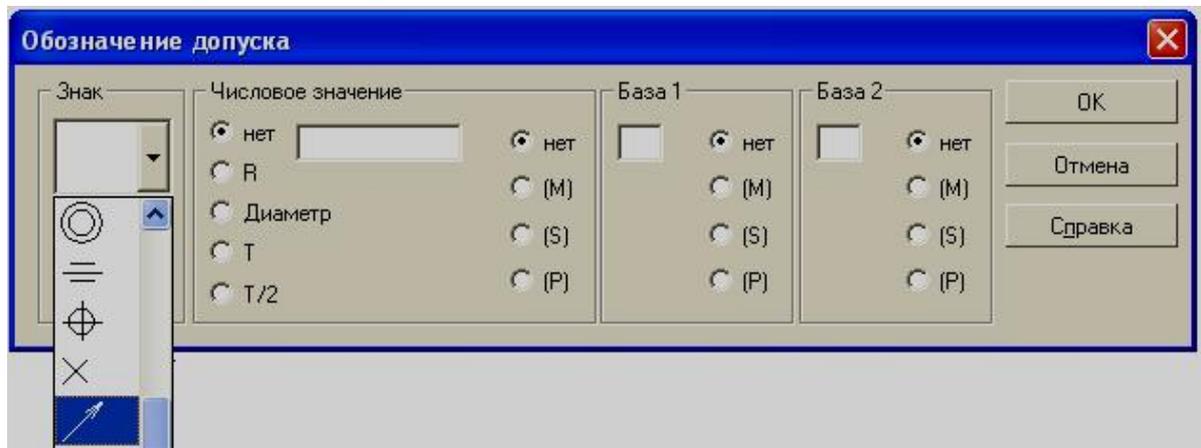


Рис. 3.43

Затем выберем кнопку  в строке **параметров объектов** и укажем поверхность, к которой будет прилегать стрелка. Введем кнопку  и в результате получим на чертеже допуск радиального биения (рис. 3. 44).

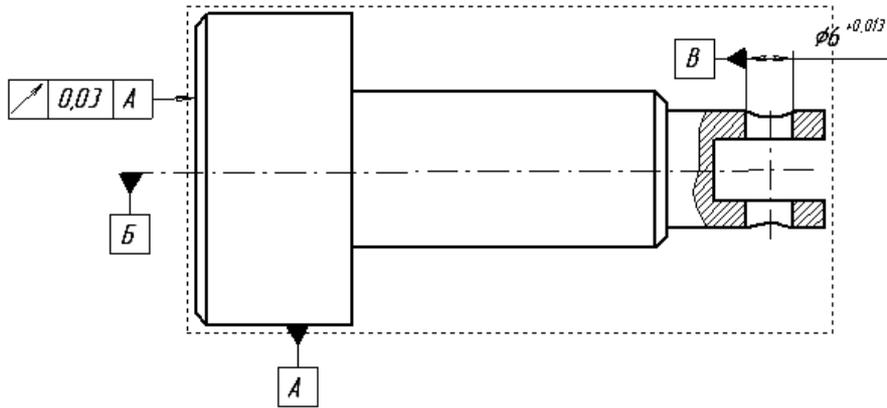


Рис. 3.44

Выполним обозначения всех остальных допусков, простановку размеров и шероховатости и получим изображение, представленное на рис. 3.45. В заключение необходимо проставить обозначение неуказанной шероховатости в верхнем правом углу, заполнить основную надпись, и выполнение чертежа будет завершено (рис. 3.46).

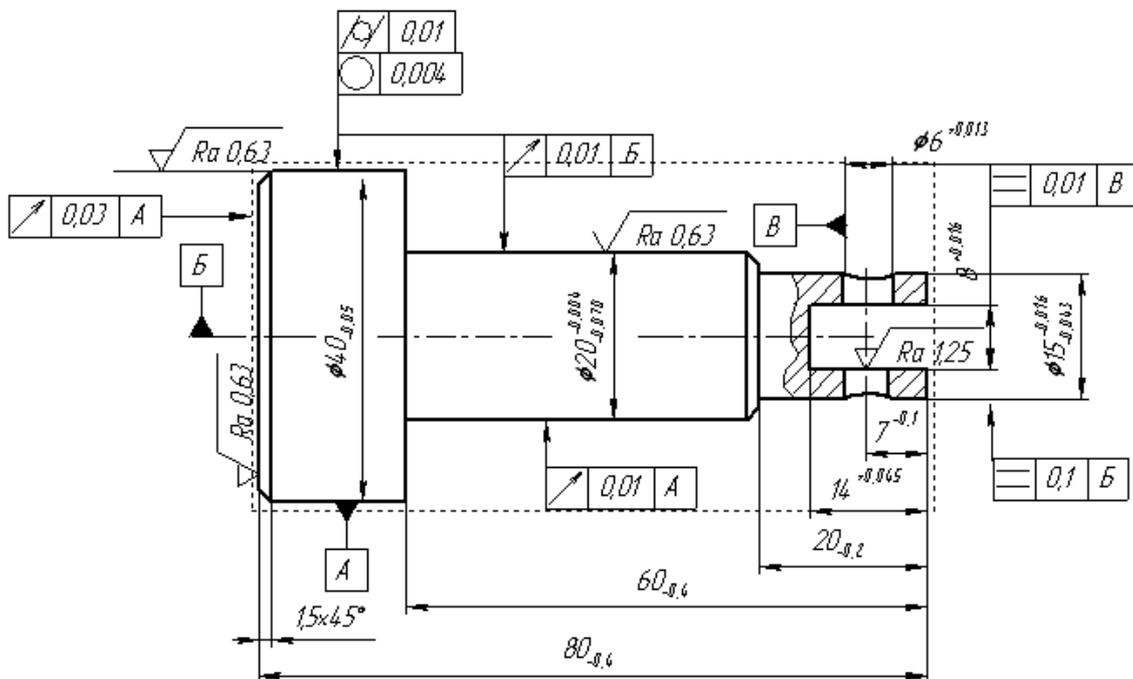


Рис. 3.45

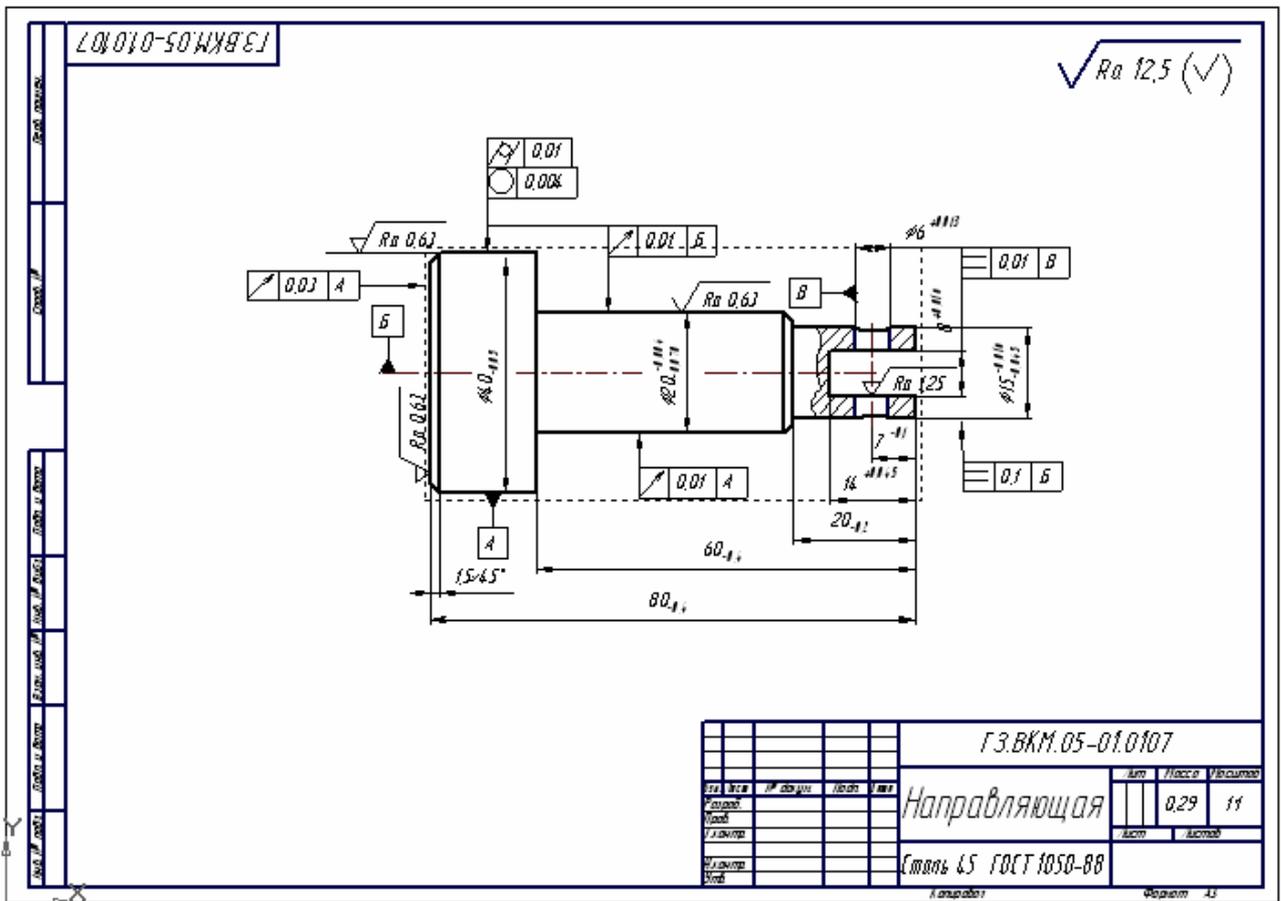


Рис. 3.46

4. РЕДАКТИРОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ В КОМПАС-3D

В поисках наиболее оптимального решения конструктор может вносить изменения в ранее задуманный прототип изделия. Одним из преимуществ трехмерного моделирования является возможность редактировать 3D-модели. Важным элементом редактирования служит дерево построения. Оно не только является структурой процесса моделирования, но и позволяет изменить любой эскиз, операцию или объекты вспомогательной геометрии. После удаления старых значений и внесения новых параметров, модель перестраивается. При этом сохраняются все существующие в ней связи.

При редактировании детали в КОМПАС-3D важно выполнять **основное требование**: изменения, вносимые в модель, не должны привести к разрушению целостности этой модели, т.е. к распадению ее на несколько отдельных частей.

Прежде чем начинать редактирование, целесообразно снять копию с существующей модели для того, чтобы можно было всегда вернуться к первоначальному варианту. Для примера выберем модель **Кронштейн**, откроем файл и сохраним его как **Кронштейн 2** (рис. 4.1)

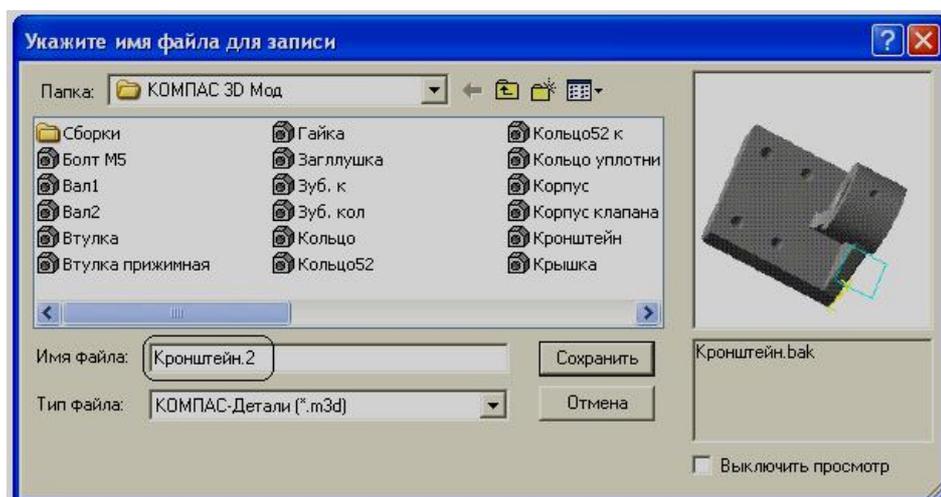


Рис. 4.1

4.1. Редактирование операций

Форма и размеры любого элемента модели зависят от эскиза, типа и параметров формообразующей операции. Некоторые операции, такие как «Скругление» и «Фаска» выполняются без предварительного создания эскиза и полностью определяются параметрами, задаваемыми в соответствующих диалоговых окнах.

При редактировании операций важно запомнить, что можно изменить количественные и качественные параметры ее, но нельзя изменить тип выполняемой операции, т. е. нельзя выдавливание элемента заменить вращением и т.д.

Рассмотрим несколько примеров редактирования операций

Пример 1

Изменить радиус скругления основания детали Кронштейн с 4 мм на 10 мм.

Для выполнения этой операции щелчком мыши выделим любую грань скругления основания на модели (рис. 4.2).

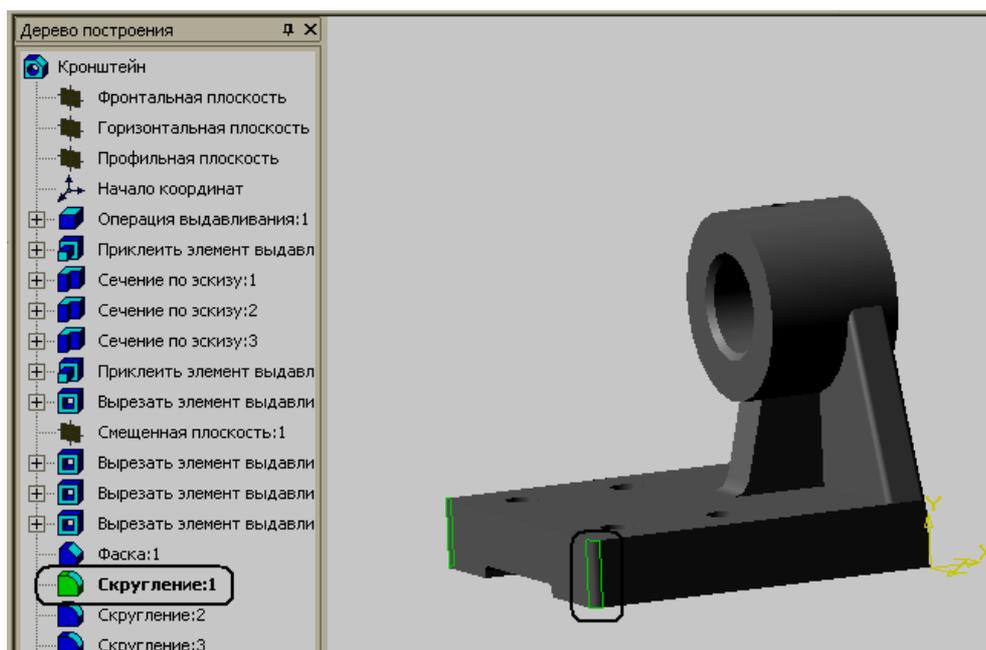


Рис. 4.2

В дереве построения пиктограмма, обозначающая данную операцию, отобразится светло-зеленым цветом. Правой клавишей мыши введем контекстное меню (рис. 4.3) и выберем команду **Редактировать элемент**. В результате, появится строка параметров объектов (рис. 4.4), где необходимо изменить значение 4 на 10.

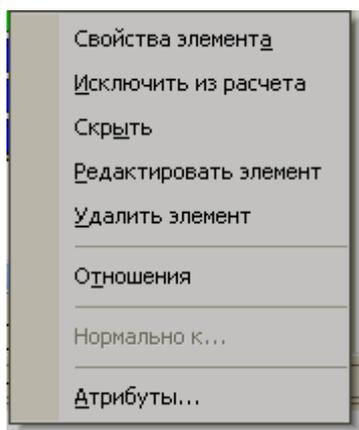


Рис. 4.3

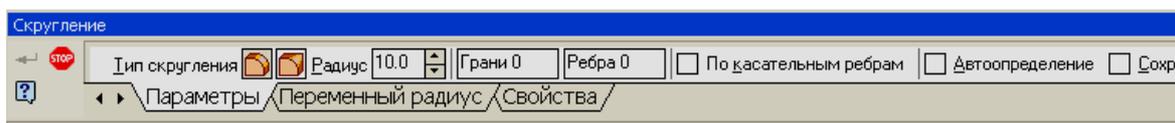


Рис. 4.4

После ввода кнопки **<Создать>** модель автоматически будет перестроена согласно новому параметру (рис. 4.5). Причем изменятся радиусы скругления двух ребер, так как эти скругления ранее выполнялись одной операцией.

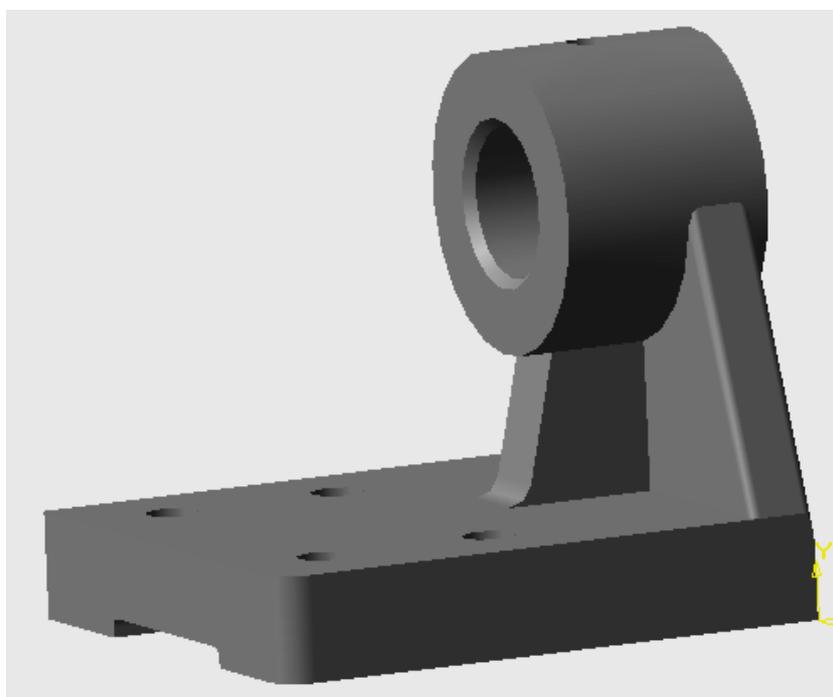


Рис. 4.5

Пример 2

Изменить толщину основания Кронштейна с 32 мм на 40 мм.

Чтобы изменить толщину пластины основания в дереве построения выберем элемент **Операция выдавливания 1** и в соответствующем контекстном меню введем команду **Редактировать элемент** (рис. 4.6). Система перейдет в режим редактирования, при этом на экране модель будет изображена в том виде, какой она была в процессе создания до формирования рассматриваемого элемента (рис. 4.7). В дереве построения все элементы, начиная с редактируемого и более позднего создания, помечаются специальной пиктограммой «замком» и отображаются голубым цветом (рис. 4.8)

«Замок» - означает временное исключение из расчетов всех указанных элементов. Данные этапы построения не отображаются в окне модели, однако информация о них сохраняется в памяти компьютера. На экране

появляется диалоговое окно такое же, как и при первоначальном создании пластины выдавливанием.

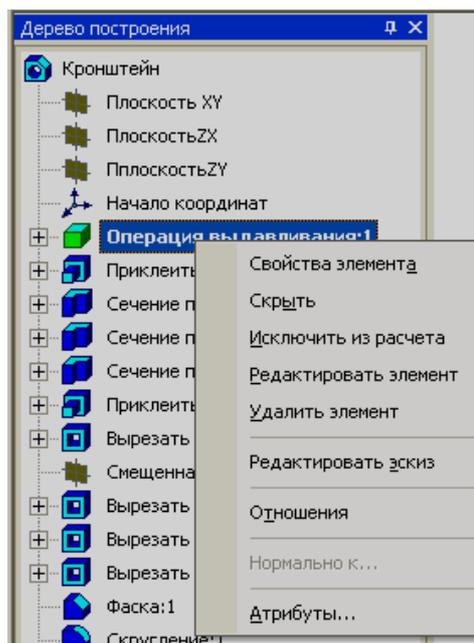


Рис. 4.6

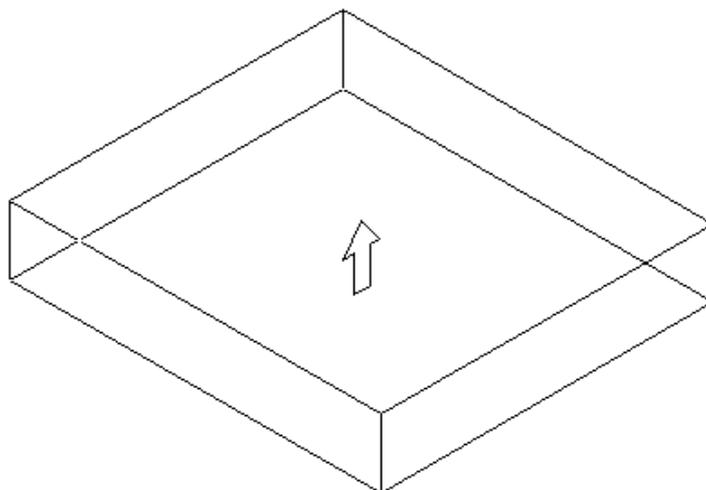


Рис. 4.7

В строке **параметров** необходимо внести изменения толщины основания (рис. 4.9) после чего произойдет перестройка модели.

Модель приобретет вид, показанный на рис. 4.10.

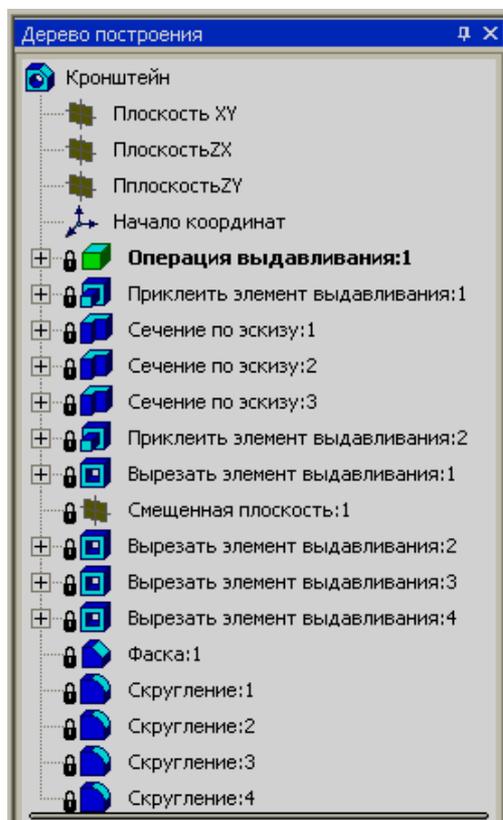


Рис. 4.8

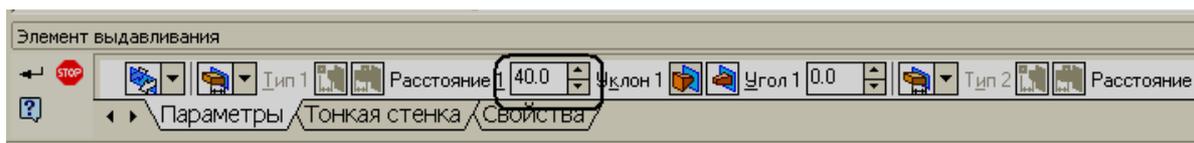


Рис. 4.9

При редактировании некоторых элементов на пиктограмме детали может появиться изображение восклицательного знака, обведенного красным. Если произведено такое редактирование модели, которое делает невозможным существование каких-либо геометрических элементов детали, то появляется предупреждение об ошибках. Можно нажать на правую клавишу мыши, после чего откроется контекстное меню, где можно увидеть надпись «Что неверно» (рис. 4.11).

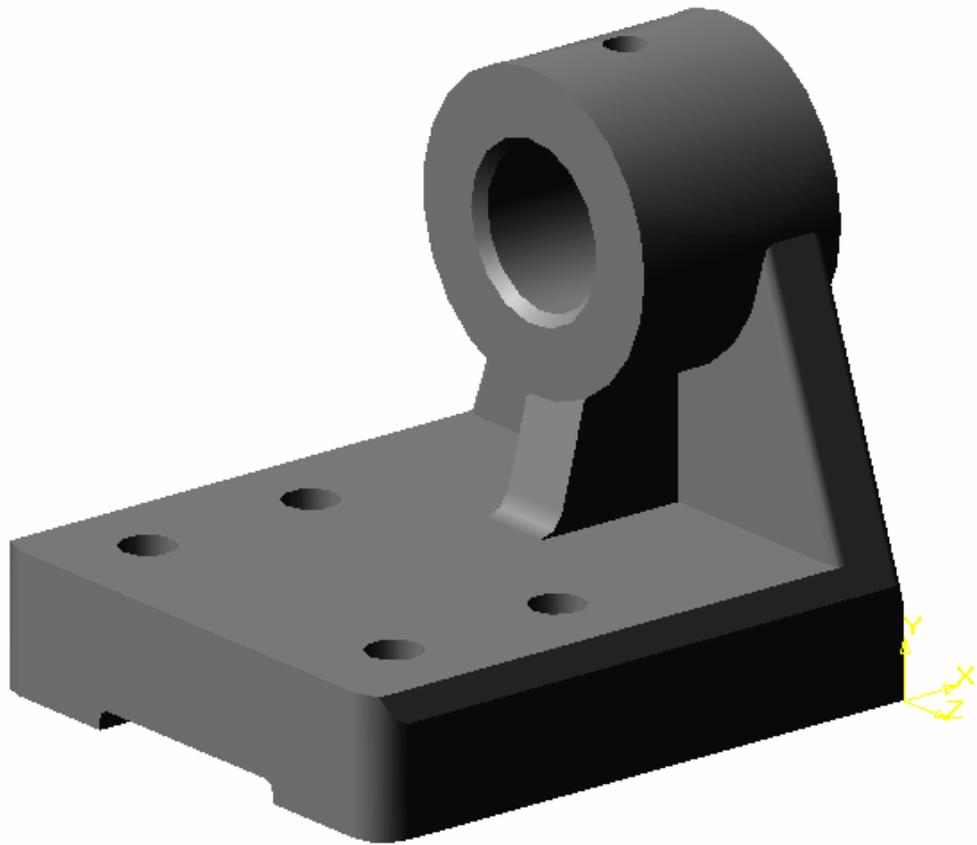


Рис. 4.10

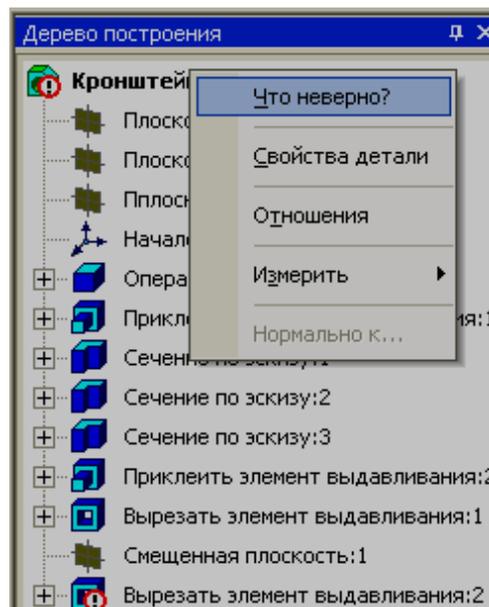


Рис. 4.11

Если еще раз щелкнуть левой клавишей, то откроется диалоговое окно, в котором будут подробно описаны возникшие ошибки (рис. 4.12).

Кроме этого восклицательный знак появится в дереве построения рядом с пиктограммой операции или эскиза, в которых произошли нарушения связей, формы или размеров.

Справочная система содержит рекомендации по устранению различных ошибок, возникающих в процессе редактирования. Чтобы получить разъяснения о конкретной ошибке и рекомендации по ее устранению, следует выделить в диалоговом окне характеристику ошибки и нажать кнопку **<Справка>**.

Откроется диалоговое окно (рис. 4.13) с подробным анализом ошибок. Для исправления которых, необходимо редактировать эскиз или операцию.

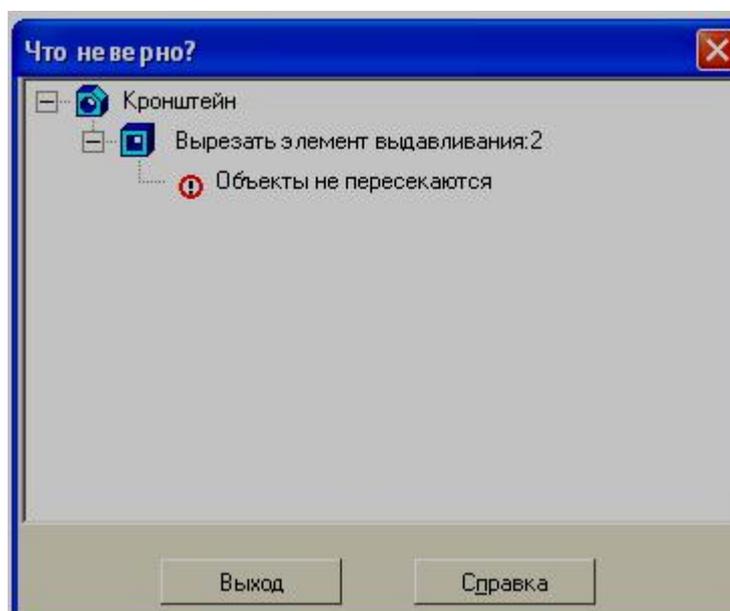


Рис. 4.12

Объекты не пересекаются

Это предупреждение появляется, если после редактирования модели вырезанный или приклеенный формообразующий элемент не пересекается с телом модели.

Как исправить эту ошибку

- Войдите в режим редактирования ошибочного элемента и задайте такие его параметры, чтобы элемент пересекался с моделью.
- Или войдите в режим редактирования эскиза ошибочного элемента и отредактируйте контур в нем так, чтобы элемент с данными параметрами пересекался с моделью.

Рис. 4.13

4.2. Редактирование эскизов

Эскиз в КОМПАС-3D является основным базовым элементом, формирующим форму и размеры будущей модели. Система позволяет вносить изменения в любой эскиз, после чего модель будет перестроена согласно внесенным изменениям.

Для редактирования эскиза следует указать его. Это можно сделать с помощью дерева построения или щелчком мыши на любой грани, сформированной с помощью данного эскиза. Затем следует вызвать из контекстного меню команду **Редактировать эскиз**. Если эскиз был выбран в дереве построения, то следует нажать кнопку *<Эскиз>* на панели управления; как и в редактировании операций, модель вернется к состоянию создания ее на этапе формирования выбранного эскиза. В процессе редактирования можно вносить любые изменения: перестраивать контур, менять размеры, накладывать и удалять параметрические связи и ограничения. Если эскиз параметрический и содержит ассоциативные размеры, вы можете удалять или редактировать их. Важно помнить, что редактирование эскиза не должно привести к полному разрушению модели или невозможности перестройки вашей конструкции на основе внесенных изменений.

Пример 1

Изменить высоту прорези с 6 мм на 16 мм.

В дереве построения найдем: **Вырезать элемент выдавливания: 3** и щелчком мыши выберем значок «+», при этом появится пиктограмма и надпись: **Эскиз 9** (рис. 4.14) . Правой клавишей мыши введем контекстное меню и выберем команду **Редактировать эскиз**. После чего в окне появится контур прорези, где мы увеличим высоту прорези (рис. 4.15).

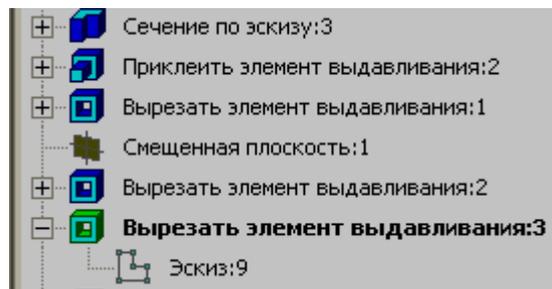


Рис. 4.14

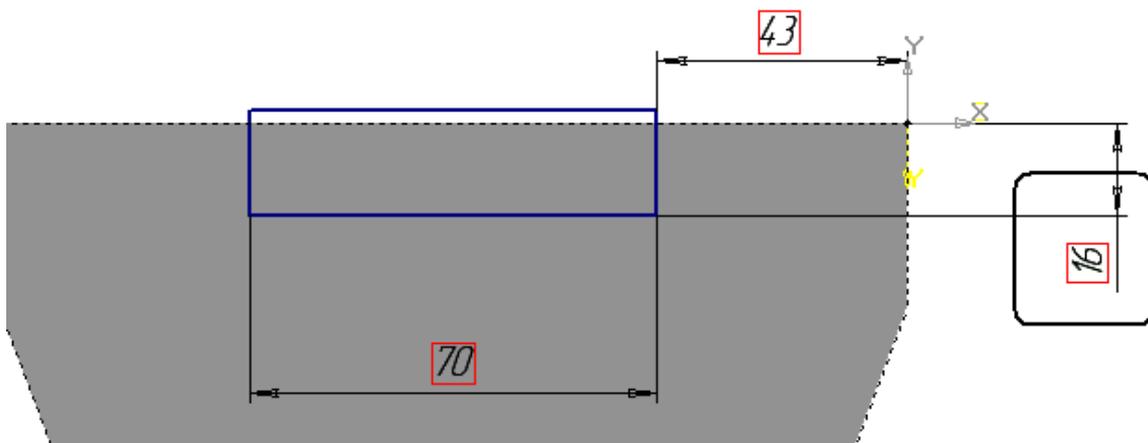


Рис. 4.15

Введем кнопку **<Эскиз>**, после чего система выйдет из режима редактирования, и в результате получим модель, изображенную на рис. 4. 16

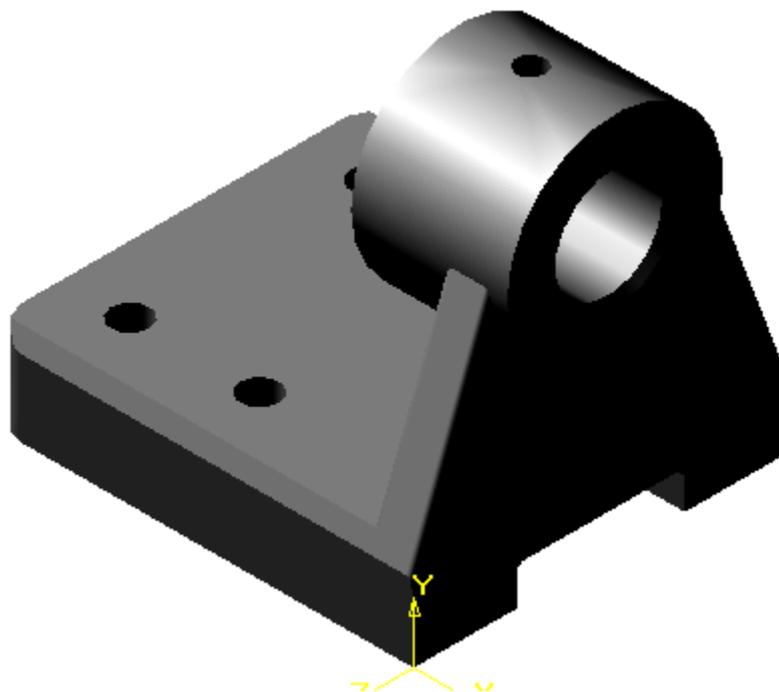


Рис. 4.16

Рассмотрим еще один пример редактирования эскиза

Пример 2

Изменить длину основания Кронштейна с 174 мм на 154 мм.

Аналогично в дереве построения найдем: **Операция выдавливания: 1** и **Эскиз 1**. Введем команду **Эскиз**, и в окне появится контур основания. Для изменения значения линейного размера необходимо выполнить двойной щелчок мышью в области размерной надписи, заключенной в красный прямоугольник. При этом на экране появится диалоговое окно, где и следует внести необходимые изменения (рис. 4.17).

Закончим редактирование и снова введем кнопку **<Эскиз>**. После чего система перестроит прямоугольник основания, относительно начала координат согласно внесенным изменениям (рис.4.18).

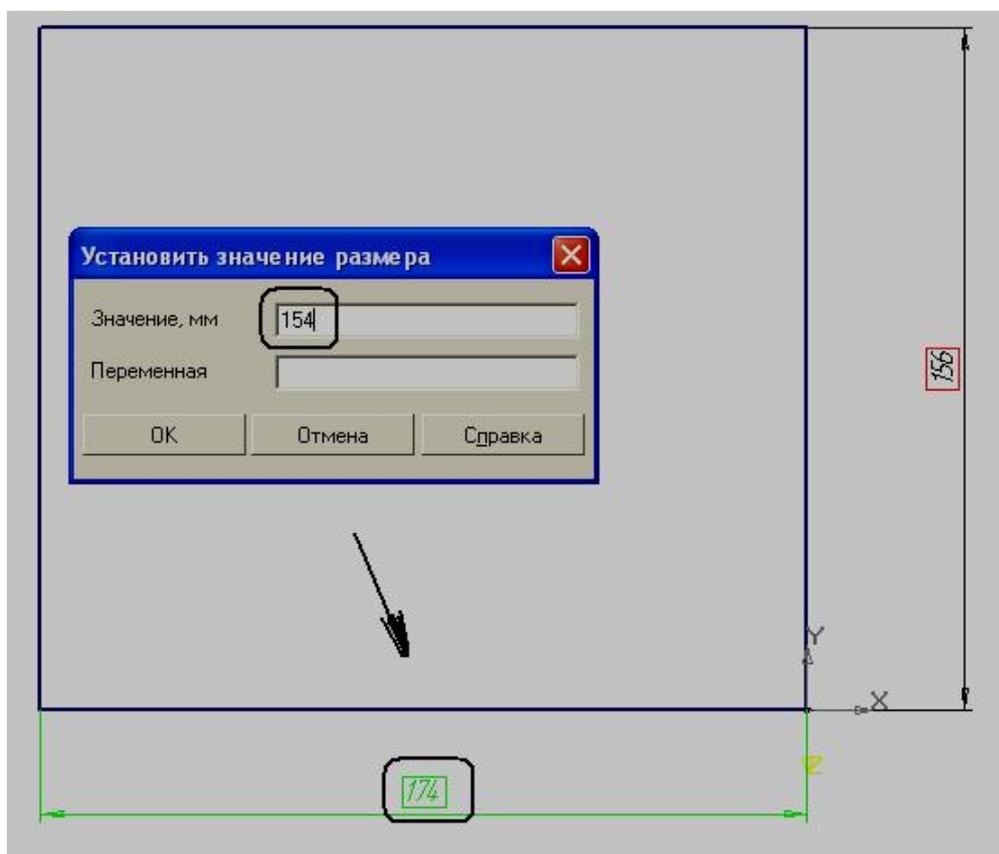


Рис. 4.17

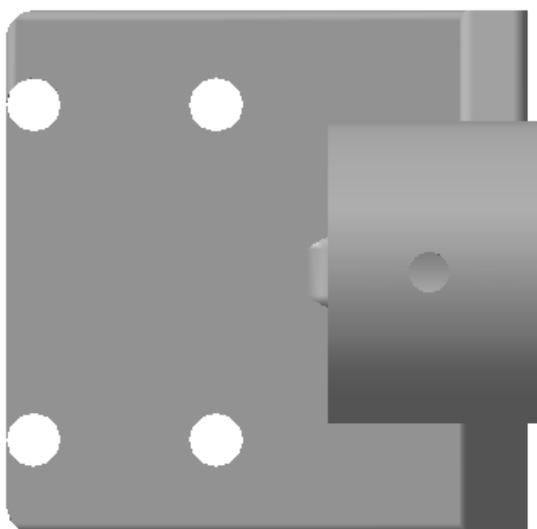


Рис. 4.18

В процессе обновления предупреждения об ошибках в дереве построения не появились. Однако отверстия для крепления оказались рядом с торцевой гранью (рис. 4.18), что недопустимо по технологическим

соображениям. Поэтому отредактируем **Эскиз 9**, изменив расстояние от отверстий до торцевой грани (рис. 4.19).

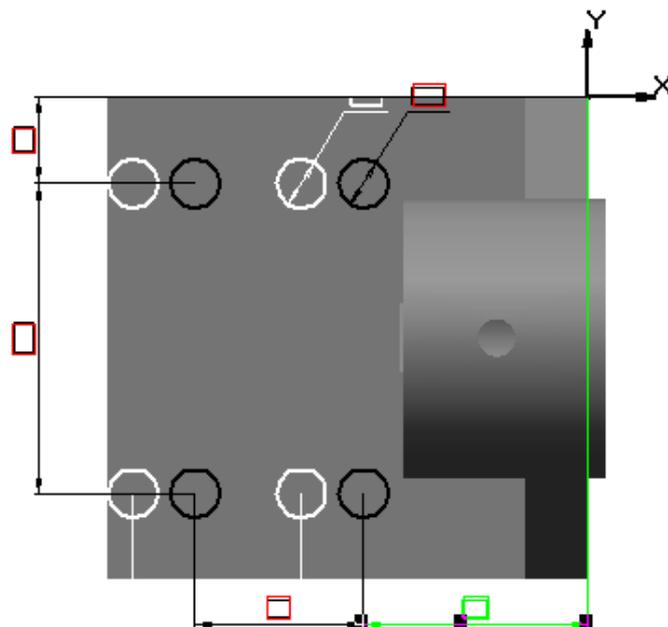


Рис 4. 19

В конечном результате получим модель **Кронштейн 2** (рис. 4.20)

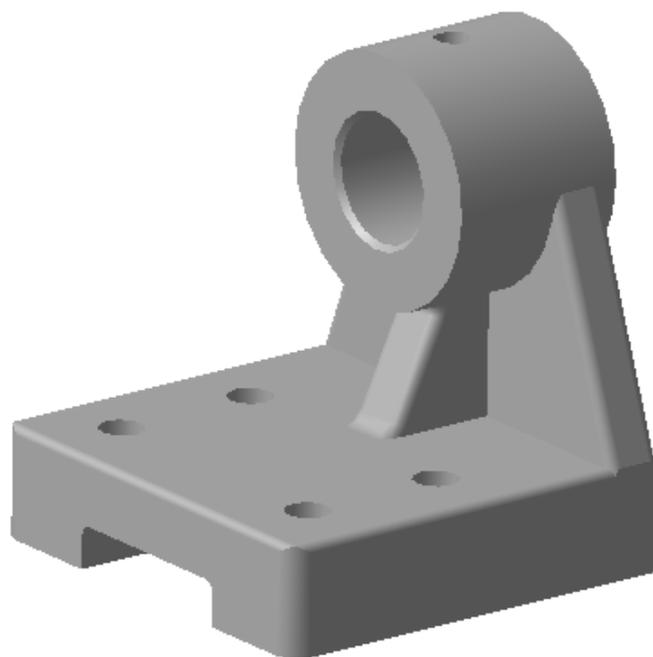


Рис. 4.20

5. СПЕЦИАЛЬНЫЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ В КОМПАС-3D

В процессе редактирования моделей, как мы убедились, могут возникать различные несоответствия или ошибки, которые затем приходится корректировать. Эти дополнительные действия не являются недостатками системы. Они являются недостатками самой модели или точнее выбранной технологии ее создания.

Каждый раз при формировании модели мы сталкиваемся с выбором: быстро создать модель определенной геометрии, а затем если понадобится редактировать ее, или затратить больше времени на ее создание, используя специальные технологии, но в последствии иметь возможность изменять ее в весьма широких пределах, без дополнительных корректировок. Поскольку процесс конструирования – это творческий процесс, который часто требует внесения определенных поправок, то второй вариант является наиболее предпочтительным. Можно сочетать оба варианта, формируя модель. Те составляющие, которые в дальнейшем не прогнозируются изменять, можно создать жесткими, а элементы, которые в процессе проектирования могут меняться, следует формировать в гибком варианте.

5.1. Построение гибкой модели

К основным средствам, обеспечивающим построение гибких, легко перестраиваемых моделей можно отнести следующие:

1. Анализ и планирование деталей и сборок.
2. Использование параметризации в эскизах.
3. Использование переменных и выражений.
4. Использование опций в командах создания объемных элементов.

5. Использование вспомогательных объектов в эскизах.
6. Использование компоновочных эскизов.
7. Создание новых моделей при проектировании сборок.

Проведя тщательный анализ и планирование, можно составить прогноз возможных изменений при проектировании какого-либо изделия и выработать наиболее рациональный метод конструирования модели. Анализ детали целесообразно проводить в следующей последовательности:

1. мысленно разъединить модель на простые геометрические тела (цилиндр, параллелепипед, сфера и т.д.);
2. выделить один из составляющих элементов в качестве основного, с которого начинается построение модели;
3. определить какие элементы в последствии могут быть изменены;
4. выяснить, какие связи необходимы между отдельными составляющими, чтобы наиболее корректно редактировать модель;
5. если модель симметричная, применить команду **Симметрия**;
6. если модель имеет повторяющиеся геометрические элементы, то применить команду **Массив**;
7. определить порядок, в котором следует выполнять построение модели, при этом целесообразно учитывать технологию изготовления детали.

В качестве примера рассмотрим построение гибкой модели детали **Корпус**.

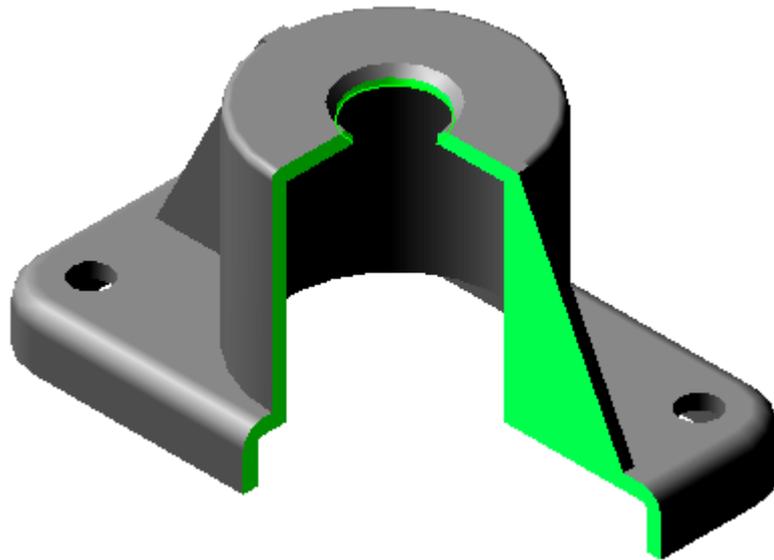


Рис. 5.1

Для построения гибкой модели проведем *предварительный анализ детали*.

1. Деталь состоит из основания в виде призмы, боковые ребра которой скруглены.
2. На основании по центру находится цилиндрическая бобышка.
3. В углах призмы расположены четыре сквозных крепежные отверстия.
4. На цилиндрической части детали по центру находится отверстие с фаской.
5. Основание и цилиндрическая поверхность связаны ребрами жесткости.
6. Деталь представляет собой тонкостенную отливку, внутренняя поверхность которой полностью соответствует внешней форме, за исключением ребер жесткости.
7. Форма детали симметрична относительно фронтальной и профильной плоскостей.

8. В процессе конструирования предполагается изменять длину, ширину и высоту основания, толщину стенки, диаметр цилиндрической бобышки и отверстий, толщину ребер жесткости.
9. При изменении параметров детали не должна нарушаться ее продольная и поперечная симметрия.
10. При изменении ширины и длины основания, крепежные отверстия должны находиться на неизменном расстоянии от боковых граней, тем самым межосевые расстояния при этом изменяются в автоматическом режиме.
11. При изменении размеров основания и цилиндрической бобышки соответствующим образом должны перестраиваться ребра жесткости.

Важную роль в процессе компьютерного проектирования играют привязки. **Глобальные привязки** можно установить в диалоговом окне, которое открывается с помощью кнопки *<Установка глобальных*

привязок> 

В данном случае установленные привязки будут действовать в течение текущего сеанса работы с компьютером. Если вы хотите, чтобы определенные привязки работали постоянно, то их следует установить в аналогичном диалоговом окне, которое открывается по схеме: **Сервис** → **Параметры** → **Система** → **Привязки** (рис. 5.2).

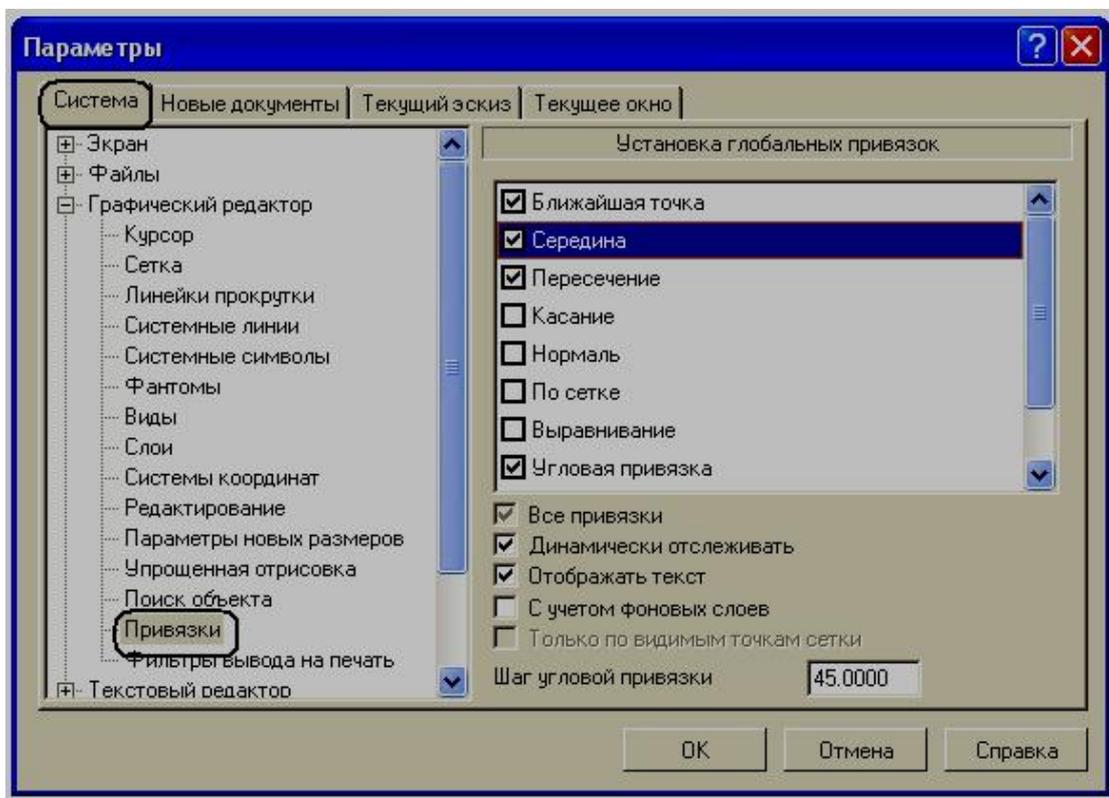


Рис. 5.2

Постоянными целесообразно выбирать только те привязки, которые наиболее часто приходится применять в работе. Чем больше привязок включено, тем сложнее определить, какая из них работает в текущий момент, так как искомые точки могут располагаться рядом.

Остальные привязки можно применять как **локальные**, используя контекстное меню.

Построение модели начнем с создания прямоугольной призмы, которую примем за основание корпуса.

В дереве построения укажем элемент **Плоскость XY** и включим кнопку **<Эскиз>**. **Эскиз 1** будет представлять собой прямоугольник. КОМПАС-3D позволяет автоматически генерировать, а затем поддерживать симметрию элементов относительно основных или вспомогательных плоскостей. Линии пересечения стандартных плоскостей проходят через точку начала координат, поэтому при построении

прямоугольника центр его расположим в начале координат. Помимо этого для создания гибкой модели необходимо использовать *параметризацию* в эскизах.

Параметрический эскиз, кроме данных об объектах, содержит информацию о *связях* между объектами и о наложенных на объекты *ограничениях*. Подробнее об этом было изложено в первой части пособия.

Накладывая на геометрические элементы связи и ограничения, конструктор постепенно формирует *параметрическую модель* – объединенный комплекс геометрических объектов, элементы которого непрерывно поддерживают заданные параметрические зависимости. Такая модель по желанию пользователя может динамически менять свою форму, без нарушения установленных связей между отдельными элементами.

В предыдущей главе мы уже устанавливали параметризацию в *Настройках системы*, а теперь введем параметры текущего эскиза по схеме: **Сервис** → **Параметры** → **Текущий эскиз** → **Параметризация** (рис. 5.3). После чего основная часть параметрических связей и ограничений (совпадение точек, горизонтальность, вертикальность и др.) в текущем эскизе может формироваться автоматически.

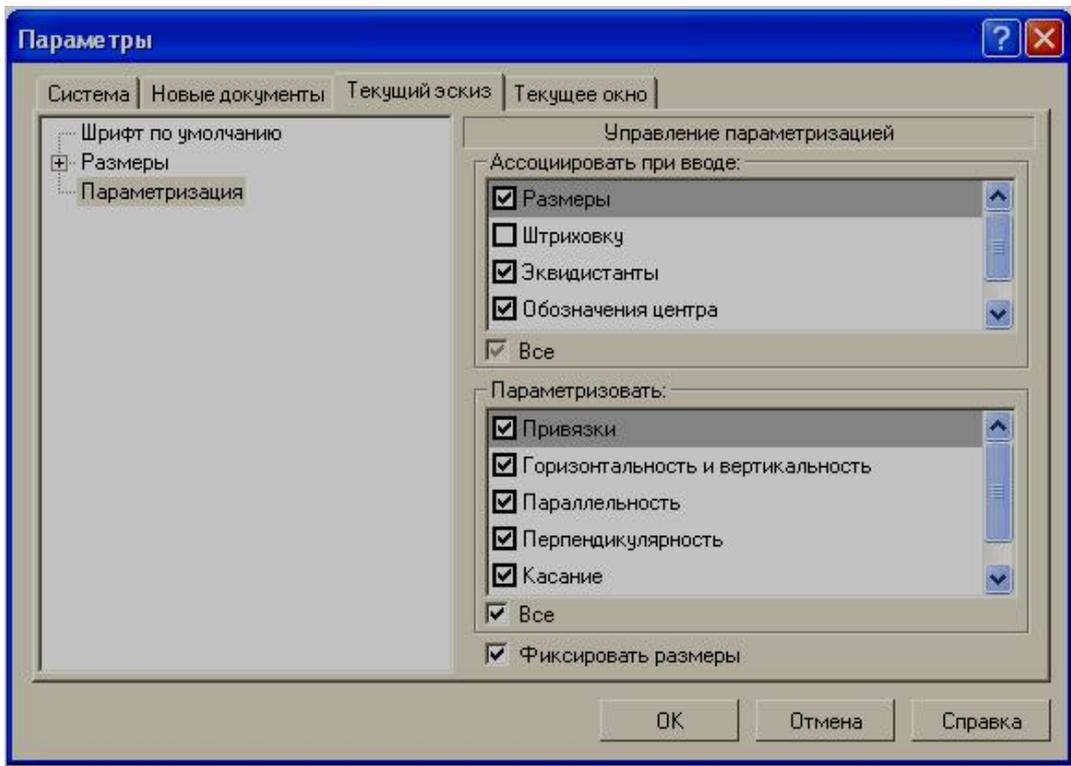


Рис. 5.3

Построим в эскизе прямоугольник по двум заданным точкам, используя одноименную команду. Начало координат расположим внутри прямоугольника (рис. 5.4).

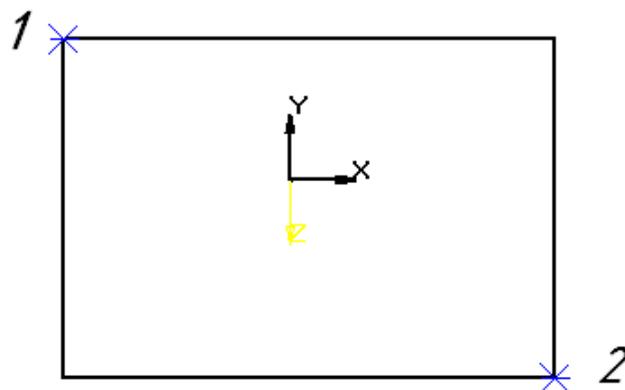


Рис. 5.4

КОМПАС-3D имеет возможность показать пользователю в любой момент времени наложенные на объект связи и ограничения. Для просмотра следует указать мышью один из элементов эскиза и нажать на правую клавишу. В открывшемся контекстном меню выбираем команду **Показать / удалить ограничения** (рис. 5.5). На экране над строкой

параметров объектов появится окно, в котором в виде списка представлены все связи и ограничения (рис. 5.6).

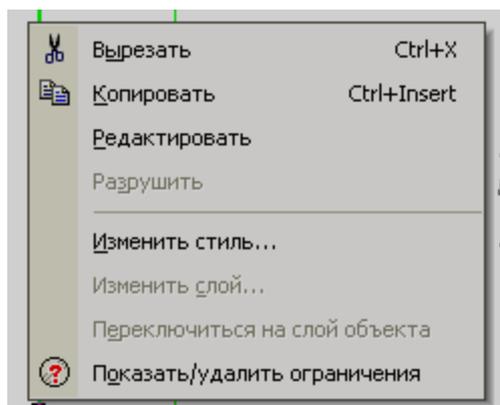


Рис. 5.5

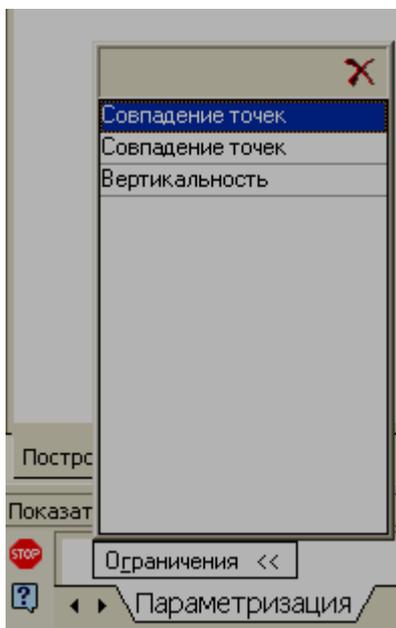


Рис.5.6

Первая строка выделена цветом. Это означает, что связь **Совпадение точек** является текущей.

Таким образом, правый вертикальный отрезок (выбранный нами для установления связей) будет выделен зеленым цветом. Он связан с верхним

горизонтальным отрезком, подсвеченным красным цветом, связью **Совпадение точек** (текущая строка рис. 5.6) в точке, выделенной на рис. 5.7.

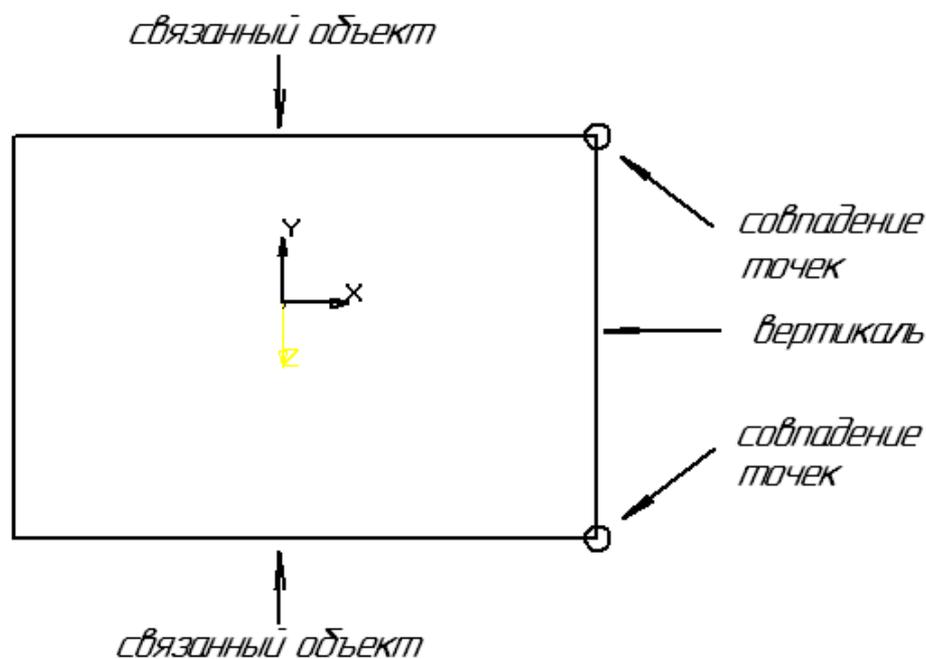


Рис. 5.7

Если мы сделаем текущей вторую строку, то красным будет подсвечена нижняя сторона прямоугольника, которая связана с вертикальным отрезком в указанной на рис. 5.7 точке.

Если сделать текущей строку **Вертикаль** – кроме самого отрезка ни один из объектов эскиза не будет выделен. Это означает, что вертикальность является параметрическим ограничением, которое характеризуется равенством координаты X конечных точек отрезка или углом наклона, равным 90° .

Аналогично можно просмотреть автоматически установленную параметризацию других геометрических элементов.

Параметрически связанные объекты появятся, если мы будем использовать ряд команд при создании примитивов (**Параллельный**

отрезок, Перпендикулярный отрезок, Отрезок, касательный к двум кривым и т. д.) или некоторые команды редактирования.

Важнейшими элементами при формировании параметрических объектов является привязки.

С помощью команды **Отрезок** построим стилем линии **Тонкая** диагональ прямоугольника. Как уже отмечалось, контуры эскиза создаются обязательно стилем линии **Основная**, поэтому все вспомогательные построения можно выполнять любым другим стилем линии, они не будут участвовать в формировании контура трехмерного тела.

С помощью привязки **Середина** и команды **Точка** построим вспомогательную точку на середине диагонали.

Посмотреть связи и ограничения диагонального отрезка можно не только с помощью контекстного меню, как описывалось выше, а также с

помощью кнопки *<Показать / удалить ограничения>* , которая находится на панели **Параметризация**. Откроем окно (рис. 5.8) и определим связи и ограничения, наложенные на диагональ.

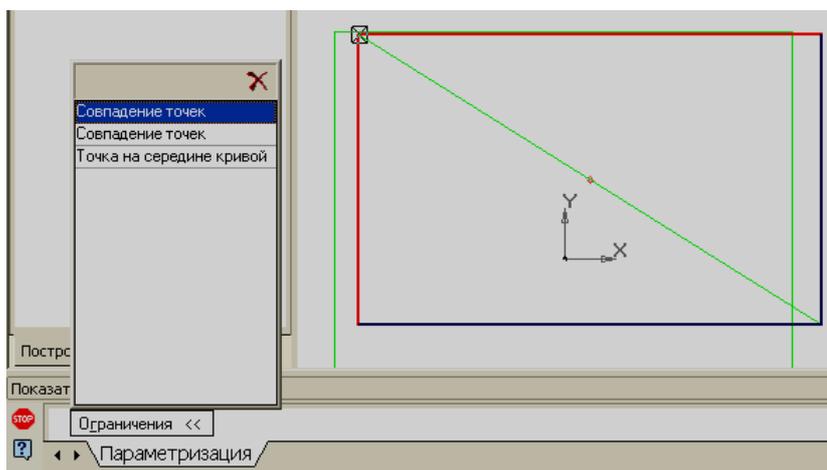


Рис. 5.8

Теперь можно ввести **фиксированные размеры** (рис. 5.9), которые остаются постоянными при любых изменениях в геометрических построениях. Аналогично можно посмотреть связи и ограничения любого фиксированного размера (рис. 5.9).

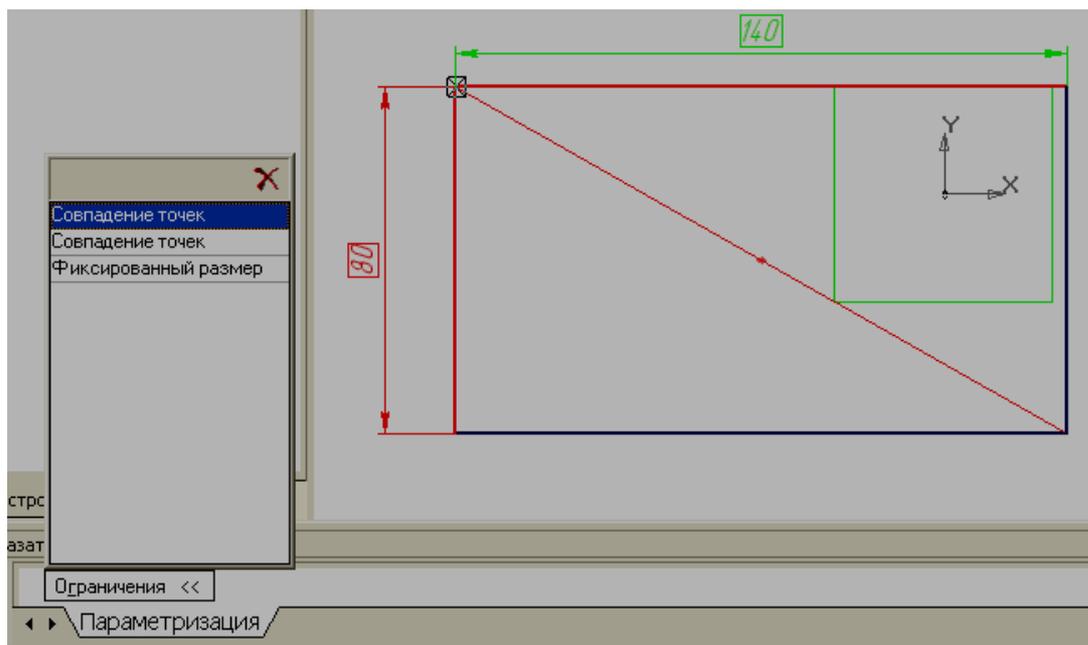


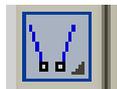
Рис. 5.9

Кроме просмотра диалоговое окно **«Показать / удалить ограничения»** позволяет удалить любую связь или ограничение, если нажать на кнопку **<Удалить>** .

В процессе формирования параметрических эскизов не всегда удается создать все необходимые связи и ограничения. В таких случаях их можно задать в ручном режиме с помощью инструментальной панели **Параметризация**.

Особенностью ручного режима наложения связей является наглядность. В автоматическом режиме параметризация происходит в процессе создания чертежа и фактически скрыта от пользователя.

На панели **Параметризация** введем кнопку *<Объединить точки>*



и в ответ на запрос укажем последовательно точку начала системы координат 0 и вспомогательную точку на диагонали 1 (рис. 5.10).

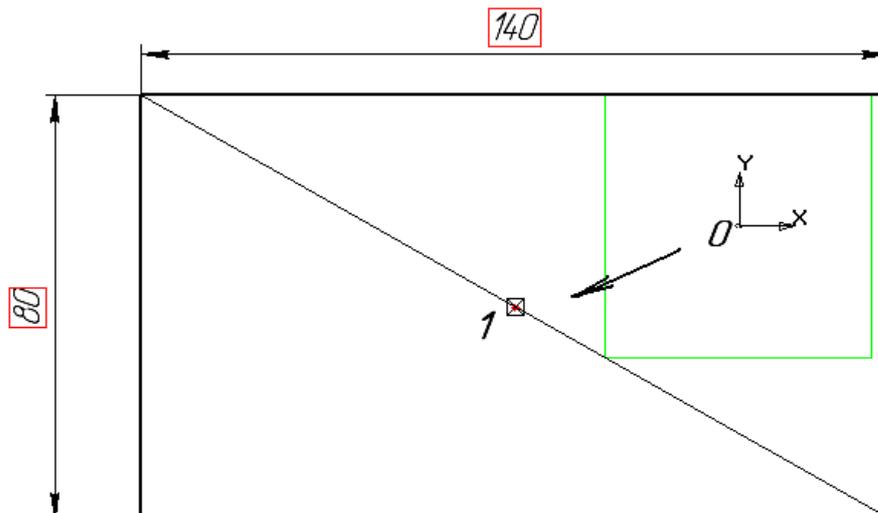


Рис. 5.10

Точка 0 начала координат жестко зафиксирована и не может перемещаться, поэтому будет перемещаться точка 1 и связанная вместе с ней конструкция прямоугольника (рис. 5.11).

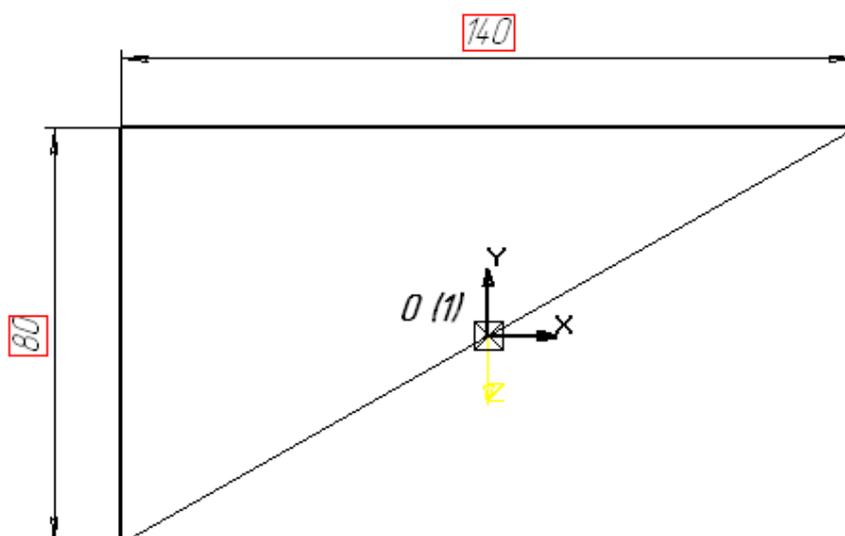


Рис. 5.11

Созданный таким образом параметрический эскиз представляет собой единую конструкцию, которая может изменяться только по определенному закону. Данный закон и формирует пользователь в процессе наложения отдельных связей и ограничений.

Для построения основания применим операцию выдавливания на **15мм** в обратном направлении.

Затем скруглим боковые ребра основания, для этого введем соответствующее диалоговое окно, где укажем радиус скругления **R=15мм** и затем последовательно боковые ребра. При этом удобнее использовать каркасный режим отображения. Ребра, указанные вами, будут высвечиваться красным цветом (рис. 5.12).

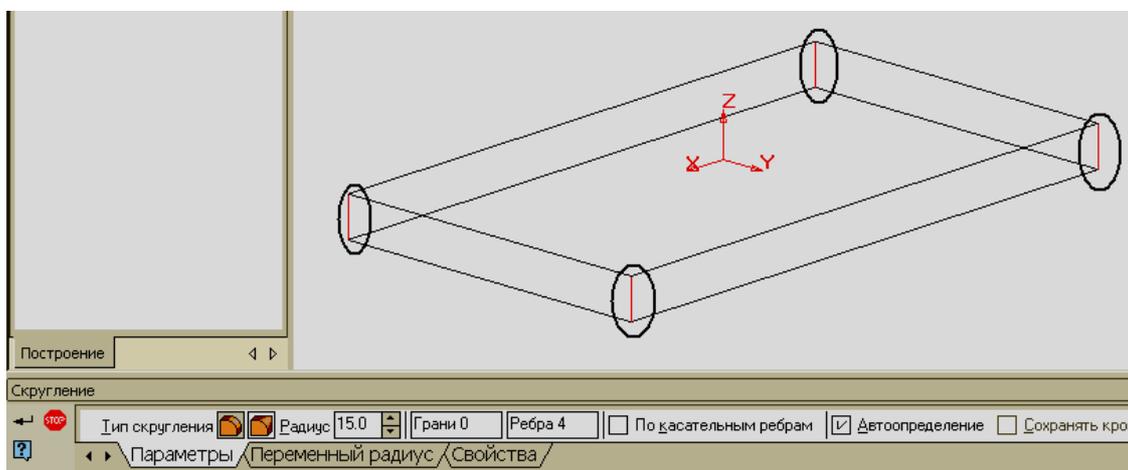


Рис. 5.12

Аналогично скруглим ребра верхней грани основания (рис. 5.13) **R=5мм**. Для этого укажем любое ребро грани, а затем включим флажок **Продолжить по касательным ребрам**.

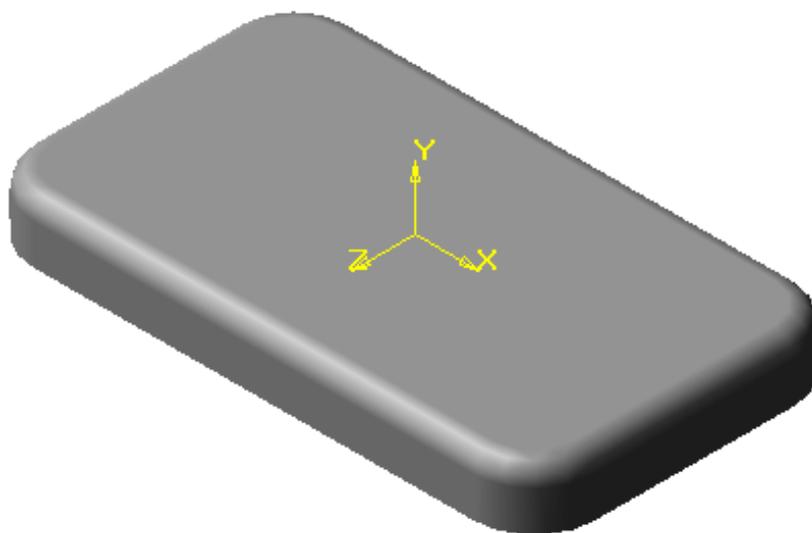


Рис. 5. 13

На верхней грани основания сформируем **Эскиз 2**. Он будет представлять собой окружность диаметром **65мм**. В качестве центра окружности выберем с помощью привязки **Ближайшая точка** начало координат. Таким образом, между центром окружности и началом координат будет установлена связь **Совпадение точек**. Для построения цилиндрической бобышки приклеим ее в прямом направлении на высоту **55мм**.

Как было описано выше, в дереве построения каждой операции в автоматическом режиме присваивается название и номер. Номер необходим для того, чтобы отличить повторяющиеся операции. Например: **Скругление:1** **Скругление:2**.

Формируя модель сложной конструкции, пользователь может многократно повторять одинаковые операции. Поэтому в процессе создания сложных моделей могут возникнуть трудности при ее редактировании. Очень удобно каждой операции присваивать свое название. Для этого в *дереве построения* в области названия необходимо щелкнуть два раза мышью и в появившейся рамочке внести изменения,

после чего нажать клавишу **<Enter>** .Переименуем операции, которые уже были выполнены (рис. 5.14)

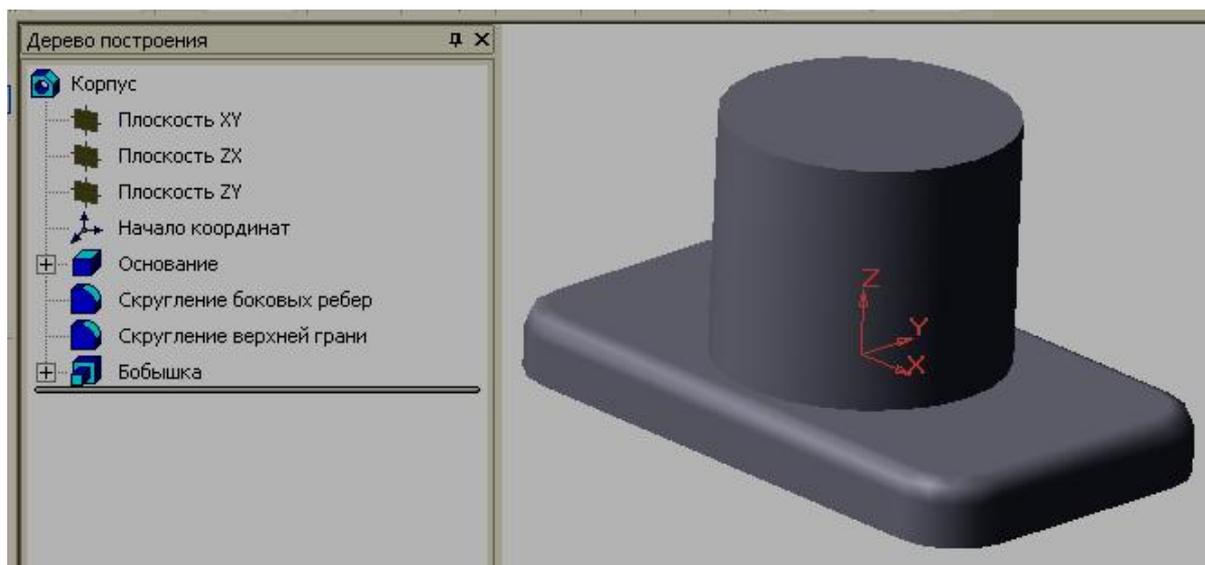


Рис. 5. 14

На любом этапе создания модели ее можно перестроить в оболочку. Начиная с указанной грани, все составляющие модели будут преобразованы из сплошных, заполненных материалом конструкций, в тонкостенные.

На панели **Построения детали** введите команду **<Оболочка>** . На экране появится строка **параметров объектов** (рис. 5. 15), где следует задать все необходимые параметры. В результате получим модель, изображенную на рис. 5.16.

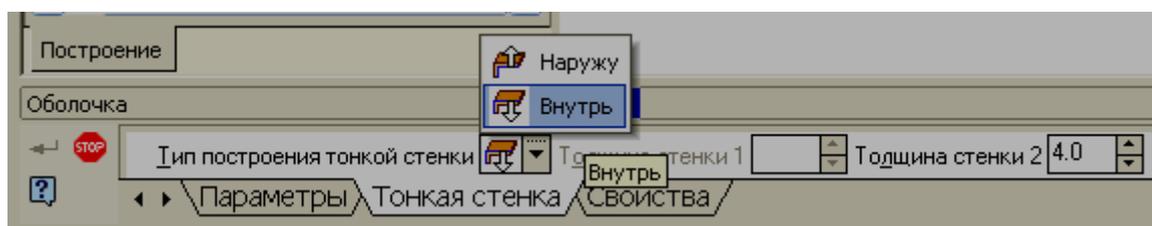


Рис. 5.15

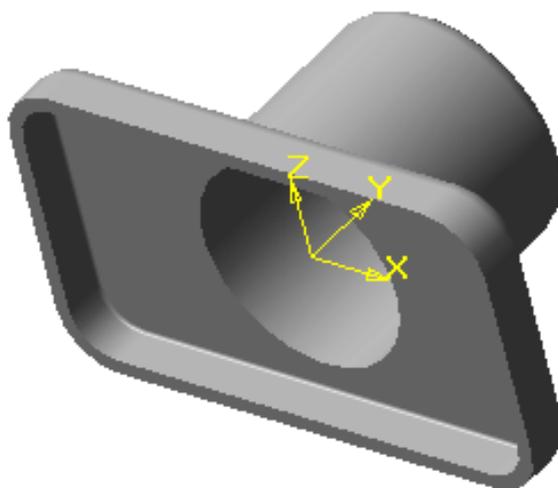


Рис. 5.16

Установим модель **Нормально к...** и, указав верхнюю грань бобышки, создадим **Эскиз 3**. Он будет представлять собой окружность диаметром 22мм. Центр окружности необходимо указать в начале координат, используя привязку **Ближайшая точка**. Закроем эскиз и выполним операцию **Вырезать выдавливанием**.

Для построения ребер жесткости выберем режим **Без невидимых линий** и вновь установим модель **Нормально к....** Затем выделим верхнюю грань. Создадим **Эскиз 4** - эскиз ребра жесткости, который будет представлять собой замкнутый контур, состоящий из трех отрезков и дуги. Для того чтобы обеспечить автоматическое изменение ребра при редактировании модели, необходимо воспользоваться средствами параметризации.

На **Инструментальной панели геометрии** с помощью кнопки **<Непрерывный ввод объектов>** построим произвольную ломаную линию из трех отрезков (рис. 5. 17).

Параметрические возможности КОМПАС-3D позволяют конструктору работать в режиме наброска, то есть прорисовывать лишь приблизительную форму контура, не выдерживая его размеров. Точные

размеры и положение геометрических элементов можно задать позднее, с помощью команд параметризации и ассоциативных размеров.

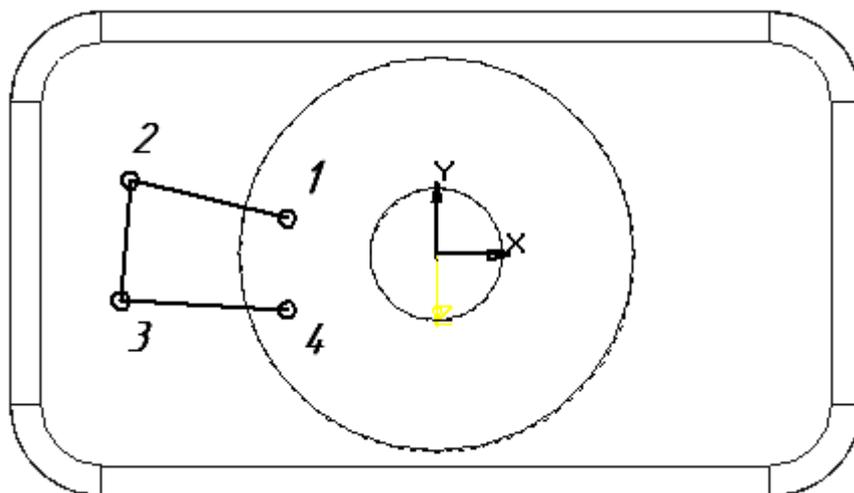


Рис. 5.17

На панели **Параметризация** последовательно выберем кнопки *<Горизонталь>*, *<Вертикаль>*. Сначала отрезки 1-2 и 3-4 преобразуем в горизонтальные, а затем отрезок 2-3 в вертикальный (рис. 5. 18).

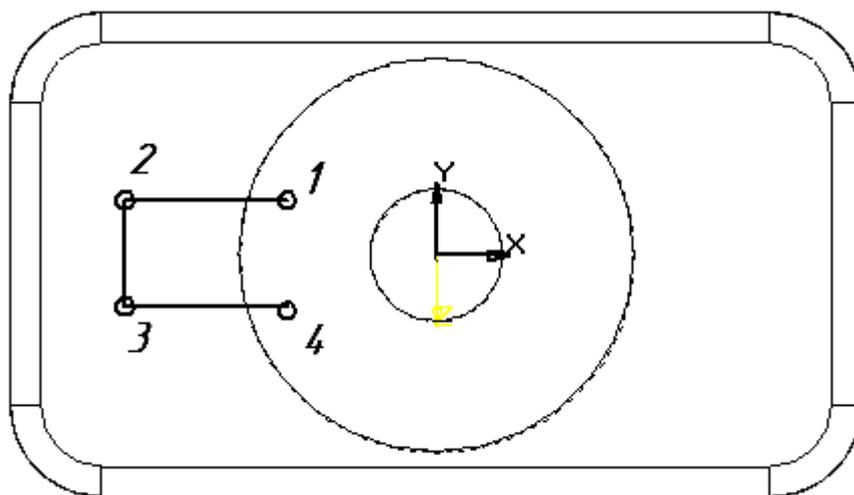


Рис. 5.18

Теперь необходимо обеспечить постоянное плавное касание ребра жесткости к боковой грани цилиндрической поверхности.

В процессе проектирования часто требуется построение некоторых элементов выполнять в определенной связи с уже ранее созданными объектами. Но при формировании нового эскиза все остальные объекты как бы погашены, то есть они видимы, но не могут принимать участия в построении.

В таких случаях можно воспользоваться командой **Спроектировать объект** из меню **Операции** или соответствующей кнопкой на



инструментальной панели. Далее следует указать объект, проекцию которого надо получить. Рядом с изображением курсора

появится "палочка" , после чего необходимо щелкнуть левой клавишей мыши и объект будет выделен **основной** линией, то есть он становится активным.

Проекция ребер и граней создаются в виде графических объектов со стилем линии **Основная**, оси проецируются во **вспомогательные** прямые, а вершины – во **вспомогательные** точки.

При построении проекции грани в эскиз, также проецируются все ребра, ограничивающие ее. Если проекции каких-либо ребер совпадут, то проецируется только одно ребро, а в командной строке появится сообщение

«Проекция некоторых элементов не добавлены».

Касание ребра жесткости цилиндрической поверхности выполним, используя команду **Обрезать**. Границей при этом послужит окружность, представляющая собой спроецированный контур грани. Кроме этого удалим часть окружности и получим замкнутый контур (рис. 5.19).

Аналогично вышеизложенному, спроектируем в эскиз ребро боковой поверхности основания. Для выбора вершины необходимо подвести к ней курсор. Когда около курсора появится "звездочка" \dagger_* , тогда с помощью мыши введем в эскиз вспомогательную точку (на рис. 5.19 – точка 5).

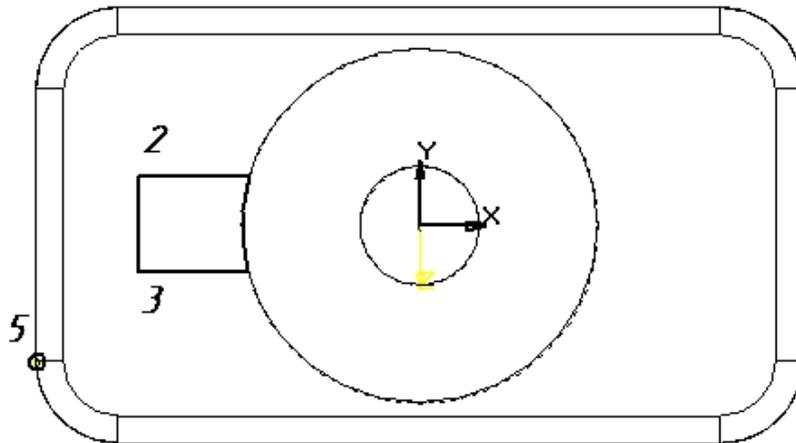


Рис. 5.19

Теперь необходимо обеспечить симметрию ребра относительно фронтальной плоскости, проходящей через начало координат. Для этого введем вспомогательную точку 6 на середине отрезка 2-3, используя соответствующую привязку (рис. 5.20).

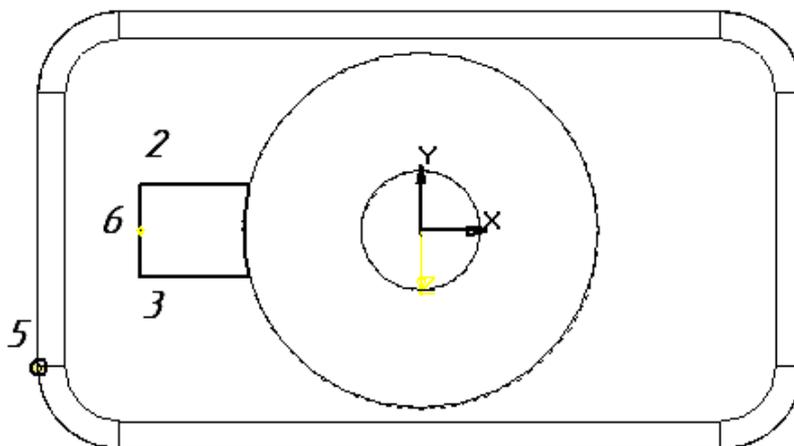


Рис. 5.20

С помощью кнопки **<Выровнять точки по горизонтали>** установим точку б и начало координат на одной горизонтальной прямой.

В заключение зададим значения фиксированных размеров, толщину ребра и расстояние от боковой грани основания (рис. 5. 21).

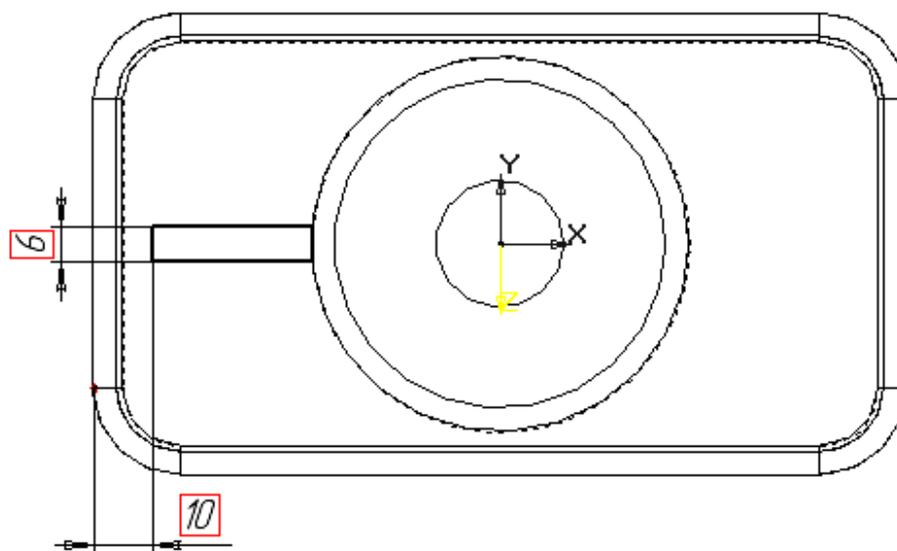


Рис. 5.22

Закроем Эскиз 4 и введем кнопку **<Приклеить выдавливанием>**. В строке **параметров объектов** зададим **Обратное направление** выдавливания и выберем опцию **До поверхности** (рис. 5.23) для того, чтобы ребро жесткости автоматически меняло свою высоту при изменении высоты цилиндрической части поверхности и основания.

В окне модели в качестве граничной поверхности укажем верхнюю грань призмы. При этом система построит фантом будущего ребра. Введем кнопку **<Создать>**. После чего система построит ребро жесткости (рис. 5.24)

Второе ребро расположено симметрично первому относительно профильной плоскости проекции. Его мы построим несколько позже.

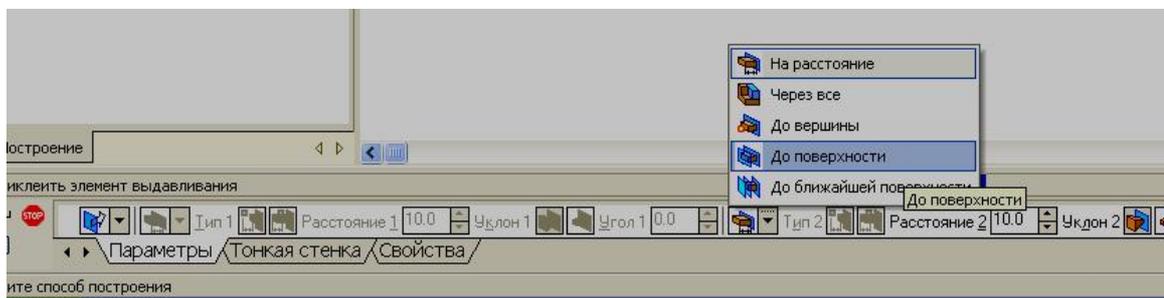


Рис. 5.23

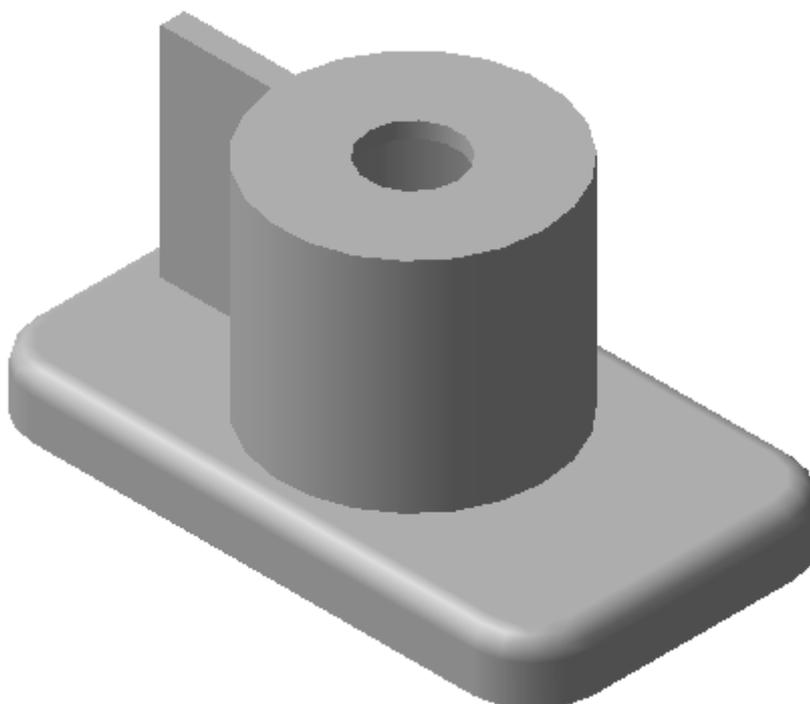


Рис. 5.24

Опять расположим модель **Нормально к...** и на верхней грани основания создадим **Эскиз 5** – это окружность диаметром **10** мм, которая определяет заготовку одного из крепежных отверстий.

Очень важно правильно установить центр окружности, так как при изменении размеров основания крепежные отверстия должны находиться на неизменном расстоянии от его боковых граней. Для выполнения этого условия линейные размеры, определяющие положение центра окружности, необходимо задавать от наружных ребер основания. Несколько усложняет этот процесс ранее выполненная операция скругления ребер верхней

грани. По этой причине построение фасок и скруглений рекомендуется выполнять на заключительной стадии создания модели. Однако в качестве начала отсчета можно взять дуговое ребро 1-2 (рис. 5.25), предварительно выполнив команду **Спроецировать объект**. Как уже говорилось ранее, ребро проецируется в текущий эскиз со стилем линии **Основная**.

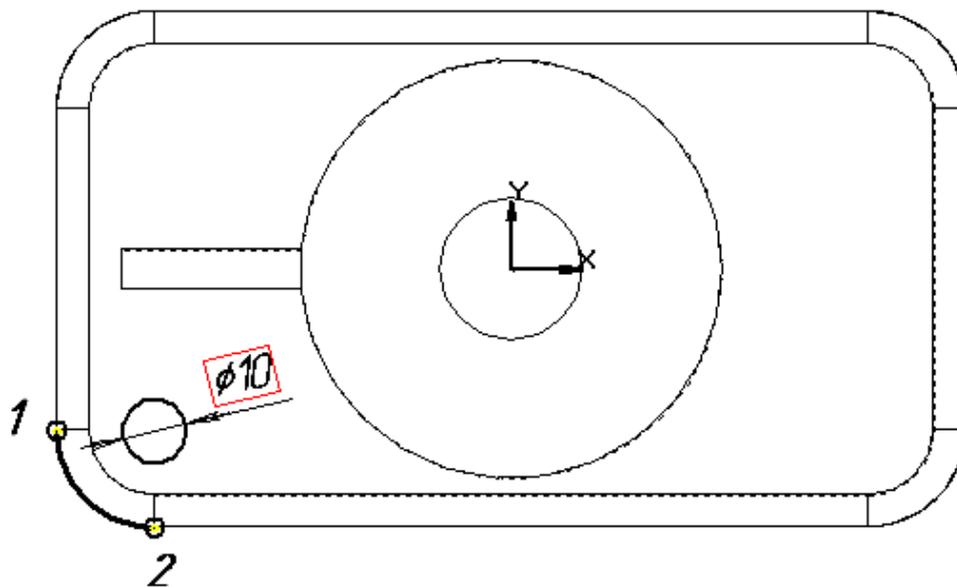


Рис. 5.25

Чтобы дуговое ребро не входило в контуры эскиза, изменим стиль линии с **Основная** на любой другой, например **Утолщенная**. Проставим фиксированные размеры, выбрав в качестве начала отсчета конечные точки дугового ребра 1 и 2 (рис. 5.26).

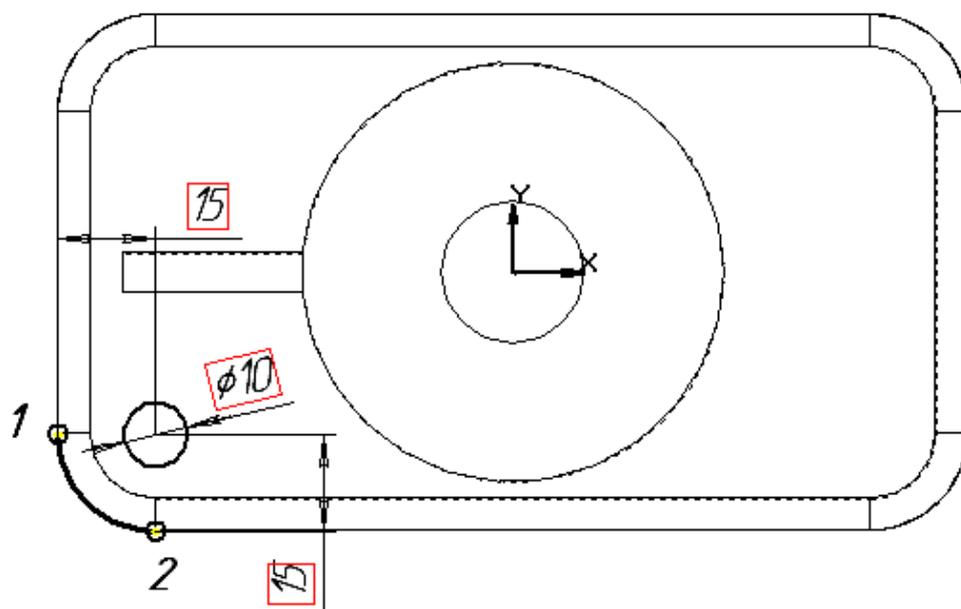


Рис. 5.26

Закроем эскиз и выполним операцию **Вырезать выдавливанием**, выбрав **Прямое направление** и опцию **Через все**. Система сформирует отверстие для крепления (рис. 5.27)

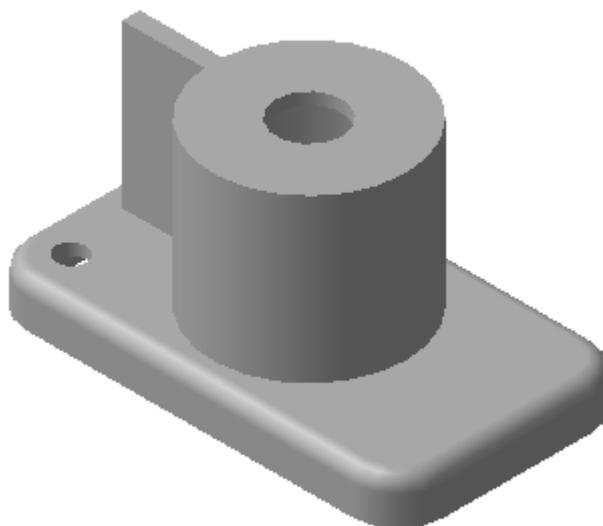


Рис. 5.27

Очень часто технические конструкции имеют симметричные элементы. КОМПАС-3D позволяет получать копии выбранных элементов

относительно плоскости или плоской грани и далее поддерживать эту симметрию.

В качестве примера рассмотрим построение зеркальной копии ребра жесткости.

Для этого на панели **Построения детали** выберем кнопку  **<Зеркальный массив>**. Укажем плоскость симметрии, в нашем случае это **Плоскость ZY**. Затем выберем элемент зеркального отражения (**ребро жесткости**) в окне модели или в дереве построения. При этом появится фантом ребра, и если операция выполнена правильно, то введем кнопку **<Создать объект>** (рис. 5.28).

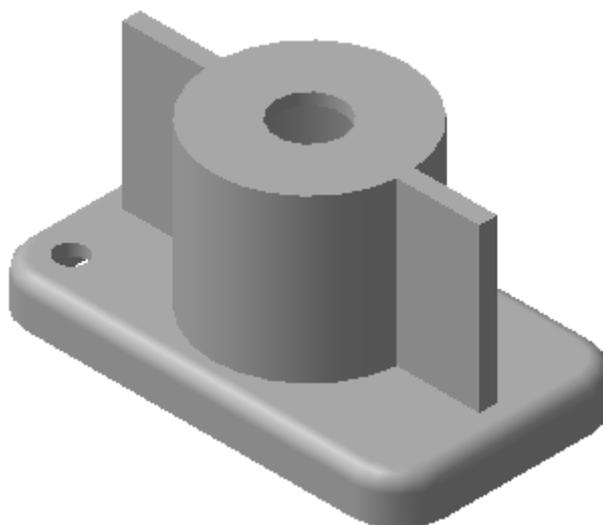


Рис. 5.28

Удалим часть виртуального металла, выполнив срез ребра по диагонали. Для этого в окне модели выделим боковую грань ребра и создадим **Эскиз 6**.

Он представляет собой отрезок, конечные точки которого выбраны с помощью привязки **Ближайшая точка** (рис. 5.29).

Закроем эскиз и введем кнопку **<Сечение по эскизу>**, выполним операцию среза.

На втором ребре выполним срез аналогично первому и в результате получим модель, изображенную на рис. 5.30

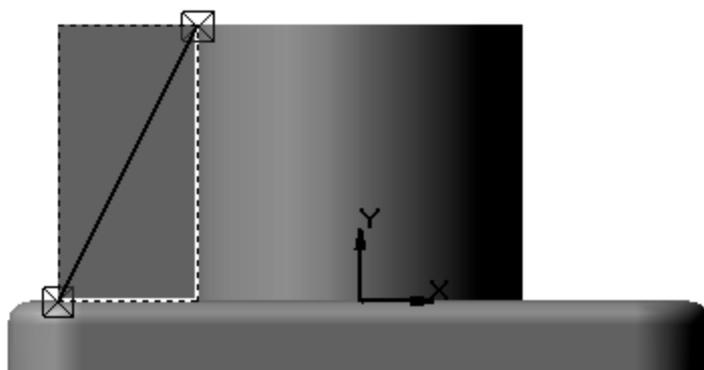


Рис. 5.29

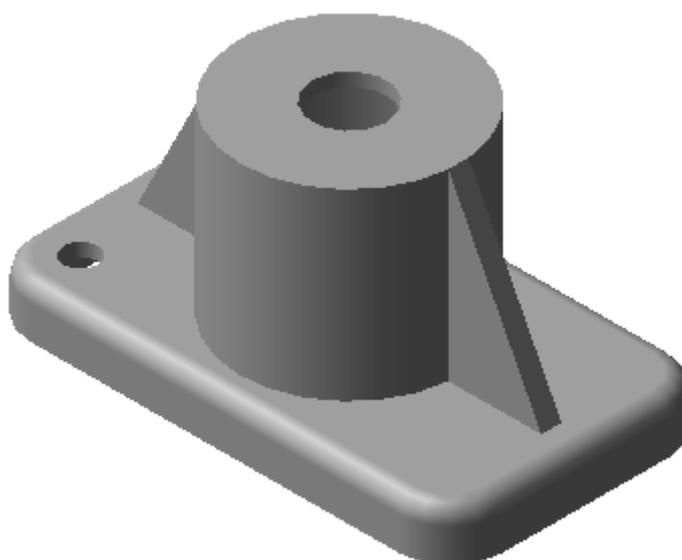


Рис. 5.30

Повторим операцию **Зеркальная копия** еще дважды. В первый раз плоскостью симметрии будет **Плоскость XY**, во второй - **Плоскость ZY**, а зеркальным элементом отверстие для крепления (рис. 5.31).

В завершение выполним фаску на верхнем отверстии и скругление верхней грани цилиндрической поверхности.

Созданной модели присвоим имя **Корпус** и сохраним ее (рис. 5.32).

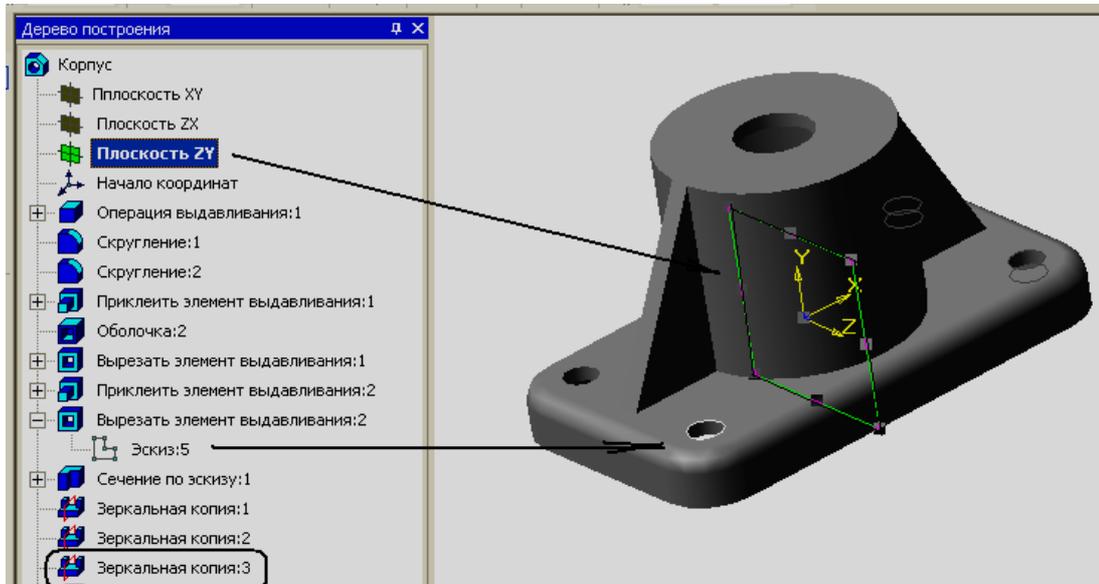


Рис. 5.31

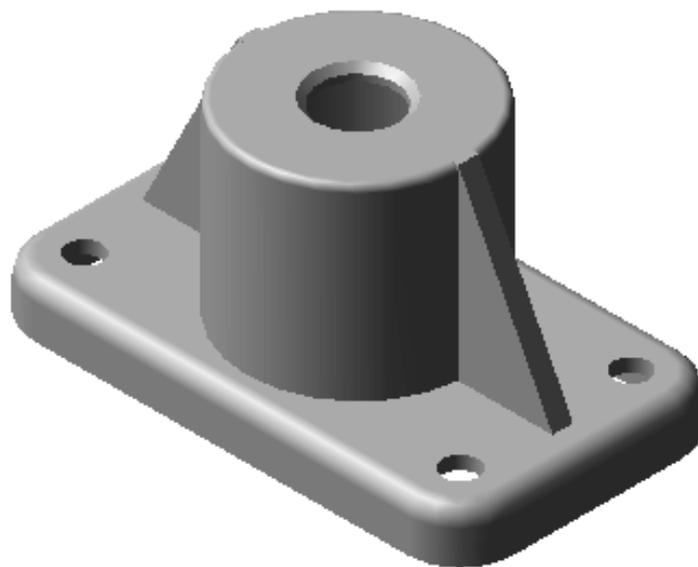


Рис. 5.32

В некоторых случаях целесообразно зеркально отражать не отдельные элементы, а всю конструкцию. Предположим, можно создать половину детали, а затем выполнять зеркальное отражение.

Рассмотрим на примере детали **Опора**. Она симметрична относительно профильной плоскости. Используя возможности КОМПАС-3D, создадим одну часть модели (рис. 5.32).

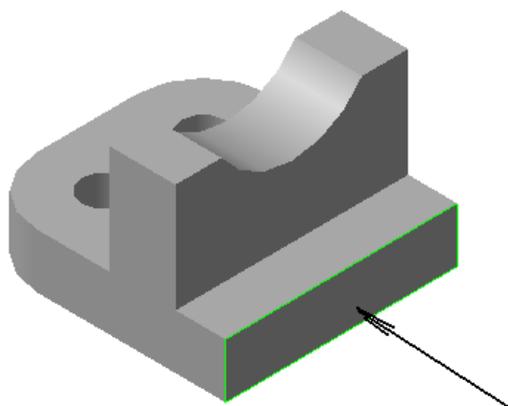


Рис. 5.32

Введем кнопку *<Зеркальная отразить все>*  и укажем плоскость отражения, после чего появится фантом отражения (рис. 5.33). Если он сформирован правильно, то нажмем кнопку *<Создать объект>*.

Результат такого отражения представлен на рис. 5.34.

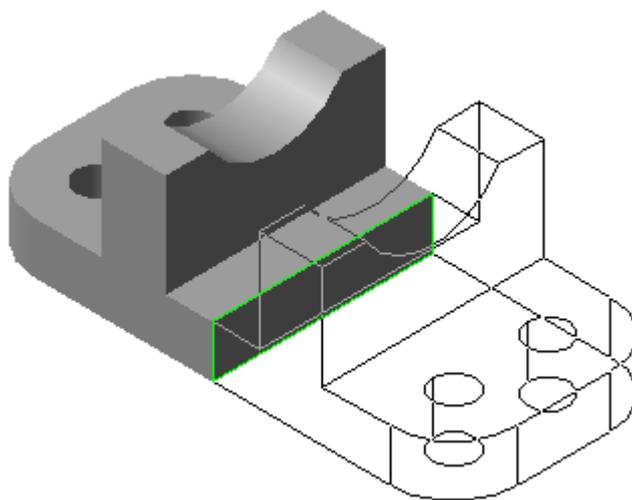


Рис. 5.33

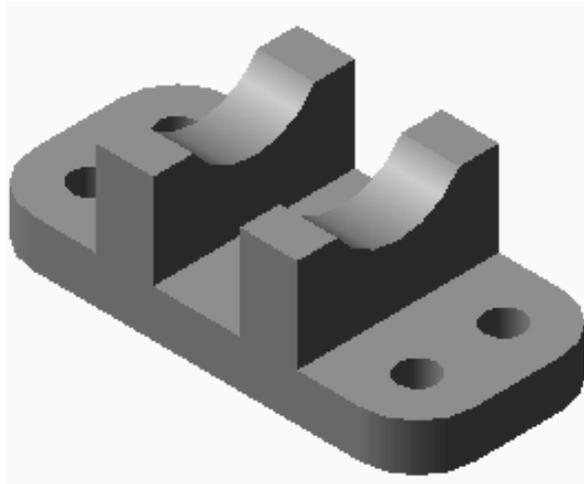


Рис. 5.34

5.2. Редактирование гибкой модели

Рассмотрим возможности редактирования гибкой модели детали **Корпус**. Для этого сохраним модель с новым именем **Корпус2**.

Пример 1

Изменим высоту основания детали с 15мм на 25мм.

В дереве построения выберем операцию **Основание** → **Редактировать элемент** и в строке **параметров объектов** введем новое значение высоты. Модель перестроится, кроме этого увеличение высоты призмы повлечет автоматическое изменение размеров ребер жесткости (рис. 5.32).

Пример 2

Изменим длину верхней грани основания детали с 140 на 160 мм.

В дереве построения выделим **Эскиз 1** и в контекстном меню выберем команду **Редактировать эскиз**. Внесем изменения в фиксированный размер. После модификации детали изменятся в автоматическом режиме размеры межосевого расстояния по оси Y и длина ребер жесткости (рис. 5.33).

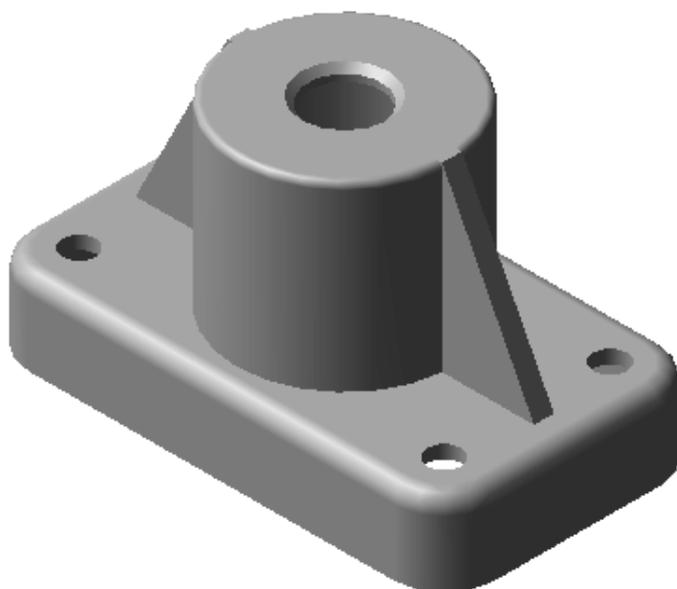


Рис. 5.32

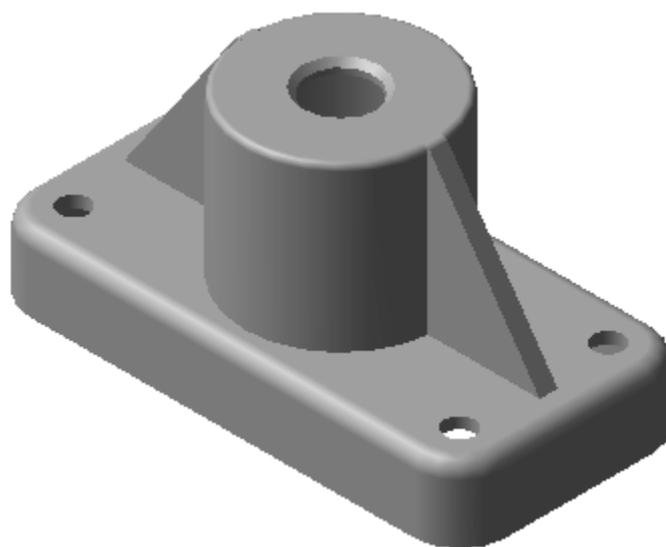


Рис. 5.33

Пример 3

Изменим диаметр отверстий под крепежные болты с 10мм на 12мм.
Аналогично предыдущему внесем изменения в Эскиз 6. Вместе с отверстием, изображенным на эскизе, перестроятся все его зеркальные отображения

Пример 4

Изменим параметры цилиндрической бобышки:

- *высоту с 55мм на 25мм;*
- *диаметр с 65мм на 40мм;*
- *диаметр отверстия с 22мм на 16мм.*

В результате модификации в автоматическом режиме полностью изменяются размеры ребер жесткости, и модель приобретет вид, представленный на рис.5.34.

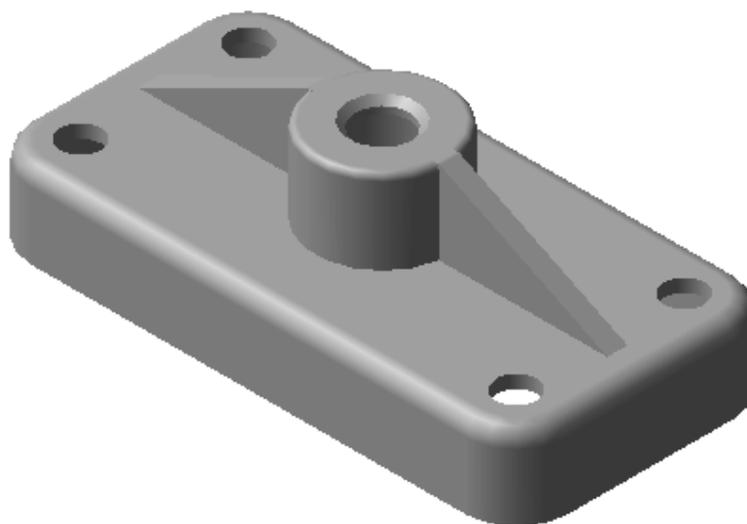


Рис. 5.34

.. Пример 5

Изменим толщину стенки с 4мм на 2мм.

В дереве построения выберем **Оболочка** → **Редактировать элемент** и в открывшейся строке **параметров объектов** изменим значение толщины (рис. 5.35).



Рис. 5.35

Пример 6

Изменим толщину ребер жесткости с 6мм на 10мм.

Для этого внесем изменения в **Эскиз 4**. Причем изменится толщина не только ребра сформированного с помощью выше указанного эскиза, но и его зеркальная копия

После всех внесенных поправок мы получим модифицированную модель детали **Корпус** (рис. 5.36).

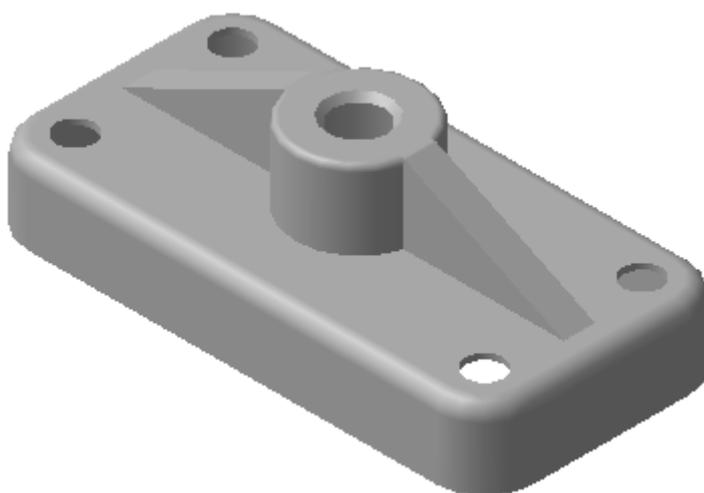


Рис. 5. 36

В завершении выполним разрез (рис. 5.37), чтобы увидеть внутреннее устройство детали.

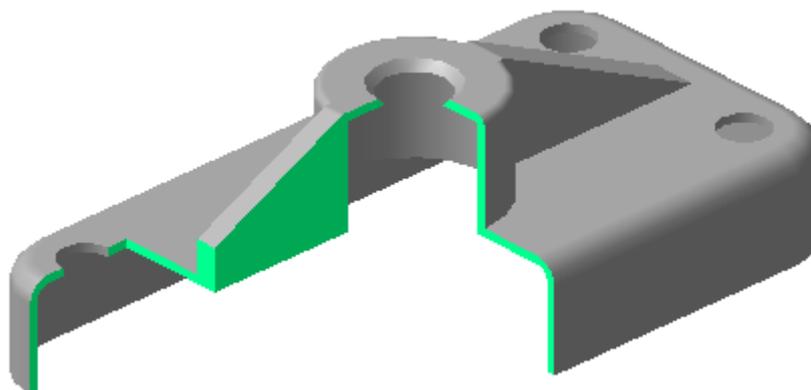


Рис. 5.37

Как вы смогли убедиться, в процессе редактирования в дереве построения ни разу не появлялось предупреждение об ошибке в виде "вопросительного знака". Это говорит о том, что при редактировании очередного элемента, все остальные перестраивались автоматически, сохраняя общий замысел проекта.

Кроме этого, необходимо заметить, что важным управляющим звеном в процессе конструирования и редактирования является **Дерево построения**.

Перемещая нижнюю линию в дереве построения (**указатель окончания построения**), мы можем вернуться к модификации модели на любом уровне ее создания (рис.5.38). Все остальные операции в дереве построения будут заблокированы. Это отобразится в виде пиктограмм со значком "Замок". Таким образом, вы можете последовательно просмотреть все этапы формирования модели, даже если вы не создавали эту модель.

Можно не только вносить изменения в проект на любом этапе конструирования, но и менять последовательность операций создания модели.

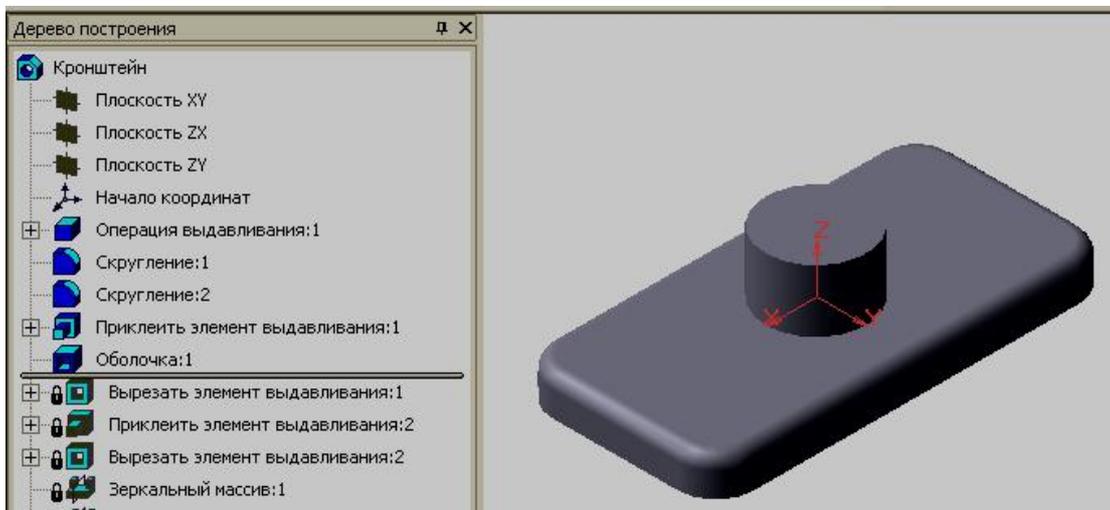


Рис. 5.38

Для этого следует переместить пиктограмму, соответствующую данной операции в дереве построения.

Например, переместим операцию **Оболочка** на несколько пунктов ниже. Для этого необходимо подвести курсор к соответствующей пиктограмме, и нажав на левую клавишу мыши и не отпуская ее, переместить курсор ниже (рис. 5. 39). Когда нужное положение будет достигнуто, необходимо отпустить клавишу. Пиктограмма операции разместится на указанном месте и будет помечена красной "галочкой". Для того чтобы модель перестроилась согласно измененной схеме, необходимо

ввести кнопку *<Перестроить>*



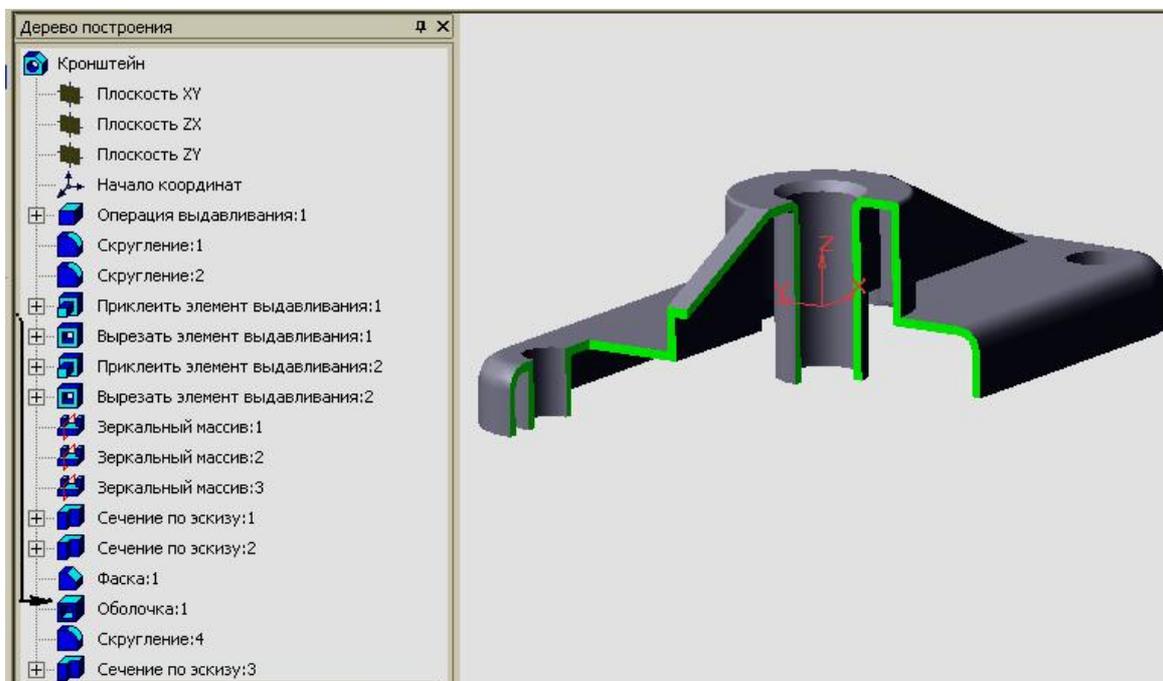


Рис. 5.39

Как мы видим, в результате внесенных изменений ребра жесткости и отверстия для крепления стали тонкостенными элементами. Из чего следует вывод, что первоначальное расположение данной операции в дереве построения было выбрано правильно.

5.3. Конструирование модели с использованием переменных и выражений

В предыдущих главах мы познакомились с возможностью создавать параметрический эскиз (основу модели) с помощью ассоциативных размеров и разного рода связей и ограничений. На практике часто отдельные параметры детали могут быть связаны определенной зависимостью. Например, по замыслу конструктора длина детали должна быть в четыре раза больше ширины или диаметр наружной поверхности цилиндрической втулки в 1,5 раза больше диаметра отверстия. Такие зависимости можно сформировать в модели за счет использования **переменных и выражений**.

Использование переменных и выражений рассмотрим на примере создания модели детали **Крышка** (рис. 5.40).

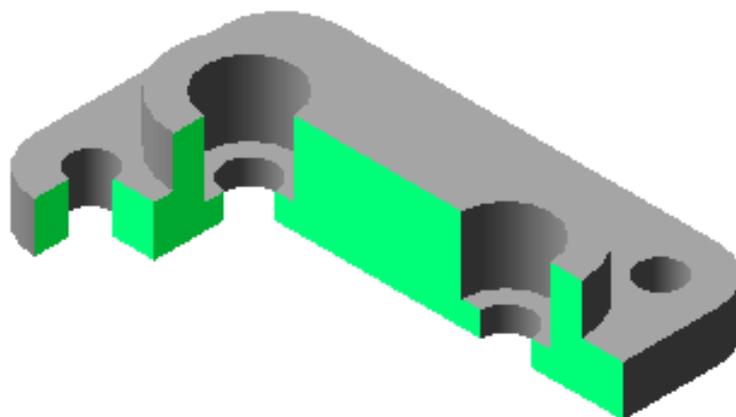


Рис. 5.40

Для построения гибкой модели проведем *предварительный анализ детали*.

1. Деталь симметрична относительно фронтальной и профильной плоскости и состоит из двух пластин.
2. Нижняя пластина представляет собой призму, боковые ребра которой скруглены. Она имеет четыре крепежных отверстия.
3. Верхняя пластина – призма, у которой две противоположенные боковые грани - плоскости, а две другие боковые грани - цилиндрические поверхности.
4. В верхней пластине имеются два одинаковых отверстия, которые состоят из двух участков с разными диаметрами ($D > d$).
5. Предполагается изменять размеры основания и верхней пластины.

6. При изменении ширины верхней пластины не должно нарушаться плавное сопряжение цилиндрической грани с плоской.
7. Диаметр верхнего отверстия должен быть больше нижнего на 8мм.

Формирование модели начнем с построения основания, которое имеет такую же конструкцию, как и у детали **Корпус**, рассмотренную ранее. Однако если для предыдущей детали мы сначала создавали пластину, затем скругление ребер и в последнюю очередь отверстия для крепления, то теперь мы соединим эти операции в одну.

Выберем **Плоскость ZX** с ориентацией **Сверху** и создадим **Эскиз 1**-прямоугольник. Начало координат поместим внутри его.

Выполним скругление углов прямоугольника радиусом **9мм** (рис.5.41).

Команда **Скругление** не только формирует дугу, соединяющую два объекта, но и автоматически накладывает на них параметрические связи **Совпадение точек** и **Касание**.

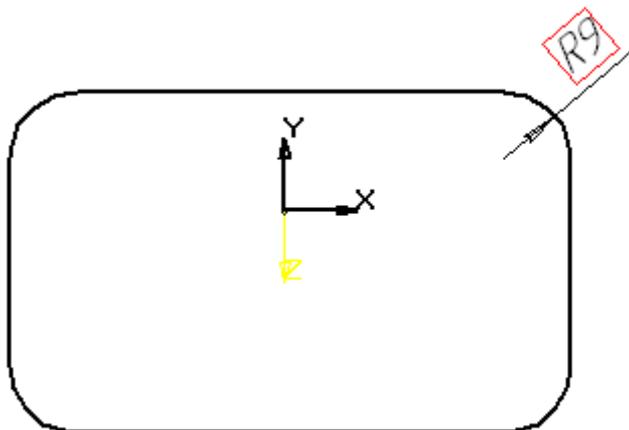


Рис. 5.41

Проставим размер на одной из четырех дуг и нажмем кнопку

<Равенство радиусов>  на панели **Параметризация**. Затем укажем

дугу с проставленным фиксированным размером и введем кнопку



<Запомнить состояние>, после чего последовательно укажем все дуги. По умолчанию кнопка <Равенство радиусов> выравнивает дуги попарно.

Теперь проставим вертикальный размер, определяющий ширину нижней пластины. В диалоговом окне оставим без изменения значение размера в миллиметрах (рис. 5.42). В текстовом поле **Переменная** необходимо ввести имя переменной в виде заглавной буквы латинского алфавита (**N**).

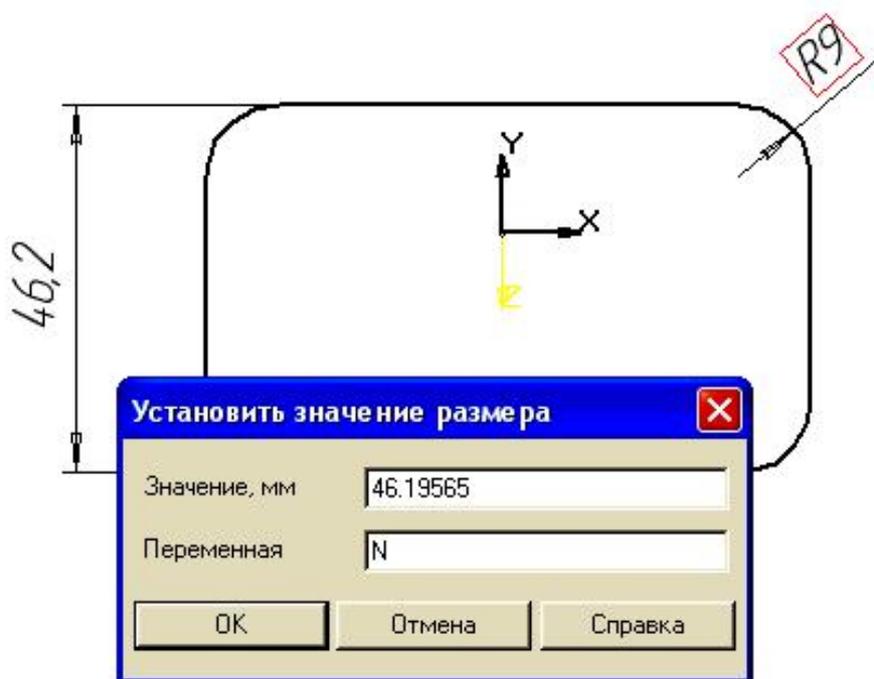


Рис. 5.42

Допускается в названии переменных использовать буквы латинского алфавита, арабские цифры, символы. Длина имени переменной не должна превышать 16 знаков. Аналогично установим горизонтальный размер и присвоим ему имя **M**.

Далее необходимо обеспечить симметрию прямоугольника относительно начала координат. При построении основания детали **Корпус** симметричность достигалась с помощью связи **Совпадения точек** (начала координат и середины диагонали).

В данном случае положение начала координат в центре прямоугольника попробуем реализовать с помощью зависимостей, связывающих переменные линейные размеры.

Для этого введем горизонтальный размер, определяющий расстояние от стороны прямоугольника до начала координат, и присвоим ему имя переменной **m**.

Точно так же введем вертикальный размер и название переменной – **n** (рис. 5.43).

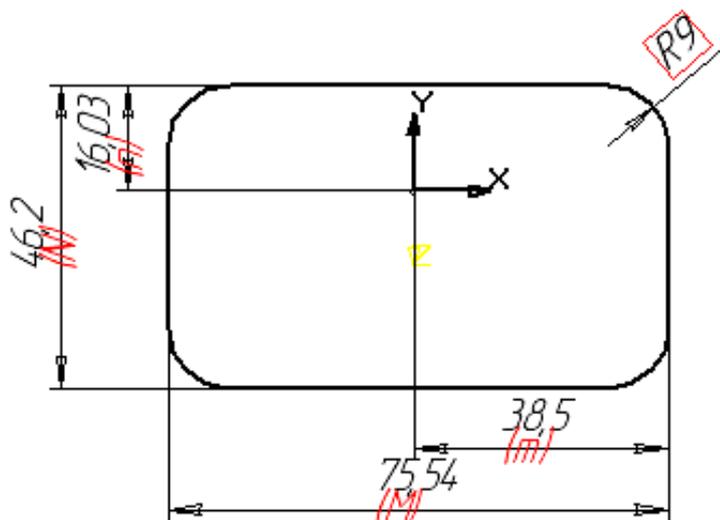


Рис. 5.43

Для того чтобы связать созданные переменные, введем кнопку **<Переменные>** , которая находится на **Панели управления**.

Окно **Переменные** содержит Инструментальную панель и вкладки со списками переменных и уравнений.

Список переменных документа формируется автоматически, а список уравнений - пользователем.

В открывшемся диалоговом окне в поле **Уравнения** сделаем запись $m=M/2$ и нажмем левую клавишу мыши. Затем выполним новую запись $N=n*2$ (переменные можно поменять местами) в разделе **Уравнения** (рис. 5.44). Закроем диалоговое окно, после чего система переместит центр прямоугольника в начало координат (рис. 5.45).

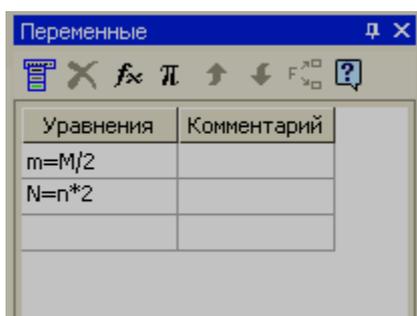


Рис. 5.44

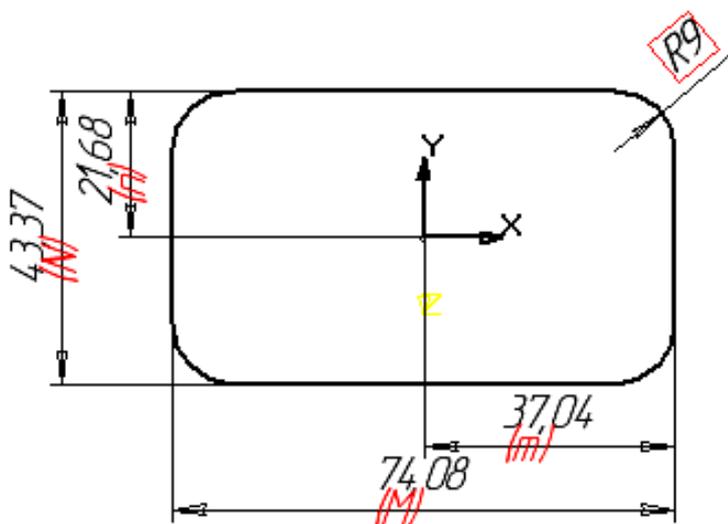


Рис. 5.45

Теперь можно установить точные размеры прямоугольника: длина **78**мм и ширина **48** мм. Одновременно введенная в эскиз система из двух

уравнений будет обеспечивать следующие условия: расстояние от сторон прямоугольника до его центра (начало координат) всегда будет равно половине длины и ширины соответственно (рис. 5.46).

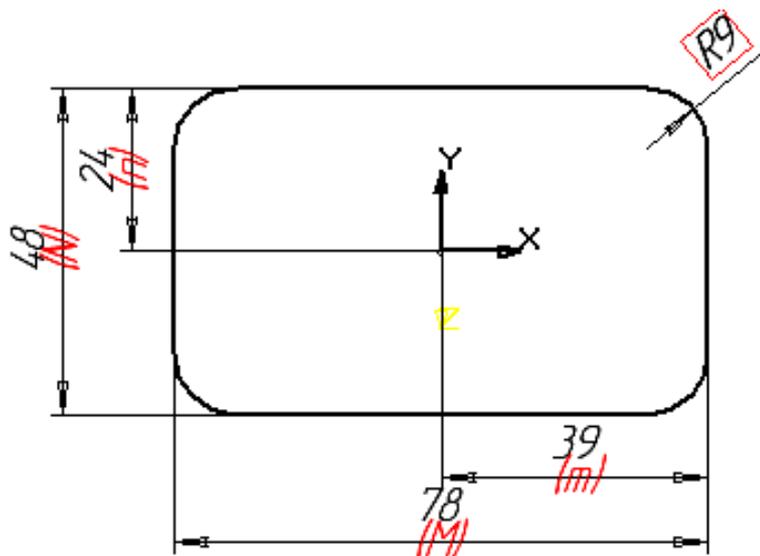


Рис. 5.46

Добавим в эскиз 4 окружности, которые будут формировать отверстия для крепления. Сначала построим с помощью привязки **Ближайшая точка** (центр скругления углов прямоугольника) небольшую окружность в верхнем левом углу и с помощью фиксированного размера установим ее диаметр 7мм.

В заключение, с помощью команды **Копировать** и привязки **Центр** расставим еще 3 окружности (рис. 5.47)

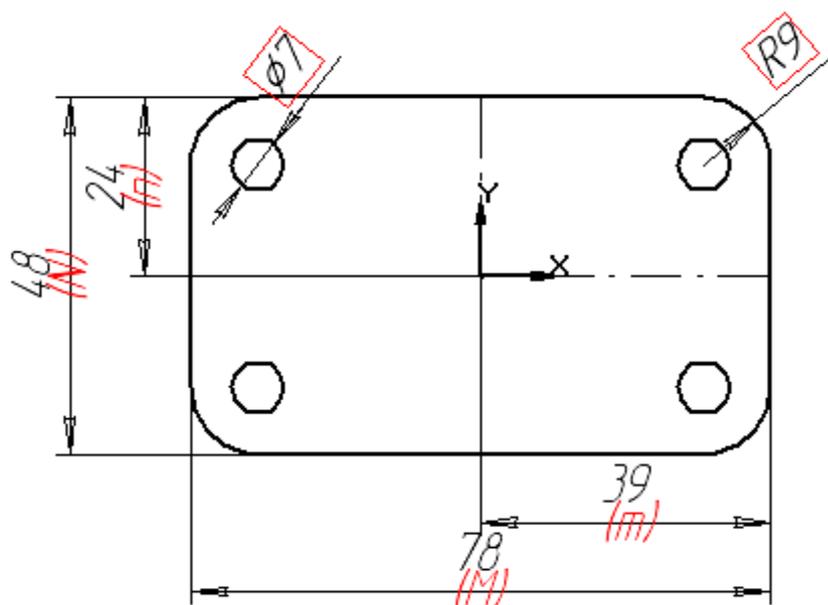


Рис. 5.47

Таким образом, в одном эскизе можно реализовать всю геометрию и параметрические связи, необходимые для построения основания детали. В связи с этим возникает вопрос, какие же элементы следует создавать как часть эскиза, а какие как операции.

Каждая конструкция обладает вполне определенным числом степеней свободы. С другой стороны, каждый параметр ограничивает некоторое количество этих степеней, поэтому к использованию параметризации следует подходить взвешенно, оценивая степень реальной необходимости. Параметрический эскиз не должен быть слишком сложным, перегруженным большим количеством связей. Не стоит стремиться в эскизе воспроизводить все мелкие элементы: отверстия, пазы, скругления и т. д. Такие элементы лучше создавать как отдельные операции.

В данном случае мы хотели показать возможности КОМПАС-3D реализовывать различные варианты формирования трехмерных объектов

Далее выполним операцию выдавливания  в обратном направлении на глубину 8мм и получим основание (рис. 5.50).

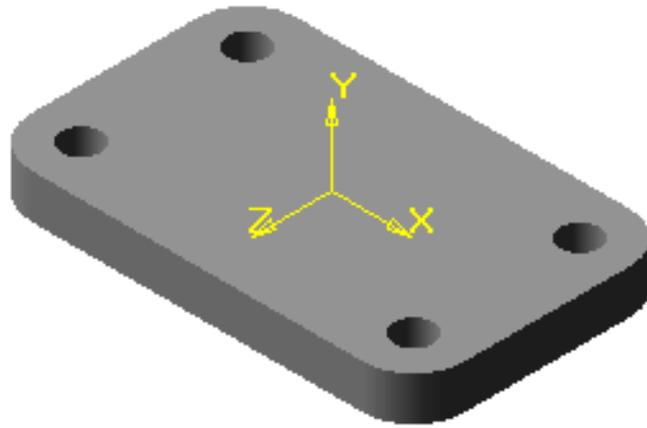


Рис. 5.50

Для формирования второй пластины необходимо выделить верхнюю грань основания и установить ориентацию **Сверху**. На верхней грани создадим

Эскиз 2. Изобразим прямоугольник, так чтобы начало координат оказалось внутри него (рис. 5.51).

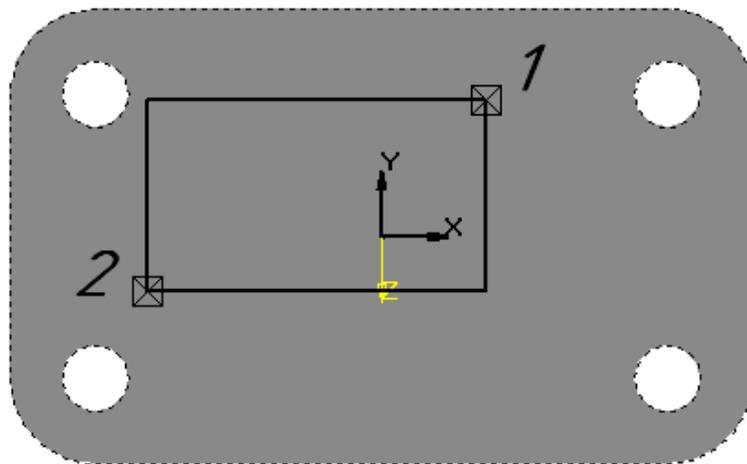


Рис. 5.51

Используя кнопку **<Выровнять точки по вертикали>** на панели **Параметризация**, точку 1 выставим на одной вертикали с началом координат.

Введем кнопку *<Окружность по двум точкам>* , которая находится на панели **Геометрия**, укажем точки 2, 3 и построим окружность (рис. 5.52).

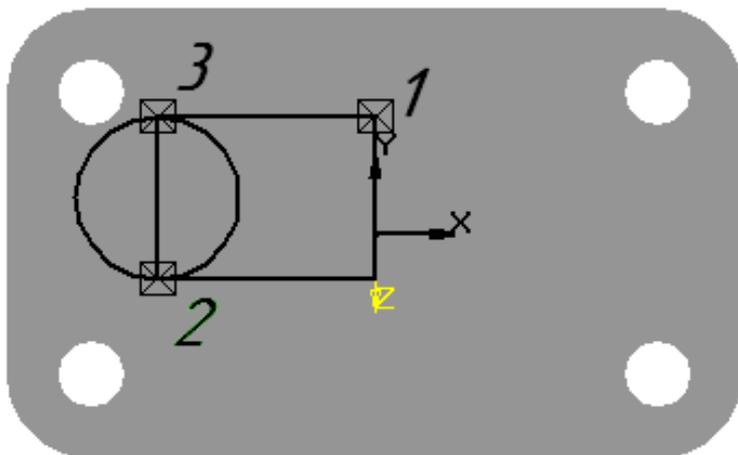


Рис. 5.52

Далее удалим часть окружности и прямоугольника, используя кнопку *<Усечь кривую>* (рис. 5.53). Связи **Совпадение точек** обеспечат замкнутый контур, состоящий из трех отрезков и дуги.

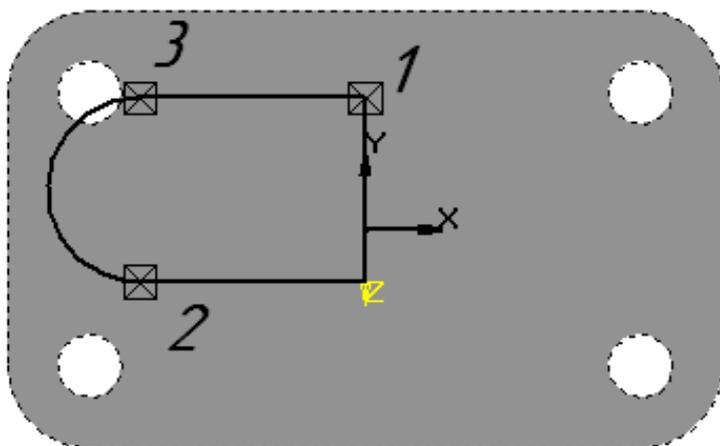


Рис. 5.53

Дополнительно сформируем постоянное касание дуги к двум отрезкам. Для этого введем кнопку **<Касание>**  на панели **Параметризация** и последовательно укажем на дугу и первый горизонтальный отрезок, затем опять на дугу и второй горизонтальный отрезок. После выполненных операций необходимо проверить связи и ограничения, поэтому отметим курсором горизонтальный отрезок. Как мы увидим в диалоговом окне (рис. 5.54), к связям **Совпадение точек** добавится связь **Касание**.

Введем размеры. Радиус дуги будет равен **12мм**. Присвоим ему имя переменной **G**. Длины горизонтальных отрезков **20** мм. Зафиксируем длину вертикального участка от начала координат до точки совпадения с горизонтальным участком. Не задавая определенного размера, присвоим ему имя переменной **g**

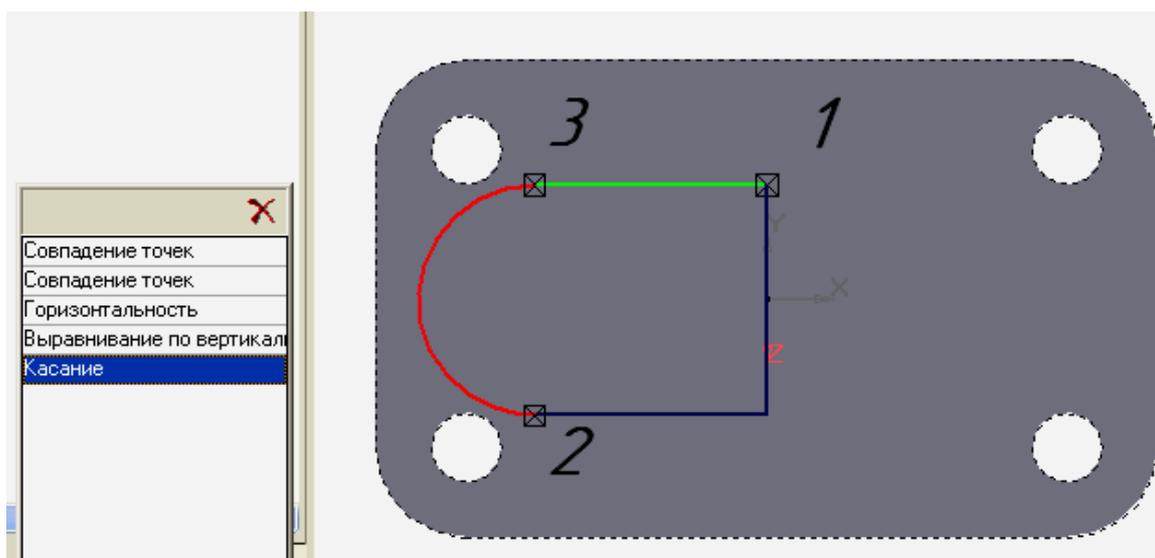


Рис. 5.54

Откроем диалоговое окно **Переменные** и запишем выражение **G=g** (рис. 5.55).

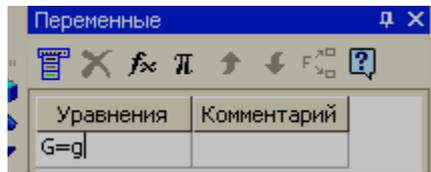


Рис. 5.55

В результате Эскиз 2 приобретет вид, представленный на рис. 5.56.

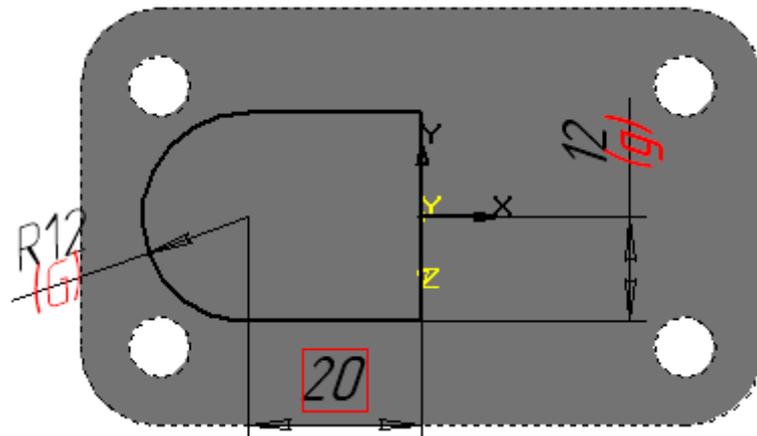


Рис. 5.56



Затем закроем эскиз и приклеим его в прямом направлении на расстояние 8 мм (рис. 5.57).

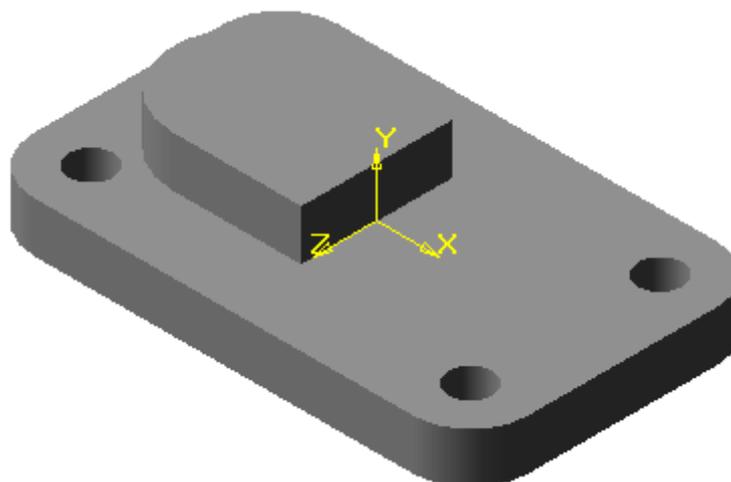


Рис. 5.57

Выделим верхнюю грань второй пластины и создадим **Эскиз 3**. Для этого изобразим окружность диаметром **14** мм, центр которой должен совпасть с центром дуги формирующей цилиндрическую грань пластины. Данное совпадение обеспечим с помощью привязки **Центр**. После чего необходимо проставить диаметральный размер и ввести имя переменной **D** (рис. 5.58).

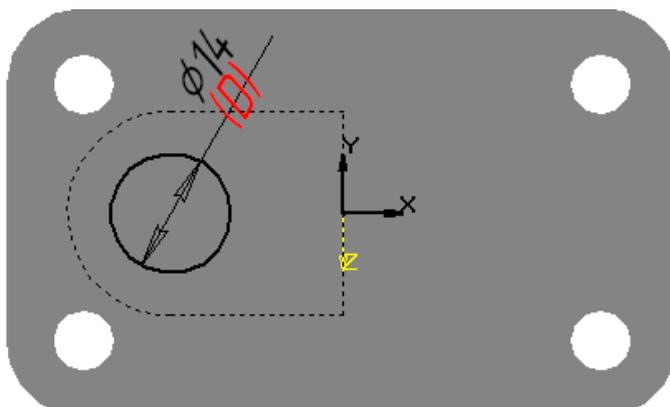


Рис. 5.58

Закроем эскиз и введем кнопку **<Вырезать элемент выдавливанием>** . Зададим расстояние выдавливания **12** мм. Система вырежет отверстие в верхней пластине (рис. 5.59).

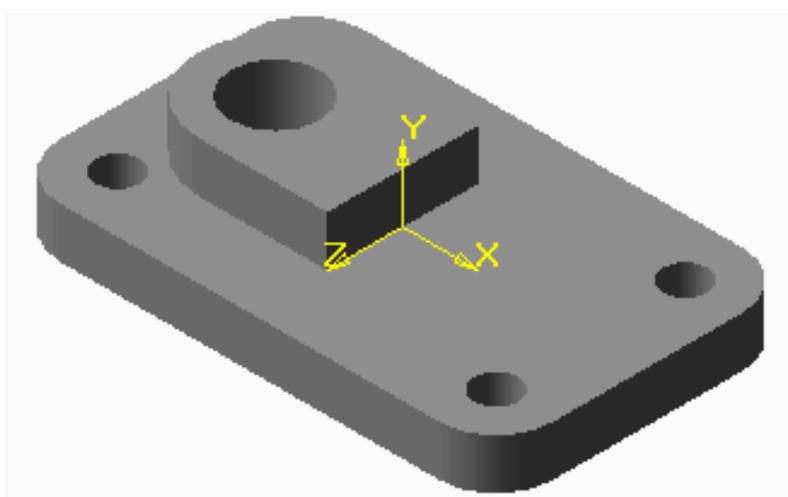


Рис. 5.59

Установим ориентацию **Снизу**, выделим нижнюю грань основания модели и создадим **Эскиз 4**. Чтобы установить совпадение осей двух отверстий, спроецируем в эскиз дуговое ребро (верхнее отверстие). Для того чтобы указать ребро, выберем режим отображения **Каркас**. Затем изменим стиль линии проекции на **Утолщенная** и изобразим окружность произвольного радиуса (рис. 5.60).

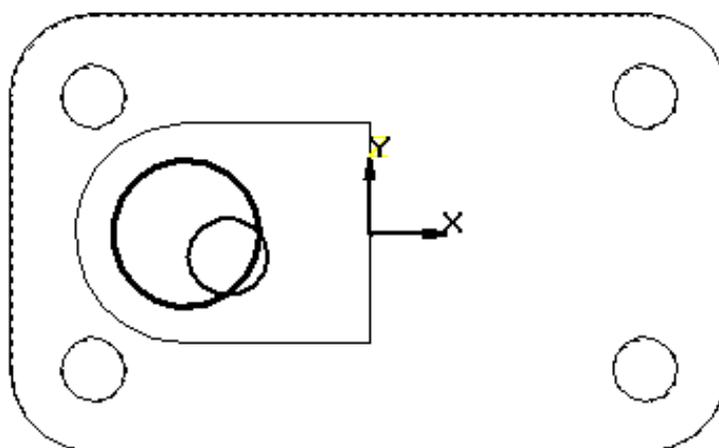


Рис. 5.60

С помощью кнопки **<Совпадение точек>** приведем центр построенной окружности к центру спроецированного дугового ребра. Проставим размер диаметра окружности и присвоим ему имя переменной **d**. В диалоговом окне **Переменные** запишем выражение **8=D-d**, после чего значение диаметра малой окружности станет **6мм** (5.61).

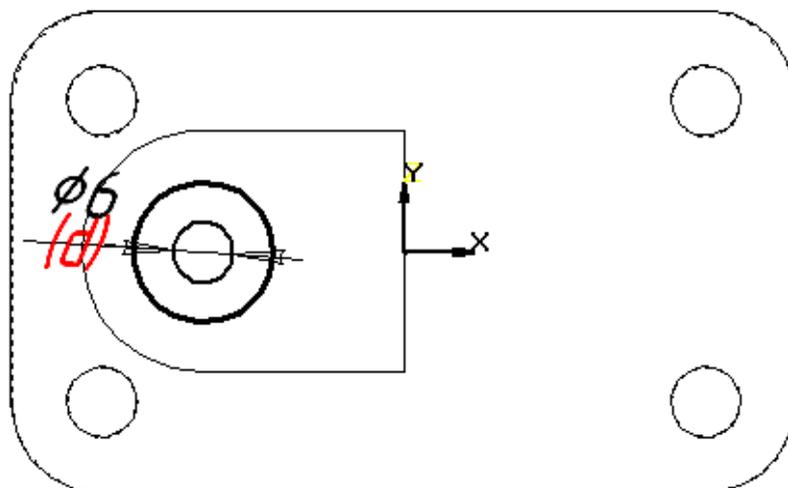


Рис. 5.61

Выражения, вводимые в диалоговое окно, могут быть не только уравнениями, но и неравенствами. Например, диаметр меньшего отверстия, согласно расчетам на прочность, не должен быть меньше 6мм. Поэтому введем выражение $d \geq 6$ (рис. 5.62)

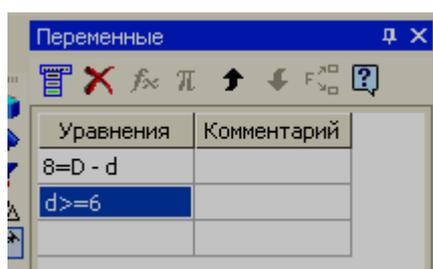


Рис. 5.62

Закроем эскиз и выполним операцию **Вырезать выдавливанием** в прямом направлении. Применим опцию **Через все** (рис. 5.63).

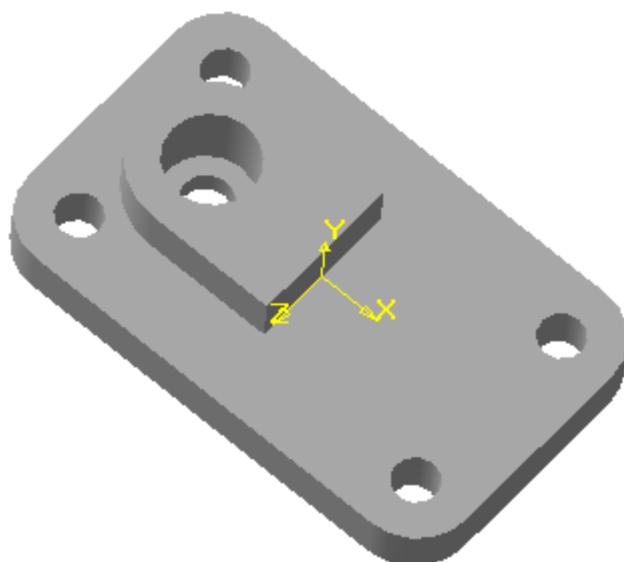


Рис. 5.63

В заключение выполним зеркальное отражение половины верхней пластины и сквозного отверстия относительно профильной плоскости

На рис 5.64 представлена модель детали **Крышка**, а на рис. 5.65 - модель в разрезе.

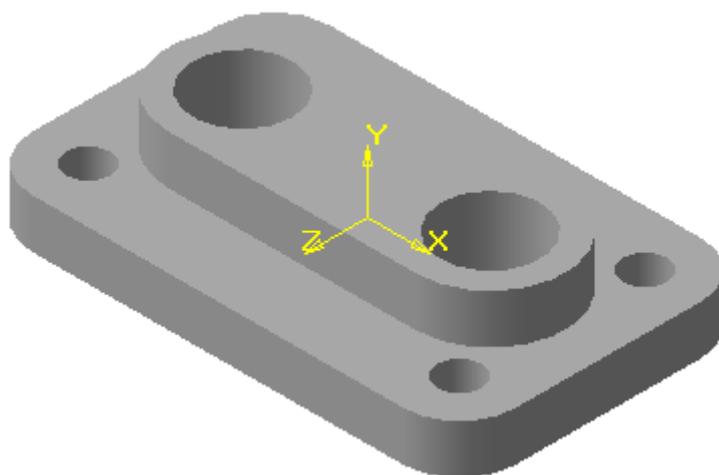


Рис. 5.64

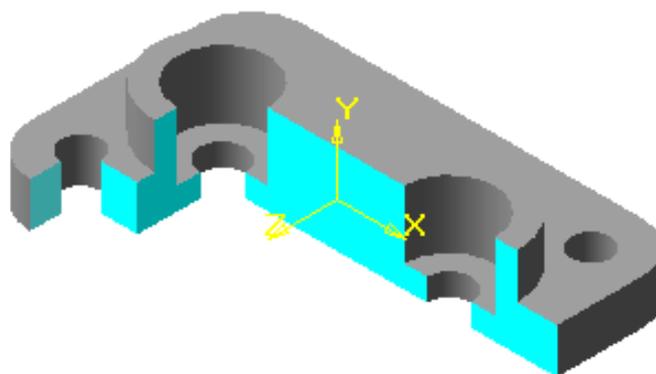


Рис. 5.65

Редактирование модели можно осуществить, изменяя эскизы и параметры операций, так как мы это делали раньше. Однако существует другой способ редактирования модели, связанный с использованием **внешних переменных**.

Переменная в параметрическом фрагменте, чертеже, значения которой можно изменять при вставке этого фрагмента в другой фрагмент или его редактировании, называется **Внешней**. Любые переменные фрагмента могут быть внешними.

Существование в эскизах ассоциативных размеров, которым присвоены имена переменных, позволяет изменять параметры модели, не прибегая к прямому редактированию отдельных элементов.

Войдем в режим редактирования эскиза основания (**Эскиз 1**) и введем кнопку  **<Переменные>**. В открывшемся диалоговом окне нажимаем правую клавишу и выбираем модификацию **Переменные** (рис. 5.66).

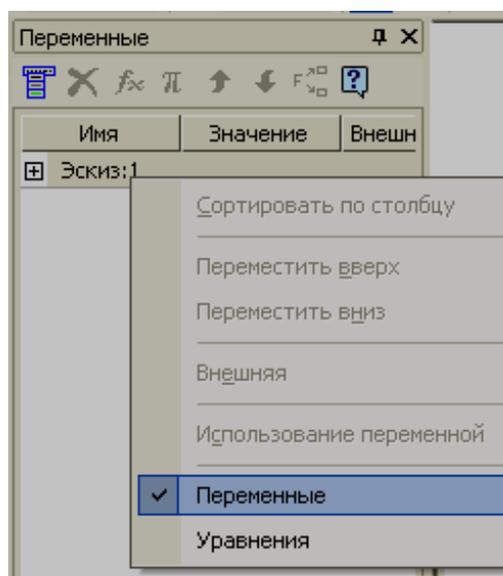


Рис. 5.66

Подведем курсор в окне к  и откроем список переменных в данном эскизе.

В списке текущей будет строка с описанием переменной **N** (рис. 5.67). Для нее включим флажок **Внешняя переменная** и графе **Комментарий** дадим характеристику текущей переменной.

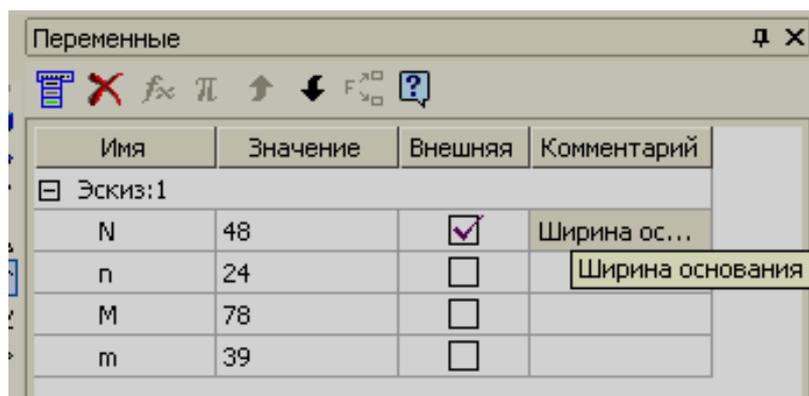


Рис. 5.67

Аналогично настроим переменную **M**, которая определяет длину основания и закроем окно.

Теперь войдем в режим редактирования верхней пластины (**Эскиз 2**)

Геометрия половины пластины определяется двумя размерами: радиус **12мм** соответствует величине скругления пластины и одновременно половине ширины. Этим размерам присвоены имена переменных **G** и **g**.

Линейный горизонтальный размер **20мм** соответствует половине длины плоской грани пластины. При создании эскиза этому параметру не было присвоено имя переменной, так как он не участвовал в уравнении. Если в процессе редактирования нам придется обращаться к этому параметру, то мы можем присвоить имя переменной на любом этапе работы. Введем диалоговое окно **Установить значение размера** и запишем имя переменной **L**, при этом значение размера оставим без изменения. В диалоговом окне **Переменные** присвоим величинам **G** и **L** статус **Внешняя** (рис. 5.68).

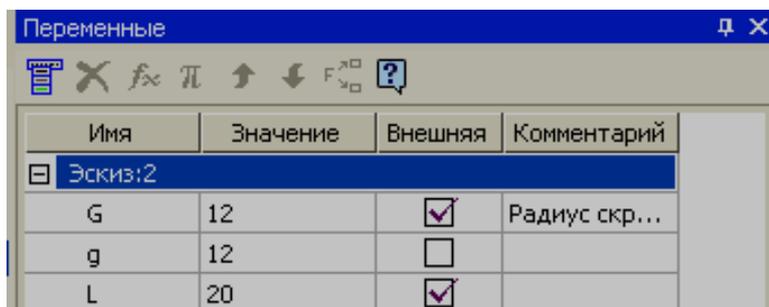


Рис. 5.68

Если ввести кнопку , то справа от дерева построения в окне **Переменные** появится список всех элементов, определяющих последовательность построения модели (рис. 5.69).

Раскроем все переменные, введенные ранее (рис. 5.70)

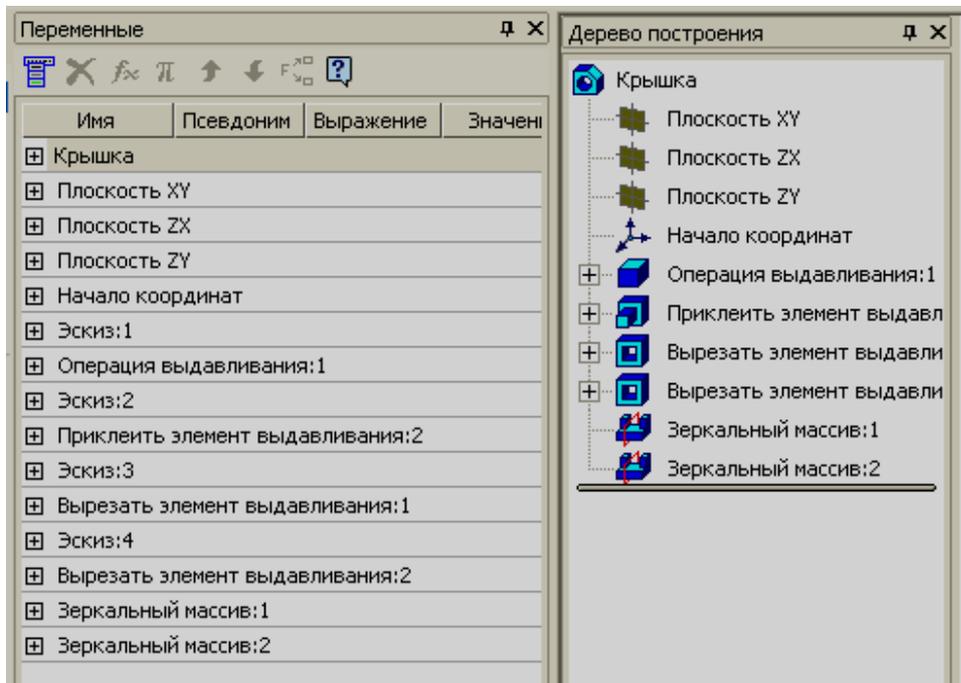


Рис. 5.69

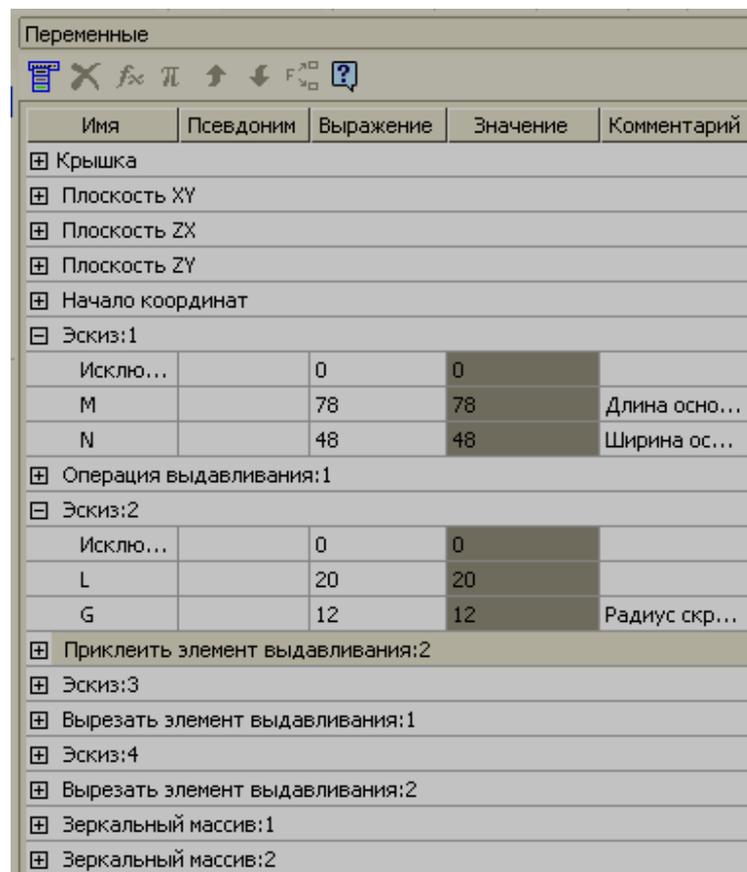


Рис. 5.70

Все внешние переменные будут отражены в окне «**Переменные**». Выделим строку, содержащую переменную М. В разделе **Выражение** введем новое значение длины основания **120** мм (рис. 5.71). Переместим курсор в раздел **Значение** и нажмем на левую клавишу мыши. Система отреагирует на данное изменение. В дереве построения появятся «галочки» красного цвета рядом с пиктограммой детали и тем элементом, в котором были изменены **внешние** переменные.

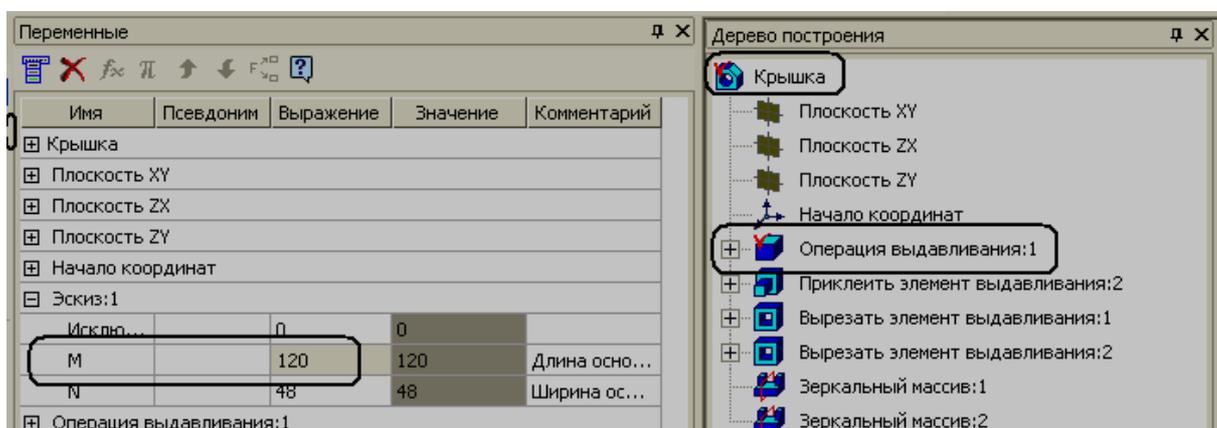


Рис. 5.71

Аналогичным образом изменим другие значения, используя соответствующее окно, представленное на рис. 5.70 и получим новые величины всех перечисленных переменных (рис. 5.72).

Введем кнопку , и система перестроит модель на основании внесенных изменений (рис. 5.73).

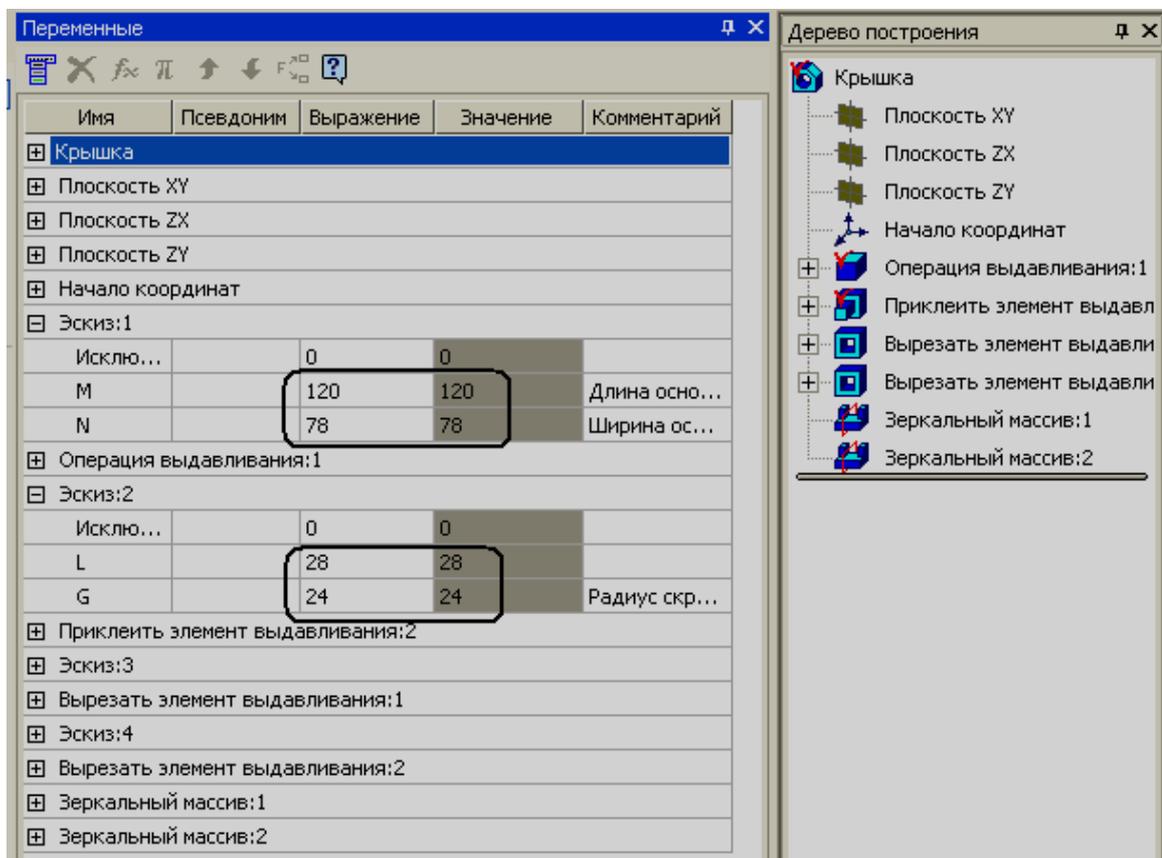


Рис. 5.72

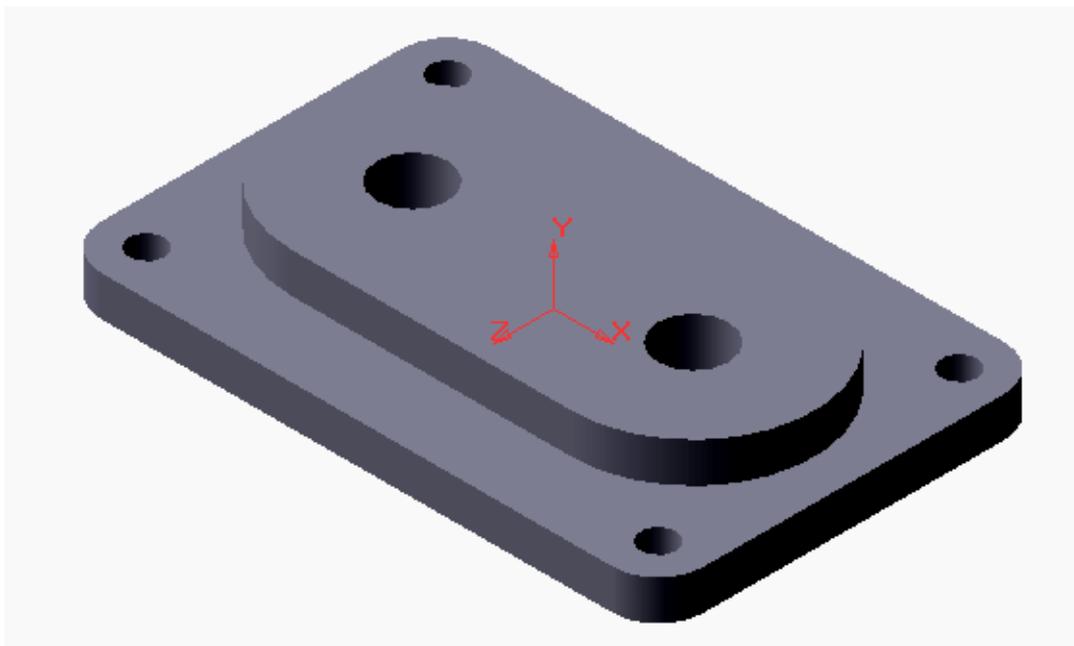


Рис. 5.73

Часто в конструкциях изделий встречаются повторяющиеся элементы, расставленные в определенном порядке. Команда **Массив** позволяет создавать несколько копий указанных объектов, размещенных по прямоугольной сетке, круговой сетке или вдоль кривой.

Построение прямоугольного массива рассмотрим на примере модели **Плита**.

Для создания модели выберем в дереве построения **Плоскость ZX**, ориентация **Сверху** и создадим **Эскиз 1** (рис. 5.74).

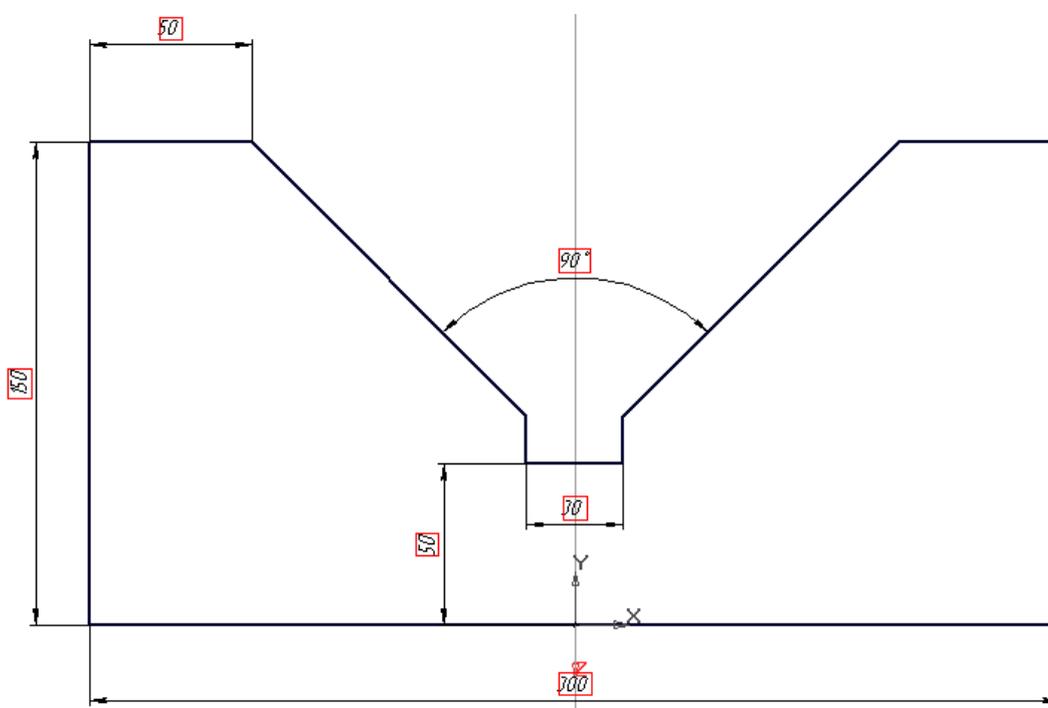


Рис. 5.74

Закроем эскиз и выполним операцию выдавливания  на расстояние **660**мм (рис. 5.75).

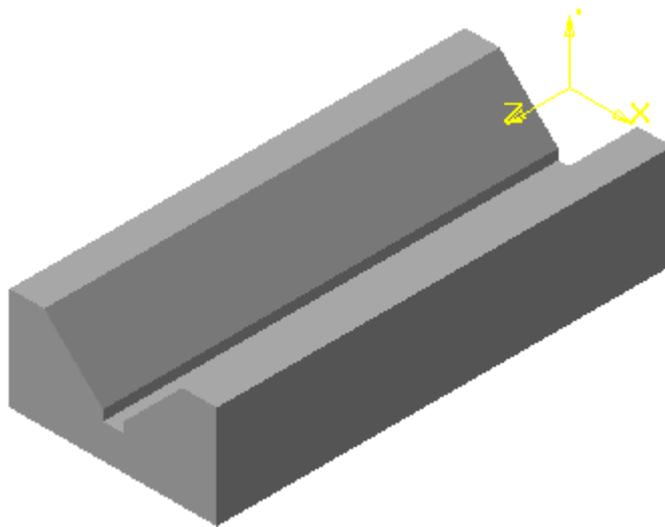


Рис. 5.75

Расположим модель **Сзади** и выделим одну из верхних граней.
Создадим **Эскиз 2** (рис. 5.76)

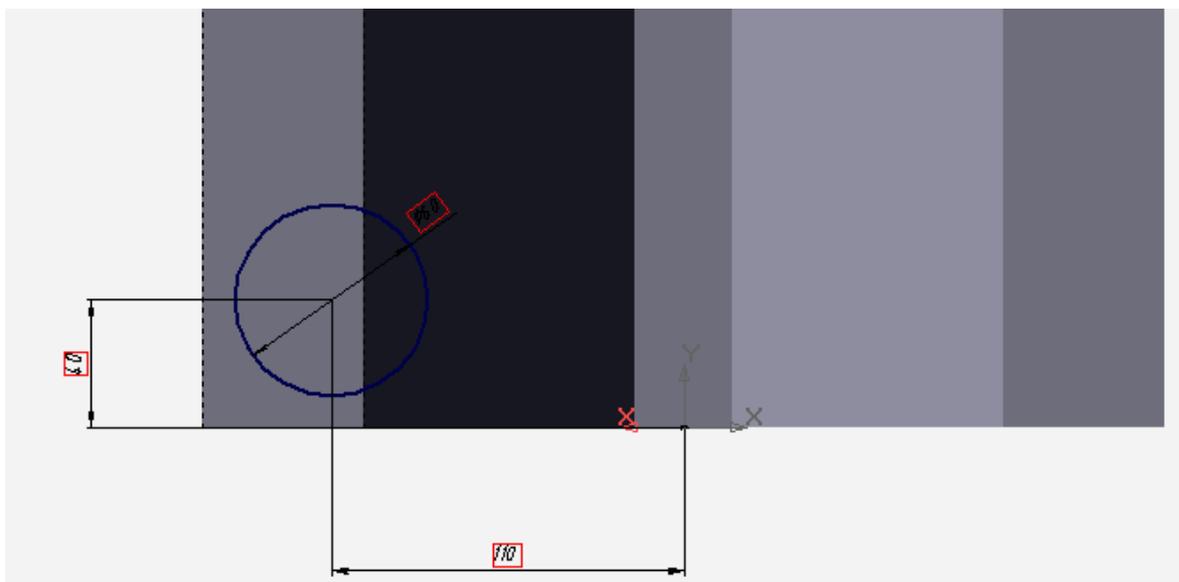


Рис. 5.76.

Применим операцию **Вырезать выдавливанием** на расстояние **50** мм.

Повторно выделим ту же грань и выполним **Эскиз 3** (рис. 5. 77).



Рис. 5.77

Выполним операцию **Вырезать выдавливанием**  **через все** и получим модель, представленную на рис. 5.78.

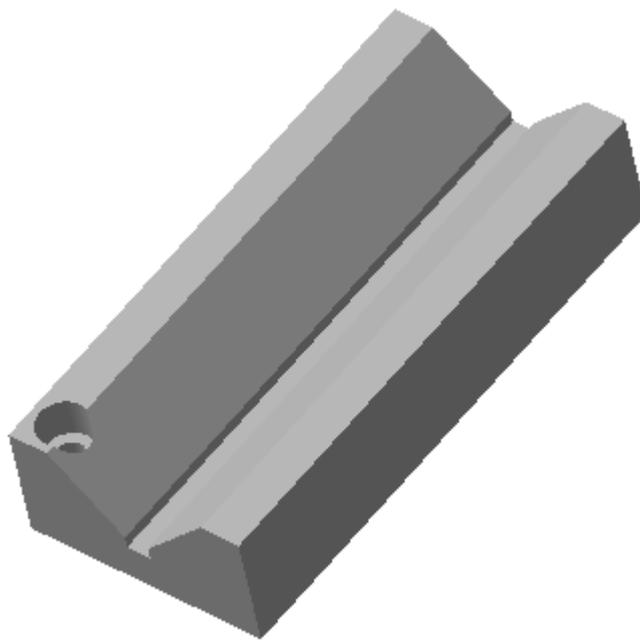


Рис. 5.78

По замыслу конструктора данная деталь имеет шесть отверстий, аналогичных созданному. Применим операцию **Массив**.

На панели **Построение детали** выберем кнопку **<Копия по сетке>**



. Команда, соответствующая данной кнопке, позволяет создавать копии указанных элементов в узлах параллелограммной сетки.

Сначала необходимо указать исходный объект для формирования массива. В нашем случае мы выделим в дереве построения две операции **Вырезать элемент выдавливания**, которые реализуют создание отверстий (рис. 5.79). Далее нажмем на кнопку, после чего появится строка параметров объектов (рис. 5.80).

Параллелограммная сетка характеризуется направлением двух ее осей, количеством копий и шагом между копиями по каждому из направлений.

В группе параметров **Первая ось** в поле **Угол наклона** по умолчанию равен 0° . Это означает, что расстановка объектов будет производиться по горизонтали. В поле **Количество** введем значение **2**, в поле **Шаг** – значение **220**мм (рис. 5.80).

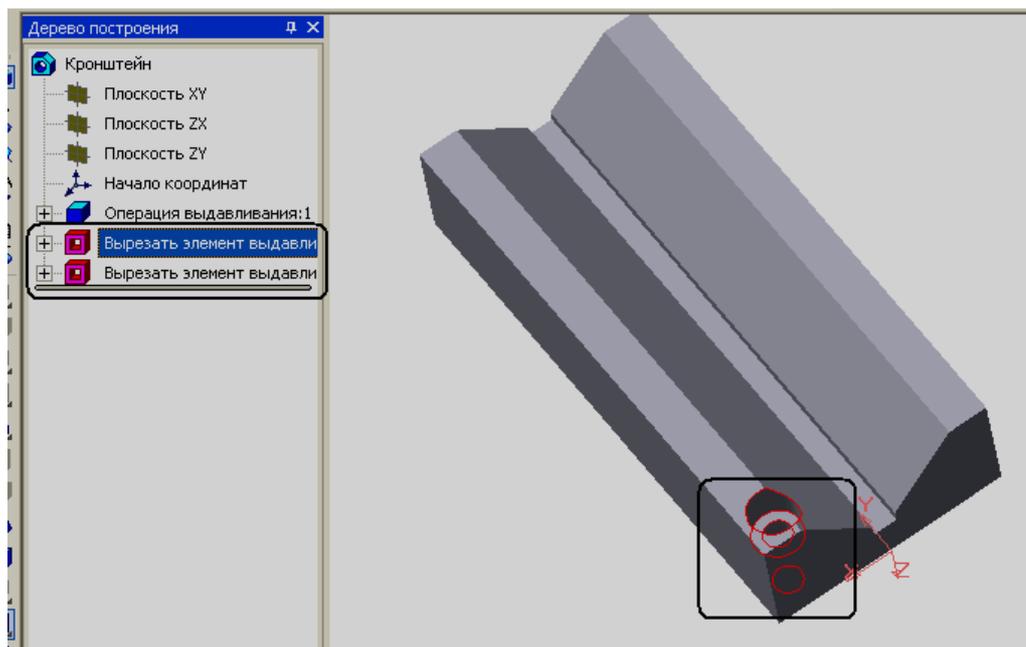


Рис. 5. 79

В группе параметров **Вторая ось** в поле **Угол наклона** по умолчанию равен 90° . Это означает, что расстановка объектов будет производиться по вертикали. В поле **Количество** введем значение **3**, в поле **Шаг** - значение **290мм**

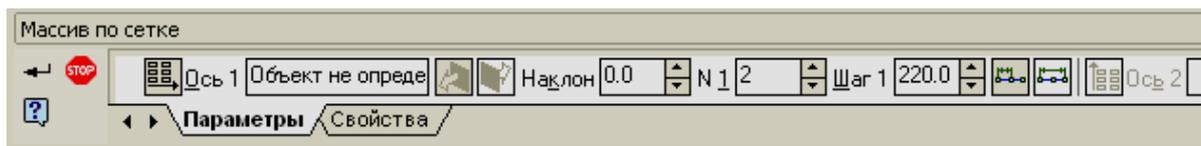


Рис. 5.80

На рис. 5.81 представлена модель **Плита** в окончательном варианте.

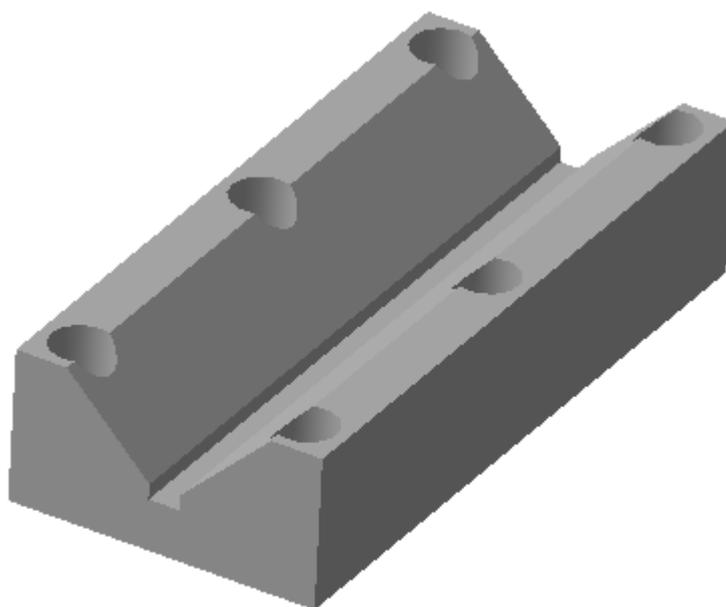


Рис. 5.81

Построение кругового массива рассмотрим на примере модели **Сепаратор**.

Выберем **Плоскость ZX**, создадим **Эскиз 1** (рис.5.82), а затем выполним операцию выдавливания на **2мм** в обратном направлении и получим кольцо, представленное на рис. 5.83.

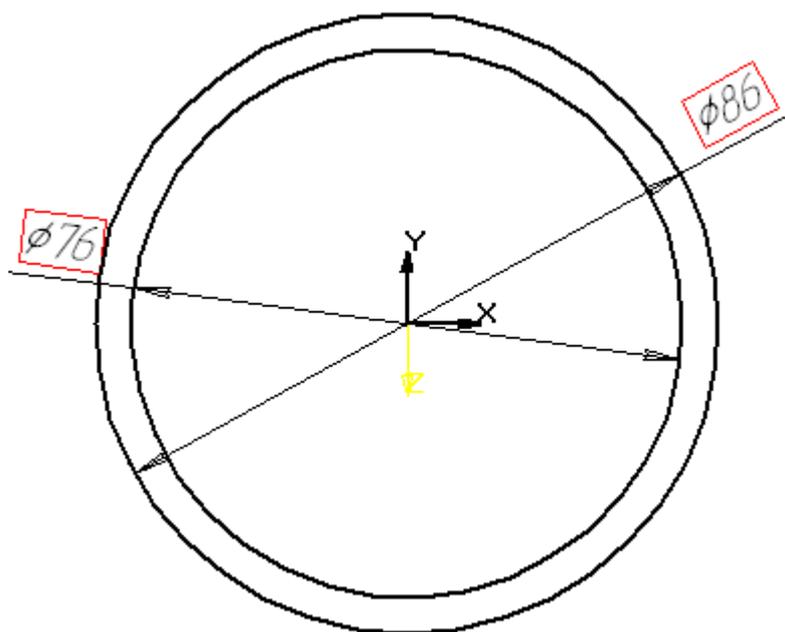


Рис. 5.82

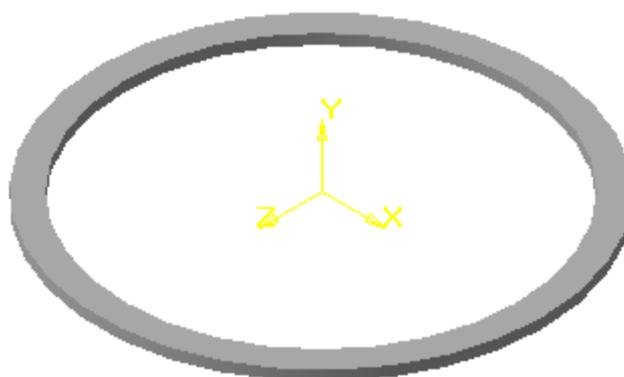


Рис. 5.83

В той же плоскости выполним **Эскиз 2**, который представляет собой также кольцо, состоящее из двух окружностей. Меньшая окружность диаметром **82** мм, а большая – спроектированное дуговое ребро, представляющее собой окружность первого эскиза. Применим операцию **Приклеить выдавливанием** на **8** мм в прямом направлении (рис. 5.84).

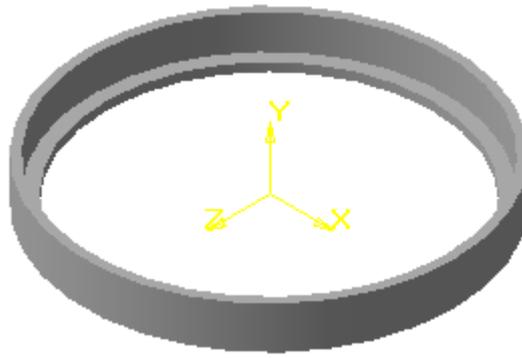


Рис. 5.84

Выберем Плоскость XY и создадим Эскиз 3 - прямоугольник. С помощью кнопки <Совпадение точек> выполним совмещение середины стороны прямоугольника с началом координат и проставим фиксированный размер (рис. 5.85).

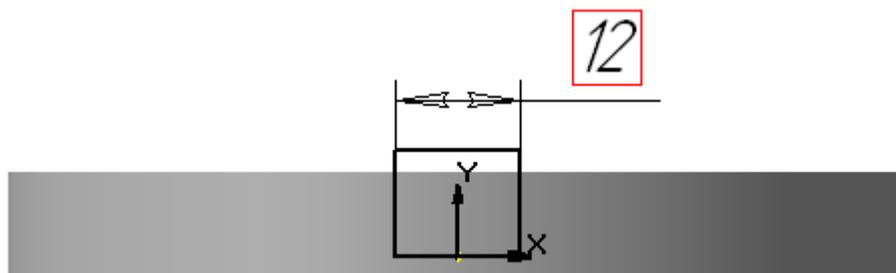


Рис. 5.85

Выполним операцию **Вырезать выдавливанием** в прямом направлении **Через все** (рис. 5.86). Прорезь на боковой поверхности и будет элементом, к которому мы применим операцию **Массив**.

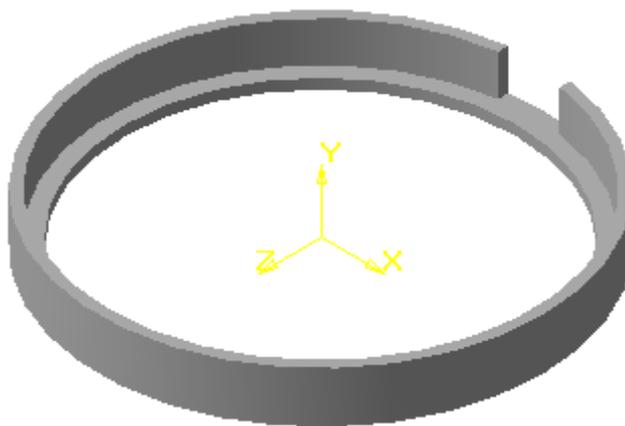


Рис. 5.86

На панели **Вспомогательная геометрия** выберем кнопку **<Ось на пересечении плоскостей>** и последовательно укажем на **фронтальную** и **профильную** плоскость. В результате образуется вспомогательная ось, которая будет выделена голубым цветом (рис. 5.86).

На панели **Построение детали** выберем кнопку **<Массив по концентрической сетке>** . После чего откроется строка **параметров объектов**, соответствующая данной команде (рис. 5.87)



Рис. 5.87

В группе параметров **Радиальное направление** в поле **Количество** введем значение **1**. Это означает, что расстановка объектов в радиальном направлении будет равна 1.

В группе параметров **Кольцевое направление** в поле **Шаг** введем значение **360**. Это означает, что все объекты будут равномерно расставлены по окружности. В поле **Количество** введем значение **16** (рис.

5.87). Затем укажем **вспомогательную ось** и элемент расстановки по концентрической сетке. После чего появится фантом (рис. 5.88), и если выбор был сделан правильно, нажмем кнопку .

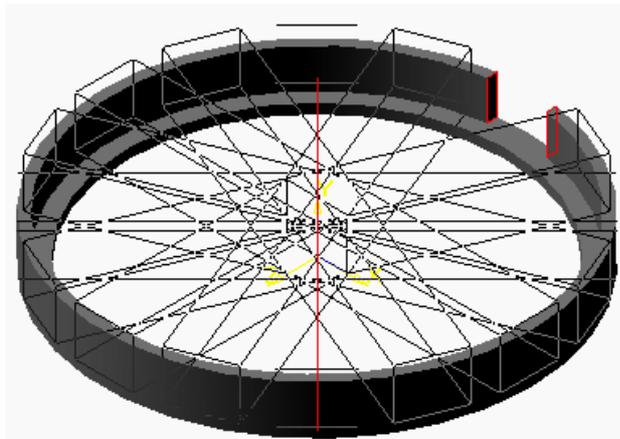


Рис. 5.88

В результате получим модель детали **Сепаратор**. В заключение выполним скругление дугового ребра. На рис. 5.89 показан окончательный вариант модели.

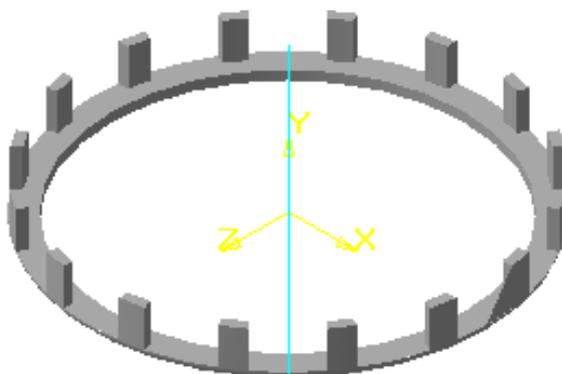


Рис. 5.89

Многие детали имеют различные отверстия. В КОМПАС-3D отверстия можно построить с помощью эскиза и кнопки **<Вырезать выдавливанием>**, а также с помощью специальной библиотеки и кнопки **<Отверстие>**.

Покажем использование библиотеки отверстий при построении модели детали **Фланец**.

Выберем **Плоскость XY**, ориентацию **Спереди** и построим **Эскиз 1** (рис. 5.90).

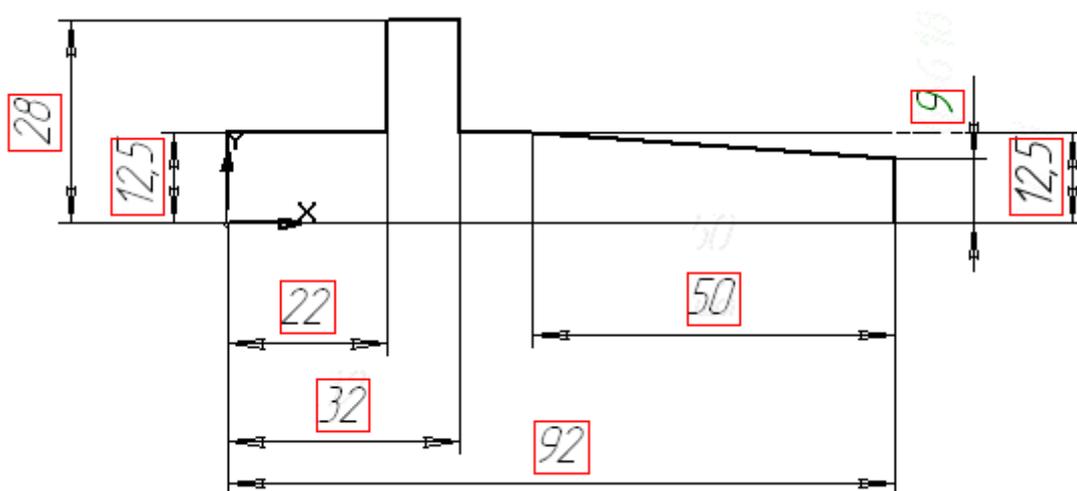


Рис. 5.90

Закроем эскиз и применим кнопку **<Операция вращения>** , в результате получим заготовку, в которой необходимо сформировать отверстия.

Одно отверстие будет соосно с внешней поверхностью. Для его построения выделим грань, на которой располагается окружность, формирующая отверстие, и установим ориентацию **Слева**. На панели

Построение детали выберем кнопку **<Отверстие>**  и в строке параметров объектов откроем диалоговое окно с помощью кнопки

Выбор отверстия << , в котором можно подобрать профиль отверстия и задать его размеры (рис. 5.91).

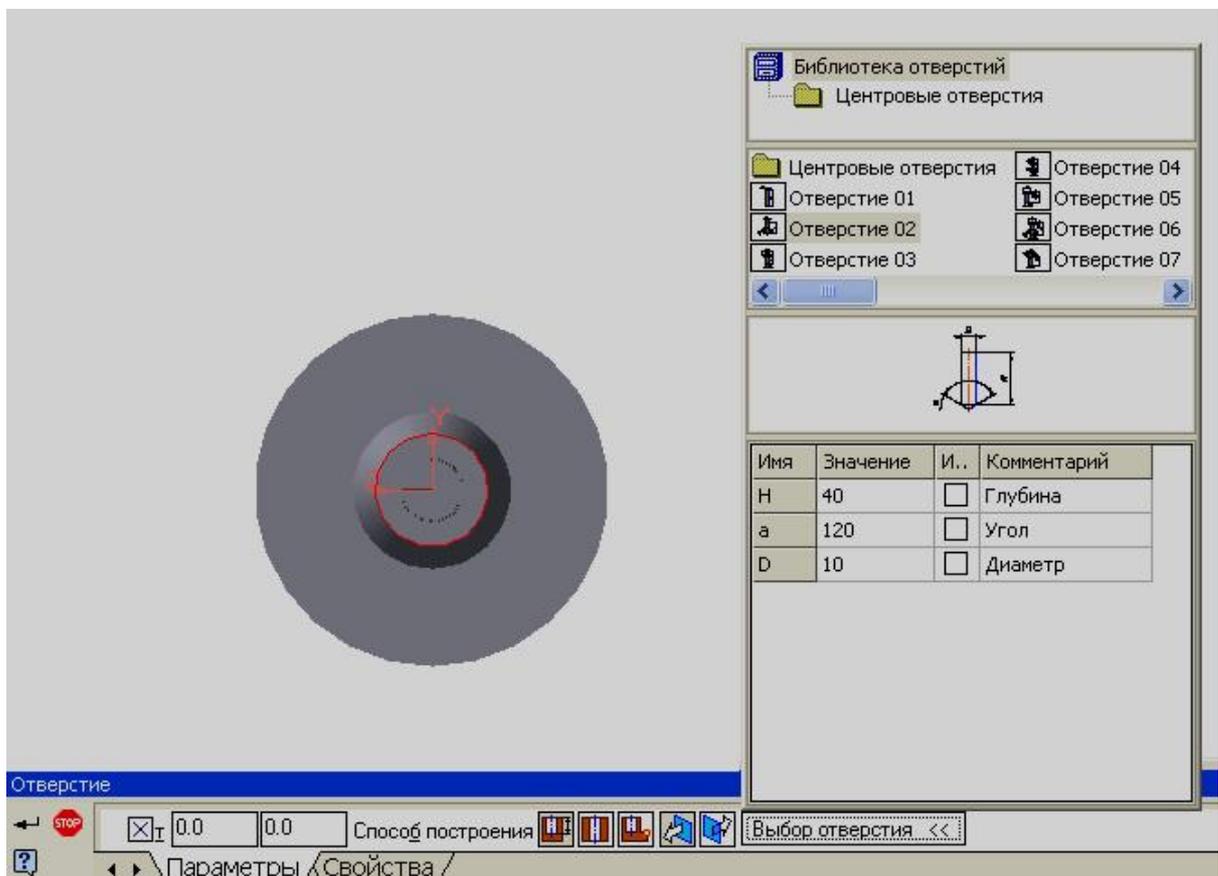


Рис. 5.91

Из предложенного списка выберем элемент **Отверстие 02**. Эскиз профиля отверстия отобразится в окне просмотра. Данный эскиз параметрический, он будет перестраиваться согласно выбранным значениям, которые приведены в правой части окна.

Для того чтобы изменить какой - либо параметр, необходимо подвести курсор в поле данного значения и нажав на левую кнопку мыши ввести новую величину (рис. 5.92)

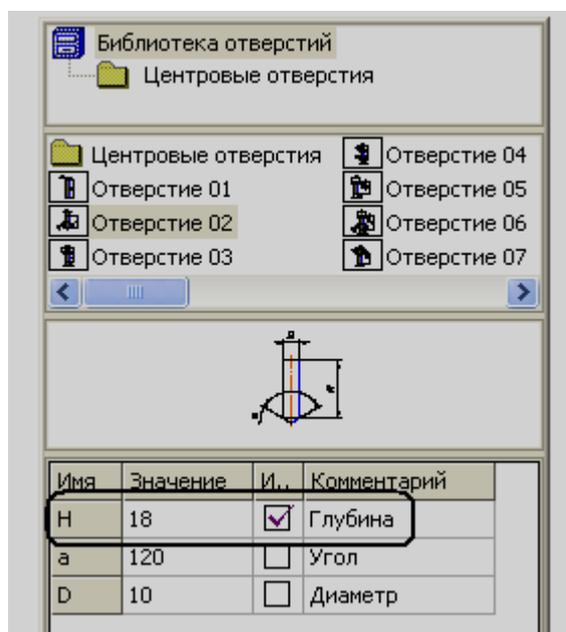


Рис. 5.92

Аналогично изменим значение диаметра отверстия и нажмем кнопку *<Создать>*. По умолчанию центр окружности, соответствующей отверстию, установится в начале координат (рис. 5.93). Система сформирует отверстие нужной конструкции с заданными параметрами.

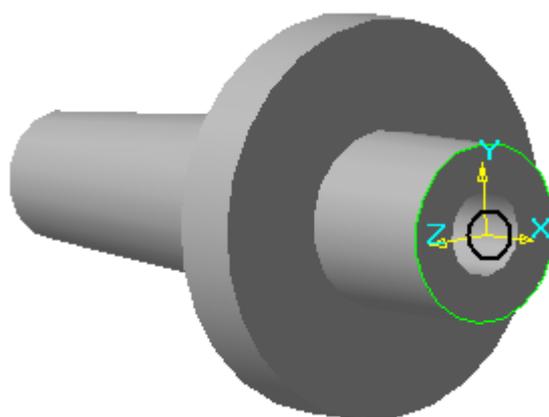


Рис. 5.93

Не все значения размеров можно менять в произвольном порядке. Например, если отверстие состоит из двух участков с разными диаметрами

($D1 > D2$), то в случае увеличения параметров, сначала следует изменить диаметр $D1$, а в случае уменьшения - $D2$.

Для построения трех других отверстий выделим грань, на которую они будут проецироваться в виде окружностей. В библиотеке выберем элемент **Отверстие 5**, изменим параметры. Чтобы поместить центр окружности в точку, не совпадающую с началом координат, отменим фиксацию поля $t(0,0)$ в **Строке параметров объектов** (рис. 5.94) и приблизительно, с помощью курсора, укажем новое положение точки центра.

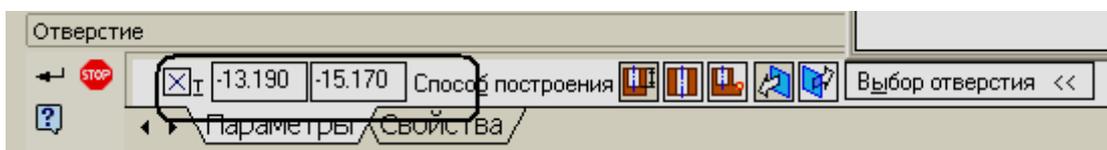


Рис. 5.94

После задания всех параметров и вставки отверстия в произвольную точку (рис. 5.95) необходимо переместить ее в точку с координатами, соответствующими конструкции детали.

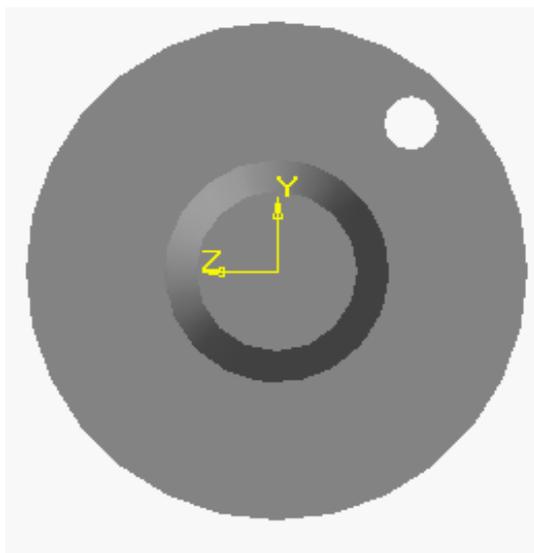


Рис. 5.95

Для этого в дереве построения в операции **Отверстие:2** выделим **Эскиз 3** (рис. 5.96), который в настоящее время содержит только точку, соответствующую центру окружности. Введем кнопку *<Редактировать эскиз>*, построим окружность стилем **Осевая** и проставим фиксированный размер. Это окружность, на которой будут располагаться центры отверстий (рис. 5.97).

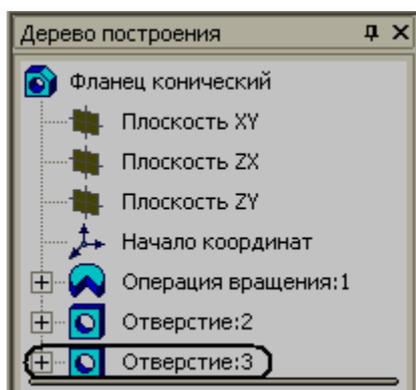


Рис. 5.96

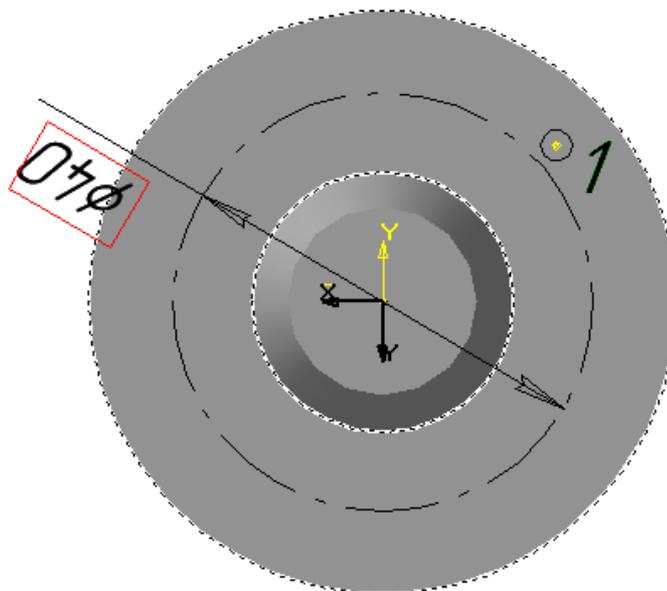
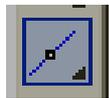


Рис. 5.97

На панели **Параметризация** выберем кнопку *<Точка на кривой>*



и укажем последовательно на любую точку окружности и точку проекции оси отверстия, после чего интересующая нас точка 1 расположится на окружности. Далее установим точку с помощью связи **Выровнять точки по вертикали** на одну вертикаль с началом координат, и точка переместится из положения 1 в положение 2 (рис. 98).

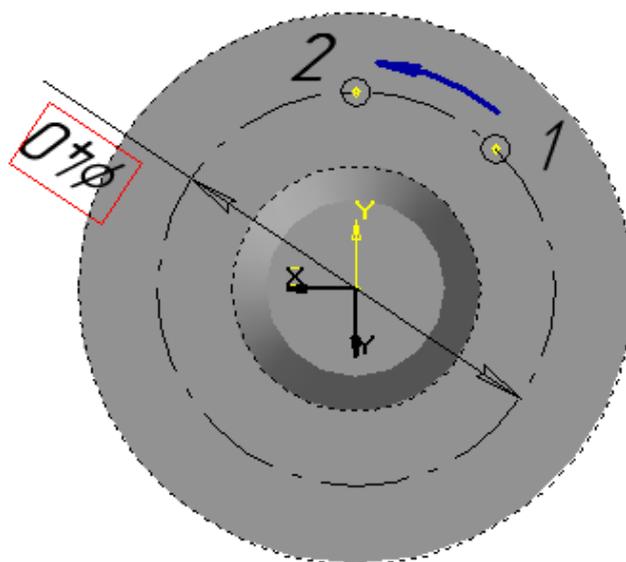


Рис. 5.98

В заключение расставим отверстия по концентрической сетке и получим модель, представленную на рис 5.99 и в разрезе - 5.100.

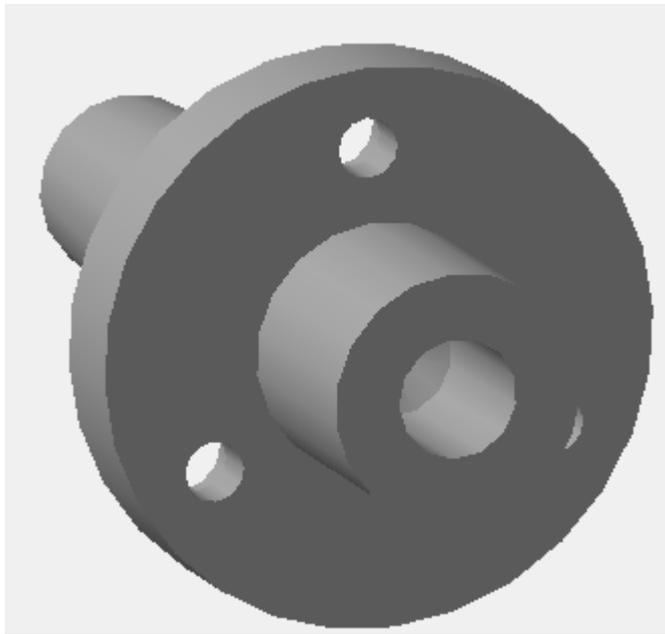


Рис. 5.99

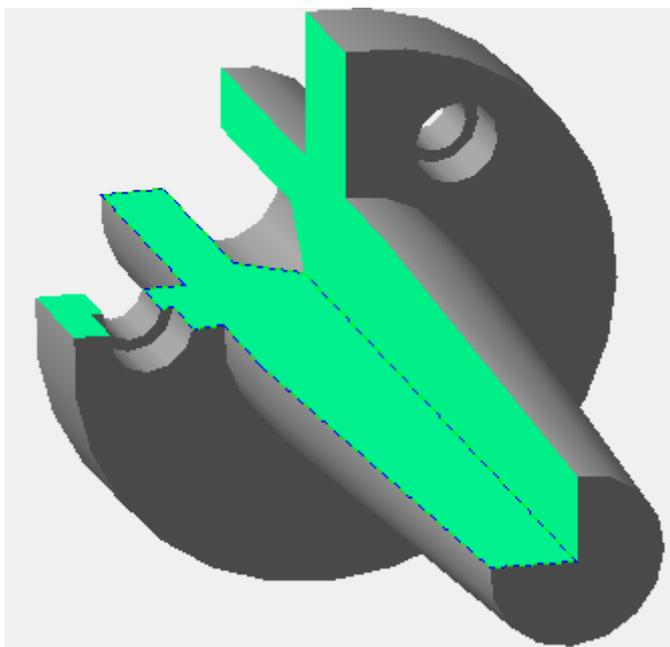


Рис. 5.100

В процессе редактирования часто приходится выделять те элементы, которые предполагается изменять. Указать элемент для редактирования

мы можем двумя путями. Первый – с помощью дерева построения, второй – с помощью курсора. Курсор в обычном состоянии имеет вид . Мы перемещаем курсор, и если в его мишень попадает грань, то он приобретает вид , а грань будет выделена пунктирной линией зеленого цвета. Если в его мишень попадет ребро, то он приобретет вид , а ребро будет также отображаться пунктирной, зеленой линией. Но иногда сразу несколько объектов находятся очень близко друг к другу и попадают одновременно в мишень курсора.

Для облегчения выбора конкретного объекта можно воспользоваться панелью **Фильтры**, которая включается с помощью команды **Фильтры объектов** и находится на **инструментальной панели** (рис. 5.101)

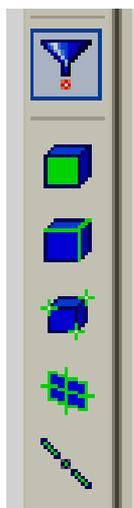


Рис. 5.101

Данная панель имеет шесть кнопок:



- *Фильтровать все;*



- *Фильтровать грани;*



- *Фильтровать ребра;*



- *Фильтровать вершины;*



- *Фильтровать конструктивные плоскости;*



- *Фильтровать конструктивные оси.*

С помощью данной панели можно выбрать любую комбинацию типов объектов, нажав одновременно несколько кнопок или переключив кнопки в процессе создания и редактирования модели.

6. МОДЕЛИРОВАНИЕ В КОМПАС-3D СБОРОЧНЫХ ЕДИНИЦ

Сборочной единицей называется изделие, которое собирается из отдельных частей на заводе изготовителе.

Модель сборочной единицы в КОМПАС-3D представляет собой файл, содержащий сборку моделей отдельных деталей, а также информацию о взаимном положении изделий, входящих в эту сборочную единицу. Модели деталей хранятся в отдельных файлах на диске. В файле сборки хранятся лишь ссылки на эти модели. Файлы сборок имеют расширение***.a3d**.

Для того чтобы создать новый файл трехмерной модели сборки нажмите кнопку *<Сборка>* . На экране откроется окно нового документа – **Сборки**. В левой части экрана появится **Инструментальная панель** (рис. 6.1)



Рис. 6.1



- *Редактирование сборки*



- *Пространственные кривые*



- *Поверхности*



- *Вспомогательная геометрия*



- *Сопряжения*



- *Измерения*

Если ввести кнопку *<Редактирование сборки>*, то откроется панель, состоящая из восьми кнопок (рис. 6.2).



Рис. 6.2

Построение модели сборки рассмотрим на примере проектирования фрагмента сборочной единицы **Вал в сборе**, в который входят следующие детали: вал, зубчатое колесо, втулка и шпонка.

Такие детали как вал, втулка и зубчатое колесо создадим с помощью окна **Новая деталь**.

Для формирования модели детали **Зубчатое колесо** в дереве построения выберем **Плоскость XY** и изобразим **Эскиз 1**.

Наиболее сложным элементом данной модели является зуб. Поэтому первый эскиз будет представлять собой контур зуба. Все построения, которые носят вспомогательный характер, будем выполнять типом линии **Тонкая** или **Утолщенная**. Контур зуба строится по эвольвенте окружности. По заданным *модулю* $m = 3$ и *числу зубьев* $z = 23$, рассчитаем значения: *диаметра делительной окружности* $d = mz = 69$ мм; *диаметра выступов* $d_a = m(z+2) = 75$ мм; *диаметра впадин* $d_f = m(z-2.5) = 61.5$ мм.

Изобразим делительную окружность типом линии **Утолщенная** и возьмем на этой окружности произвольную точку **Р** (*Полюс зацепления*). Соединим эту точку с центром окружности **О** и к полученной линии проведем другую линию под углом 70° . К построенной прямой из точки **О** восстановим перпендикуляр **ОК**. Отрезок **РК** поделим на любое равное

количество частей (**4**), используя кнопку **<Точки по кривой>** . С

помощью кнопки **<Расстояние между двумя точками на кривой>** 

замерим длину одного отрезка $n = 2.95$ мм. Затем построим вспомогательную окружность радиусом, равным отрезку **ОК**, и с помощью

кнопки **<Точка на заданном расстоянии>**  по дуге вправо и влево от точки **К** отмерим по 4 отрезка, равных n (рис. 6.3).

Теперь через точки 1, 4, 6 и 8 (можно через каждую точку) проведем касательные к данной окружности, с помощью кнопки **<Касательный**

отрезок через точку кривой> . На касательной к точке **1** откладываем отрезок, равный n , на касательной к точке **4** – $4n$, **6** – $6n$, **8** – $8n$. Конечные точки отложенных отрезков будут принадлежать эвольвенте. Соединим конечные точки кривой с помощью команды

Слайн и построим еще две окружности - окружность выступов и окружность впадин (рис. 6.4)

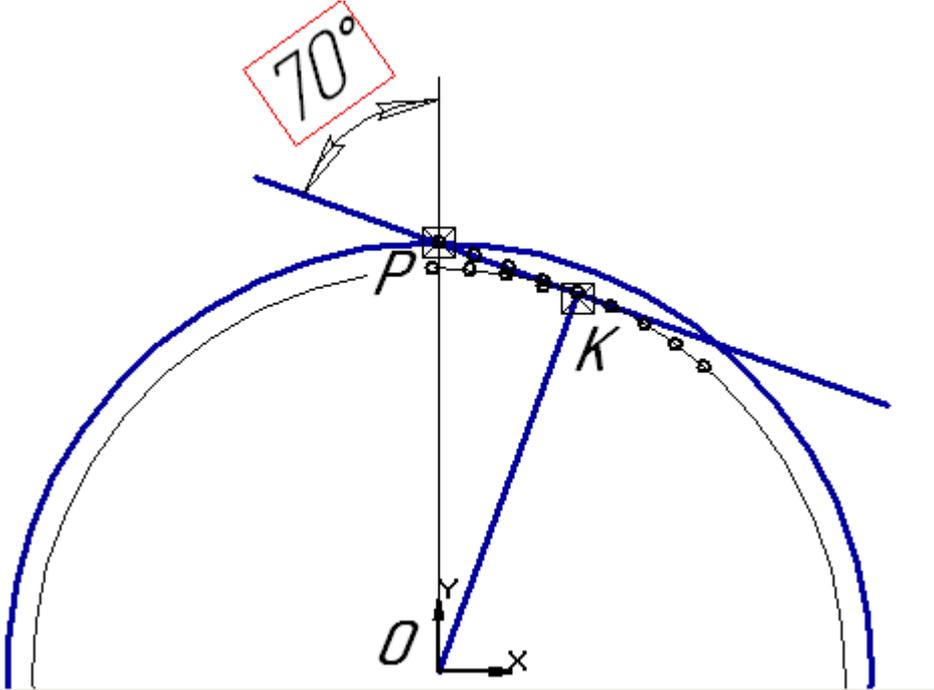


Рис. 6.3

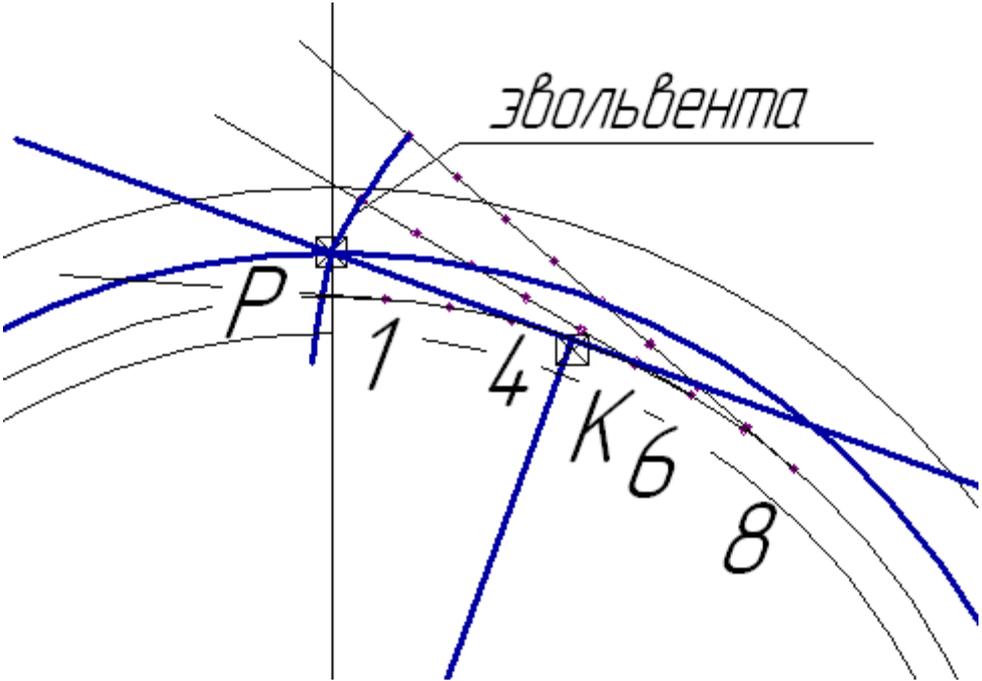


Рис. 6.4

Обрежем эвольвенту (граничные линии – окружность выступов и окружность впадин), построим ось профиля зуба прямая **О1** и зеркально отобразим эвольвенту относительно оси. В заключение обведем профиль зуба типом линии **Основная**, используя команду **Непрерывный ввод объектов**, при этом поочередно меняя модификации **Сплайн** и **Дуга** (рис. 6.5).

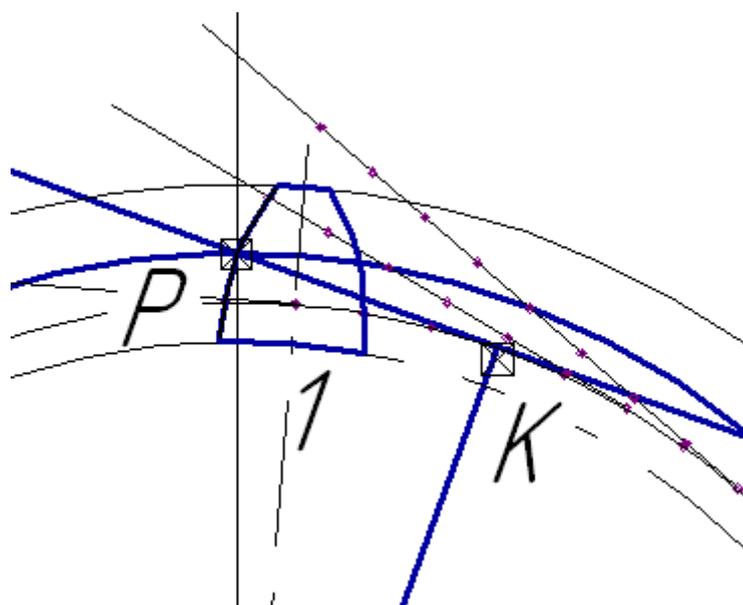


Рис. 6.5

Закроем эскиз и применим операцию **Выдавить объект**, задавая длину зуба **b= 20 мм** (рис. 6.6).

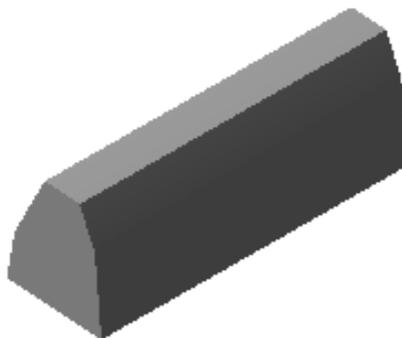


Рис. 6.6

Опять в дереве построения установим **Плоскость XY** и создадим **Эскиз 2**. Он будет представлять собой окружность впадин (рис. 6.7).

Эскиз закроем и выполним операцию **Приклеить выдавливанием** (рис. 6.8).

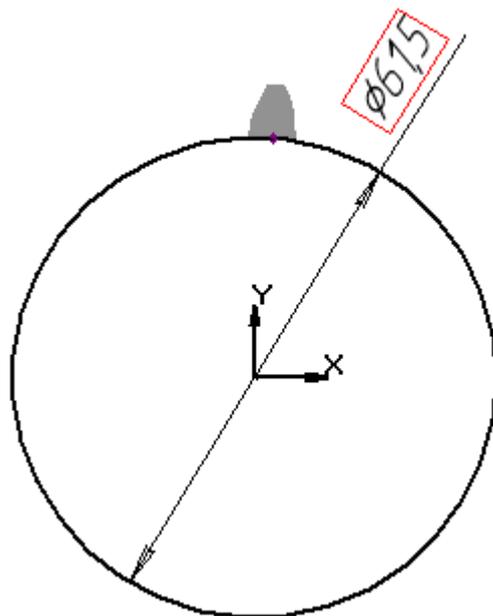


Рис. 6.7

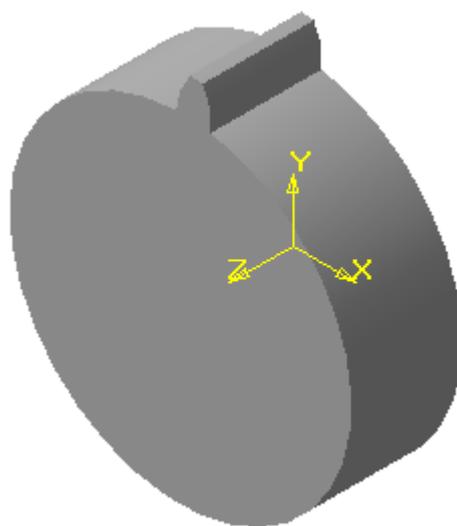


Рис. 6.8

Введем кнопку *<Ось на пересечении плоскостей>* и построим вспомогательную ось, совпадающую с осью Z. На панели **Построение детали** выберем кнопку *<Массив по концентрической сетке>* и расставим зубья по образованной поверхности венца (рис. 6.9).

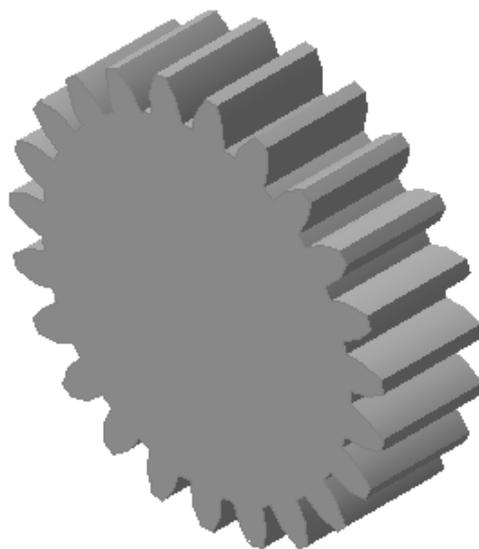


Рис. 6.9

Для того чтобы сконструировать ступицу, выберем **Плоскость XY** и выполним **Эскиз 3**. Затем приклеим его в обратном направлении (рис. 6.10).

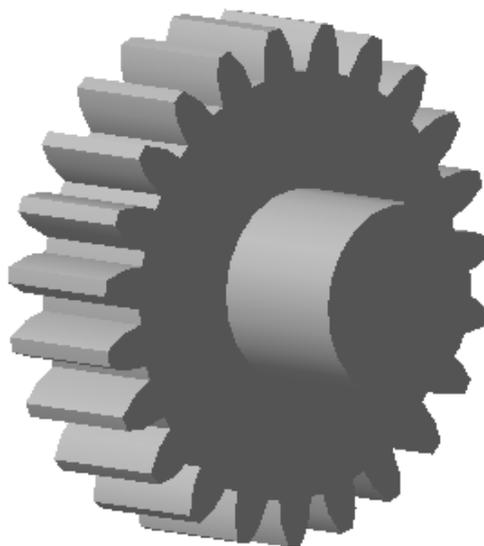


Рис. 6.10

На последнем этапе вырежем отверстие со шпоночным пазом. На **Плоскости XY** создадим **Эскиз 4** (рис. 6.11) и используем операцию **Вырезать выдавливанием**. В заключение выполним скругление ножки зуба $r=1.2\text{мм}$ и снимем фаски $s=1.6\text{мм}$ на ступице. В результате получим модель зубчатого колеса, представленную на рис. 6.12.

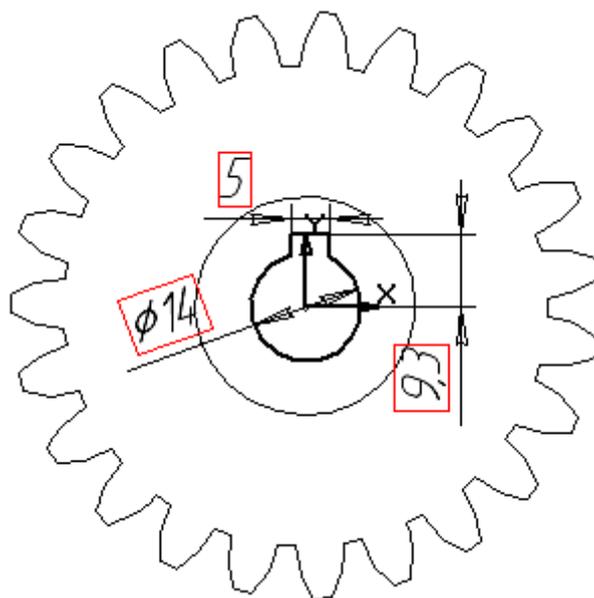


Рис. 6.11

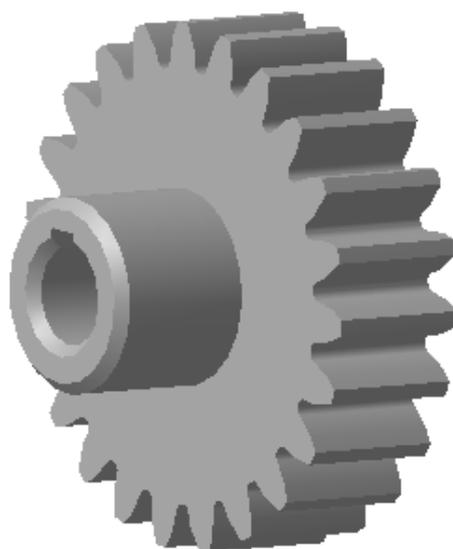


Рис. 6.12

Далее создадим модель вала. Для этого в дереве построения выберем **Плоскость XY** и ориентацию **Нормально к...** Построим **Эскиз 1** (рис.6.13) и применим **Операцию вращения**.

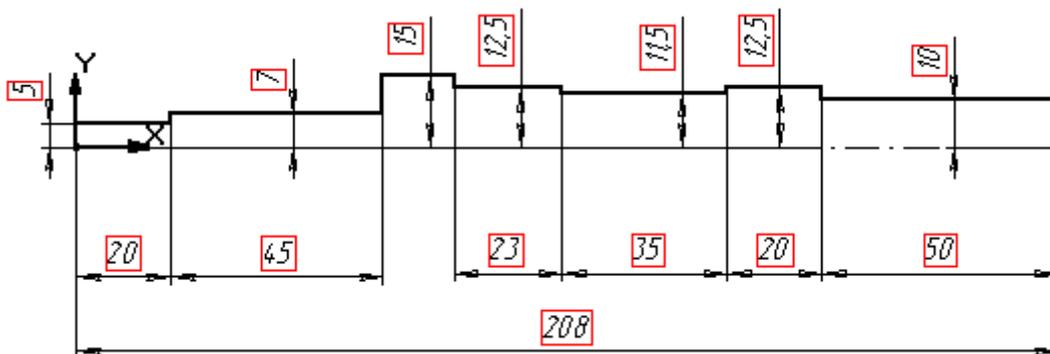


Рис. 6.13

На участках вала, где будет осуществляться сопряжение с зубчатым колесом и подшипником, необходимо выполнить проточки для выхода шлифовального круга. Размеры проточки возьмем из справочника для диаметра вала **14мм** и **25мм**.

Создадим **Эскиз 2** на **Плоскости XY**. Для этого в несколько раз увеличим необходимый участок и проведем ось, совпадающую с осью X. Затем, построим точку **1** с координатами $x=-65, y=-7$ и через эту точку проведем вспомогательную горизонтальную и вертикальную прямые. С

помощью команды **<Параллельная прямая>**  построим еще две вспомогательные прямые: первую – параллельно горизонтальной прямой на расстоянии **0.25 мм** (глубина проточки); вторую - параллельно вертикальной прямой на расстоянии **3 мм** (ширина проточки); Точки пересечения прямых 1, 2, 3 и 4 соединим стилем линии **Основная** (рис. 6.14).

Закроем эскиз и введем кнопку **<Вырезать вращением>** . После чего на валу образуется проточка. Выполним операцию **Фаска** под углом **45°** и Скругление **r=1** и **r₁= 0.5**. Аналогично выполним проточку для участка вала диаметром 25мм. В результате получим вал, изображенный на рис. 6.15.

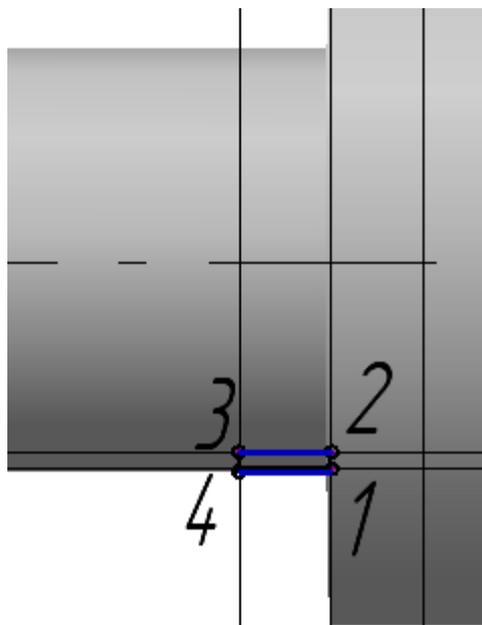


Рис. 6.14

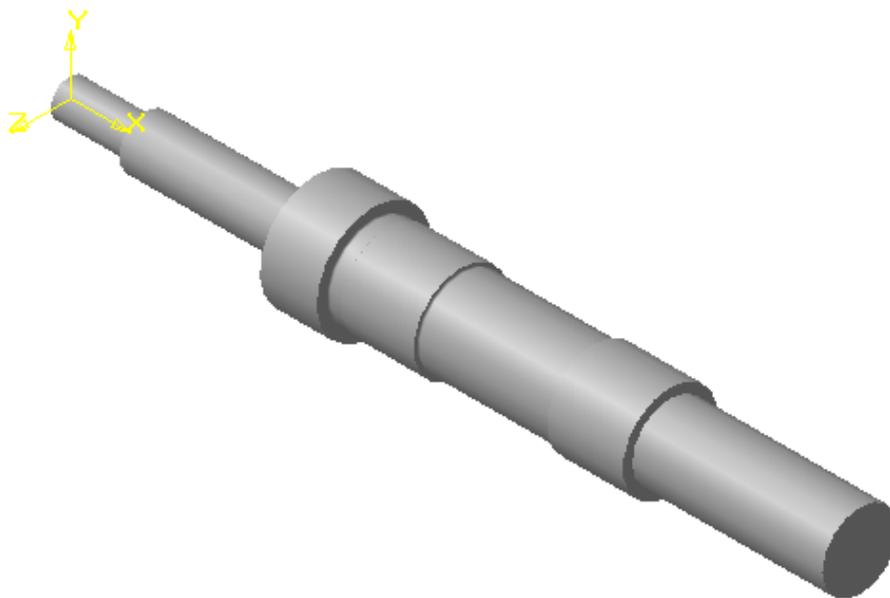


Рис. 6.15

Перейдем к построению шпоночного паза. Для его создания необходимо ввести вспомогательную плоскость, которая будет касаться шейки вала.

Введем кнопку *<Касательная плоскость>*  и на модели укажем грань, касательно которой необходимо ввести плоскость, а затем в дереве построения выделим **Плоскость ZX**. На экране появится отображение касательной плоскости (рис. 6.16).

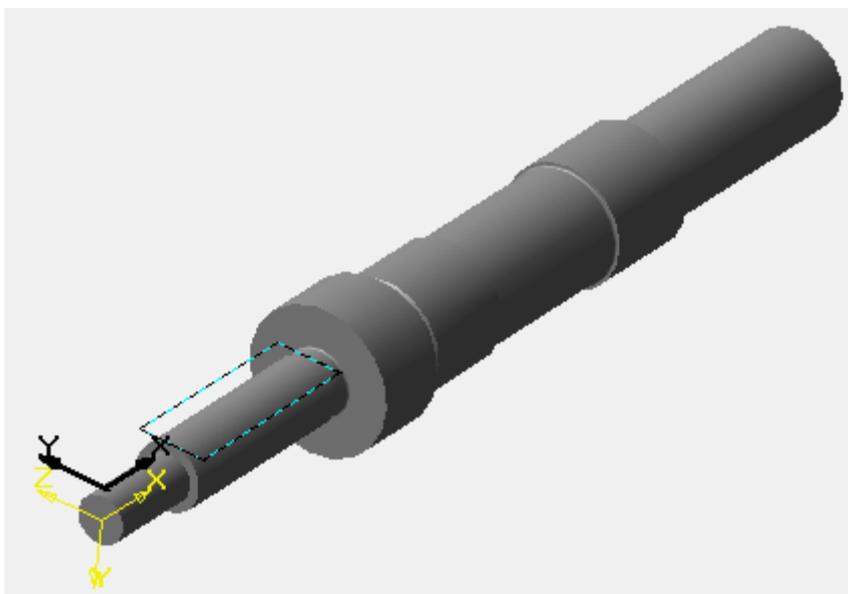


Рис. 6.16

На вспомогательной плоскости создадим **Эскиз 3** – контур паза

(рис. 6.17) Изобразим две окружности, причем центр первой окружности выровняем по точке начала координат с помощью локальной привязки **Выравнивание**, а центр второй окружности - по центру первой (рис.6.17).

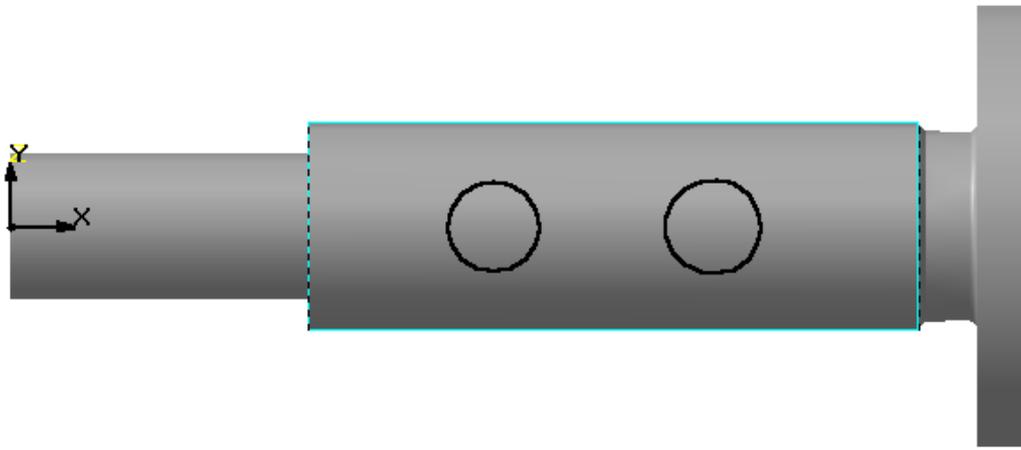


Рис. 6.17

Далее с помощью параметризации установим равенство радиусов и, используя кнопку *<Отрезок касательный к двум кривым>* , соединим окружности. Удалим внутренние части окружностей, и чтобы точно зафиксировать паз по верхней образующей, выровняем точку 1, 2 и 3 по горизонтали (рис. 6.18). Для задания точных размеров паза введем линейные горизонтальные размеры и значение радиуса. Закроем эскиз, вырежем выдавливанием на глубину 3мм и выполним фаски (рис. 6.19).

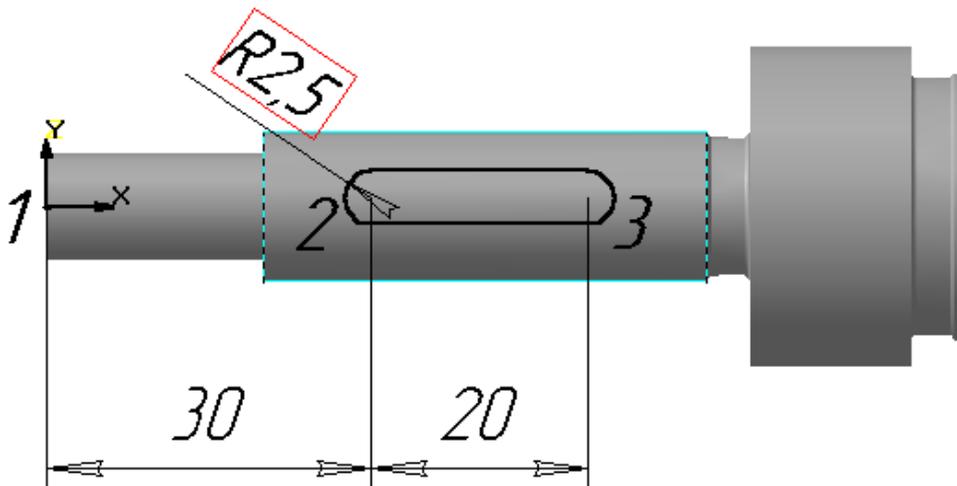


Рис. 6.18



Рис. 6.19

Для выполнения шлицевой части вала **d-6-16-20-4** по ГОСТ 1139-80 выберем ориентацию **Справа** и создадим **Эскиз 4** на торцевой грани вала. По заданным размерам выполним вспомогательные построения, и стилем линии **Основная** с помощью кнопки *<Непрерывный ввод объектов>* обведем контур пространства между двумя соседними зубьями (рис. 6.20).

Закроем эскиз и выполним операцию **Вырезать выдавливанием** на глубину 45 мм (рис. 6.21).

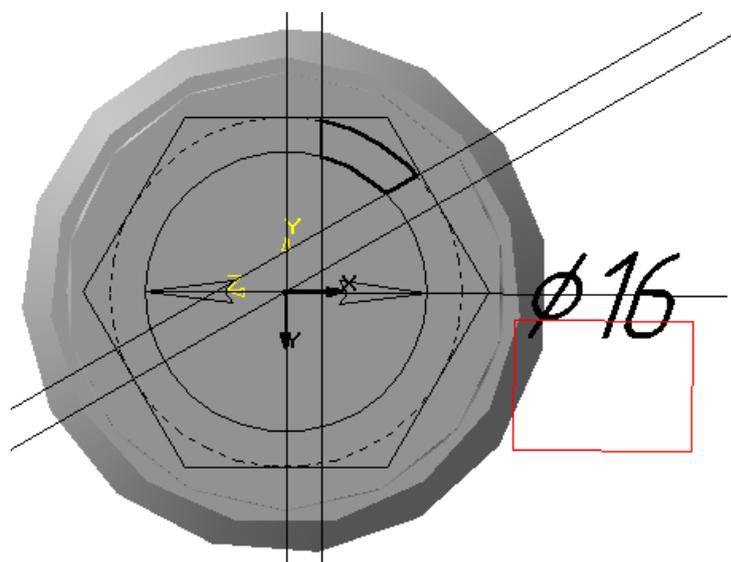


Рис. 6.20

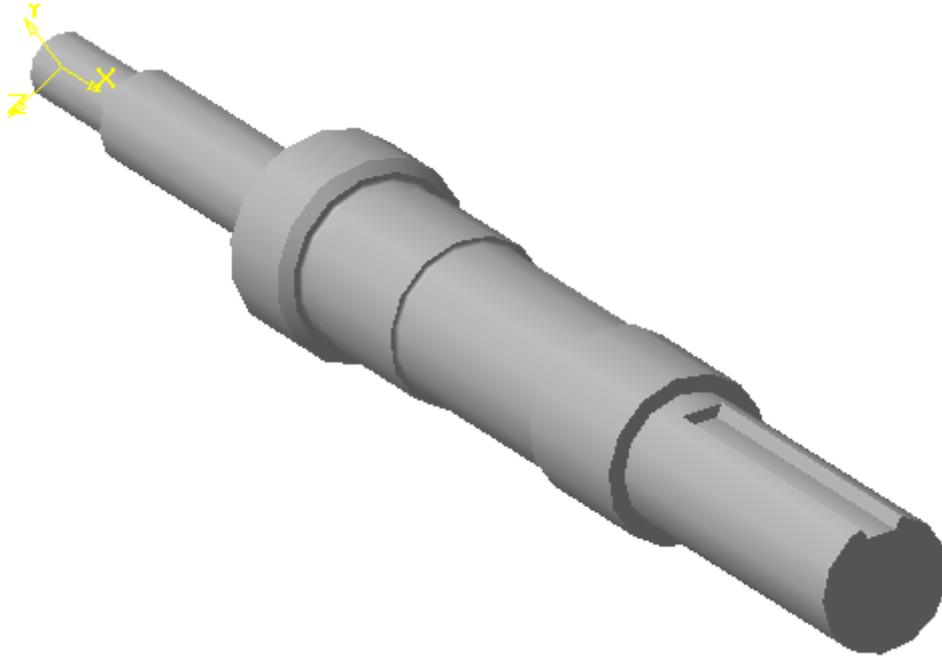


Рис. 6.21

В заключение используем кнопку *<Массив по концентрической сетке>*. Выполним сопряжение и снимем фаску. В результате получим вал, представленный на рис. 6.22.



Рис. 6.22

Построим модель детали **Втулка**.

Выберем в дереве построения **Плоскость ZY** и ориентацию **Нормально к...**, затем создадим **Эскиз 1**(рис. 6.23) и применим **Операцию вращения**. В результате получим заготовку, изображенную на рис. 6.24.

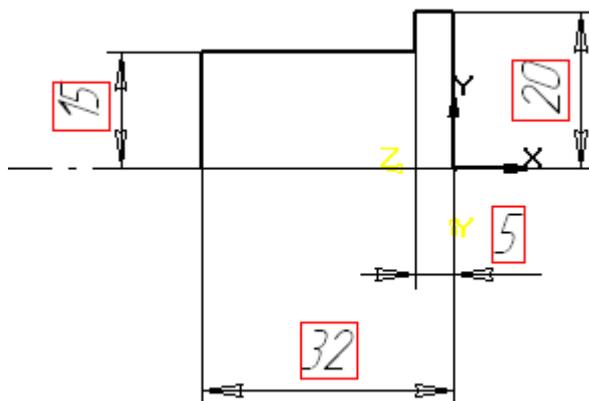


Рис. 6.23

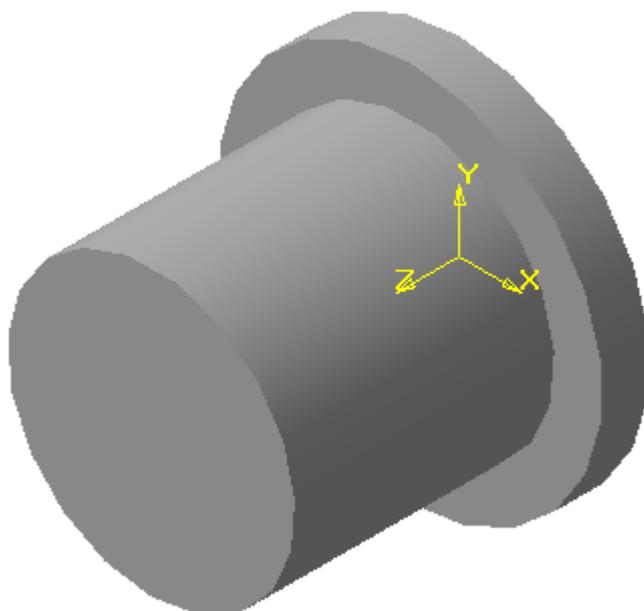


Рис. 6.24

Выберем **Плоскость XY** и создадим **Эскиз 2**, представляющий собой контур отверстия с одним пазом (рис.6.25).

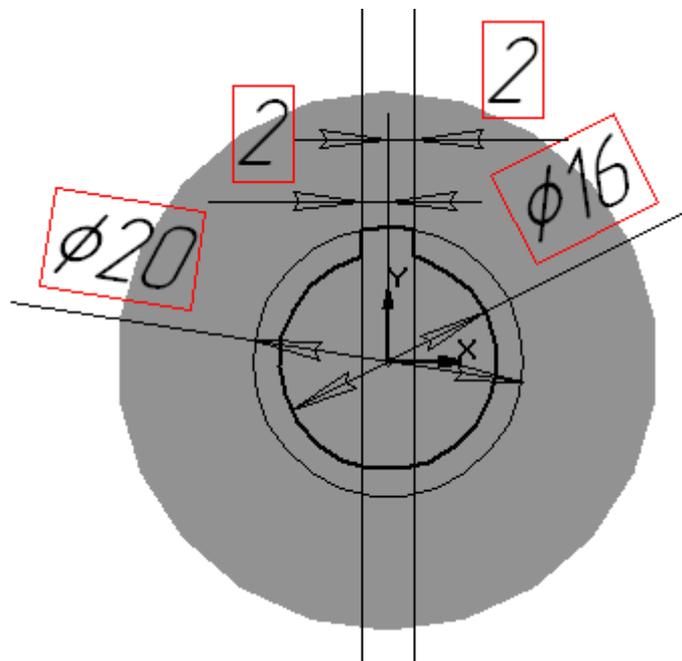


Рис. 6.25

Применим операцию **Вырезать выдавливанием** (рис.6.26).

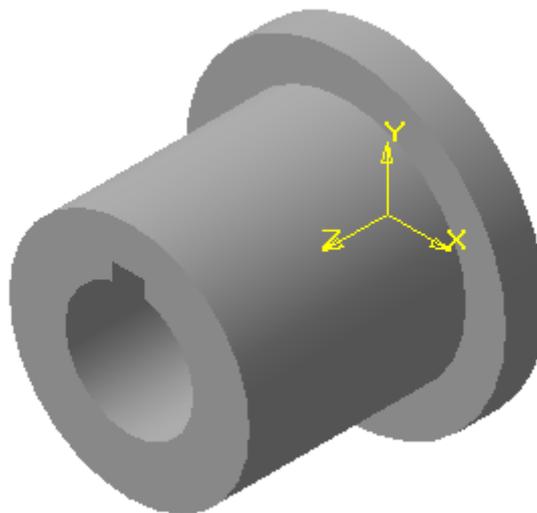


Рис. 6.26

На последнем этапе используем кнопку **<Массив по концентрической сетке>** и снимем фаску. В результате получим втулку, представленную на рис. 6.27.

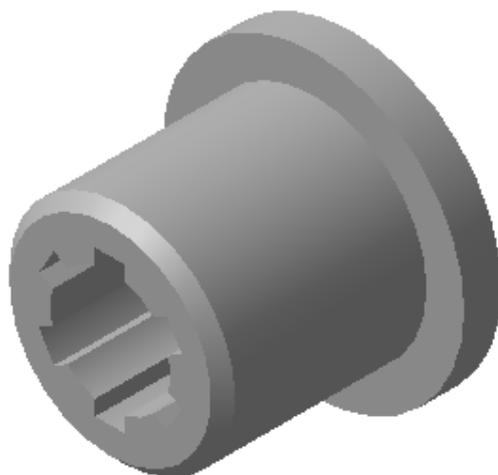


Рис. 6.28

Построение сборки начнем с выбора базового объекта. Обычно в качестве базового принимают тот объект, относительно которого удобно располагать все остальные. Основной деталью в данном рассмотренном варианте будет вал. Так как он был создан ранее и сохранен в отдельном файле, то для того чтобы ввести его в сборку, необходимо нажать кнопку

<Добавить из файла> . На экране появится фантом, который можно свободно перемещать в окне сборки. В ответ на запрос системы **Укажите местоположение компонента** необходимо указать точку начала координат модели, при этом курсор должен находиться в режиме указания вершины +*.

После вставки первого объекта, его начало координат, направление осей координат и системные плоскости совмещаются с аналогичными элементами сборки. Первый компонент **фиксируется** в том положении, в котором он был вставлен. Зафиксированный объект не может быть перемещен в системе координат сборки.

Однако при необходимости можно отключить фиксацию объекта. Для этого следует выбрать объект в дереве построения и вызвать из контекстного меню команду **Свойства компонента**. В открывшейся строке параметров объектов выключить опцию **Зафиксировать** (рис. 6.29).

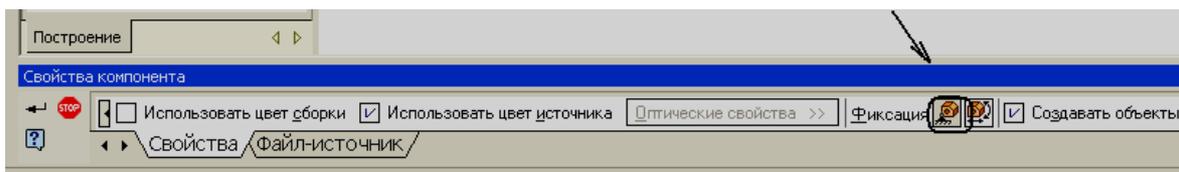


Рис. 6.29

В дереве построения появится первая составная часть – **Вал**. Слева от названия детали системой будет введен условный знак (**Ф**), обозначающий фиксацию детали.

Вторично введем кнопку *<Добавить из файла>* . Выберем деталь **Втулка** и укажем произвольное положение ее (рис. 6.30).

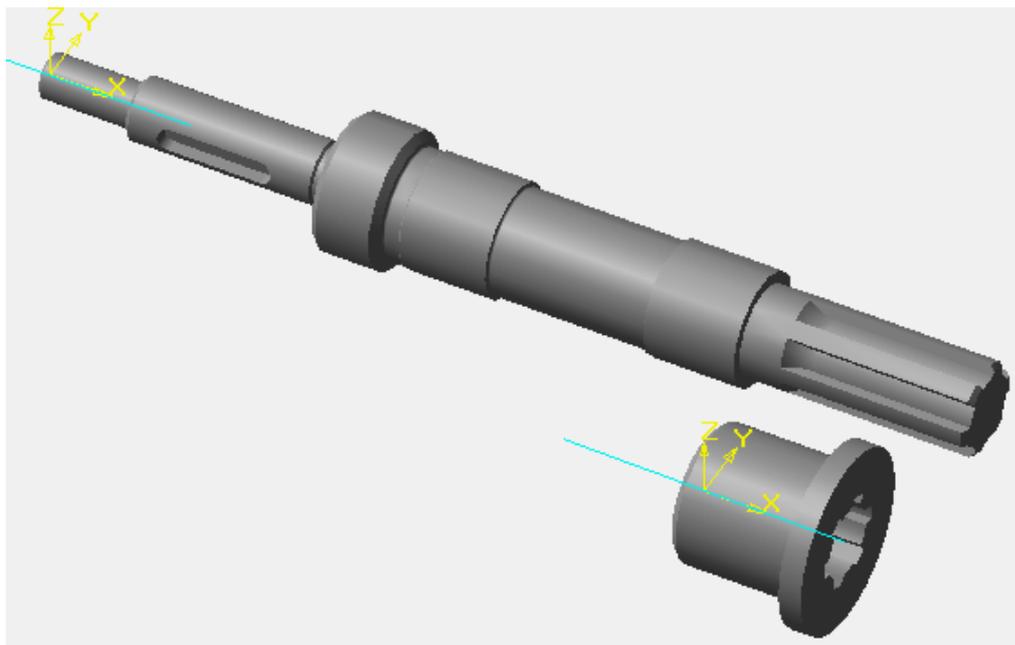


Рис. 6.30

После вставки каждой последующей детали можно изменять ее расположение. В КОМПАС-3D предусмотрено несколько способов перемещения отдельных элементов. Можно повернуть деталь вокруг его геометрического центра, вокруг оси или точки, а также сдвинуть его в любом направлении.

Осуществим поворот детали относительно его центра. Введем кнопку

<Повернуть компонент > , которая находится на **Инструментальной панели сборки**.

После ввода команды курсор примет вид . Осуществим поворот приблизительно на 180° . Для выхода из команды необходимо ввести кнопку  или клавишу **<Esc>**.

В результате втулка займет новое положение (рис. 6.31).

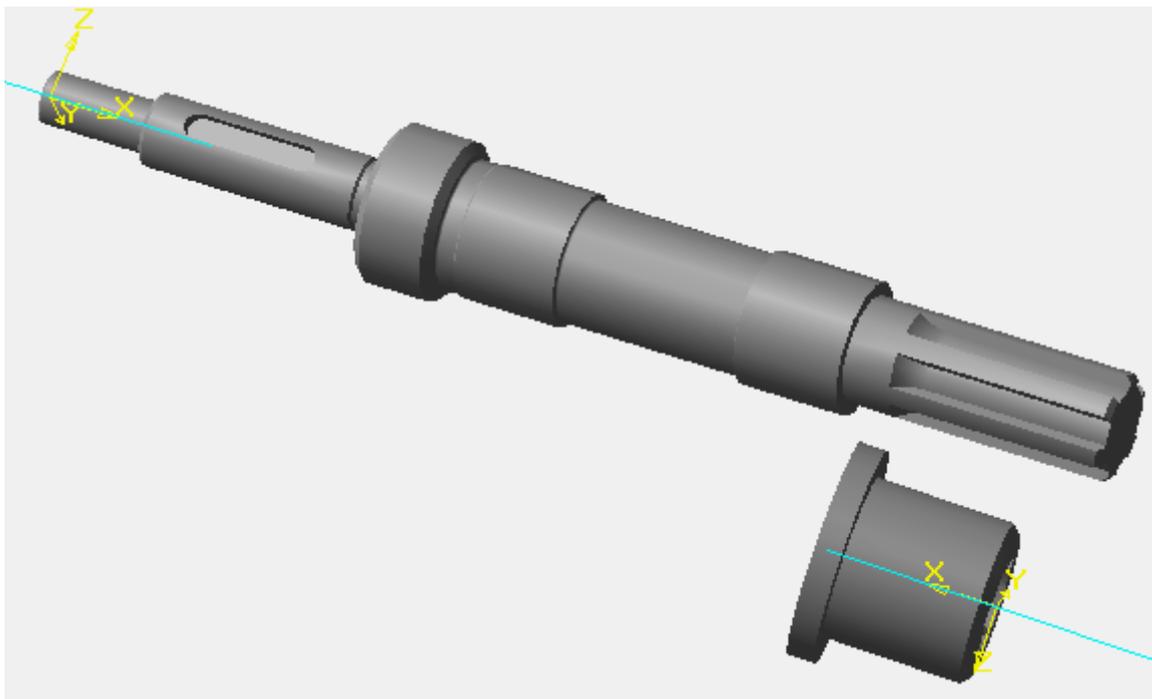


Рис. 6.31

Для осуществления перемещения модели детали необходимо ввести кнопку *<Переместить компонент>*  - при этом курсор изменит свою форму на . Укажем курсором на деталь **Втулка** и переместим ее, расположив перед валом (рис. 6.32).

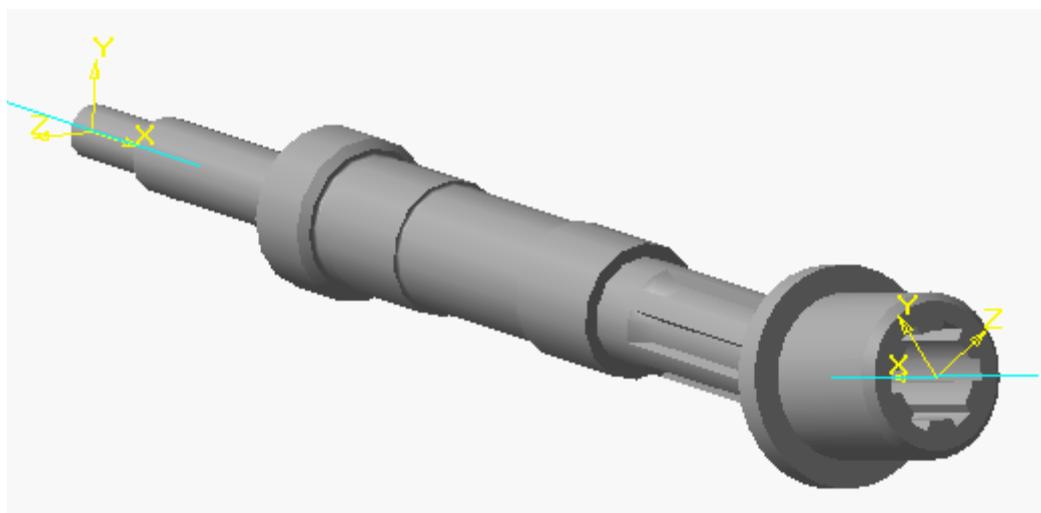


Рис. 6.33

После поворота или перемещения, какой - либо детали его пиктограмма в дереве построения будет отмечена “галочкой ” красного цвета . Это означает, что ее новое положение отражено только на экране монитора, но не сохранено в файле сборки. Для того чтобы сообщение об изменениях было записано в файле, необходимо ввести кнопку *<Перестроить>* .

Установив приближенную ориентацию моделей вала и втулки, можно приступить к следующему этапу – созданию шлицевого соединения. Создание любых соединений моделей достигается путем сопряжения.

Сопряжение в процессе моделирования сборок – это параметрическая связь между гранями, ребрами, вершинами, плоскостями или осями составляющих компонентов. При вводе кнопки **<Сопряжения>**  откроется **Инструментальная панель сопряжения**, состоящая из 7 кнопок (рис. 6.34).

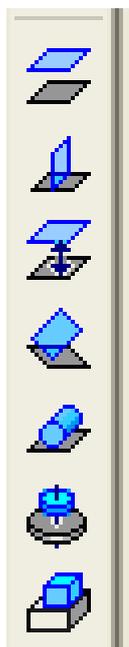


Рис. 6.34

С помощью кнопки **<Соосность>**  установим совпадение оси вала и втулки. Укажем ось втулки и выберем ориентацию **Справа**, затем введем кнопку **<Повернуть компонент вокруг оси>**  и будем вращать втулку, пока пазы в отверстии не совпадут с зубьями вала (рис. 6.35).

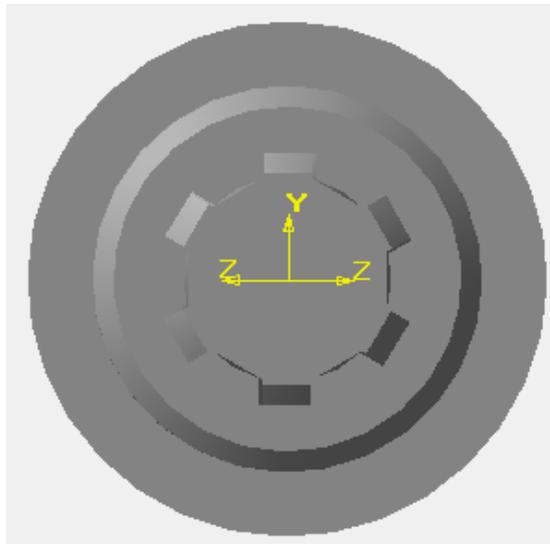


Рис. 6.35

В заключение выберем ориентацию **Спереди**, и с помощью кнопки



переместим втулку так чтобы получилось шлицевое соединение (рис. 6.36).

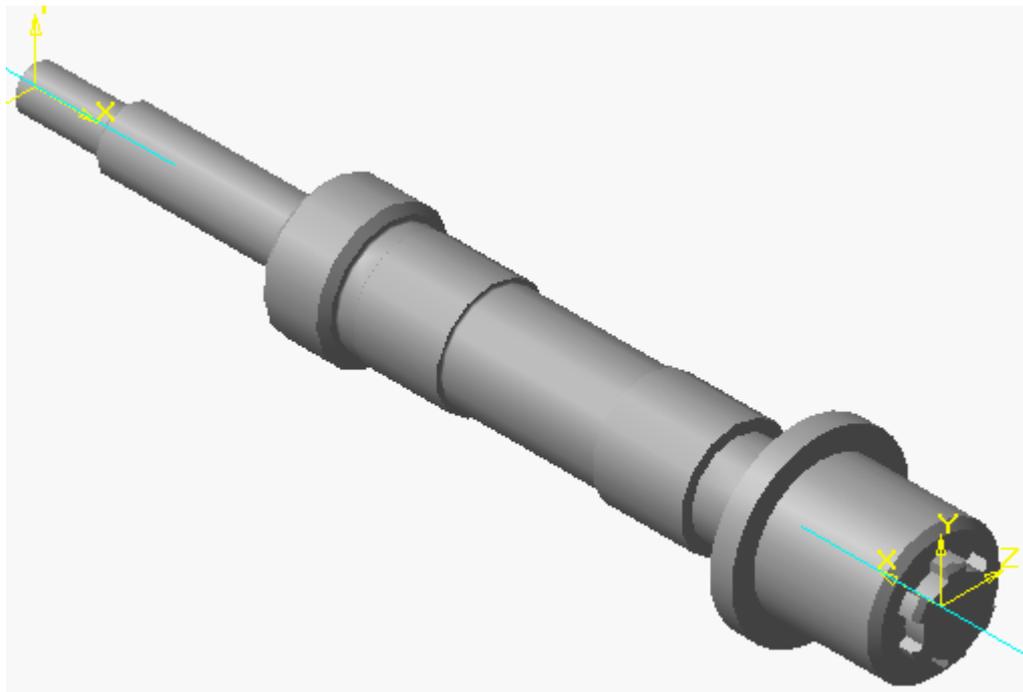


Рис. 6.36

В процессе выполнения команд **Переместить компонент** и **Повернуть компонент** в строке **параметров объектов** можно ввести

кнопку **<Контроль соударения компонентов>** , при этом будут активизированы ряд функций, позволяющих контролировать корректное соединение объектов (рис. 6.37).

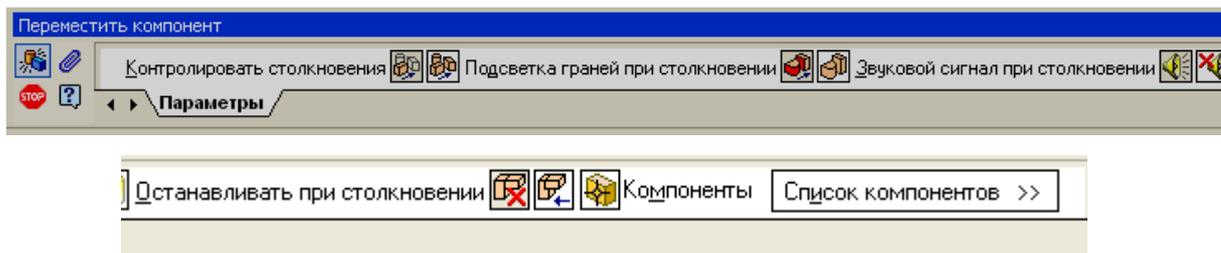


Рис. 6.37

Теперь необходимо получить соединение вала и зубчатого колеса с использованием шпонки. Развернем модель, как показано на рис. 6.37. Затем укажем плоскую грань контакта основания шпоночного паза со шпонкой и введем кнопку **<Создать деталь>** .

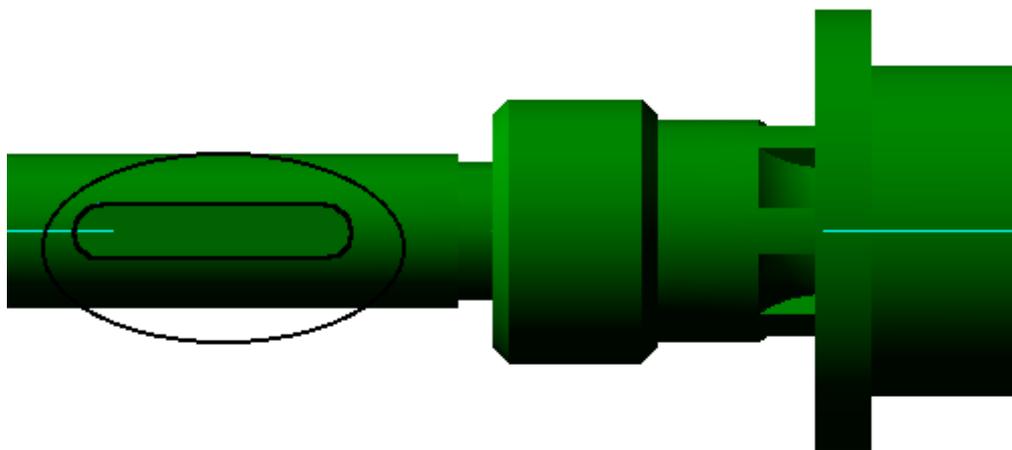


Рис. 6.38

После ввода команды на экране появляется диалоговое окно в котором дадим название новой модели «Шпонка 5x5x25» и введем кнопку

<Сохранить>. После этого система перейдет в режим создания эскиза основания новой детали. С помощью команды **Спроецировать объект** в эскизе спроецируем ребро, которое будет представлять собой очерк шпонки. Далее закроем эскиз и выполним операцию выдавливания на высоту 5мм.

В результате мы получим новую модель детали - **Шпонка**, вставленную в паз (рис. 6.39).



Последней с помощью кнопки  введем модель зубчатого колеса и на экране монитора получим изображение, представленное на рис. 6.39.

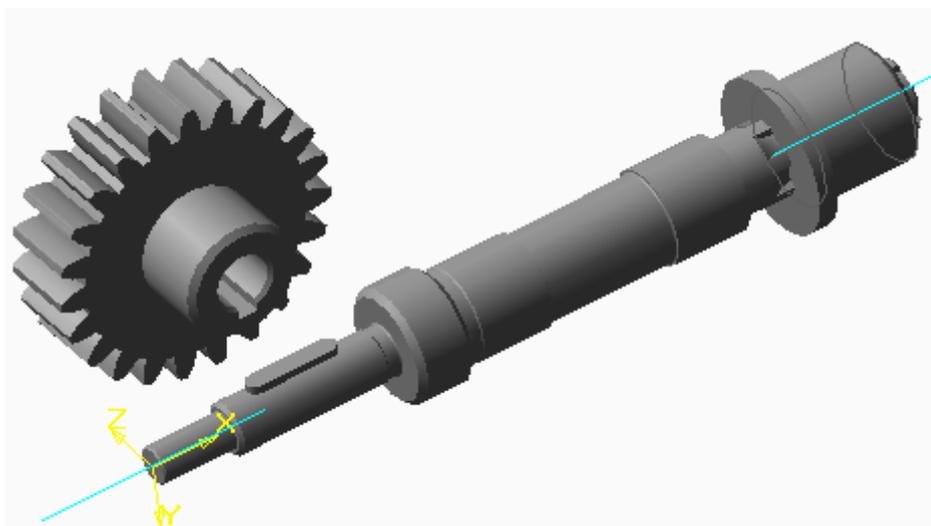


Рис. 6.39

Применим операцию **Повернуть** и сориентируем ось зубчатого колеса параллельно оси вала (рис. 6.41).

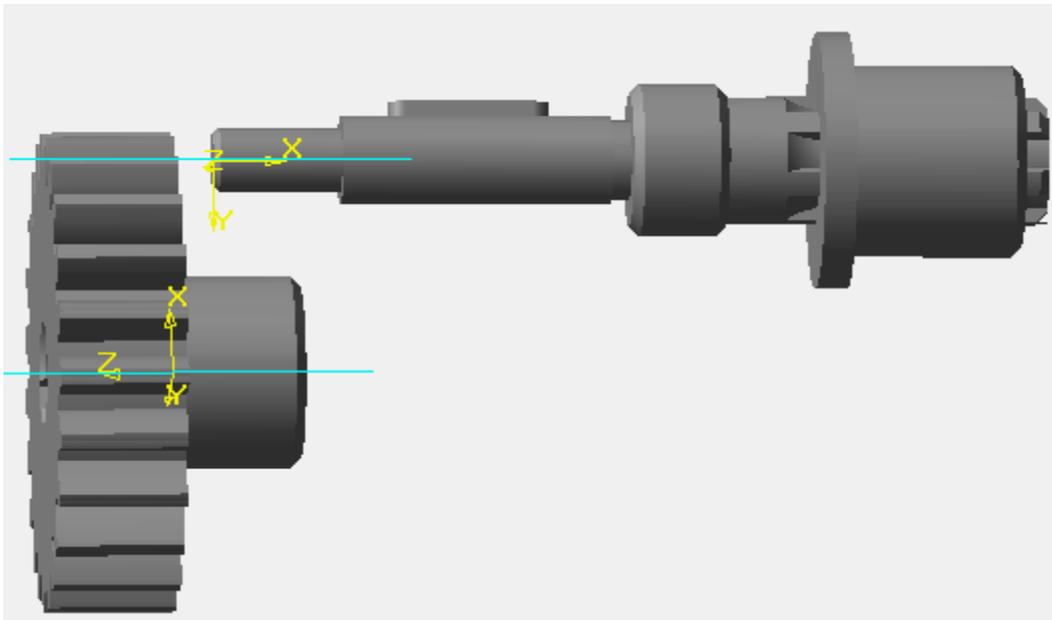


Рис. 6.41

После этого введем кнопку **<Соосность>**  и, используя кнопки **<Переместить>**  и **<Повернуть компонент вокруг оси>** , выполним соединение вала и зубчатого колеса (рис. 6.42).

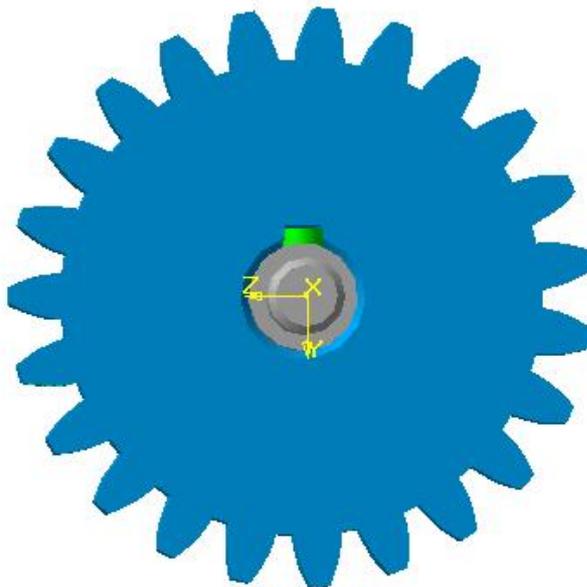


Рис. 6.42

Для того чтобы на экране дисплея увидеть четко границы между сопрягаемыми деталями выделим в дереве построения одну из деталей,

откроем контекстное меню и выберем команду **Свойства компонента**. В строке **параметров объектов** выберем другой цвет детали (рис. 6.43),.

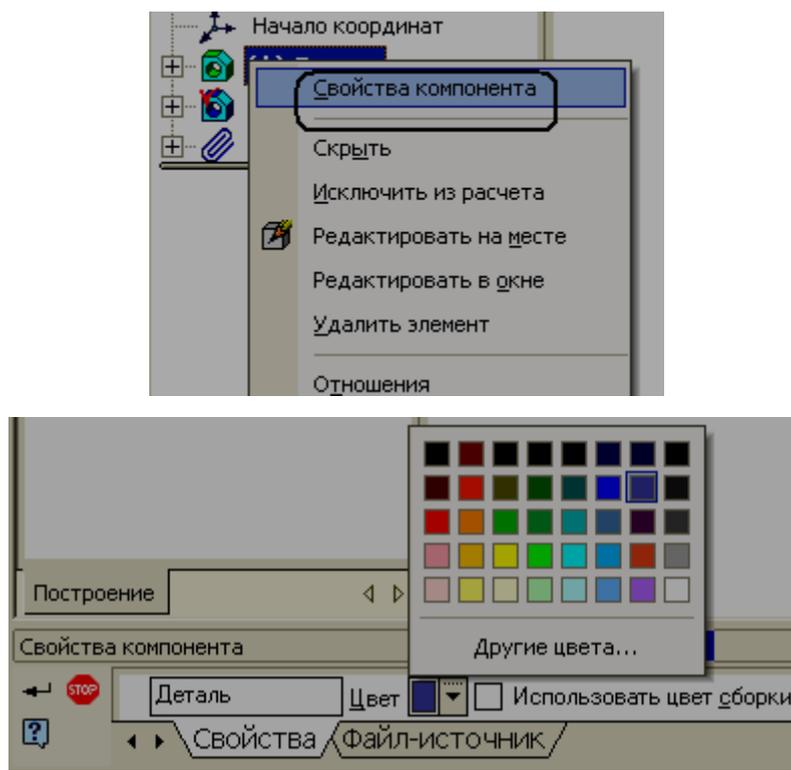


Рис. 6.43

Система КОМПАС-3D позволяет выполнить проверку на возможное пересечение соединяемых деталей. Для этого в меню «Сервис» выберем команду **Проверка пересечений**. В дереве построения необходимо выделить детали, которые должны участвовать в проверке. Название этих деталей одновременно появятся в окне «**Список компонентов**», которое находится в строке параметров объектов (рис. 6.44). После чего введем

кнопку **<Проверить>** . Как видим, в другом окне появилось сообщение (рис. 6.44), из которого можно сделать вывод, что деталь **Вал** пересекается с деталью **Втулка** по шести граням, а также деталь **Зубчатое колесо** пересекается с деталью **Шпонка**.

Для исправления ошибки необходимо выяснить причину. В данном случае пересечение получается за счет того, что зубья вала не попадают точно во впадины втулки. Исправим ошибку с помощью операции **Вращать вокруг оси**. Аналогично выполним вращение зубчатого колеса. Выполним вторично проверку и убедимся, что теперь нет пересечения этих деталей. В результате получим сборочную единицу, изображенную на рис. 6.45.

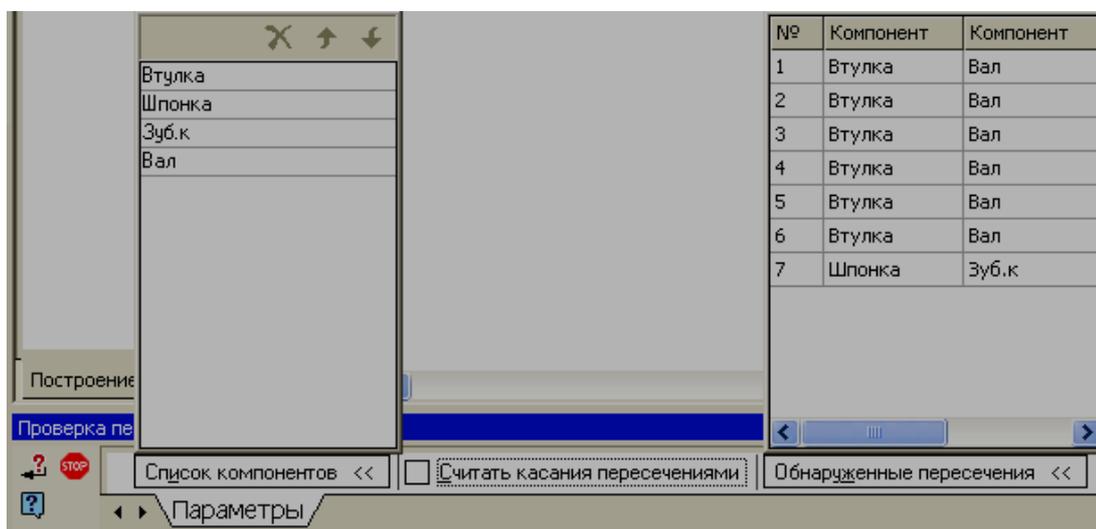


Рис. 6.44

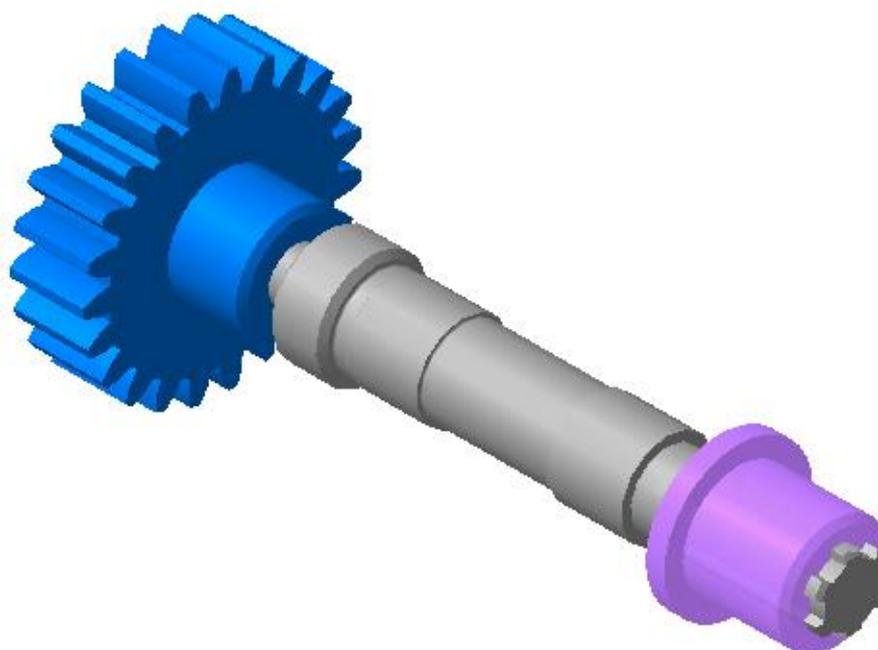


Рис. 6.45

Иногда пересечение получается за счет того, что размеры сопрягаемых деталей не совпадают. Например, длина шпонки больше, чем длина шпоночного паза или диаметр вала больше, чем диаметр отверстия в ступице зубчатого колеса. В этом случае необходимо в дереве построения выделить деталь, в конструкцию которой предполагается внести изменения и в контекстном меню выполнить команду **Редактировать на месте**. После этого режим создания **Сборки** перейдет в режим создания **Модели**. Чтобы удалить часть тела модели следует применить кнопку

<Вычистить компоненты> . После редактирования можно снова вернуться в режим **Сборки** с помощью кнопки **<Редактировать на месте>** .

Можно разъединить сборочную единицу на отдельные детали. Для этого необходимо выполнить ее разборку. Она выполняется по следующей схеме: **Сервис** → **Разнести компоненты** → **Параметры**.

При этом на экране появится окно (рис.6.46) в котором следует

нажать кнопку **<Добавить>** , тем самым ввести шаг разнесения – 0, а затем в дереве построения выделить модель детали, предположим **Зубчатое колесо** (шаг 0). Далее следует включить кнопку **<Направление>**

, чтобы указать направление разнесения данной детали. Компоненты могут разноситься в направлении указанного ребра или перпендикулярно указанной грани. В заключение указывается величина перемещения детали

– **Расстояние** и вводится кнопка **<Применить>** .

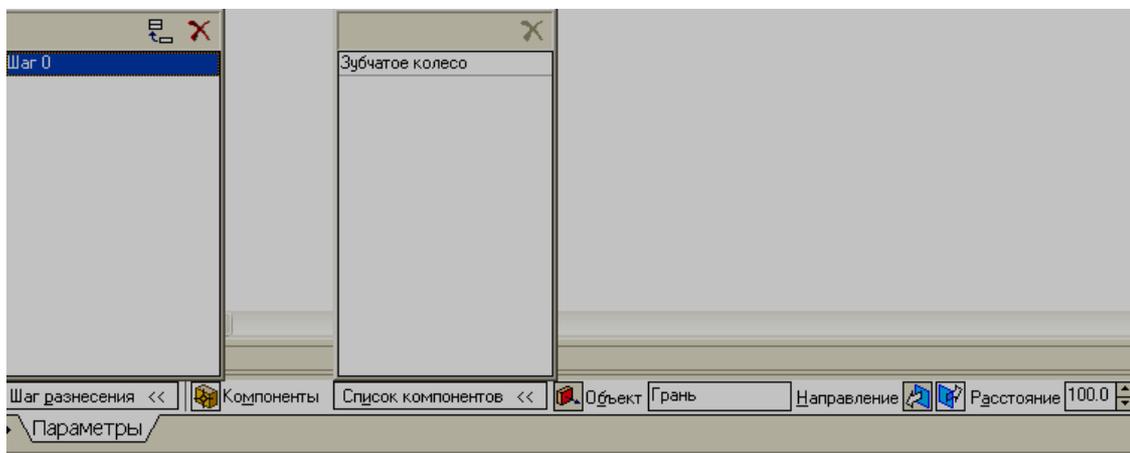


Рис. 6. 46

На экране **Зубчатое колесо** переместится на заданное расстояние, если направление перемещения отличается от желаемого, то следует нажать кнопку **<Изменить направление>** и повторить ввод кнопки **<Применить>**.

Далее в диалоговом окне опять нажать кнопку **<Добавить>**, выбрать в дереве построения следующую деталь и повторить операцию. В результате перечисления всех компонентов мы получим изображение всех моделей, не соединенных между собой (рис.6.47).

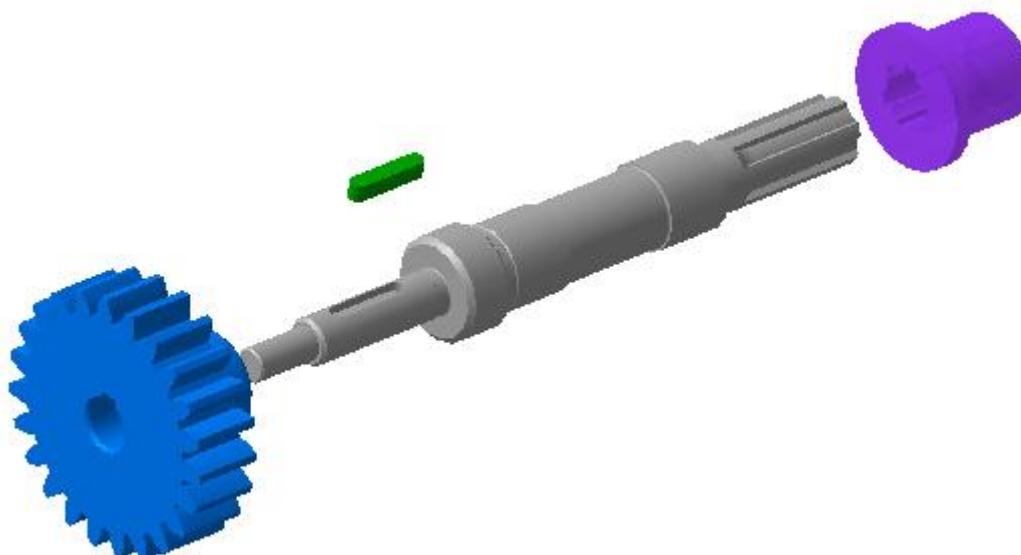


Рис. 6.47

Для того чтобы вернуться к отображению сборки необходимо нажать

кнопку <Разнести>  (рис. 6.48).

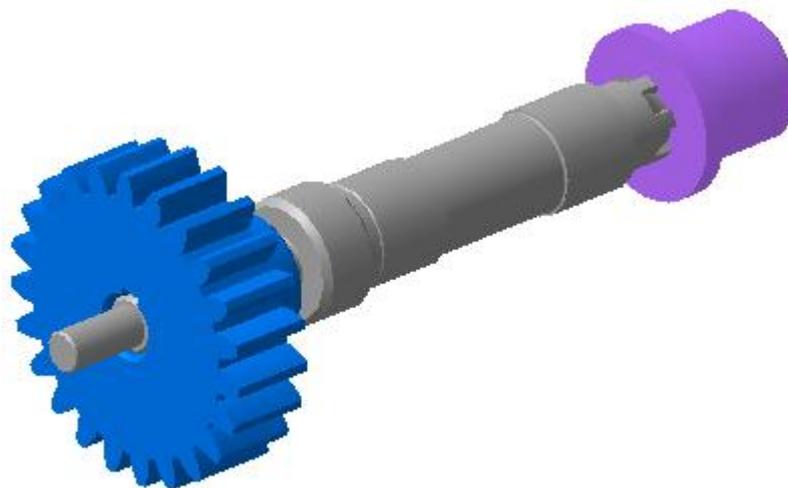


Рис. 6.48

Варианты заданий

Создать модель шлицевой втулки по изображению (рис. 6.49), чертежу (рис. 6. 50) и сечению ступицы (рис. 6.50). Необходимые размеры выбрать в табл.1

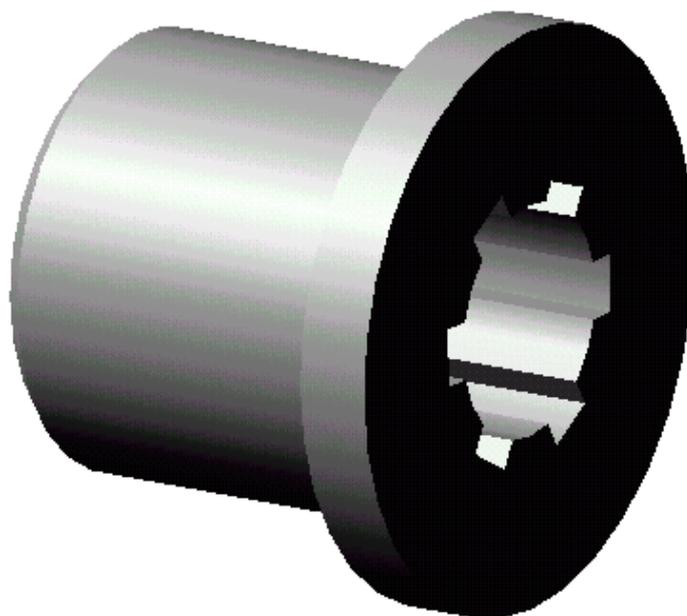


Рис. 6.49

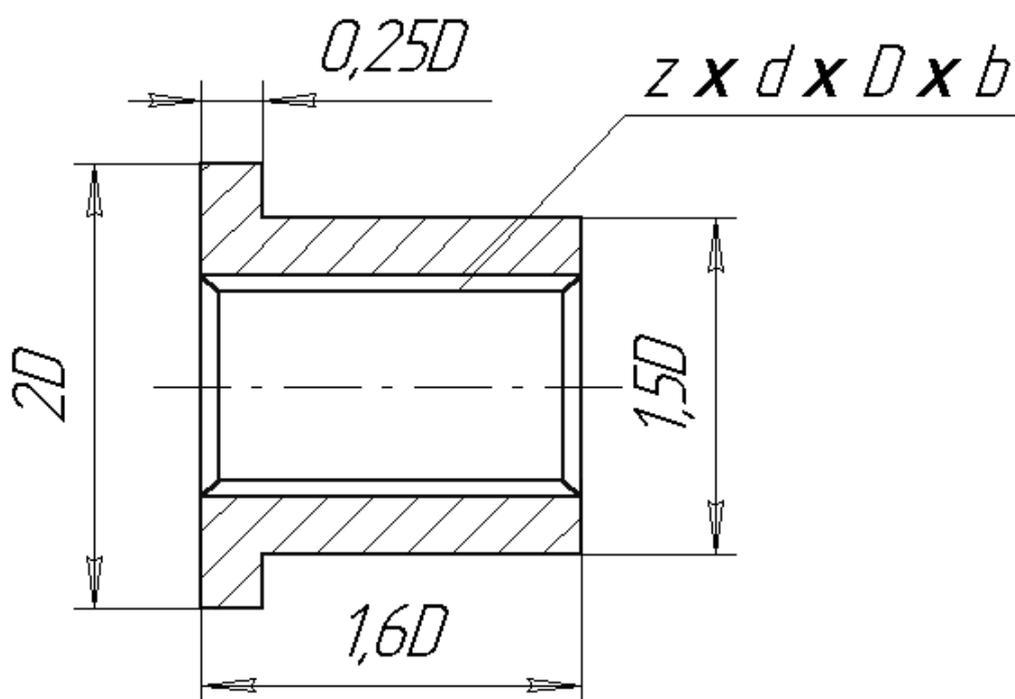


Рис. 6.50

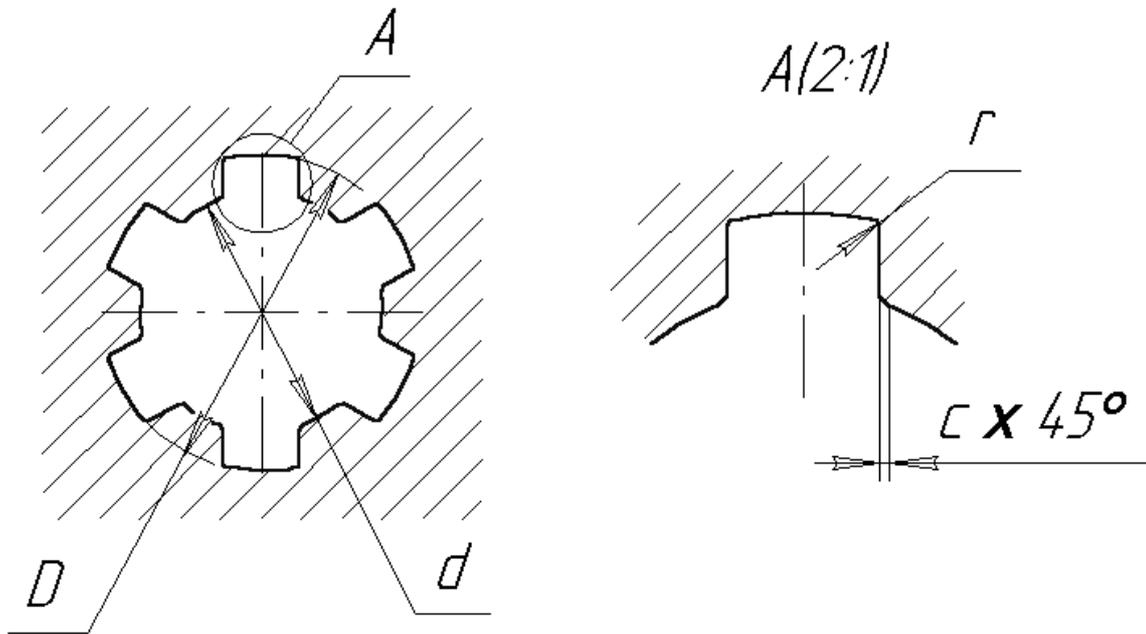


Рис. 6.51

Основные размеры соединений шлицевых прямобочных по ГОСТ 1139-80, мм

Табл. 1

№ в	Число зубьев, z	d	D	b	c	r
Легкая серия						
1	6	26	30	6	0.3	0.2
2	6	28	32	7	0.3	0.2
3	8	36	40	7	0.4	0.3
4	8	42	46	8	0.4	0.3
5	8	52	58	10	0.5	0.5
6	8	62	68	12	0.5	0.5
7	10	72	78	12	0.5	0.5
8	10	82	88	12	0.5	0.5
9	10	92	98	14	0.5	0.5
10	10	102	108	16	0.5	0.5

Средняя серия						
11	6	16	20	4	0.3	0.2
12	6	18	22	5	0.3	0.2
13	6	21	25	5	0.3	0.2
14	6	23	28	6	0.3	0.2
15	6	26	32	6	0.3	0.2
16	6	28	34	7	0.3	0.2
17	8	32	38	6	0.4	0.3
18	8	36	42	7	0.4	0.3
19	8	42	48	8	0.4	0.3
20	8	56	65	10	0.5	0.5
21	10	72	82	12	0.5	0.5
22	10	82	92	12	0.5	0.5
23	10	92	102	14	0.5	0.5
24	10	112	125	18	0.5	0.5

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ.....	5
2. ПРОСТРАНСТВЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В КОМПАС-3D	6
2.1 Основные правила работы в среде КОМПАС-3D	6
2.2 Создание трехмерных моделей в КОМПАС-3D	18
3. СОЗДАНИЕ АССОЦИАТИВНОГО ЧЕРТЕЖА В КОМПАС-3D.....	64
3.1 Построение ассоциативных видов	64
3.2. Оформление ассоциативного чертежа.....	78
4. РЕДАКТИРОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ В КОМПАС-3D	97
4.1. Редактирование операций	98
4.2. Редактирование эскизов	105
5. СПЕЦИАЛЬНЫЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ В КОМПАС-3D	110
5.1. Построение гибкой модели	110
5.2. Редактирование гибкой модели	137
5.3. Конструирование модели с использование переменных и выражений.....	143
6. МОДЕЛИРОВАНИЕ В КОМПАС-3D СБОРОЧНЫХ ЕДИНИЦ.....	183

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Невинномысский технологический институт (филиал) СКФУ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению практических работ
по дисциплине
«Проектное моделирование и прототипирование»

Тема: Аддитивные технологии

для студентов направления подготовки
09.03.02 Информационные системы и технологии

Невинномысск 2024

Содержание

Инструкция по охране труда при проведении лабораторных работ	4
1 Проектирование технологических процессов изготовления деталей на основе технологий аддитивного производства.....	5
2 Подготовка трехмерных моделей деталей для изготовления методами на основе технологий аддитивного производства.....	13
3 Трехмерное сканирование и основы работы с 3D-сканером модели EinScan-Pro.....	32
4 Изготовление деталей методом FDM-печати и основы работы на 3D-принтере.....	36
5 Изготовление металлических деталей методом SLM-печати и основы работы на 3D-принтере модели EP-M250.....	40
Список литературы.....	48

Инструкция по охране труда при проведении лабораторных работ

Общие требования безопасности

Допуск студентов к лабораторным занятиям производится только после инструктажа по технике безопасности, о чем делается соответствующая запись в специальном журнале (бланке).

Требования безопасности перед началом работы

1 Внимательно изучить содержание и порядок проведения лабораторной работы, а также безопасные приемы его выполнения.

2 Перед каждым включением оборудования предварительно убедиться, что его пуск безопасен.

Требования безопасности во время работы

1 Точно выполнять все указания преподавателя.

2 Не прикасаться к находящимся под напряжением элементам электрических цепей, к корпусам стационарного электрооборудования.

3 Запрещается во время работы оборудования снимать ограждения и предохранительные устройства, а также держать их открытыми.

4 Во время работы запрещается касаться руками нагретых, вращающихся и перемещающихся частей, вводить руки в зону движения.

Требования безопасности по окончании работы

1 Полностью выключить оборудование.

2 Привести в порядок рабочее место.

3 Предупредить преподавателя обо всех, даже малейших и незначительных, неисправностях оборудования.

Требования безопасности в аварийных ситуациях

1 В случае травмирования кого-либо немедленно доложить преподавателю.

2 При выходе оборудования из строя необходимо:

– отключить оборудование (обесточить);

– доложить преподавателю о случившемся, а в случае возгорания приступить к немедленной его ликвидации первичными средствами пожаротушения.

1 Проектирование технологических процессов изготовления деталей на основе технологий аддитивного производства

Цель работы: освоение методики проектирования технологических процессов изготовления деталей на основе технологий аддитивного производства с соблюдением принципов рациональности, производительности, экономичности, обеспечения качества и технических требований.

1.1 Производственные технологии

Большинство производственных технологий можно отнести к одной из трех групп. На простейшем уровне эти группы можно определить как:

1) *формовочное производство*: лучше всего подходит для крупносерийного производства одной и той же детали, требующего больших первоначальных инвестиций в оснастку (пресс-формы), но затем способного производить детали по очень низкой цене за единицу продукции;

2) *субтрактивное производство*: лучше всего подходит для деталей с относительно простой геометрией, производимых в малых и средних объемах;

3) *аддитивное производство (АП)*: лучше всего подходит для мелкосерийных сложных конструкций, которые формовочными или субтрактивными методами не могут быть произведены. Обычно используется для уникальных быстрых прототипов или деталей для конечного использования.

Стоимость любого типа производства в основном связана с объемом производства, а производительность изготовления детали сильно зависит от её геометрии.

Технологическая цепочка формовочного производства: чертеж – подготовка модельного комплекта – подготовка материалов для изготовления литейной формы – формовка – плавка материала – заливка формы – охлаждение формы – извлечение отливки – термообработка – очистка отливок – термообработка – контроль – среднее количество отходов.

Технологическая цепочка субтрактивного производства: чертеж – разработка технологического процесса, выбор оборудования, режущего и вспомогательного инструмента, технологической оснастки – разработка и изготовление специального режущего и вспомогательного инструмента, технологической оснастки – получение заготовки – субтрактивные методы изготовления деталей и термообработка – постобработка (слесарная операция, промывка, мойка, маркировка и др.) – деталь и её контроль – большое количество отходов.

Технологическая цепочка аддитивного производства: чертеж – CAD-модель – оптимизированная CAD-модель – разработка технологического процесса, выбор оборудования, выбор материала (порошок, филамент, смола и др.) – STL-файл – слайсинг и генерация управляющей программы – аддитивные методы изготовления деталей – постобработка – деталь и её контроль – малое количество отходов.

STL (от англ. stereolithography) – формат файла, широко используемый для хранения трёхмерных моделей объектов для использования в аддитивных технологиях. Информация об объекте хранится как список треугольных граней, которые описывают его поверхность, и их нормалей.

Слайсинг (от англ. slicing) – процесс перевода STL-файла трёхмерной модели в управляющий код. Модель режется (слайстится) по слоям. Каждый слой состоит из периметра и/или заливки. Модель может иметь разный процент заполнения заливкой, также заливки может и не быть (пустотелая модель).

Постобработка (от англ. post-processing) – процесс или последовательность операций, которую необходимо совершить с изделием или материалом, перед или после 3D-печати, для получения необходимых характеристик детали и преодоления ограничений аддитивного производства.

Ключевым аспектом аддитивного производства является его способность создавать детали со сложной и оптимизированной геометрией. Это означает, что данный тип производственных технологий идеально подходит для изготовления высокопроизводительных деталей. С другой стороны, он не масштабируется так же хорошо, как обработка на станках с ЧПУ или литьё при больших объёмах.

1.2 Технологии аддитивного производства

В 2015 г. был создан стандарт ISO/ASTM 52900, а в 2017 г. – ГОСТ Р 57558–2017 / ISO/ASTM 52900:2015 с целью стандартизации всей терминологии и классификации каждого типа аддитивного производства.

В общей сложности на сегодняшний день выявлено и установлено семь категорий процессов аддитивного производства. Эти семь процессов 3D-печати породили множество различных типов технологий, которые сегодня используют 3D-принтеры [1–3].

1 *Экструзия материала (material extrusion)*: процесс, в котором материал выборочно подается через сопло или жиклер (рисунок 1.1).

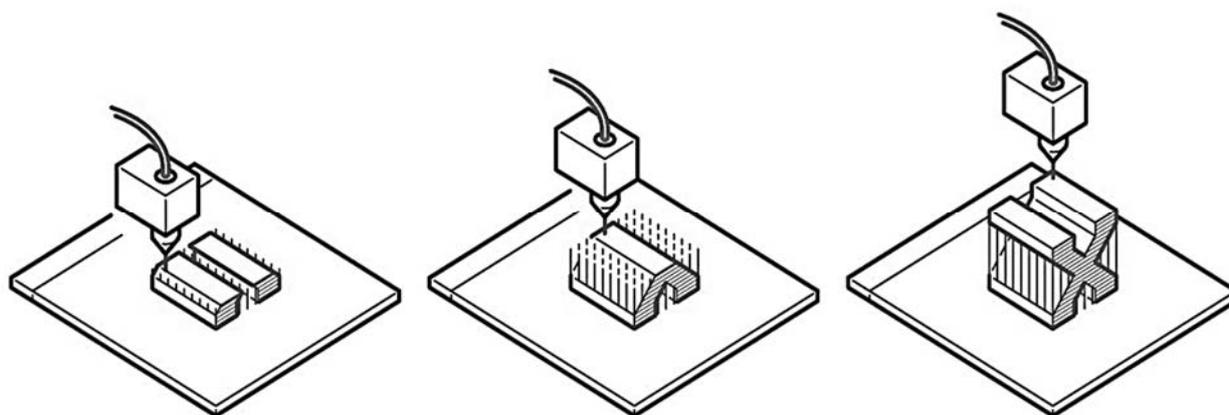


Рисунок 1.1 – Принцип процесса экструзии материала (material extrusion)

Типы технологии: fused deposition modeling (FDM) или fused filament fabrication (FFF).

Материалы: полимерный филамент (PLA, ABS, PET, PETG, TPU, Nylon, ASA, PC, HIPS, PEEK, PEI, PPE, PP, PE, PS, PA12, PA11, PA6, углеродное волокно и др.), металлизированный филамент и др.

Размерная точность: $\pm 0,5\%$ (нижний предел $\pm 0,5$ мм).

Область применения: корпуса электрических устройств, быстрое прототипирование, модели для литья по выплавляемым моделям и др.

Преимущества: низкая стоимость; время выполнения печати приемлемое; технология достаточно доступна; широкий выбор материалов и расцветки.

Недостатки: самая низкая размерная точность и разрешение по сравнению с другими технологиями 3D-печати, поэтому она не подходит для моделей со сложной геометрией и мелкими деталями; конечный продукт будет иметь видимые линии слоев, поэтому для лучшего вида требуется постобработка; механизм адгезии слоя делает детали анизотропными.

Постобработка: удаление поддержки (support removal): стандартные и растворимые; шлифование (sanding); холодная сварка (cold welding); заполнение пропусков (gap filling); полировка (polishing); грунтовка и покраска (priming and painting); сглаживание парами растворителя (vapor smoothing); погружение в растворитель (dipping); эпоксидное покрытие (epoxy coating); металлическое покрытие (metal plating).

2 Фотополимеризация в ванне (vat photopolymerization): процесс, в котором жидкий фотополимер выборочно отверждается (полимеризуется) в ванне световым излучением (рисунок 1.2).

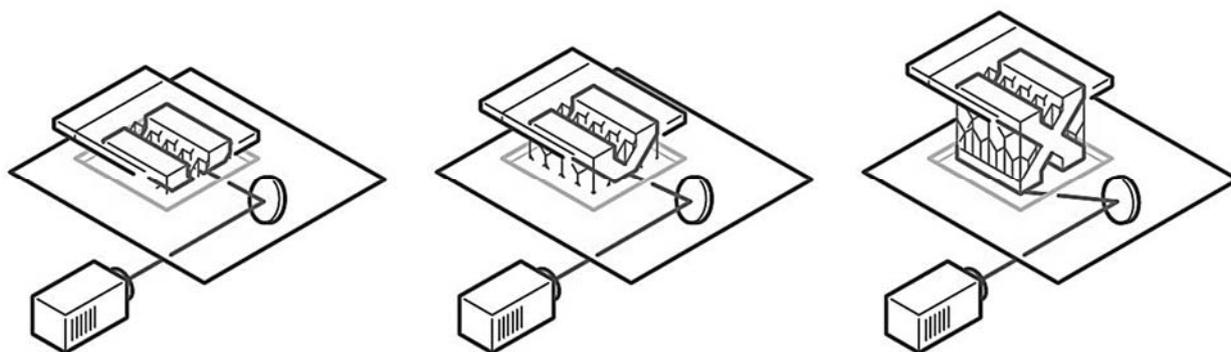


Рисунок 1.2 – Принцип процесса фотополимеризации в ванне (vat photopolymerization)

Типы технологии: stereolithography (SLA), masked stereolithography (MSLA), microstereolithography (μ SLA) и др.

Материалы: фотополимерные смолы.

Размерная точность: $\pm 0,5\%$ (нижний предел $\pm 0,15$ мм или 5 нм с μ SLA).

Область применения: полимерные прототипы, подлежащие изготовлению методом литья под давлением; ювелирное литье; стоматологическое применение.

Преимущества: высокая точность размеров; возможность получения деталей со сложной геометрией; детали будут иметь очень гладкую поверхность, что делает их идеальными, например для визуальных прототипов.

Недостатки: детали, как правило, хрупкие и не подходят для функциональных прототипов; механические свойства и внешний вид этих деталей со временем ухудшаются; поддержки и постобработка при печати требуются всегда.

Постобработка: промывка; дополнительная засветка фотополимерной смолы; удаление элементов поддержки; шлифование; склеивание; грунтовка; покраска и др.

3 Синтез на подложке (*powder bed fusion*): процесс, в котором энергия от внешнего источника используется для избирательного спекания/сплавления предварительно нанесенного слоя порошкового материала (рисунок 1.3).

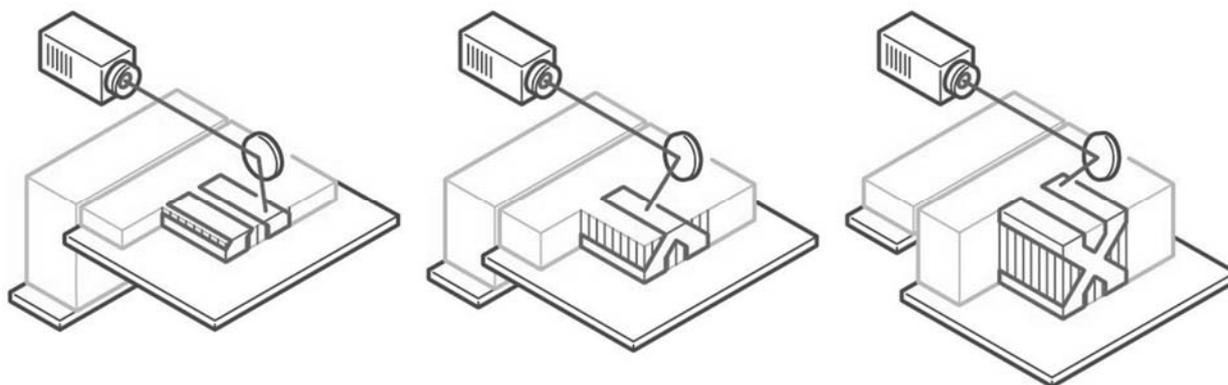


Рисунок 1.3 – Принцип процесса синтеза на подложке (*powder bed fusion*)

Типы технологии: selective laser sintering (SLS), selective laser melting (SLM), electron beam melting (EBM), direct metal laser sintering (DMLS), multi jet fusion (MJF).

Материалы: термопластичные порошки (Nylon 6, Nylon 11, Nylon 12 и др.), металлические порошки (сталь, титан, алюминий, кобальт и др.), керамические порошки.

Размерная точность: $\pm 0,3\%$ (нижний предел $\pm 0,3$ мм).

Область применения: функциональные детали, сложные воздухопроводы (полые конструкции), мелкосерийное производство деталей.

Преимущества: возможность изготовления функциональных деталей со сложной геометрией, которую традиционные методы производства не смогут обеспечить; детали могут быть оптимизированы; отличные механические свойства готовых деталей.

Недостатки: высокие затраты и стоимость расходного материала; размер рабочей области ограничен.

Постобработка: отделение моделей от стола (резка на проволочном электроэрозионном станке, резка на ленточнопильном станке, резка на дисково-отрезном станке); удаление порошка в полостях и элементов поддержки; терми-

ческая обработка (термический отжиг) для снятия остаточных напряжений и улучшения механических свойств детали; обработка на металлорежущих станках (обработка отверстий, резьбы и др.); пескоструйная обработка; галтование; шлифование; полировка и др.

4 *Прямой подвод энергии и материала (directed energy deposition)*: процесс, в котором энергия от внешнего источника используется для соединения материалов путем их сплавления в процессе нанесения (рисунок 1.4).

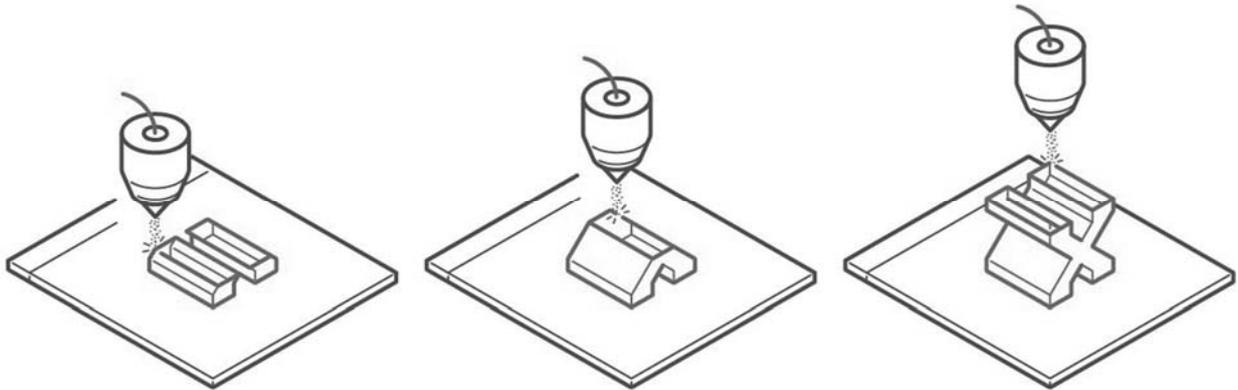


Рисунок 1.4 – Принцип процесса прямого подвода энергии и материала (directed energy deposition)

Типы технологии: laser engineered net shaping (LENS); electron beam additive manufacturing (EBAM); cold spray.

Материалы: металлы (проволока, порошок).

Размерная точность: $\pm 0,1$ мм.

Область применения: ремонт высококачественных автомобильных и аэрокосмических компонентов; функциональные прототипы и готовые детали.

Преимущества: поддерживающие конструкции требуются редко; смешивание металлов; работа в трёх координатах; высокая плотность и механическая прочность распечатков; возможность печатать прямо на готовом объекте.

Недостатки: низкое качество финишной поверхности, требующей последующей обработки; высокая стоимость; необходимость прочной поддержки.

Постобработка: термообработка; фрезерование, шлифование, полирование, и другие операции, характерные в том числе для ремонта и восстановления деталей.

5 *Струйное нанесение связующего (binder jetting)*: процесс, в котором порошковые материалы соединяются выборочным нанесением жидкого связующего (рисунок 1.5).

Типы технологии: binder jetting (BJ).

Материалы: песок, полимер или металлический порошок: нержавеющая сталь / бронза, полноцветный песок, кремнезём (литье в песчаные формы); металлокерамические композиты.

Размерная точность: $\pm 0,2$ мм (металл) или $\pm 0,3$ мм (песок).

Область применения: функциональные металлические детали, полноцветные модели, литьё в песчаные формы.

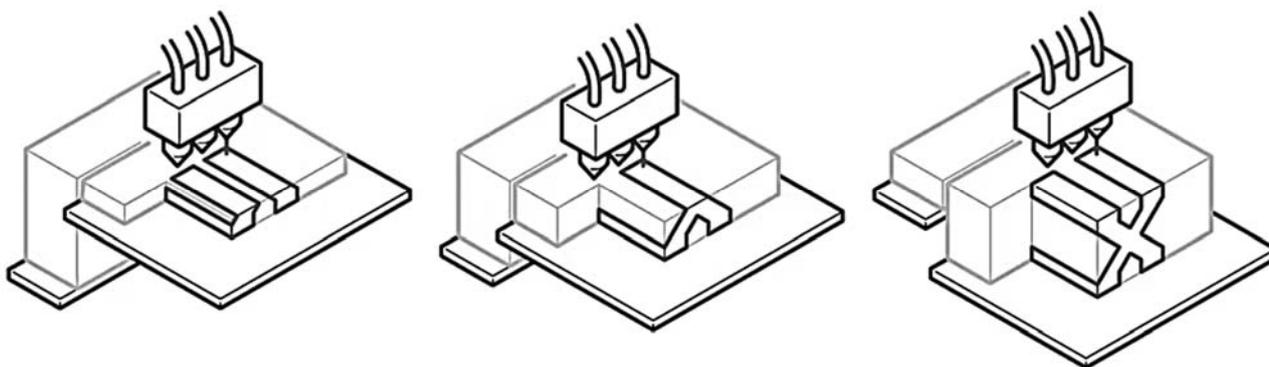


Рисунок 1.5 – Принцип процесса струйного нанесения связующего (binder jetting)

Преимущества: низкая стоимость; высокая производительность при производстве малых и средних партий; высокая точность; нет ограничений по габаритным размерам; улучшенные свойства готовой продукции; возможность изготовления изделий со сложной геометрией; возможность печати полноцветных прототипов; отсутствие деформации при печати; отсутствие поддержек; возможность использовать оставшийся после печати материал для новой распечатки.

Недостатки: высокая пористость моделей, что приводит к меньшей механической прочности; хрупкость детали в процессе до термообработки; необходимость закладывать разницу в размерах на усадку при печати моделей под запекание; ограниченное количество материалов.

Постобработка: термообработка (инфильтрация, спекание); обработка на металлорежущих станках (обработка отверстий, резьбы и др.); пескоструйная обработка; шлифование; полировка и др.

6 Струйное нанесение материала (*material jetting*): процесс, в котором изготовление объекта осуществляют нанесением капель строительного материала (рисунок 1.6).

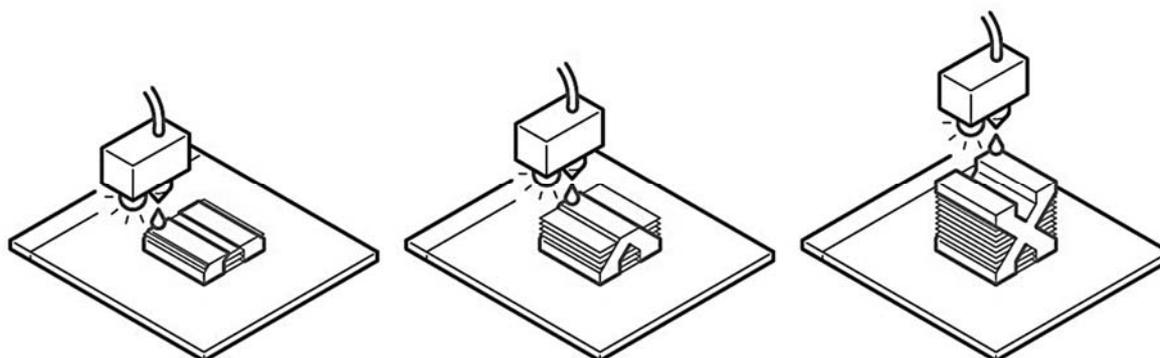


Рисунок 1.6 – Принцип процесса струйного нанесения материала (*material jetting*)

Типы технологии: *material jetting* (MJ), *drop on demand* (DOD).

Материалы: фотополимерная смола (стандартная, литьевая, прозрачная, высокотемпературная).

Размерная точность: $\pm 0,1$ мм.

Область применения: полноцветные прототипы продукции; прототипы,

изготовленные методом литья под давлением; пресс-формы для литья под давлением; медицинские модели.

Преимущества: высокая точность и детализация (печать очень тонких слоёв); доступность полноцветного и мультиматериального производства; гладкая поверхность распечатков.

Недостатки: хрупкость, не подходит для механических частей; высокая стоимость принтеров и материалов для печати.

Постобработка: дополнительная засветка фотополимерной смолы; удаление элементов поддержки и остатков смолы; шлифование; склеивание; грунтовка; окрашивание и др.

7 *Листовая ламинация (sheet lamination)*: процесс, в котором изготовление детали осуществляется послойным соединением листовых материалов (рисунок 1.7).

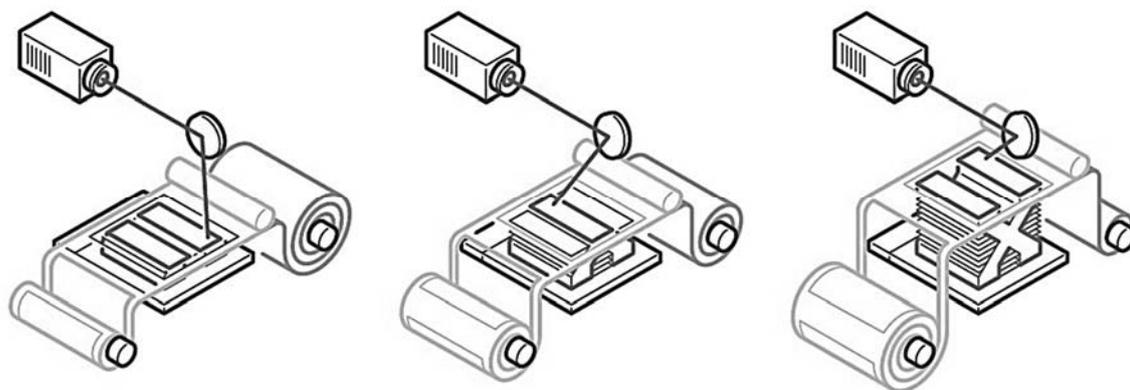


Рисунок 1.7 – Принцип процесса листовой ламинации (sheet lamination)

Типы технологии: laminated object manufacturing (LOM), ultrasonic consolidation (UC) и др.

Материалы: бумага, полимеры и металлы в листовой форме.

Размерная точность: $\pm 0,1$ мм.

Область применения: нефункциональные прототипы, многоцветная печать, формы для литья.

Преимущества: низкая стоимость; возможность быстрого изготовления; составная печать; производство крупных моделей.

Недостатки: низкая точность; много отходов; много постобработки; невысокая прочность моделей; ограниченность применения; низкое разрешение печати (толщина слоя равна толщине материала).

Постобработка: шлифование; полирование; механическая обработка отверстий и полостей; окрашивание и др.

1.3 Порядок выполнения лабораторной работы

1 Получить чертеж или CAD-модель детали у преподавателя.

2 Проанализировать информацию о детали: объем выпуска, размеры и допуски, сложность геометрии, материал, функциональное назначение.

3 Проанализировать применение различных методов производственных технологий и составить технологическую цепочку изготовления детали одним из типов технологии аддитивного производства.

4 Оформить отчёт.

1.4 Содержание отчета

Отчёт по лабораторной работе выполняется на отдельных листах бумаги или в тетради. Он должен содержать следующее:

- название лабораторной работы;
- цель работы;
- анализ информации о детали;
- технологическая цепочка изготовления детали;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы.

Контрольные вопросы

1 В чем отличие технологической цепочки аддитивного производства от цепочек других производственных технологий?

2 Какие категории процессов аддитивного производства Вы знаете?

3 Какие категории процессов и типы технологии аддитивного производства предназначены для получения деталей из металлов?

4 Какие категории процессов и типы технологии аддитивного производства предназначены для получения деталей из полимеров?

5 Какие категории процессов и типы технологии аддитивного производства предназначены для получения деталей из фотополимерной смолы?

6 Какие категории процессов и типы технологии аддитивного производства предназначены для получения деталей из композитов?

7 Какие категории процессов и типы технологии аддитивного производства предназначены для получения деталей из бумаги?

8 Какие категории процессов и типы технологии аддитивного производства предназначены для получения деталей из песка?

9 Что такое постобработка?

10 Какие операции может в себя включать постобработка?

2 Подготовка трехмерных моделей деталей для изготовления методами на основе технологий аддитивного производства

Цель работы: освоение методики проектирования и оптимизации трехмерных моделей деталей для изготовления методами на основе технологий аддитивного производства.

2.1 Этапы подготовки модели к печати

Из технологической цепочки аддитивного производства можно выделить этапы, связанные с подготовкой трехмерной модели к печати: чертеж – САД-модель – оптимизированная САД-модель – ... – STL-файл – слайсинг и генерация управляющей программы –

Рассмотрим каждый из этих этапов.

Этап 1. Чертеж и САД-модель.

На первых этапах жизненный цикл «аддитивно-технологичного» изделия почти не отличается от традиционного. Чертежи и 3D-модели создаются теми же САПР (Компас-3D, SolidWorks, AutoCAD, Autodesk Inventor, NX, CATIA и др.). Правда уже здесь у конструктора на порядок больше свободы – деталь может быть более сложной формы, легче и функциональнее обычной.

Этап 2. Оптимизированная САД-модель.

Для пользователя программного обеспечения оптимизации (Autodesk Netfabb, Autodesk Within, Materialise Magics, ANSYS SpaceClaim и др.) этот этап начинается с импорта модели из САПР. Здесь неоценимую помощь ему окажет возможность прямого импорта данных из самых распространенных САПР и поддержка широкого набора нейтральных форматов файлов, в том числе STL-файлы и файлы после слайсинга.

Специальные модули оптимизации, встроенные в программное обеспечение, позволяют автоматизировано превращать обычные САПР-модели в облегченную систему из оболочек и внутренней решетчатой структуры переменной плотности, которая при этом сохранит необходимую надежность. Детали в этом случае могут быть оптимизированы по массе, объему, прочности, технологичности исполнения на выбранном принтере и по еще целому ряду характеристик. Конструктор может даже изменить свойства самого материала печати как для всей модели, так и для отдельных ее участков. Можно создавать пористые участки и гладкие, упругие и жесткие, причем упругость может быть анизотропной (неравной по разным осям). Типовой процесс оптимизации представлен на рисунке 2.1.

Этап 3. STL-файл.

На этом этапе выполняется обработка данных – конвертация, исправление сетки (при необходимости) и др.

Новый формат файлов для аддитивного производства (AMF), который впоследствии заменит формат файлов STL, был разработан группой экспертов технического комитета ИСО по аддитивному производству ИСО/ТК 261,

в партнерстве с ASTM International.

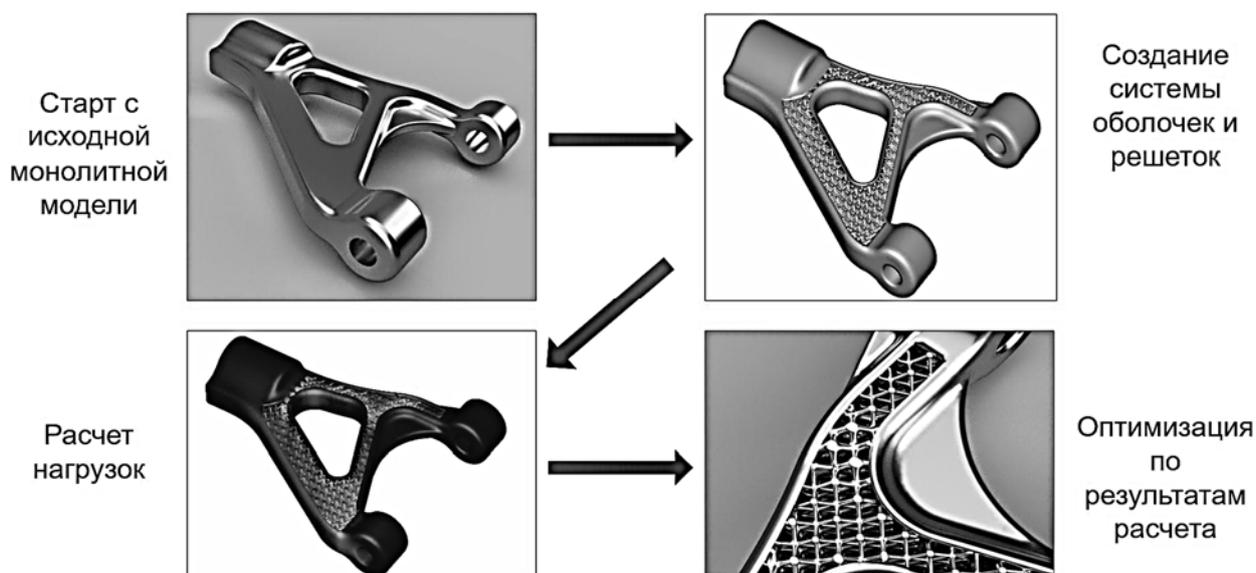


Рисунок 2.1 – Оптимизация структуры крепёжного элемента

Этап 4. Слайсинг (нарезка) и генерация управляющей программы.

После формирования STL-файла полученную модель нужно подготовить к печати – оптимально разместить модели деталей в рабочем пространстве принтера, добавить структуру опор, разбить модель на слои, сгенерировать траектории инструмента под выбранную технологию печати. В завершении необходимо проанализировать деталь и провести имитацию процессов печати для предсказания и исключения возможных ошибок.

Структура опор необходима для частей детали, которые нависают над платформой, не имея снизу уже пропечатанного материала. Чтобы эти части при печати не отвалились от модели или не покоробили всю модель, под ними моделируются временные, тонкие и легко удаляемые после производства структуры – так называемые «поддержки». В программном обеспечении они, в большинстве случаев, создаются автоматически. Хотя, конечно, инструменты ручного их создания и редактирования тоже предусмотрены. Поддержки бывают разных типов: прямые, ветвящиеся, древовидные, стеночные, объемные или комбинированные.

Кроме того, программное обеспечение может автоматически предложить пользователю оптимальные варианты ориентации детали при печати, исходя из соотношения объема поддержек, общей поддерживаемой площади и общего времени печати. Пользователю останется только выбрать наиболее подходящий вариант ориентации из списка, предложенного системой.

Инструменты паковки деталей в рабочее пространство принтера – это размещения множества деталей в области построения для одновременной печати. Автоматическое пакование позволяет достигать небывалой плотности размещения деталей, недостижимой в случае ручного расположения. Благодаря

этому за одну операцию печати можно изготовить максимально возможное количество деталей, сэкономив не только время, но и материалы.

В программном обеспечении могут использоваться различные алгоритмы пакования – плоские, трехмерные, контурные. Для технологий печати, не требующих поддержек, возможно расположение детали друг над другом максимально тесно. Вокруг групп мелких деталей можно автоматически генерировать временные легкие коробки, чтобы детали при извлечении не растерялись. При трехмерном размещении программное обеспечение будет следить даже за тем, чтобы детали не сцепились и не переплелись между собой.

Аналитический модуль программного обеспечения предназначен для исследования и имитации печати. Он позволяет заранее обнаружить и исключить множество потенциальных проблем печати. На основании виртуальной имитации процесса печати он предскажет, рассчитает и визуализирует остаточные напряжения и деформации детали, возникающие от неравномерного нагрева в процессе печати. Более того, он предложит автоматически компенсировать эти деформации, особым образом изменив модель перед печатью. Модуль также может предсказать разрыв системы поддержек в результате деформации детали. Предсказание и предварительная компенсация остаточных напряжений и деформаций детали позволяет в разы сократить количество требуемых итераций печати до получения идеального результата. Это, естественно, снижает себестоимость всего производства и радикально ускоряет его.

При всех операциях подготовки и настройки печати программное обеспечение позволяет учитывать параметры и специфику конкретной машины. В него может быть встроена обширная библиотека оборудования или же оператор может задать параметры вручную. Выбор машины из библиотеки автоматически устанавливает необходимые параметры подготовки к печати и ограничивает область построения.

По итогам контроля готовой детали можно внести корректировки в предыдущие этапы.

2.2 Инструменты для оптимизации дизайна

Современные CAD-/CAM-/CAE-пакеты предлагают инструменты, которые помогают в полной мере воспользоваться геометрической свободой 3D-печати. Используя эти инструменты проектирования на основе встроенных алгоритмов, можно создавать структуры, подобные органическим, которые превосходят детали, разработанные с использованием традиционных методов.

На сегодняшний момент принято использовать три основные стратегии построения трехмерных моделей деталей для 3D-печати. Эти стратегии могут либо оптимизировать производительность существующей конструкции, либо помочь в создании структур с нуля на основе набора требований к детали.

Решетчатые структуры. Применение решетчатого узора – отличный способ оптимизировать существующий дизайн (рисунок 2.2). Решетчатые структуры помогают создавать легкие детали, максимально увеличивать

площадь поверхности теплообменников или улучшать возможности печати и снижать стоимость производства существующей конструкции.



Рисунок 2.2 – Пример решетчатой структуры

Оптимизация топологии. Оптимизация топологии на основе моделирования помогает создавать конструкции с минимальной массой и максимальной жесткостью (рисунок 2.3). При оптимизации топологии определяемое пользователем проектное пространство и варианты нагрузки анализируются для определения областей, из которых можно удалить материал. Затем результат моделирования можно использовать для проектирования деталей с оптимальными характеристиками для подобных сценариев нагрузки.

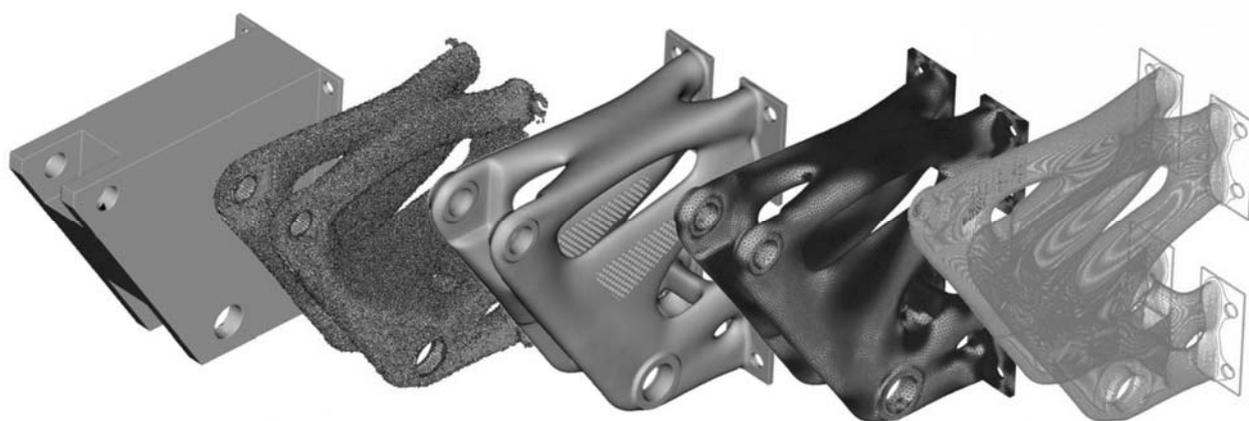


Рисунок 2.3 – Пример оптимизации топологии

Порождающее моделирование (генеративный дизайн). Порождающее моделирование – это разновидность процесса оптимизации топологии на основе моделирования (рисунок 2.4). В генеративном дизайне вместо одного вывода анализ создает несколько вариантов дизайна. Все полученные конструкции пригодны для изготовления и соответствуют проектным требо-

ваниям. Таким образом, конструктор может изучить различные решения и выбрать то, которое подходит для производства (например, на основе вторичных критериев выбора).

В отличие от традиционных инструментов дизайна и проектирования, генеративные системы полуавтономно создают и первично отбирают варианты решений, что изменяет характер взаимодействия человека с системой: программа воспринимается не как средство, а как полноценный участник творческого процесса.

Некоторые генеративные системы позволяют пользователю переформулировать, корректировать и уточнять задачу по промежуточным результатам, а также самообучаются в процессе поиска решений.

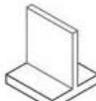
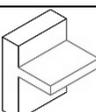
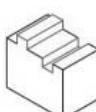
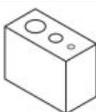
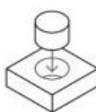
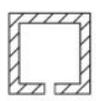


Рисунок 2.4 – Пример генеративного дизайна

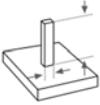
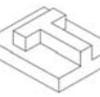
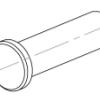
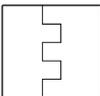
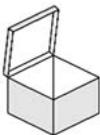
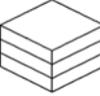
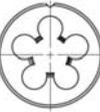
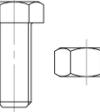
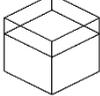
2.3 Дизайн для аддитивного производства (DfAM)

Даже при использовании передовых инструментов САПР конструктор при подготовке чертежа или CAD-модели детали и изделия в целом должен следовать определенным правилам проектирования дизайна. Они связаны с базовой механикой процессов 3D-печати. Список наиболее важных правил дизайна для различных типов технологий аддитивного производства представлен в таблице 2.1.

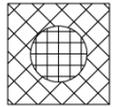
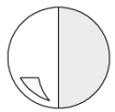
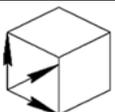
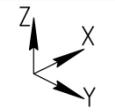
Таблица 2.1 – Правила дизайна для аддитивного производства

Элемент конструкции			Технология					
Характеристика	Единица измерения	Эскиз	FDM	SLA	SLS	DMLS (SLM)	BJ	MJ
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Минимальная толщина опорных стенок	мм		0,8	0,4	0,7	0,4	2	1
Минимальная толщина свободных стенок	мм		0,8	0,6	0,8	0,5	3	0,5
Поддержки и нависания	град		45	19	Не нужны	Всегда	н/д ¹	Всегда
Растворимые поддержки			+ ²	н/д	н/д	– ³	н/д	+
Нависания (вылет) без поддержек	мм		н/д	1	н/д	0,5	20	0,5
Рельефы и гравировка ($\frac{\text{ширина}}{\text{высота/глубина}}$)	мм		$\frac{0,6}{2}$	$\frac{0,4}{0,1/0,4}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{0,1}{0,1}$	$\frac{0,5}{0,5}$	$\frac{0,5}{0,5}$
Перемычки	мм		5	21 широкие	н/д	2	н/д	н/д
Минимальный диаметр отверстия	мм		Ø2	Ø0,5	Ø1,5	Ø1,5	Ø1,5	Ø0,5
Зазор между сопрягаемыми деталями ($\frac{\text{неподвижные}}{\text{подвижные}} \frac{\text{монтажные}}$)	мм		$\frac{0,5}{0,5}$ н/д	$\frac{0,1}{0,5}$ 0,2	$\frac{0,1}{0,3}$ н/д	н/д	н/д	$\frac{0,2}{0,2}$ н/д
Отверстия для извлечения материала	мм		н/д	Ø4	Ø3,5	Ø5	Ø5	н/д
Минимальный размер элемента	мм		2	0,2	0,8	0,6	2	0,25
Диаметр стержня (штифта)ы	мм		3	0,5	0,8	1	2	0,5

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Максимальное соотношение сторон (высота : ширина)			н/д	н/д	н/д	8:1	8:1	8:1
Галтели (радиусы)	мм		н/д	н/д	0,4	н/д	1	н/д
Текст	мм		н/д	0,1	2	н/д	н/д	н/д
Ось	мм		н/д	н/д	0,3 (для ХОДОВЫХ осей)	н/д	н/д	н/д
Взаимосвязанные элементы (замковые элементы)	мм		0,5	0,2	0,2	н/д	н/д	0,1
Резервуары	мм		н/д	2	1	н/д	н/д	н/д
Живой шарнир ($\frac{\text{толщина}}{\text{длина}}$)	мм		0,4...0,6 (2 слоя) н/д	н/д	$\frac{0,3...0,8}{5}$	н/д	н/д	$\frac{0,4...0,8}{\text{н/д}}$
Толщина слоя	мкм		50...400	25...100	80...120	30...50	100	16...30
Резьба (резьбовые вставки)			+	+	+	-	-	+
Резьба (закладные гайки)			+	+	+	+	+	+
Резьба (саморезы)			+	+	+	-	-	+
Резьба (нарезание резьбы)			+	+	+	+	+	+
Резьба (3D-печать)			+	+	+	+	+	+
Усадка	%		0,2...1	н/д	3-3,5	н/д	н/д	-

Окончание таблицы 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Деформации			+	+	н/д	н/д	н/д	–
Многоцветность			–	–	–	–	–	+
Мультиматериальная печать			+	+	н/д	н/д	н/д	+
Текстура поверхности (<u>глянцевый</u> матовый)			н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	$\frac{+}{-}$ +
Водонепроницаемость			н/д	+	н/д	н/д	н/д	н/д
Изотропность			–	+	н/д	+	н/д	н/д
Ориентация			+	+	+/- ⁴	+	–	+/-
Размерная точность (настольный принтер)			±0,5 % (нижний предел ±0,5 мм)	±0,5 % (нижний предел ±0,15 мм)	±0,3 % (нижний предел ±0,3 мм)	±0,1 мм	±0,2 мм (металл); ±0,3 мм (песок)	±0,1 мм
Размерная точность (промышленный принтер)			±0,15 % (нижний предел ±0,02 мм)	±0,15 % (нижний предел ±0,01 мм)				
<p><i>Примечания</i></p> <p>1 Знак «н/д» – нет данных.</p> <p>2 Знак «+» – характеристика присуща для технологии или важна.</p> <p>3 Знак «–» – характеристика не присуща для технологии или не важна.</p> <p>4 Знак «+/-» – характеристика присуща для технологии или не сильно важна</p>								

Описание элементов конструкции.

1 *Опорные стенки* – это стенки, соединенные с остальной частью распечатка как минимум с двух сторон.

ВJ: минимальная толщина опорных стенок гарантирует, что деталь может быть извлечена из порошка и обработана в сыром состоянии без повреждения.

2 *Свободные стенки* – это неподдерживаемые стенки, соединенные с остальной частью, распечатка менее чем с двух сторон.

BJ: минимальная толщина свободных стенок (включая плавники и ребра) гарантирует меньший риск повреждения во время обработки.

SLA: тонкие свободные стенки должны иметь закругленные основания (там, где стенка соединяется с остальной частью распечатка), чтобы уменьшить концентрацию напряжений вдоль стыка.

3 Поддержки и нависания характеризуются максимальным углом наклона стенок, которые могут быть напечатаны без использования поддержек. Также поддержки характеризуются возможностью отделения от модели при помощи растворения.

FDM: под углом 45° вновь напечатанный слой опирается на 50 % предыдущего слоя. Это создает достаточную поддержку и адгезию, на которые можно опираться. При углах выше 45° необходима поддержка, чтобы вновь напечатанный слой не выпирал вниз и не отходил от сопла. Еще одна проблема, возникающая при печати выступов, – это скручивание. Новый слой становится тоньше на краю выступа. Это приводит к дифференциальному охлаждению, заставляя его деформироваться вверх. Ключевой момент при проектировании: вы можете преодолеть ограничения, связанные с выступами, используя опоры для углов стены более 45° . Для больших выступов, требующих поддержки, ожидайте, что на окончательной поверхности будут присутствовать дефекты, если они не прошли постобработку.

SLA: рекомендуется ориентировать деталь таким образом, чтобы визуальнo важные поверхности не соприкасались с опорными конструкциями. Если только модель не печатается без соответствующих внутренних и внешних опорных конструкций, выступы не представляют большой проблемы при печати. Печать без поддержек часто приводит к короблению отпечатка, но если необходимо печатать без поддержек, любые неподдерживаемые выступы должны соответствовать рекомендациям. Технологии печати «сверху вниз» и «снизу вверх» используют поддержку по-разному.

DMLS, SLM: металлическая печать плавит или спекает слои порошка при очень высокой температуре. Из-за этого для каждого слоя требуется что-то «твердое», а не просто рассыпчатая пудра, как в процессе SLS. Для этого для секций, не прикрепленных к рабочему столу, сначала печатаются опорные конструкции, а затем поверх них строятся твердые секции. Остаточное напряжение, возникающее в результате дифференциального охлаждения, означает, что каждый слой металлического распечатка стремится свернуться и деформироваться. Добавление поддержки помогает отводить тепло от недавно напечатанных участков, а также закреплять их на твердом основании. Поддержка увеличивает стоимость сборки (поскольку она использует дополнительный материал), а также должна быть удалена после завершения печати. Поверхности, соприкасающиеся с опорой, всегда требуют некоторой последующей обработки для достижения такой же чистоты поверхности, как у деталей, где опора не требовалась.

MJ: одним из самых больших преимуществ струйной печати материалов является то, что все детали печатаются из двух разных материалов; один для основного строительного материала, а второй в качестве растворимой

поддержки. Это означает, что в отличие от других методов 3D-печати, при которых опору необходимо вручную отрезать от детали, опора растворяется и легко удаляется. При правильной постобработке это может привести к тому, что поверхность вообще не будет иметь никаких признаков поддержки. Это также означает, что ориентация деталей гораздо более гибкая, чем другие технологии 3D-печати. Это в сочетании с относительной однородностью материалов, изготавливаемых с помощью струйной печати, обеспечивает большую свободу проектирования и позволяет создавать очень сложные и замысловатые конструкции.

4 *Нависания (вылет) без поддержек* характеризуются максимальным вылетом стенок, которые могут быть напечатаны без использования поддержек. Рекомендуется рассматривать возможность устранения нависания (вылета), добавив фаску под неподдерживаемые кромки.

ВJ: хотя для технологии окружающие детали из порошка обеспечивают поддержку на этапах построения, незакрепленные края подвержены высокому риску поломки при обработке в сыром состоянии.

5 *Рельефы и гравировка* – элементы на модели, которые приподняты или утоплены ниже поверхности модели.

SLA: если элементы слишком малы, эти элементы, которые впечатаны или утоплены в модели, рискуют слиться с остальной частью модели во время печати.

6 *Перемычки (мосты)* характеризуются размером горизонтального участка, который технология печати может обеспечить без необходимости применения поддержек.

FDM: образование мостов происходит, когда принтер должен печатать между двумя опорами или опорными точками. Поскольку строить не на чем, первоначальный печатаемый слой не поддерживается, и материал имеет тенденцию провисать. Мосты чаще всего встречаются в отверстиях по горизонтальной оси. Одним из решений является уменьшение расстояния перемычки, но эффект от этого зависит от конструктивных ограничений детали. Еще одно решение, позволяющее избежать провисания – добавить поддержку. Поддержка обеспечивает временную платформу для создания связующего уровня. Поддерживающий материал удаляется после завершения печати, хотя он может оставить следы или повредить поверхность, где поддержка была соединена с деталью. Если требуется гладкая, ровная поверхность, передовым решением будет разделение дизайна на отдельные части или выполнение какой-либо формы постобработки.

SLA: перемычки между двумя точками на модели можно успешно напечатать, но более широкие горизонтальные перемычки должны быть короче, чем тонкие перемычки. Широкие перемычки имеют большую площадь контакта по оси Z, что увеличивает вероятность сбоя печати во время отслаивания.

7 *Минимальный диаметр отверстия* – диаметр отверстия с наименьшими размерами, который технология печати может обеспечить. Отверстия, по возможности, должны быть ориентированы вертикально, чтобы обеспечить округлость элемента.

FDM: процесс печати вертикального отверстия и причину уменьшения его диаметра можно резюмировать следующим образом. Когда сопло печатает периметр отверстия по вертикальной оси, оно прижимает вновь напечатанный слой к существующим слоям, чтобы улучшить адгезию. Сила сжатия сопла деформирует экструдированный круглый слой из круга в более широкую и плоскую форму. Это увеличивает площадь контакта с ранее напечатанным слоем, улучшая адгезию, но расширяя экструдированный сегмент, что приводит к уменьшению диаметра печатаемого отверстия. Это уменьшение может быть проблемой, особенно при печати отверстий малого диаметра, где эффект больше из-за отношения диаметра отверстия к диаметру сопла. Если диаметр отверстия вертикальной оси имеет решающее значение, рекомендуется напечатать его меньшего размера, а затем просверлить отверстие до нужного диаметра.

SLA: если диаметр отверстий слишком мал по осям X, Y и Z, то отверстия могут закрыться во время печати.

8 *Сопрягаемые детали* характеризуются рекомендуемым зазором между двумя сопрягаемыми деталями (подвижными и неподвижными). Этот зазор также должен быть каким-то образом доступен для очистки/удаления поддерживающего материала, который может скапливаться в зазоре.

9 *Отверстия для извлечения материала* характеризуются минимальным диаметром выхода для извлечения строительного материала (например, металлического нерасплавленного порошка из полых деталей). Использование нескольких выпускных отверстий значительно упростит удаление материала.

10 *Минимальный размер элемента* характеризуется наименьшим размером единичного элемента с обеспечением того, что печать пройдет без ошибок.

VJ: основной проблемой минимального размера элемента является возможность его повреждения. Хотя этот процесс позволяет производить детали с очень мелкими деталями, проблема заключается в обращении с очень хрупкими деталями в сыром состоянии. Если элемент или деталь слишком хрупкие, одно из решений состоит в том, чтобы добавить в конструкцию дополнительные распорки, чтобы повысить её жёсткость и обеспечить поддержку. Эти элементы крепления могут быть удалены после инфильтрации или спекания (когда деталь прочнее). Оптимальным решением является увеличение размеров этих элементов в соответствии с рекомендациями на рисунке 2.5. Тонкие элементы, прикрепленные к большим и тяжелым элементам, подвержены высокому риску поломки при обращении (рисунок 2.5, а). Эти области следует укрепить, добавив распорки (рисунок 2.5, б) или увеличив их размер (рисунок 2.5, в).

11 *Диаметр стержня (штифта)* – минимальный диаметральный размер стержня, который технология печати может обеспечить.

FDM: если дизайн содержит стержни диаметром менее 5 мм, добавьте небольшое скругление у основания стержня. Если функция имеет решающее значение, подумайте о том, чтобы включить в конструкцию отверстие в месте расположения штифта, просверлите отверстие до нужного размера и вставьте имеющийся в наличии штифт.

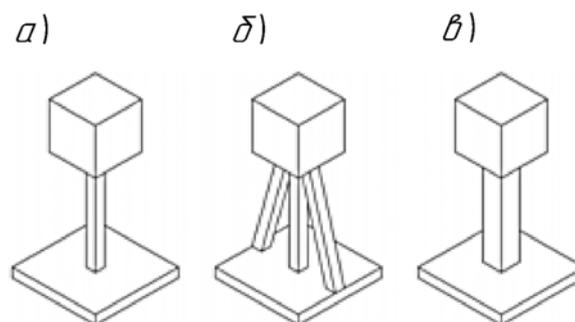


Рисунок 2.5 – Дизайн тонких элементов

12 *Соотношение сторон* – максимальное соотношение между высотой печати по вертикали и сечением детали в горизонтальной плоскости для обеспечения устойчивости напечатанной детали на рабочем столе. К высоким элементам можно добавить дополнительную устойчивость с помощью опорных ребер (аналогично литью под давлением).

13 *Галтели* характеризуются минимальным радиусом.

VJ: все скругления должны по возможности использоваться на всех краях модели. Это гарантирует, что они не будут повреждены в сыром состоянии. Галтели особенно важны для внутренних полостей, чтобы облегчить удаление порошка и обеспечить точность конструкции.

14 *Текст* характеризуется минимальной высотой шрифта для всех направлений.

SLS: рекомендуется шрифт без засечек.

15 *Ось* характеризуется минимальным зазором до поверхности подшипника или опоры.

SLS: нейлон как материал подшипника обеспечивает гладкую посадку с низким коэффициентом трения для соединений с низкой нагрузкой и низкой скоростью. Важно помнить, что порошок должен быть удален после процесса печати, чтобы обеспечить плавный ход соединения.

16 *Взаимосвязанные элементы (замковые элементы)* характеризуются размерной точностью соединения. Включение небольшого радиуса на краях деталей поможет при сборке соединений.

FDM: подходит для создания недорогих прототипов взаимосвязанных соединений, когда точность и долговечность не имеют критического значения.

SLS и MJ: лучше всего подходят для взаимосвязанных соединений благодаря их высокой точности печати и прочности материала.

17 *Резервуары* характеризуются минимальной толщиной стенки.

SLS: нейлон обладает хорошей химической стойкостью и часто применяется в нестандартных конструкциях резервуаров. Для дополнительной водонепроницаемости или при использовании агрессивных жидкостей, таких как топливо или растворители, ёмкость может иметь покрытие или облицовку. Избыток порошка должен быть удален изнутри бака.

SLA: если распечаток не предназначен для использования в качестве функциональной детали, наличие полости в модели значительно сокращает

количество необходимого материала и время печати. При печати полых деталей добавьте дренажные отверстия, чтобы предотвратить попадание незатвердевшей смолы внутрь готового распечатка. Неотвержденная смола создает дисбаланс давления внутри полых камер.

18 *Живой шарнир (интегрированный шарнир, подшипник изгиба)* характеризуется максимальной толщиной и минимальной длиной тела шарнира. Живой шарнир представляет собой тонкий гибкий шарнир, сделанный из того же материала, что и две жесткие части, которые он соединяет.

FDM: оптимальный дизайн для живого шарнира – это попытаться напечатать шарнир с помощью одной нити термопластика, интегрированной в жесткие секции сборки, как показано на рисунке 2.6. Некоторые FDM-принтеры с двойной экструзией предлагают возможность печатать секцию шарнира из вторичного гибкого материала (например, ТПУ), что еще больше улучшит производительность шарнира и количество циклов до отказа.

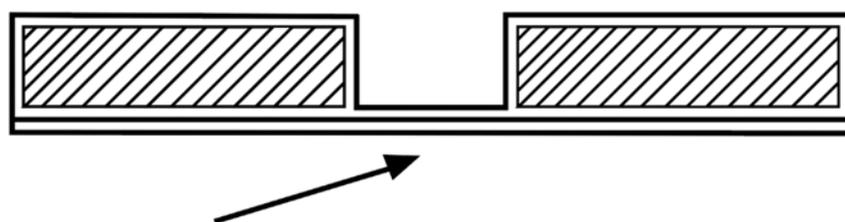


Рисунок 2.6 – Живой шарнир для FDM-печати

SLS: один из немногих методов 3D-печати, который позволяет создавать функциональные живые шарниры. Для получения шарнира отожгите модель путем нагревания (обычно достаточно погрузить её в кипящую воду), а затем согните шарнир вперед и назад.

MJ: обычно жесткие фотополимеры, используемые при струйной обработке материалов, являются хрупкими и не подходят для прототипов, где требуется более 10 циклов. Однако одним из основных преимуществ струйной печати материалов является возможность печати из нескольких материалов. Путем печати части шарнира из гибкого материала можно изготовить живую конструкцию шарнира, которая прослужит большое количество циклов.

19 *Толщина слоя* характеризуется высотой одного слоя при печати, которую обеспечивает технология. Влияние высоты слоя более заметно на кривых и углах и менее заметно на прямых вертикальных стенах из-за послойного характера 3D-печати. Например, чтобы напечатать отверстие вдоль горизонтальной оси, программное обеспечение должно разрезать круглое отверстие на несколько слоев, а затем наложить их друг на друга, создавая негладкий край, похожий на лестницу. Это называется ступенчатым эффектом и становится более заметным на поверхностях с большей кривизной (рисунок 2.7).

Если основной задачей печати является внешний вид, то идеальным вариантом будет выбор более низкой высоты слоя, так как это приведет к более гладкой поверхности. С другой стороны, при 3D-печати функциональной

детали предпочтительнее использовать более высокую высоту слоя, поскольку это приведет к экономии времени и средств, а также к улучшению механических характеристик.

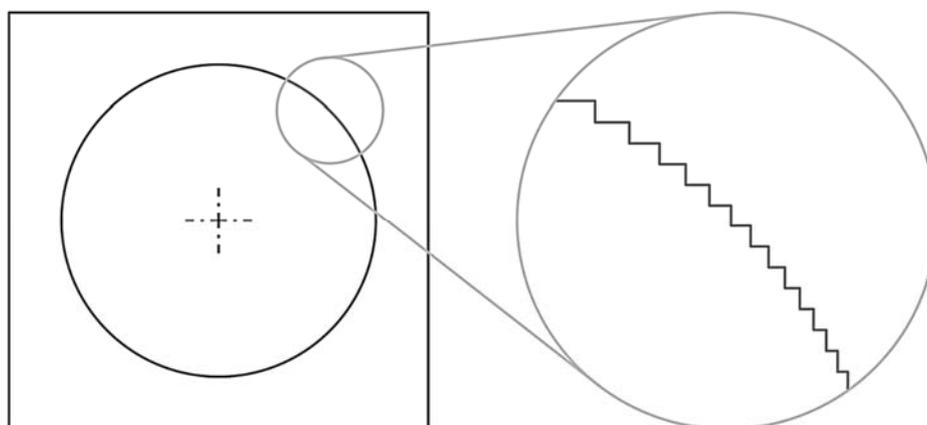


Рисунок 2.7 – Ступенчатый эффект

FDM: напечатанные детали из PLA с толщиной слоя 300 мкм, имеют прочность примерно на 20 % выше, чем детали, напечатанные толщиной 100 мкм.

20 Резьба характеризуется возможностью применения разных способов формирования резьбы. Способы формирования резьбы на деталях рассмотрены ниже.

Резьбовые вставки. Популярный метод, используемый регулярно, который обеспечивает прочное соединение металла с металлом, но требует дополнительных компонентов и установки. Два типа вставок лучше всего подходят для 3D-печати: термоусадочные вставки и врезные вставки.

Закладная гайка. Быстрый способ крепления компонентов. Нужен точный дизайн и печать. Часто для определения оптимальных размеров бобышки гайки требуется несколько итераций. Печать небольших тестовых деталей для определения идеальных размеров может сэкономить время и материальные затраты.

Саморезы. Один из способов крепления деталей, который не подходит для повторной разборки. Для пластика можно использовать специальные саморезы, которые ограничивают радиальное напряжение в отверстиях, напечатанных на 3D-принтере, снижая вероятность вздутия, расслоения или разрушения.

Нарезание резьбы. Нарезание резьбы дает свободу дизайна, однако важна правильная процедура нарезания резьбы.

Резьба на распечатке. Не подходит для небольших размеров резьбы (менее M5) и требует высокой детализации/разрешения принтера.

FDM: как правило, минимальная толщина стенки вокруг резьбы должна соответствовать диаметру крепежного элемента (например, для крепежного элемента M5 требуется минимальная толщина стенки 5 мм вокруг резьбового отверстия). Если толщина стенки слишком мала, детали могут вздуться и деформироваться из-за дополнительного напряжения, а в некоторых случаях может произойти расслоение или разрушение. Высота слоя – важный параметр

при печати резьбы. Ориентировочно, резьба больше M12 может быть успешно напечатана слоями толщиной 0,2 мм, а резьба меньшего размера должна быть напечатана более тонкими слоями.

SLS: шероховатая поверхность, полученная при печати, приводит к повышенному трению и может вызвать некоторые проблемы при соединении резьбовых деталей вместе. Можно сверлить и нарезать резьбу на нейлоне. Идеальным решением является использование нейлона только для одного из элементов резьбовых соединений (либо гайки, либо болта).

21 *Усадка* характеризуется процентным увеличением габаритных размеров модели на этапе предпечатного анализа. С учетом того, что это увеличение не повлияет на конструкцию детали.

SLA: вероятно для неподдерживаемых пролетов и выступов.

SLM, DMLS: технологии высоким риском усадки. Чтобы снизить вероятность этого, используются распорки и поддержки.

MJ: не является проблемой.

22 *Деформация* характеризуется склонностью к изменению формы и размеров под действием температурного воздействия и других факторов. Деформациями называются изменения размеров детали при сохранении её формы, а короблением – изменение формы детали (её может изогнуть, завернуть пропеллером и т. д.).

FDM: большие плоские области (например, характерные для прямоугольной коробки) более подвержены короблению, и их следует по возможности избегать. Тонкие выступающие элементы также склонны к короблению. Коробления можно избежать, добавив расходный материал на краю тонкого элемента, чтобы увеличить площадь, соприкасающуюся с платформой. Острые углы деформируются чаще, чем закругленные формы, поэтому добавление скруглений в дизайн является хорошей практикой. Различные материалы более подвержены деформации. ABS обычно более чувствителен к деформации, чем PLA или PETG.

SLA: одной из самых больших проблем, связанных с точностью деталей, изготовленных с помощью SLA, является скручивание (керлинг). Керлинг похож на деформацию в FDM. В процессе отверждения смола немного сжимается под воздействием источника света принтера. При значительной усадке между новым слоем и ранее затвердевшим материалом возникают большие внутренние напряжения, что приводит к скручиванию детали. Поддержка при печати важна когда нужно закрепить подверженные риску участки распечатка на рабочем столе и снизить вероятность скручивания. Ориентация деталей и ограничение больших плоских слоев также важны. Чрезмерное отверждение (например, подвергание детали воздействию прямых солнечных лучей после печати) также может вызвать скручивание. Лучший способ предотвратить скручивание – помнить об этом в процессе проектирования.

SLS: чтобы уменьшить вероятность коробления, которому подвержены большие плоские поверхности, рассмотрите возможность добавления ребер для увеличения жесткости. Оптимальная ориентация детали на этапе печати также может помочь.

SLM, DMLS: технологии высоким риском деформации. Чтобы снизить вероятность этого, используются распорки и поддержки.

MJ: не является проблемой.

23 *Многоцветность* характеризуется возможностью 3D-печати различными цветами в пределах одной детали или создания полноцветных презентационных прототипов.

MJ: высокий уровень точности, гладкая поверхность и варианты цвета делают струйную печать популярным выбором для презентаций и прототипов. Струйная обработка материалов – единственная технология 3D-печати, которая позволяет создавать полноцветные многоцветные распечатки. При использовании голубого, пурпурного, желтого, черного и белого материалов (СМУК) доступен полный набор цветовых вариантов. Этого можно добиться в процессе настройки печати, назначив частям цветовые коды RGB, или можно сделать в процессе САПР, раскрасив деталь. Текстурные слои также могут быть применены к детали. С помощью этого метода к частям можно добавить такие элементы, как мазки кисти, текстура древесины и градиентные цвета. Возможность многоцветной печати MJ означает, что эта технология позволяет создавать физические модели метода конечных элементов (МКЭ, FEA). Если анализ МКЭ выполняется на детали виртуально, полученный цветовой шаблон можно экспортировать в виде текстуры или слоя и распечатать непосредственно на детали, создавая видимый цветовой шаблон МКЭ на физическом образце для просмотра. Это дает инженерам и конструкторам уникальное представление о том, как деталь будет работать под нагрузкой.

24 *Мультиматериальная печать* характеризуется возможностью печати несколькими материалами в одном цикле.

MJ: некоторые принтеры способны печатать как резиновые, так и жесткие компоненты на одном столе, в одной и той же детали, а также в виде сборки для формирования новых свойств материала (мягкий резиноподобный материал и твердый жесткий материал можно смешивать для получения различных уровней жесткости резины). При проектировании для этого важно создавать сборки в САПР, чтобы разные детали можно было выбирать в качестве разных материалов во время подготовки к печати. При сопряжении этих собранных деталей в САПР не должно быть нахлеста тел. Следует использовать сопряжение с зазором «0 мм». Это позволит частям правильно стыковаться. Любые перекрывающиеся тела в модели САПР будут игнорироваться при печати, что приведет к заполнению области основным материалом сборки.

25 *Текстура* характеризуется возможностью получения глянцевой и матовой поверхности.

FDM: верхняя поверхность сглаживается экструзионным наконечником; поверхность, контактирующая с печатной платформой, обычно будет глянцевой, а поверхности над опорными конструкциями будут иметь следы поддержки.

SLA: нижние поверхности будут иметь метки поддержки и потребуют последующей обработки, а верхние поверхности будут гладкими и не будут иметь меток поддержки.

SLS, BJ: детали будут иметь более зернистую поверхность на нижней поверхности.

MJ: настройка матовости добавит тонкий слой поддержки по всей детали, независимо от ориентации или требований. Глянцевая настройка будет использовать вспомогательный материал только там, где это необходимо для построения модели (выступы, сквозняки, полости и т. д.). Преимущества печати с глянцевой текстурой заключаются в прочности на тонких стенах, эстетике гладкой и готовой детали и снижении расхода материала на сборку. К недостаткам можно отнести неравномерную отделку деталей и незначительное закругление острых кромок и углов на верхних поверхностях. Преимуществами печати с матовой текстурой являются точность детали в целом, а также однородность покрытия. Недостатки включают дополнительные требования к материалу, дополнительное время очистки и более мягкую поверхность. Эта более мягкая поверхность иногда может привести к слабости мелких или тонких элементов.

26 Водонепроницаемость характеризуется тем, при достижении каких значений гидростатического давления материал теряет способность не впитывать и не пропускать через себя воду.

SLA: объекты являются непрерывными, независимо от того, цельные они или имеют внутренние каналы. Водонепроницаемость важна в случаях, когда нужно контролировать и прогнозировать воздействие потоков воздуха или жидкости.

27 Изотропность характеризуется одинаковостью физических свойств во всех направлениях. Поскольку 3D-печать создает модели слой за слоем, прочность готовых деталей может отличаться в зависимости от ориентации детали относительно процесса печати: для осей X, Y и Z будут характерны различные свойства.

FDM: процесс анизотропный за счет подхода к созданию различных слоев в процессе изготовления. Эта анизотропия ограничивает возможности применения технологии или требует внесения дополнительных изменений в конструкцию модели для ее компенсации. Прочность связи между различными слоями всегда ниже базовой прочности материала: их прочность по оси Z всегда меньше, чем их прочность в плоскости XY. По этой причине важно учитывать ориентацию деталей при проектировании деталей для FDM. Влияния нагрузок при их различных направлениях представлены на рисунке 2.8.

SLA: достижение изотропии деталей основано на ряде факторов, которые можно строго контролировать за счет интеграции химического состава материалов с процессом печати. Во время печати компоненты полимеров образуют ковалентные связи, но при создании последующих слоев модель остается в «незрелом» состоянии частичной реакции. В незрелом состоянии смола сохраняет полимеризуемые группы, которые могут образовывать связи между слоями, придавая модели изотропические и водонепроницаемые свойства после окончательного отверждения. На молекулярном уровне между плоскостями X, Y и Z нет различий. Это позволяет получить модели с предсказуемыми механическими характеристиками, критически важными для таких целей, как

производство кондукторов и крепежных приспособлений и готовых деталей, а также функциональное прототипирование.

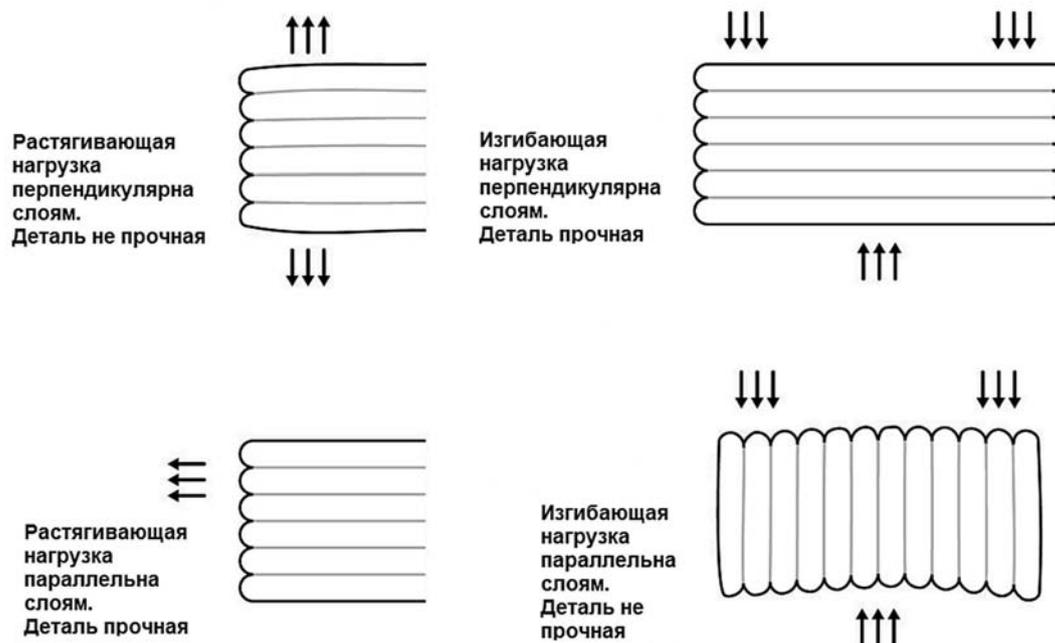


Рисунок 2.8 – Анизотропия FDM-печати

28 *Ориентация* характеризуется пространственным расположением модели при печати для получения поверхности с требуемым качеством.

29 *Размерная точность* – ожидаемая точность размеров и допусков конкретной технологии. Допуск детали в направлении печати составляет: \pm толщина одного слоя.

2.4 Порядок выполнения лабораторной работы

- 1 Получить чертеж или CAD-модель детали у преподавателя.
- 2 Проанализировать информацию о детали: размеры и допуски, сложность геометрии, материал, качество поверхности, функциональное назначение.
- 3 Проанализировать и составить цепочку подготовки модели к печати с учетом выбранного типа технологии аддитивного производства. Проанализировать возможную оптимизацию конструкции детали и условий печати на основании правил дизайна.
- 4 Оформить отчёт.

2.5 Содержание отчета

Отчёт по лабораторной работе выполняется на отдельных листах бумаги или в тетради. Он должен содержать следующее:

- название лабораторной работы;
- цель работы;

- анализ технологичности конструкции детали;
- технологическая цепочка подготовки модели к печати;
- предложения по оптимизации конструкции детали и условий печати на основании правил дизайна;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы.

Контрольные вопросы

1 Как и для каких целей производится оптимизация САД-модели? Какие при этом применяются инструменты проектирования?

2 Какие три основные стратегии построения трехмерных моделей деталей для 3D-печати Вы знаете?

3 Что такое решетчатые структуры?

4 Что такое оптимизация топологии?

5 Что такое порождающее моделирование (генеративный дизайн)?

6 Что такое правила дизайна для аддитивного производства? Зачем они необходимы конструктору?

7 Что такое поддержки? Какие основные правила дизайна поддержек для технологий аддитивного производства Вы знаете?

8 Какие способы формирования резьбы на деталях в условиях аддитивного производства Вы знаете?

9 Что такое изотропность? Как анизотропность 3D-распечатков влияет на дизайн деталей в условиях аддитивного производства?

10 Какую размерную точность обеспечивают технологии аддитивного производства?

3 Трехмерное сканирование и основы работы с 3D-сканером модели EinScan-Pro

Цель работы: освоение методики трехмерного сканирования деталей на основе метода структурированного света с использованием 3D-сканера модели EinScan-Pro.

3.1 Оборудование, инструменты и приборы

- 1 Объекты исследования: твердотельные детали.
- 2 3D-сканер модели EinScan-Pro, штатив, поворотный стол, текстурная камера, набор маркеров, калибровочная пластина.
- 3 Рабочая станция или ноутбук.
- 4 Программное обеспечение EinScan-Pro.
- 5 Программное обеспечение SolidWorks.

3.2 Сканирование структурированным светом

3D-сканер – периферийное устройство, анализирующее форму объекта и на основе полученных данных создающее его 3D-модель.

3D-сканеры делятся на два типа по методу сканирования.

1 Контактный.

Такой метод основывается на непосредственном контакте сканера с исследуемым объектом.

2 Бесконтактный.

2.1 Активные сканеры: излучают на объект некоторые направленные волны и обнаруживают его отражение для анализа: чаще всего используется светодиодный или лазерный луч, реже – рентгеновские лучи, инфракрасное излучение или ультразвук.

2.2 Пассивные сканеры: не излучают ничего на объект, а полагаются на обнаружение отражённого окружающего излучения. Большинство сканеров такого типа обнаруживает видимый свет – легкодоступное окружающее излучение.

Существует пять основных методов сбора данных при 3D-сканировании.

1 Фотограмметрия. Программное обеспечение объединяет множество фотографий объекта, сделанных с различных ракурсов, и определяет координаты с помощью триангуляции.

2 Лазер. Сканер излучает лазерный луч. Луч отражается от объекта и возвращается в датчик, который определяет расстояние до поверхности.

3 Координатно-измерительные машины (КИМ). КИМ используют шуп, который контактирует с поверхностью объекта.

4 Компьютерная томография. Метод неразрушающего послойного исследования строения предмета, основанный на измерении и сложной компьютерной обработке рентгеновского излучения проходящего сквозь объект.

5 Структурированный свет. Проектор излучает световые узоры (паттерны), которые деформируются при отражении от объекта. Затем одна или несколько камер распознают 3D-геометрию с помощью алгоритмов триангуляции, как показано на рисунке 3.1.

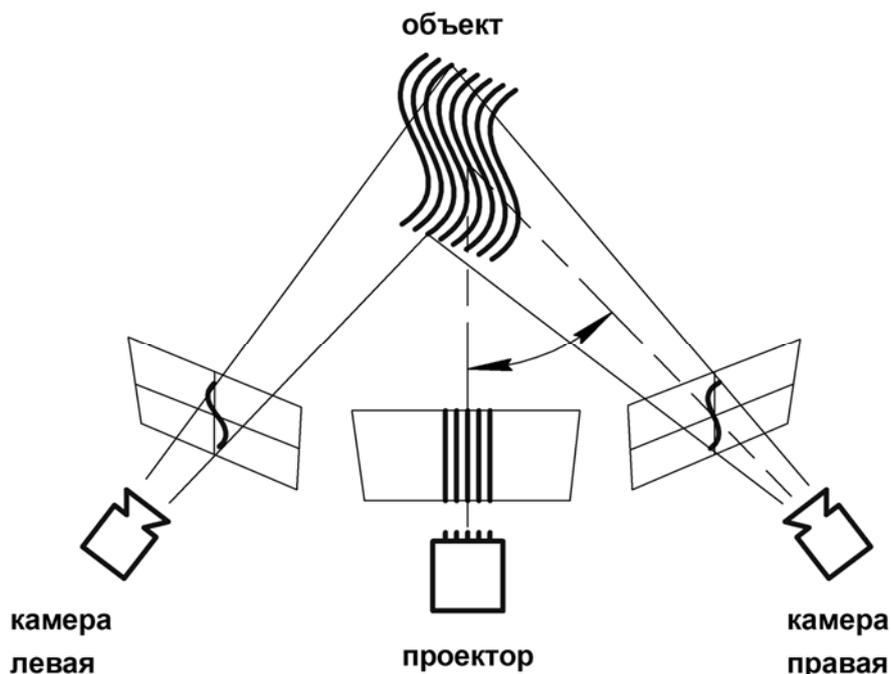


Рисунок 3.1 – Принцип сканирования структурированным светом

Процесс 3D-сканирования структурированным светом в общем случае представлен на рисунке 3.2 и состоит из следующих этапов:

- сканер собирает данные в виде точек, которые состоят из координат XYZ и, если есть такая опция, информацию о цвете (текстуре) и программное обеспечение 3D-сканера преобразует данные в облако точек;
- программное обеспечение 3D-сканера соединяет точки, создавая полигональную сетку;
- программное обеспечение CAD-проектирования преобразует файл полигональной сетки в файл твердотельной модели.

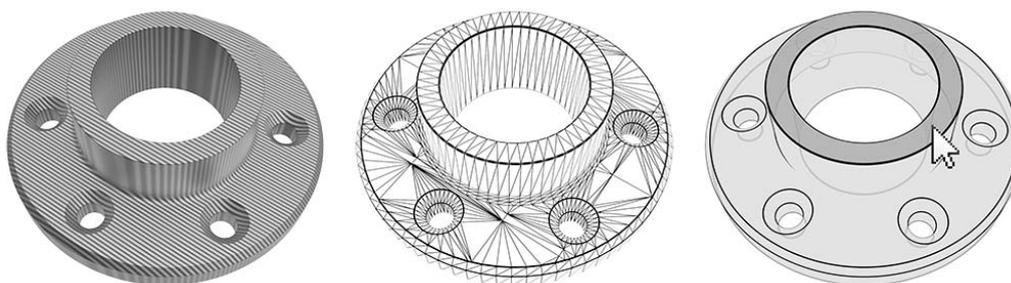


Рисунок 3.2 – Этапы 3D-сканирования

3.3 3D-сканер модели EinScan-Pro

Общий вид комплекта 3D-сканера модели EinScan-Pro представлен на рисунке 3.3.



Рисунок 3.3 – Комплект 3D-сканера EinScan-Pro

3D-сканер модели EinScan-Pro от компании SHINING 3D обладает следующим набором технических характеристик.

1 Режим работы: ручное HD-сканирование.

1.1 Область сканирования: 0,03...4 м.

1.2 Скорость сканирования: 15 кадров/с.

1.3 Точность сканирования: 0,1 мм.

2 Режим работы: ручное быстрое сканирование.

2.1 Область сканирования: 0,15...4 м.

2.2 Скорость сканирования: 10 кадров/с.

2.3 Точность сканирования: 0,3 мм.

3 Режим работы: автоматическое сканирование.

3.1 Область сканирования: 0,03...0,15 м.

3.2 Скорость сканирования: менее 2 с (один проход).

3.3 Точность сканирования: 0,05 мм (один проход).

4 Режим работы: свободное сканирование.

4.1 Область сканирования: 0,03...4 м.

4.2 Скорость сканирования: менее 2 с (один проход).

4.3 Точность сканирования: 0,05 мм (один проход).

5 Размер одного снимка: 210 × 150 мм.

6 Источник света: LED (белый).

7 Количество камер: 2 + 1 (две основные и одна камера для захвата текстур и цвета).

8 Поддерживаемые форматы: OBJ, STL, ASC, PLY, 3MF, P3.

9 Сканирование специальных объектов: для сканирования прозрачных, блестящих, темных объектов требуется применение специального спрея.

10 Дополнительное оборудование: калибровочная платформа, поворотный стол.

3.4 Порядок выполнения лабораторной работы

1 Получить деталь у преподавателя.

2 Проанализировать конструкцию детали: размеры, сложность геометрии, текстуру, труднодоступные участки. Подготовить деталь к 3D-сканированию.

3 Выполнить калибровку 3D-сканера модели EinScan-Pro, выполняя пошаговые рекомендации программного обеспечения EinScan-Pro.

4 В программном обеспечении EinScan-Pro создать новый проект, определить параметры сканирования и выполнить 3D-сканирование детали. Сформировать итоговый файл.

5 Проанализировать полученные результаты.

6 Оформить отчёт.

3.5 Содержание отчета

Отчёт по лабораторной работе выполняется на отдельных листах бумаги или в тетради. Он должен содержать следующее:

- название лабораторной работы;
- цель работы;
- порядок калибровки 3D-сканера EinScan-Pro;
- анализ конструкции и порядок подготовки детали к 3D-сканированию;
- порядок 3D-сканирования детали и работа с программным обеспечением EinScan-Pro;
- ответы на контрольные вопросы;
- анализ полученных результатов и выводы.

Контрольные вопросы

1 Что такое 3D-сканер? Какие основные элементы его конструкции Вы знаете?

2 Как работают пассивные сканеры?

3 Какие основные методы сбора данных при 3D-сканировании Вы знаете? В чем их отличие?

4 На чем основан метод структурированного света?

5 Какие режимы сканирования 3D-сканера модели EinScan-Pro Вы знаете?

4 Изготовление деталей методом FDM-печати и основы работы на 3D-принтере

Цель работы: освоение методики 3D-печати на основе технологии FDM с использованием 3D-принтера.

4.1 Оборудование, инструменты и приборы

- 1 Объекты исследования: детали из термопластиков.
- 2 3D-принтер технологии FDM, набор филамента (ABS, PLA, PETG и др.), набор сопел.
- 3 Рабочая станция или ноутбук.
- 4 Программное обеспечение для слайсинга (Sli3er, Cura и др.).
- 5 Программное обеспечение для эмуляции 3D-печати (Repetier-Host и др.).
- 6 Программное обеспечение для 3D-моделирования (SolidWorks, Компас-3D и др.).

4.2 FDM-печать: процесс и оборудование

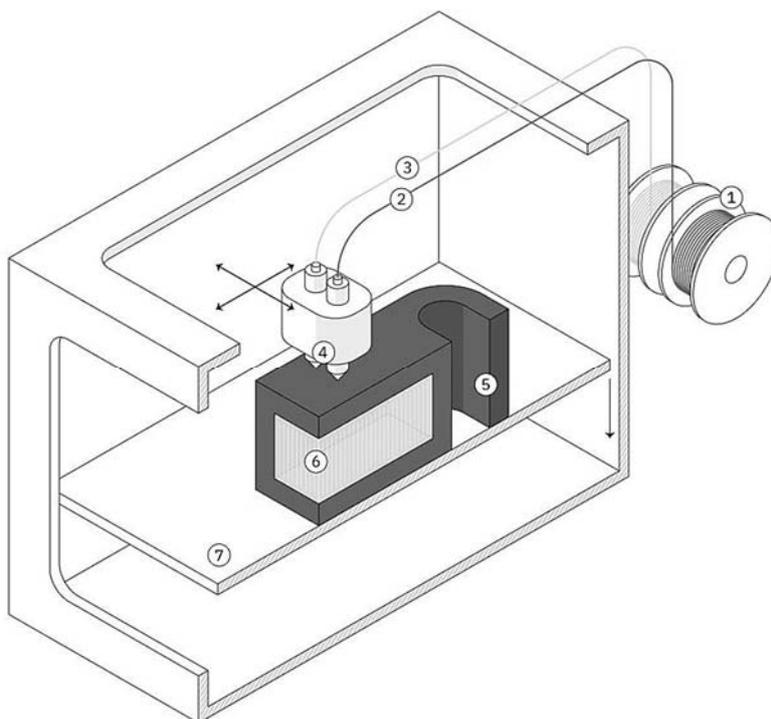
Моделирование методом послойного наплавления (FDM), также известное как изготовление методом плавления филамента (FFF), представляет собой процесс аддитивного производства, относящийся к категории экструзии материала. В FDM-печати объект создается путем выборочного нанесения расплавленного материала по заданному пути, слой за слоем, как показано на рисунке 4.1. Используемые материалы представляют собой термопластичные полимеры, которые выпускаются в форме нити (филамента).

Процесс FDM-печати заключается в том, что сначала в принтер загружается катушка термопластичной нити (филамента). Как только сопло достигает желаемой температуры, филамент подается в сопло через экструдер, где он плавится.

Экструдер прикреплен к трехосевой системе перемещения, которая позволяет рабочему органу перемещаться в осях X, Y и Z. Расплавленный материал подается тонкими полосками и укладывается слой за слоем в заранее определенных местах, где он охлаждается и затвердевает. Для ускорения охлаждения к экструдеру могут быть прикреплены кулеры (вентиляторы).

Для заполнения области построения требуется несколько проходов, аналогично закрашиванию прямоугольника маркером. Когда слой готов, платформа построения перемещается вниз (или в некоторых конфигурациях 3D-принтеров экструдер перемещается вверх) и наносится новый слой. Этот процесс повторяется до тех пор, пока деталь не будет завершена.

Большинство FDM-принтеров позволяют регулировать несколько параметров процесса. К ним относятся температура как сопла, так и платформы построения, скорость построения, высота слоя и скорость охлаждающего кулера.



1 – катушка филамента; 2 – главный филамент; 3 – филамент поддержек; 4 – экструдер; 5 – деталь; 6 – поддержки; 7 – платформа построения

Рисунок 4.1 – Принцип работы и конструкция FDM-принтера

Чтобы сократить время печати и сэкономить материал, детали при FDM-печати обычно не печатаются сплошными. Вместо этого внешний периметр, называемый оболочкой, трассируется с использованием нескольких проходов, а внутренний, называемый заполнением, заполняется внутренней структурой с низкой плотностью.

4.3 FDM-печать: материалы

Одной из сильных сторон FDM-печати является широкий спектр доступных для использования материалов, который включает в себя обычные термополимеры (такие как PLA и ABS), конструкционные материалы (такие как PA, TPU и PETG) и термополимеры с высокими эксплуатационными характеристиками (такие как PEEK и PEI).

Преимущества и недостатки материалов FDM-печати.

ABS:

- + хорошая прочность, стойкость к истиранию и термостойкость;
- + возможна постобработка парами ацетона для придания блеска;
- + постобработка: шлифование, полирование, покраска;
- + ацетон также можно использовать в качестве сильного клея;
- более подвержен деформации;
- чувствительный к ультрафиолетовому излучению;
- запах при печати и потенциально высокие выбросы дыма.

PLA:

- + отличное визуальное качество;
- + легко печатать детали из материала;
- + биоразлагаемый и отсутствие запаха;
- + постобработка: шлифование, полирование, покраска;
- + хорошая устойчивость к ультрафиолетовому излучению;
- низкая ударная вязкость;
- низкая влагостойкость;
- плохо склеивается.

Nylon (PA):

- + высокая прочность и износостойкость;
- + хорошая химическая стойкость;
- низкая влагостойкость;
- потенциально высокие выбросы дыма.

PETG:

- + безопасный для пищевых продуктов;
- + хорошая прочность и хорошая стойкость к истиранию;
- + легко печатать детали из материала;
- + высокая влагостойкость и химическая стойкость;
- + перерабатываемый;
- + постобработка: шлифование, полирование, покраска;
- тяжелее, чем PLA и ABS.

TPU:

- + очень гибкий;
- + хорошая стойкость к истиранию;
- + хорошая стойкость к маслам и жирам;
- затруднена постобработка;
- затруднена печать деталей с высокой точностью;
- плохо склеивается.

PEI:

- + отличная прочность по отношению к весу;
- + отличная огнестойкость и химическая стойкость;
- высокая стоимость.

PC:

- + возможно обеззараживание (стерилизация);
- + простота последующей обработки (шлифование);
- чувствительный к ультрафиолетовому излучению.

4.4 FDM-печать: постобработка

3D-печать FDM лучше всего подходит для экономичных прототипов, производимых в короткие сроки. Линии слоев обычно присутствуют на распечатках FDM, что делает постобработку необходимым этапом, если требуется гладкая поверхность детали. Некоторые методы постобработки также

могут повысить прочность распечатков, помогая уменьшить анизотропное поведение деталей FDM.

Основные методы постобработки после FDM-печати:

- удаление поддержки (support removal): стандартные и растворимые;
- шлифование (sanding) и полировка (polishing);
- холодная сварка (cold welding);
- заполнение пропусков (gap filling);
- грунтовка и покраска (priming and painting);
- сглаживание парами растворителя (vapor smoothing);
- погружение в растворитель (dipping);
- эпоксидное (epoxy coating) и металлическое покрытие (metal plating).

4.5 Порядок выполнения лабораторной работы

1 Получить чертеж или CAD-модель детали у преподавателя.

2 Проанализировать информацию о детали: размеры и допуски, геометрию, материал, функциональное назначение, качество поверхности.

3 Выполнить оптимизацию конструкции детали – задать параметры печати и произвести операцию слайсинга – проверить управляющую программу в эмуляторе – при необходимости внести корректировки – загрузить управляющую программу в 3D-принтер – при необходимости заменить материал филамента – запустить печать – по окончании печати произвести анализ и дать рекомендации по постобработке детали.

4 Оформить отчёт.

4.6 Содержание отчета

Отчёт по лабораторной работе выполняется на отдельных листах бумаги или в тетради. Он должен содержать следующее:

- название и цель лабораторной работы;
- анализ конструкции и порядок подготовки детали к 3D-печати;
- порядок FDM-печати детали;
- рекомендации по постобработке детали после 3D-печати;
- ответы на контрольные вопросы;
- анализ полученных результатов и выводы.

Контрольные вопросы

1 Как работает принтер для FDM-печати?

2 Какие материалы применяются для FDM-печати?

3 Что такое филамент?

4 Какие основные методы постобработки деталей после FDM-печати Вы знаете?

5 Какие ограничения присущи 3D-печати по технологии FDM?

5 Изготовление металлических деталей методом SLM-печати и основы работы на 3D-принтере модели EP-M250

Цель работы: освоение методики 3D-печати на основе технологии SLM с использованием 3D-принтера модели EP-M250.

5.1 Оборудование, инструменты и приборы

- 1 Объекты исследования: детали из металлического порошка.
- 2 3D-принтер технологии SLM модели EP-M250, металлический порошок (316L и др.).
- 3 Рабочая станция или ноутбук.
- 4 Программное обеспечение для слайсинга (EPHatch и др.).
- 5 Программное обеспечение для 3D-моделирования (SolidWorks, Компас-3D и др.).

5.2 SLM-печать: процесс и оборудование

Селективное лазерное плавление (SLM) – это процесс аддитивного производства металлов, который относится к семейству 3D-печати методом сплавления в порошковом слое. Технология использует лазер для сканирования и выборочного плавления частиц металлического порошка, связывая их вместе и создавая деталь слой за слоем. Материалы, используемые в процессе, представляют собой металлы в гранулированной форме как показано на рисунке 5.1. SLM использует металлические порошки с одной температурой плавления и полностью расплавляет частицы. SLM-печать используется в промышленности для создания конечных инженерных продуктов.

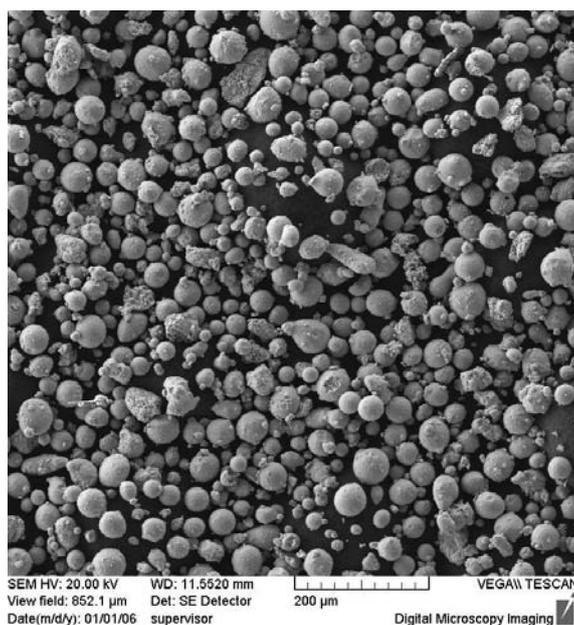
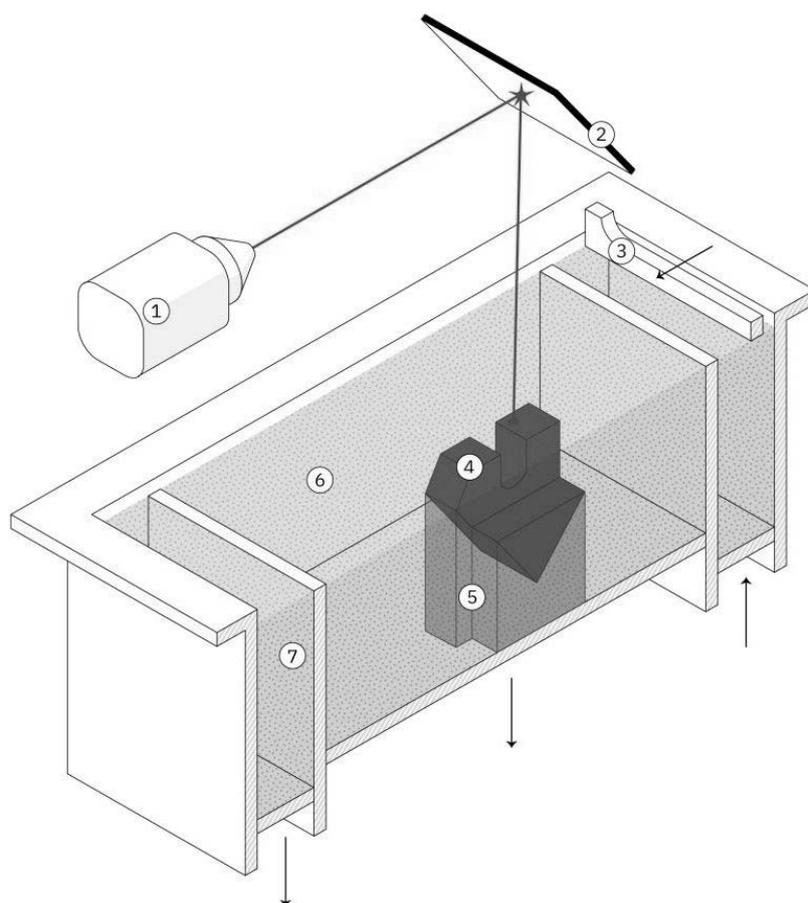


Рисунок 5.1 – Частицы металлического порошка для SLM-печати

В начале процесса подготовки печати на SLM-принтере (рисунок 5.2) камера сборки заполняется инертным газом (аргон, азот), чтобы свести к минимуму окисление металлического порошка, а затем нагревается до оптимальной температуры. Нагреву подлежит и платформа построения.



1 – лазер; 2 – система сканирующих зеркал; 3 – ракель (рекоутер); 4 – деталь; 5 – поддержки; 6 – металлический порошок; 7 – пересыпной бункер

Рисунок 5.2 – Принцип работы и конструкция SLM-принтера

Тонкий слой металлического порошка распределяется по платформе построения, и мощный лазер сканирует поперечное сечение компонента, расплавляя металлические частицы вместе и создавая следующий слой.

Когда процесс сканирования завершен, платформа построения перемещается вниз на один слой толщины, а ракель (рекоутер) наносит ещё один тонкий слой металлического порошка. Процесс повторяется до тех пор, пока печать не будет завершена.

Когда процесс печати закончен, детали полностью инкапсулируются в металлический порошок. В отличие от процесса сплавления полимерного порошкового слоя (например, SLS), детали прикрепляются к платформе сборки через опорные конструкции. Опора в 3D-печати металлом изготавливается из того же материала, что и деталь, и всегда необходима для уменьшения

воздействия деформаций, которые могут возникнуть из-за высоких температур обработки.

5.3 SLM-печать: материалы

SLM-печать позволяет производить детали из широкого спектра металлов и металлических сплавов, включая алюминий, нержавеющую сталь, титан, кобальт-хром и инконель. Эти материалы удовлетворяют потребности большинства промышленных применений, от аэрокосмической до медицины. Драгоценные металлы, такие как золото, платина, палладий и серебро, также могут быть обработаны, но их применение ограничено и в основном ограничивается изготовлением ювелирных изделий. Стоимость металлического порошка очень высока. По этой причине минимизация объема деталей и потребности в поддержках являются ключом к максимально возможному снижению стоимости. Ключевым преимуществом 3D-печати металлом является его совместимость с высокопрочными материалами, такими как никелевые или кобальт-хромовые суперсплавы, которые очень трудно обрабатывать традиционными методами производства.

Преимущества и недостатки материалов SLM-печати.

Алюминиевые сплавы:

- + хорошие механические и термические свойства;
- + низкая плотность;
- + хорошая электропроводность;
- низкая твердость.

Нержавеющая сталь и инструментальная сталь:

- + высокая износостойкость и твердость;
- + хорошая пластичность и свариваемость.

Титановые сплавы:

- + устойчивость к коррозии;
- + отличное соотношение прочности и веса;
- + низкое тепловое расширение;
- + биосовместимость.

Кобальт-хромовые суперсплавы:

- + отличная износостойкость и коррозионная стойкость;
- + отличные свойства при повышенных температурах;
- + очень высокая твердость;
- + биосовместимость.

Никелевые суперсплавы (инконель):

- + отличные механические свойства;
- + высокая коррозионная стойкость;
- + термостойкость до 1200 °C и применение в экстремальных условиях.

Драгоценные металлы:

- + использование в ювелирном деле.

5.4 SLM-печать: постобработка

Этап 3D-печати – это только начало производственного процесса изготовления деталей по технологии SLM. После завершения печати требуется несколько (обязательных или необязательных) этапов постобработки, прежде чем детали будут готовы к использованию. К обязательным этапам постобработки относятся:

- снятие внутренних напряжений: из-за очень высоких температур обработки во время печати возникают внутренние напряжения. Перед любой другой операцией их необходимо снять с помощью термической обработки;

- удаление деталей: при SLM-печати детали по существу привариваются к платформе построения. Здесь применяется резка на проволочном электроэрозионном станке, резка на ленточнопильном станке, резка на дисково-отрезном станке;

- удаление поддержки: поддержки в SLM всегда требуются для уменьшения коробления и деформаций, возникающих во время печати. Поддержки удаляются вручную или обрабатываются на станках с ЧПУ.

Для соответствия технической документацией часто требуются дополнительные этапы постобработки. К ним могут относиться:

- обработка на станках с ЧПУ: обработка используется в качестве чистового этапа когда требуются более жесткие допуски, чем стандарт $\pm 0,1$ мм. Для данного типа постобработки применяются минимальные припуски;

- термическая обработка: для улучшения свойств материала детали можно использовать термическую обработку или горячее изостатическое прессование (HIP);

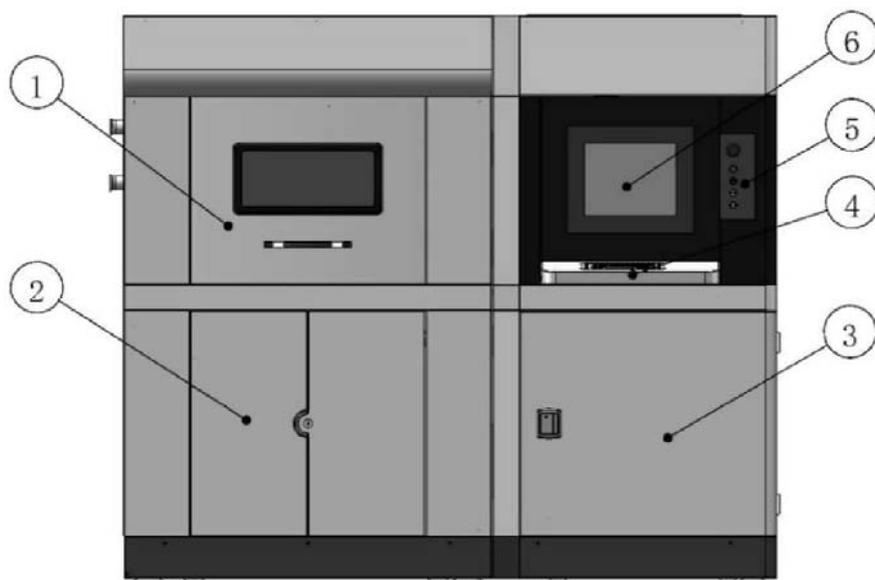
- сглаживание (полировка): для некоторых применений требуется более гладкая поверхность, чем стандартная шероховатость $Ra = 10$ мкм при SLM-печати. Обработку можно производить на универсальных станках и станках с ЧПУ, вибро- или химической полировкой, галтованием, пескоструйной обработкой и др.

5.5 3D-принтер технологии SLM-модели EP-M250: конструкция

EP-M250 – это промышленная установка для селективного лазерного плавления, выпущенная компанией E-Plus 3D (входит в концерн SHINING 3D). Машина плавит порошок слой за слоем с помощью высокоэнергетического лазера и формирует его в твердое металлическое тело на основе принципов послойного производства.

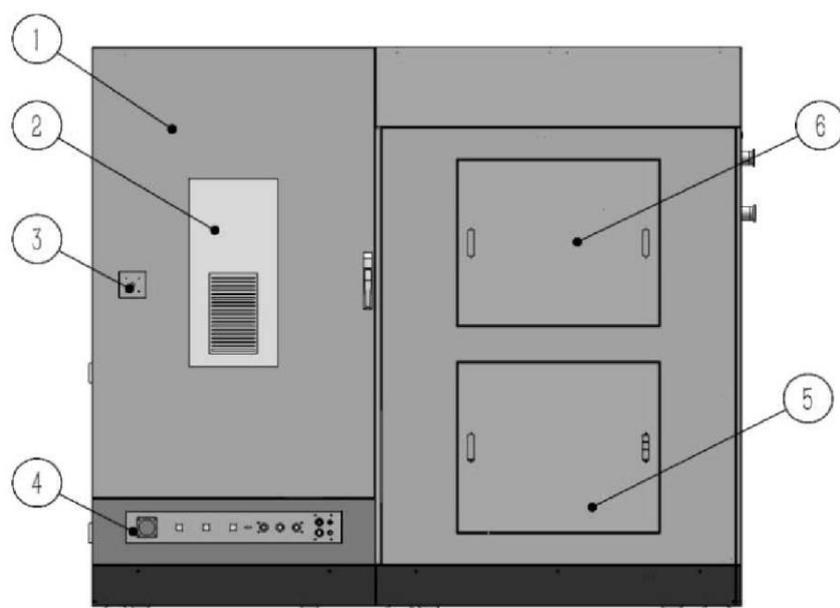
3D-принтер может использоваться для обработки промышленных изделий в таких областях, как аэрокосмическая промышленность, медицинские имплантаты, зубные протезы, пресс-формы, инструменты, детали специальной формы, ювелирные изделия и т. д. Комплекс EP-M250 также может использоваться в научных исследованиях и разработках, в образовании и в других отраслях.

Внешний вид 3D-принтера модели EP-M250 (установка подготовки газа не показана) представлен на рисунках 5.3–5.5.



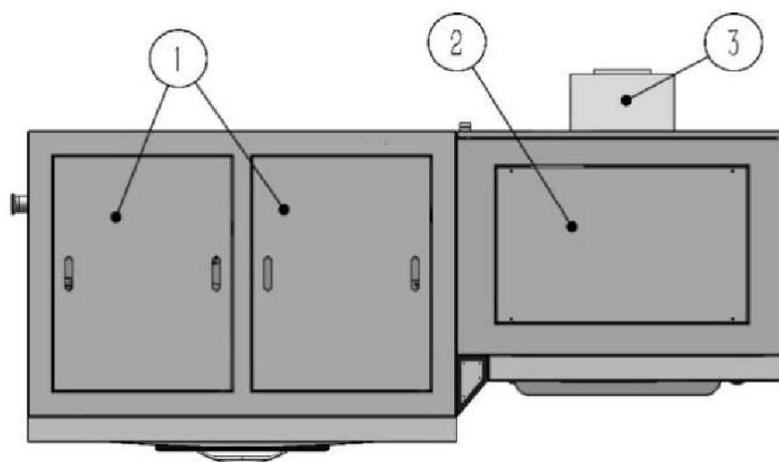
1 – передняя дверь верхней камеры; 2 – передняя дверь нижней камеры; 3 – передняя дверь электрического шкафа управления; 4 – операционная клавиатура; 5 – панель подключения управления; 6 – главный экран управления

Рисунок 5.3 – Внешний вид 3D-принтера модели EP-M250 (фронтальный вид)



1 – главная дверь электрического шкафа управления; 2 – кондиционер; 3 – главный выключатель питания; 4 – модуль электрического соединения; 5 – нижняя дверь главной машины; 6 – верхняя дверь главной машины

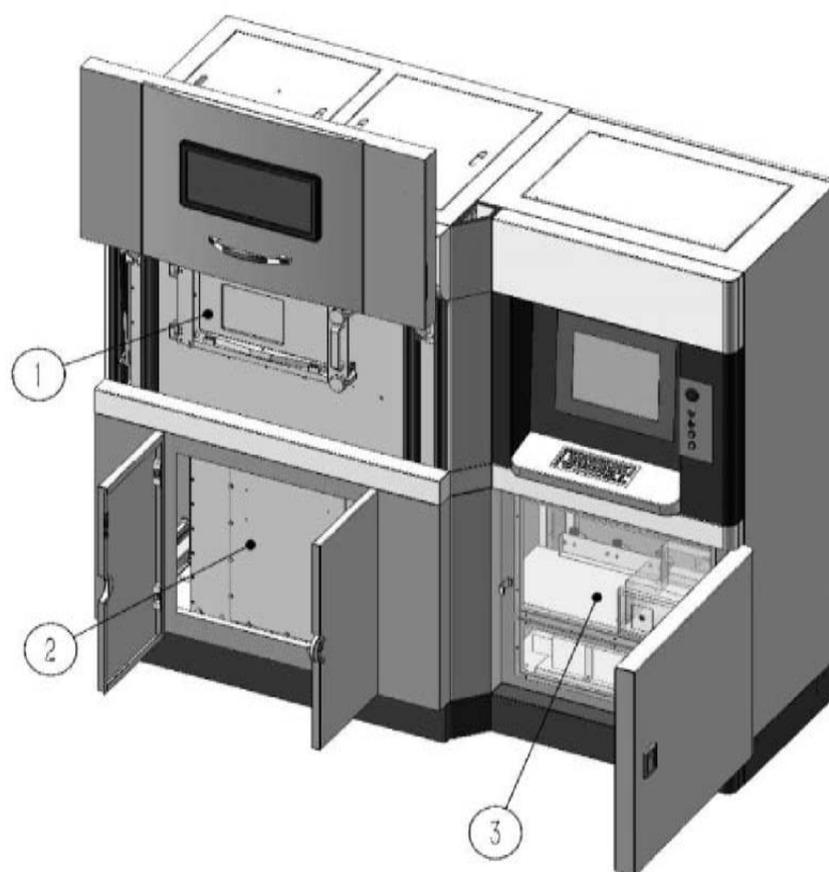
Рисунок 5.4 – Внешний вид 3D-принтера модели EP-M250 (задний вид)



1 – верхняя крышка; 2 – верхняя крышка электрического шкафа; 3 – кондиционер

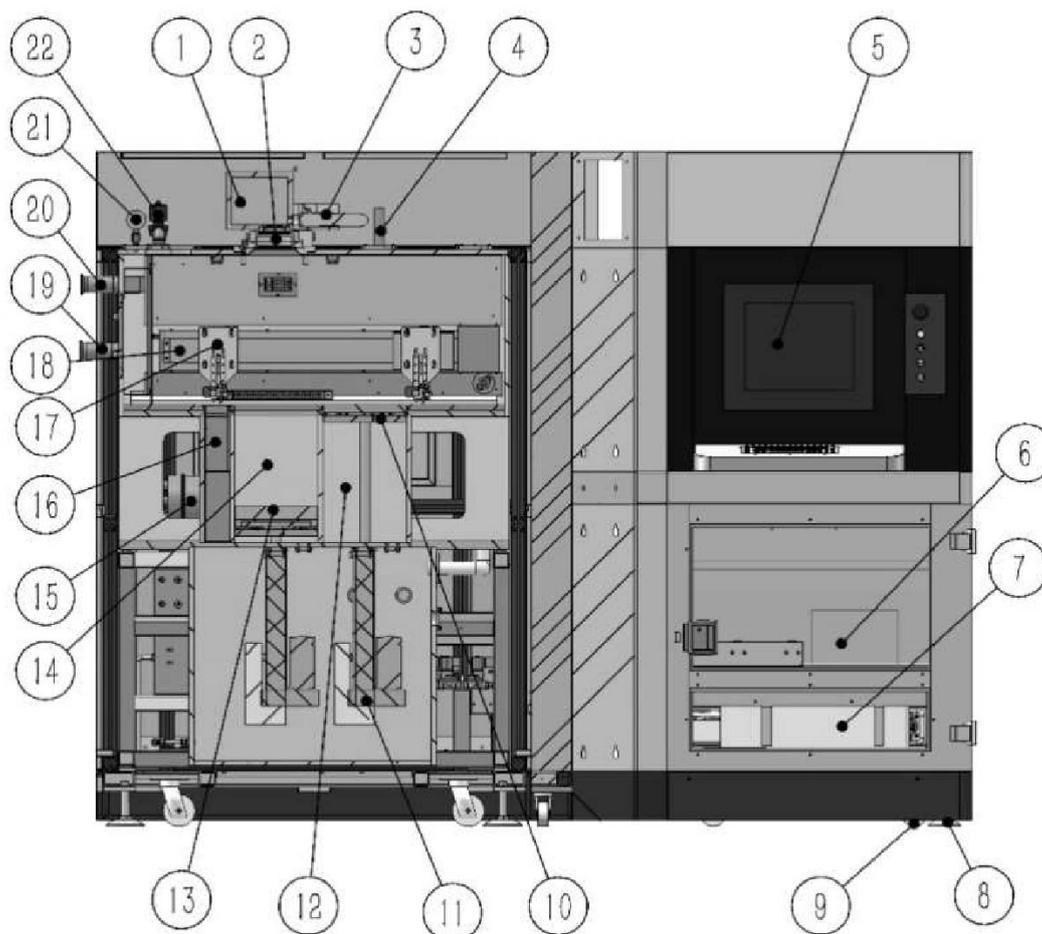
Рисунок 5.5 – Внешний вид 3D-принтера модели EP-M250 (вид сверху)

Основная внутренняя структура 3D-принтера показана на рисунках 5.6–5.8.



1 – внутренняя защитная дверь верхней камеры; 2 – внутренняя защитная дверь нижней камеры; 3 – промышленный компьютер и порт доступа к лазеру

Рисунок 5.6 – Внутренняя структура 3D-принтера модели EP-M250 (фронтальный вид)



1 – гальванометр; 2 – полевое зеркало; 3 – коллиматор (расширитель луча); 4 – датчик давления; 5 – экран; 6 – промышленный компьютер; 7 – оптоволоконный лазер; 8 – опора; 9 – ролик; 10 – поршень привода подачи материала; 11 – линейный привод подачи материала; 12 – цилиндр привода подачи; 13 – поршень платформы построения; 14 – формовочный цилиндр; 15 – блок фильтрации отработавших газов; 16 – бункер для порошка; 17 – ракель; 18 – линейный привод ракеля; 19 – воздухозаборный канал; 20 – возвратный воздуховод; 21 – манометр; 22 – электромагнитный клапан выпускной камеры

Рисунок 5.7 – Внутренняя структура 3D-принтера модели EP-M250 (задний вид)

Функции каждого компонента структуры 3D-принтера следующие.

Гальванометр: основная функциональная часть лазерного сканирования, используемая для управления сканированием лазерного луча в эффективном поле зрения.

Коллимационный расширитель луча: изменение диаметра и угла расходимости луча, излучаемого лазером.

Полевое зеркало: фокусировка лазерного луча.

Датчик давления (манометр): определение давления в камере в режиме реального времени во время работы.

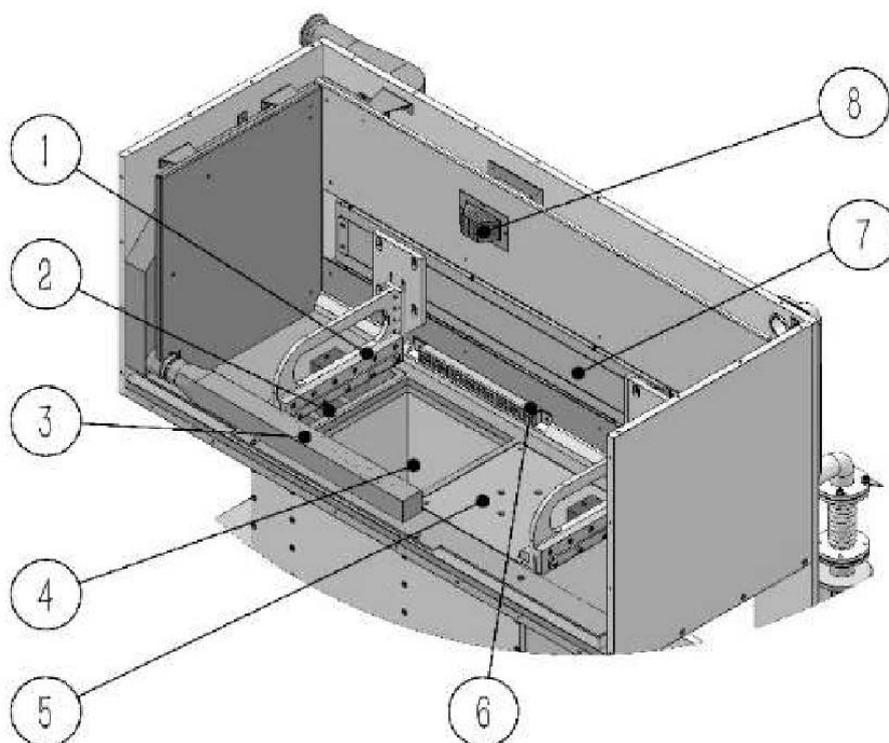
Блок фильтрации отработавших газов: фильтрация газов, выходящих из машины.

Линейный привод ракеля: приводит в движение систему для повторного нанесения покрытия от подающей платформы к платформе построения. Металлический порошок в подающей платформе равномерно распределяется по платформе построения вместе с движением ракеля.

Поршень привода подачи и платформы построения: носитель порошка и деталей.

Воздухозаборный канал и возвратный воздуховод: перенос пыли и пепла, образовавшегося в результате лазерного плавления порошка, в пылеуловитель и возврат отфильтрованного газа в технологическую камеру.

Электромагнитный клапан выпускной камеры: снижение избыточного давления, обеспечивающее поддержание давления в камере в определенном диапазоне.



1 – ракель; 2 – пересыпной канал бункера; 3 – всасывающий патрубок; 4 – платформа построения; 5 – подающая платформа (фидер); 6 – нижний выход инертного газа; 7 – линейный привод ракеля; 8 – верхний выход инертного газа

Рисунок 5.8 – Принципиальная схема формовочной камеры

5.6 Порядок выполнения лабораторной работы

1 Получить чертеж или CAD-модель детали у преподавателя.

2 Проанализировать информацию о детали: размеры и допуски, геометрию, материал, функциональное назначение, качество поверхности.

3 Выполнить оптимизацию конструкции детали – задать параметры печати и произвести операцию слайсинга – загрузить управляющую программу в 3D-принтер – проверить управляющую программу в эмуляторе – при необхо-

димости внести корректировки – запустить печать – по окончании печати произвести анализ и дать рекомендации по постобработке детали.

4 Оформить отчёт.

5.7 Содержание отчета

Отчёт по лабораторной работе выполняется на отдельных листах бумаги или в тетради. Он должен содержать следующее:

- название и цель лабораторной работы;
- анализ конструкции и порядок подготовки детали к 3D-печати;
- порядок SLM-печати детали;
- рекомендации по постобработке детали после 3D-печати;
- ответы на контрольные вопросы;
- анализ полученных результатов и выводы.

Контрольные вопросы

- 1 Как работает принтер для SLM-печати?
- 2 Какие материалы применяются для SLM-печати?
- 3 Какие технические газы применяются для SLM-печати?
- 4 Какие существуют методы постобработки деталей после SLM-печати?
- 5 Какие ограничения присущи 3D-печати по технологии SLM?
- 6 Какие основные элементы внешней конструкции 3D-принтера модели EP-M250 Вы знаете?
- 7 Какие основные элементы внутренней структуры 3D-принтера модели EP-M250 Вы знаете?
- 8 Какое функциональное назначение каждого из основных элементов структуры 3D-принтера модели EP-M250?
- 9 Что такое рапель, материал и назначение?
- 10 Какой тип лазерного источника установлен в 3D-принтере модели EP-M250?

Список литературы

1 **Calderaro, D. R.** Selection of additive manufacturing technologies in productive systems : a decision support model / D. R. Calderaro, D. P. Lacerda, D. R. Veit // Gestao & Producao. – 2020. – № 3. – P. 1–45.

2 Knowledge base. Design guidelines. Hubs [Electronic resource]. – 2022. – Made of access: <https://www.hubs.com/knowledge-base/design-guidelines/>. – Date of access: 10.01.2022.

3 **Зленко М. А.** Аддитивные технологии в машиностроении : учебное пособие / М. А. Зленко, А. А. Попович, И. Н. Мутылина. – Санкт-Петербург : Политехн. ун-т, 2013. – 200 с.