

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Факультет компьютерного проектирования

Кафедра инженерной графики

О. С. Киселевский

ТВЕРДОТЕЛЬНОЕ ТРЁХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В AUTODESK INVENTOR

*Рекомендовано УМО по образованию в области
информатики и радиоэлектроники для специальностей I ступени
высшего образования, закреплённых за УМО по образованию в области
информатики и радиоэлектроники, в качестве учебно-методического пособия
для практических занятий*

Минск БГУИР 2017

УДК 004.925.84(076)

ББК 32.972.13я73+30в6я73

К44

Рецензенты:

кафедра инженерной графики учреждения образования
«Белорусский государственный аграрный технический университет»
(протокол №13 от 15.02.2016);

заведующий кафедрой динамики, прочности и износостойкости
транспортных средств учреждения образования
«Белорусский государственный университет транспорта»,
доктор технических наук, доцент А. В. Путято

Киселевский, О. С.

К44

Твердотельное трёхмерное моделирование в Autodesk Inventor :
учеб.-метод. пособие / О. С. Киселевский. – Минск : БГУИР, 2017. –
90 с. : ил.

ISBN 978-985-543-321-8.

Рассмотрены в виде тематических занятий современные методы и средства создания трёхмерных моделей деталей и узлов, подготовки конструкторской документации. Содержатся конкретные примеры и упражнения для самостоятельного закрепления материала. Предназначено для студентов, изучающих учебные дисциплины «Инженерная компьютерная графика», «Начертательная геометрия и инженерная графика».

УДК 004.925.84(076)

ББК 32.972.13я73+30в6я73

ISBN 978-985-543-321-8

© Киселевский О. С., 2017

© УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 Первый уровень освоения Autodesk Inventor	5
Занятие 1	
Пользовательский интерфейс Autodesk Inventor.	
Форматы электронных документов	5
Занятие 2	
Создание и редактирование 2D-эскизов	9
Занятие 3	
Работа с конструктивными элементами	15
Занятие 4	
Решение позиционных задач начертательной геометрии	23
Цветная вклейка между 28 и 29 страницами	
2 Второй уровень освоения Autodesk Inventor	29
Занятие 5	
Создание твердотельных моделей деталей	29
Занятие 6	
Построение моделей сложной формы	45
Занятие 7	
Моделирование изделий из листового металла.....	57
Занятие 8	
Создание твердотельных моделей сборочных единиц	67
Занятие 9	
Преобразование 3D-модели в чертёж.....	79
ПРИЛОЖЕНИЕ А	
Чертежи деталей.....	84
ЛИТЕРАТУРА.....	89

ВВЕДЕНИЕ

Программная продукция компании Autodesk заняла прочное место в арсенале современного инженера. Начиная с выпуска AutoCAD в 1982 году компания разработала широчайший спектр инновационных программ, позволяющих инженерам, конструкторам, архитекторам не только эффективно проектировать, но также испытывать свои идеи ещё до их реализации. Переход на 3D-проектирование с использованием Autodesk Inventor – лучший выбор для тех, кто освоил AutoCAD. Наличие самого быстрого и простого механизма перехода к работе в объеме позволяет Autodesk Inventor на протяжении почти пятнадцати лет существенно превосходить по уровню продаж любой из конкурирующих продуктов.

В одном из своих пресс-релизов компания Autodesk позиционировала свой продукт Autodesk Inventor под девизом «Одно приложение для всех проектных задач». Подобное заявление вполне оправдано. Программный продукт позволяет осуществлять функциональное проектирование деталей, сборочных единиц и сложных сборок, сварных металлоконструкций, тонколистовых деталей, кабельных систем. Содержащиеся в программе «мастера проектирования» позволяют в кратчайшие сроки синтезировать широкий спектр разъёмных и неразъёмных соединений, зубчатых зацеплений, ременных передач, опираясь на требования и рекомендации как международного стандарта ISO, так и любых национальных стандартов, включая ГОСТ. Встроенный модуль CAE (Computer Aided Engineering) позволяет производить расчёт деталей машин с учётом их физических свойств, производить имитационное моделирование, как, например, расчёт напряжений, проверка запаса прочности. Для более сложных расчётов также предусмотрен простой экспорт данных о твердотельной модели в программы ANSYS. Графическое ядро программы Autodesk Inventor позволяет описывать геометрические формы с соблюдением принципов параметрического адаптивного моделирования, использования размерно-управляемых элементов. База данных программы содержит огромный перечень стандартных компонентов (изделий и узлов), который с каждой новой версией пополняется. Графический редактор предоставляет возможность не только автоматизированного, но и автоматического создания изображений (проекций, видов) чертежа, ассоциативных спецификаций согласно правилам ЕСКД.

Наметившееся в последние 5 лет продуктивное сотрудничество компании Autodesk с производителем мощнейшего средства САПР радиоэлектронной промышленности Altium Designer вместе с политикой бесплатного предоставления лицензий на использование продукции компании Autodesk в сфере образования делают программу Autodesk Inventor самой перспективной для преподавания в технических вузах.

1 Первый уровень освоения Autodesk Inventor

В разделе содержатся теоретические сведения и практические задания, рассчитанные на развитие начального общеинженерного уровня владения твердотельным 3D-моделированием. Здесь рассмотрены:

- элементы рабочих окон (интерфейса) приложения Autodesk Inventor;
- способы построения твердотельных моделей объёмных примитивов (геометрических тел);
- способы решения типовых позиционных задач начертательной геометрии на тему «Пересечение поверхностей».

Занятие 1

Пользовательский интерфейс Autodesk Inventor.
Форматы электронных документов

Пользовательский интерфейс. Стандарты интерфейса, используемые в Autodesk Inventor, полностью соответствуют стандартам Microsoft Windows. Поэтому интерфейс Autodesk Inventor похож на интерфейс большинства приложений Windows. В нём имеется два основных элемента: стандартная панель приложения, отображающаяся при запуске Autodesk Inventor, и графическое окно, отображающееся для каждого открытого файла (рисунок 1).

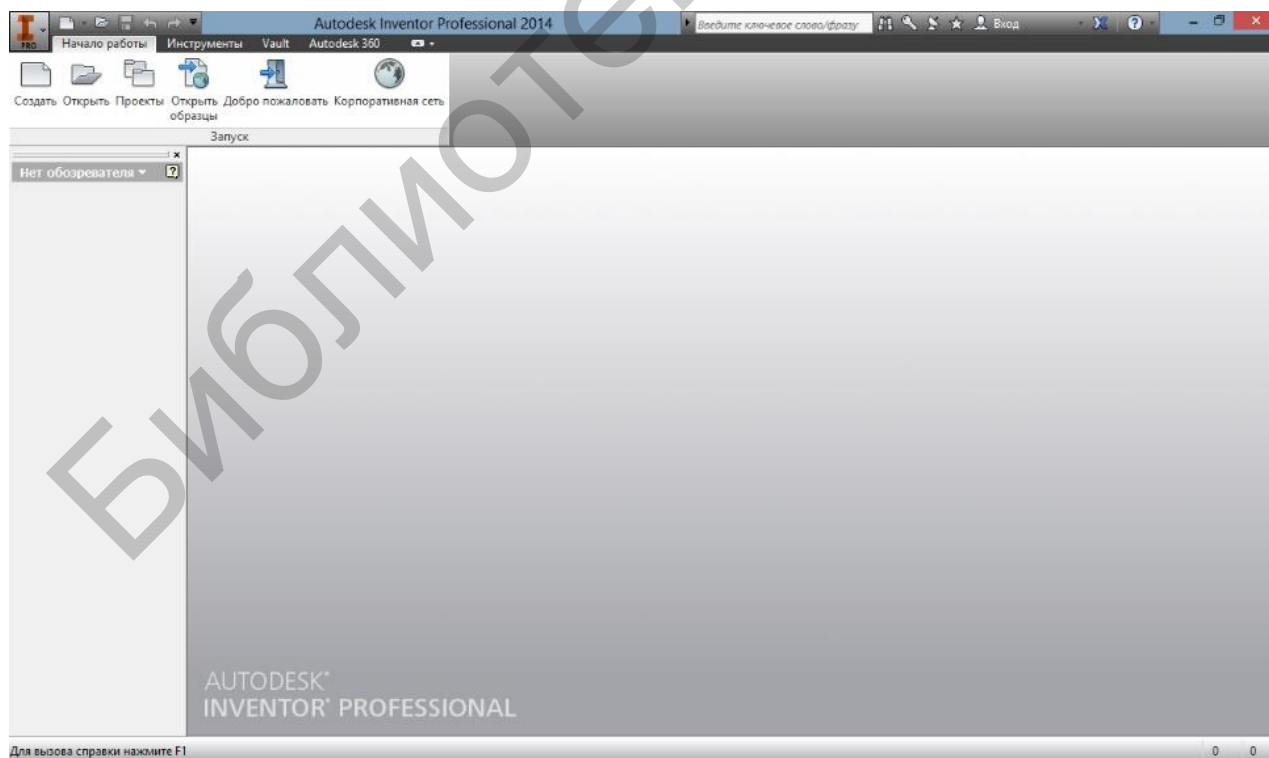


Рисунок 1 – Окно приложения Autodesk Inventor Professional 2014

В самом начале при запуске приложения возникает диалоговое окно **Добро пожаловать**, предлагающее **открыть** уже существующий либо **создать** новый файл или проект.

Те же команды **Открыть** и **Создать** также доступны и в контекстном меню стандартной панели интерфейса (в левом верхнем углу экрана).

При выборе режима **создать** при создании нового файла диалоговое окно будет содержать **список доступных шаблонов** (рисунок 2). Свойства и настройки шаблонов учитывают требования различных государственных и национальных стандартов, в том числе стандартов, использующих различные единицы измерения (миллиметры, дюймы, градусы, радианы, килограммы, фунты и т. д.). По этому принципу шаблоны документов размещены в отдельные папки:

- **Templates / Mold Design;**
- **Templates / Британские;**
- **Templates / Метрические.**

Следует выбрать метрическую систему.

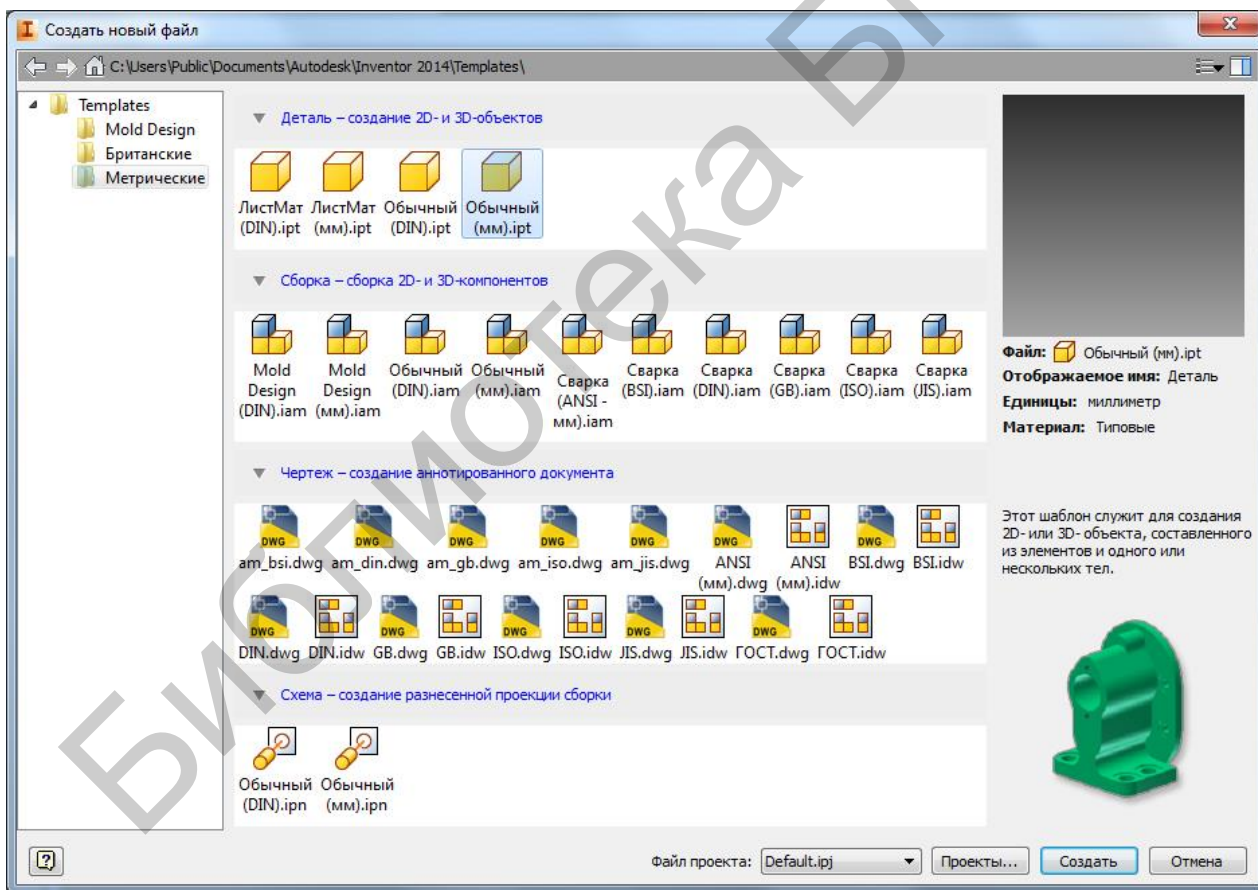






Рисунок 2 – Окно создания нового файла Autodesk Inventor Professional 2014 с перечнем доступных шаблонов

Шаблоны файлов. Все шаблоны файлов, с которыми может работать Autodesk Inventor, можно разделить на четыре типа: **деталь, сборка, чертёж и схема**. Отличить их можно как по расширению имени файла, так и по пиктограмме (графическому значку). Стандартные шаблоны, их назначения, графические пиктограммы и расширения файлов перечислены в таблице 1.

Таблица 1 – Стандартные шаблоны файлов в Autodesk Inventor

Тип файла	Пиктограмма	Расширение
Деталь – стандартный шаблон детали, твердотельного геометрического тела, поверхности либо детали, согнутой из листового материала		*.ipt
Сборка – сборочная единица или сборочный узел, собранный из отдельных твердотельных подвижных деталей либо сварная конструкция		*.iam
Чертёж – плоские изображения деталей или изделий, построенные по принципам проекционной геометрии согласно выбранному стандарту		*.idw
Схема – анимационная модель изделия, предназначенная для пояснения принципа его работы		*.ipn

Для того чтобы начать работу над созданием новой твердотельной детали, либо твердотельного геометрического тела, в окне шаблонов следует выбрать **Обычный (мм).ipt**, соответствующий созданию твердотельной единичной детали. После этого на экране появятся графическое окно, браузер и инструментальная палитра (рисунок 3).

Инструментальная палитра (рисунок 3, позиция 1) расположена сверху и содержит органы управления – команды создания и редактирования объёмных тел. В процессе работы над моделью в зависимости от стадии её выполнения содержание инструментальной палитры будет меняться.

Браузер (рисунок 3, позиция 2) расположен вертикально вдоль левого края экрана. В нём будет размещаться «дерево» построений: последовательность плоских эскизов и порядок действий над ним. А пока в нём размещена папка «Начало», содержащая три главные координатные оси и три проекционные плоскости.

В **графическом окне** (рисунок 3, позиция 3) пока пусто. В нём будут отображаться сами построения: эскизы, трёхмерная модель. В правом верхнем углу графического окна размещены органы управления (рисунок 3, позиция 4), позволяющие вращать, масштабировать и перемещать изображение в окне.

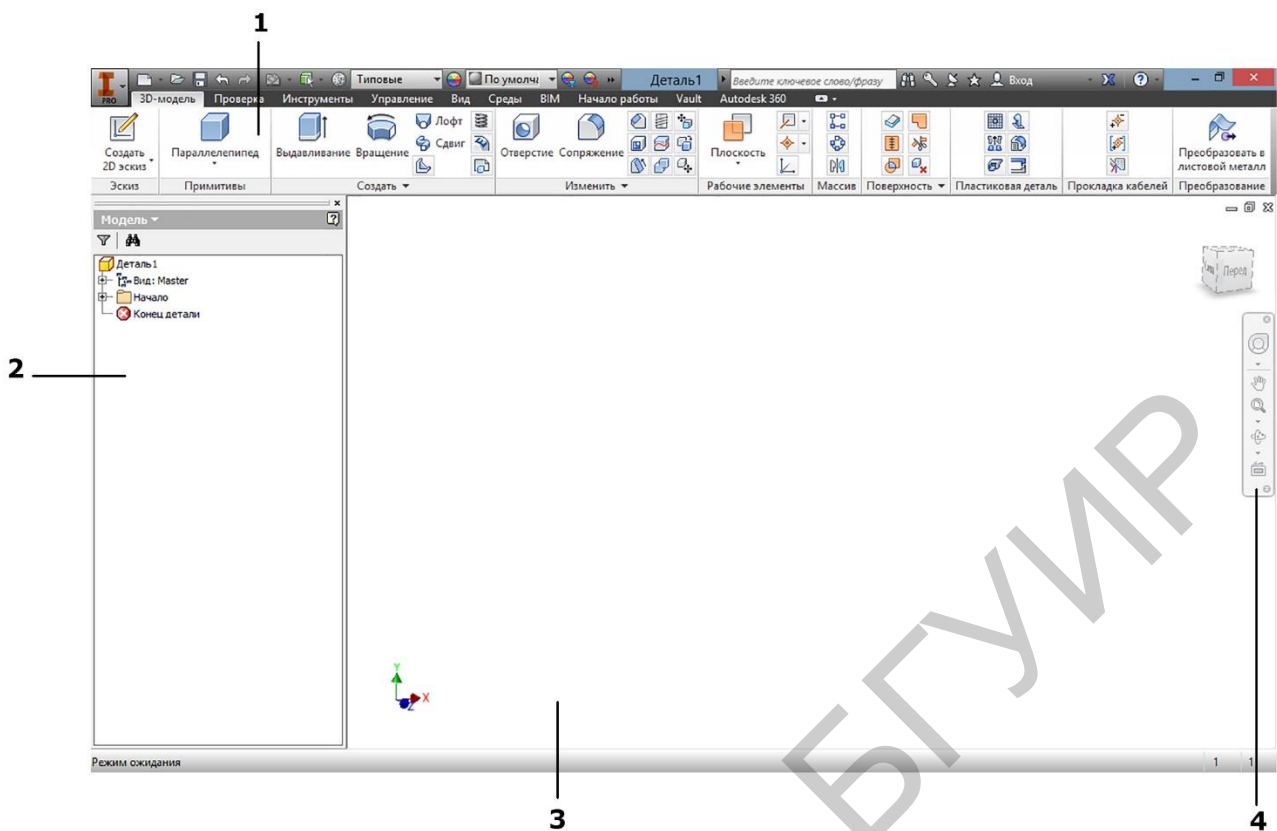


Рисунок 3 – Интерфейс Autodesk Inventor Professional 2014 в режиме создания детали

Способ хранения твердотельной 3D-модели в памяти компьютера принципиально отличается от векторного и растрового способов хранения графической информации. Структура информации о пространственной форме 3D-модели больше напоминает алгоритм, последовательность действий или «дерево» построений. А эти действия заключаются в создании плоских 2D-эскизов и последующем их преобразовании выдавливанием или вращением в простейшую объёмную геометрическую фигуру (примитив). В связи с этим создание любого трёхмерного объекта начинается с создания его **2D-эскиза**.

Вопросы для самоконтроля

1. Из каких основных компонентов состоит интерфейс программы Autodesk Inventor Professional 2014?
2. Перечислите четыре типа шаблонов файлов Autodesk Inventor. Чем они отличаются?
3. Чем отличается принцип создания 3D-модели от известных вам векторного и растрового способов хранения графической информации?

Занятие 2

Создание и редактирование 2D-эскизов

Примеры формообразования геометрических примитивов. Форму любой технической детали можно разбить на элементарные объёмные геометрические тела и поверхности – примитивы. В начертательной геометрии тела принято классифицировать по свойствам их поверхности на линейчатые и нелinearчатые, граные и гладкие. В твердотельном моделировании геометрические тела удобнее классифицировать по способу их формообразования. Такой способ классификации позволяет группировать конструктивные элементы изделия по способу и технологичности их построения и изготовления.

Практически все геометрические примитивы можно разбить на две категории тела вращения и тела выдавливания, например:

- шар можно получить вращением окружности вокруг её оси;
- тор – вращением окружности вокруг оси, не совпадающей с осью окружности;
- призму и параллелепипед – выдавливанием контура;
- пирамиду – выдавливанием многоугольника, но по сходящимся траекториям;
- цилиндр – как выдавливанием окружности, так и вращением прямоугольника.

На рисунке 4 изображены некоторые из примитивов, образованных вращением, на рисунке 5 – выдавливанием контура.

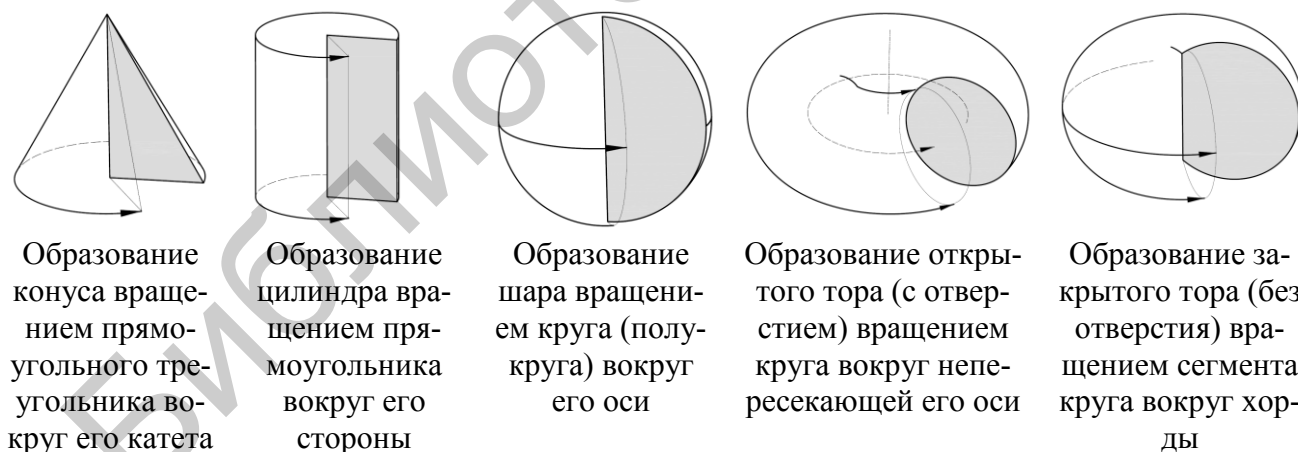
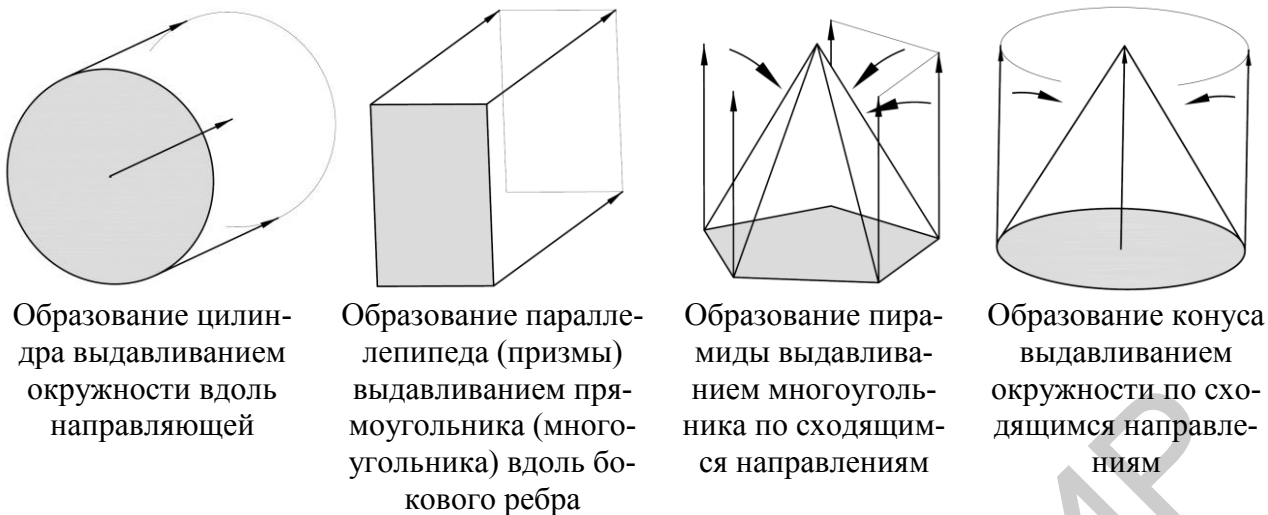


Рисунок 4 – Образование простейших геометрических тел (примитивов) вращением



Образование цилиндра выдавливанием окружности вдоль направляющей

Образование параллелепипеда (призмы) выдавливанием прямоугольника (многоугольника) вдоль бокового ребра

Образование пирамиды выдавливанием многоугольника по сходящимся направлениям

Образование конуса выдавливанием окружности по сходящимся направлениям

Рисунок 5 – Образование простейших геометрических тел (примитивов) выдавливанием

Создание 2D-эскиза. Для создания эскиза необходимо воспользоваться командой **Создать 2D-эскиз** в инструментальной панели и выбрать одну из появившихся в графическом окне проекционных плоскостей (рисунок 6).

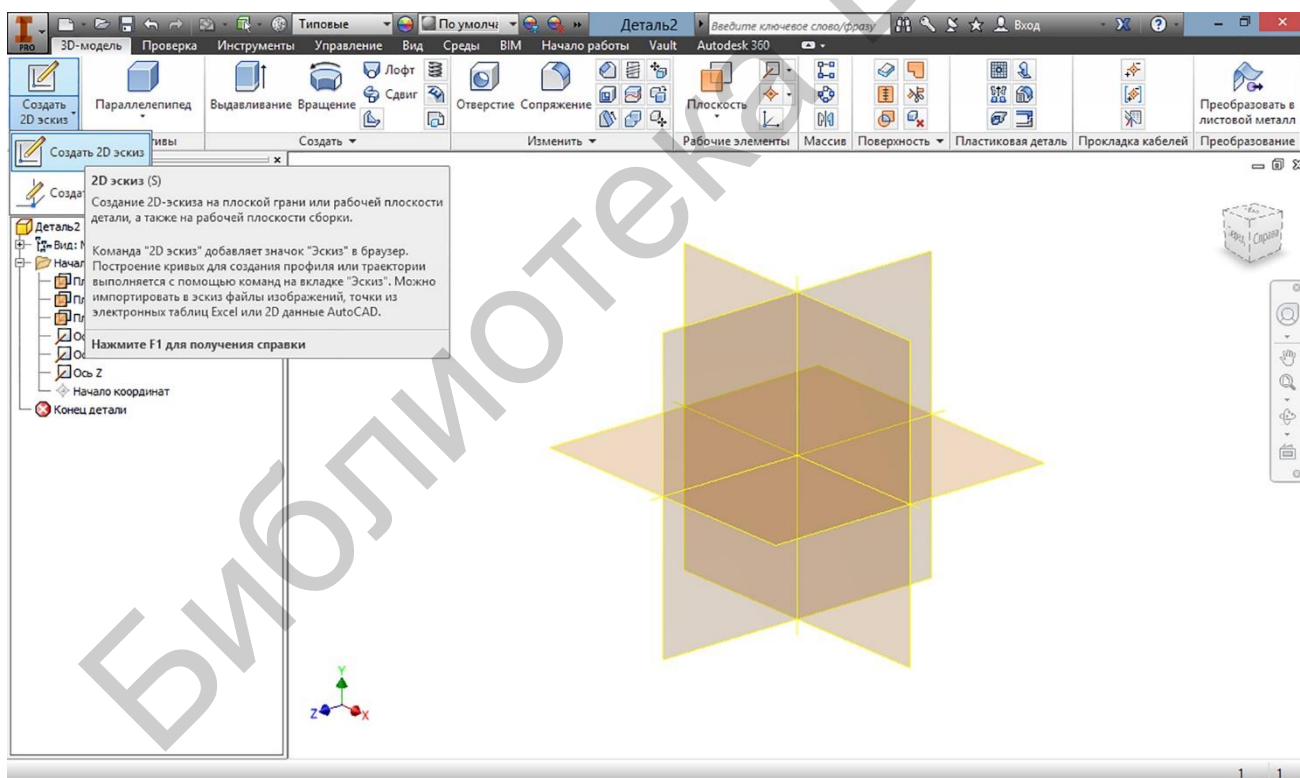


Рисунок 6 – Выбор рабочей плоскости для создания 2D-эскиза

В результате инструментальная палитра работы с объёмными телами должна исчезнуть, а на её месте должна появиться панель инструментов работы с плоскими эскизами, как показано на рисунке 7.

Эта инструментальная палитра в целом похожа на панели инструментов AutoCAD. Она также содержит:

- панель **Рисование** отрезков, линий и геометрических фигур;
- панель редактирования, названную здесь **Изменить**;
- панель генерации массивов и создания отражений **Массив**;
- панель инструментов нанесения размеров, объединённую с панелью

Зависимость.

Можно убедиться, что графический редактор 2D-эскизов в Inventor более продуман, чем в AutoCAD, и адаптирован для интерактивной работы. Например, кроме стандартного способа построения окружности по её радиусу и координатам центра, здесь возможно построение окружности по трём касательным к ней либо путём вписывания её в треугольник (см. рисунок 7).

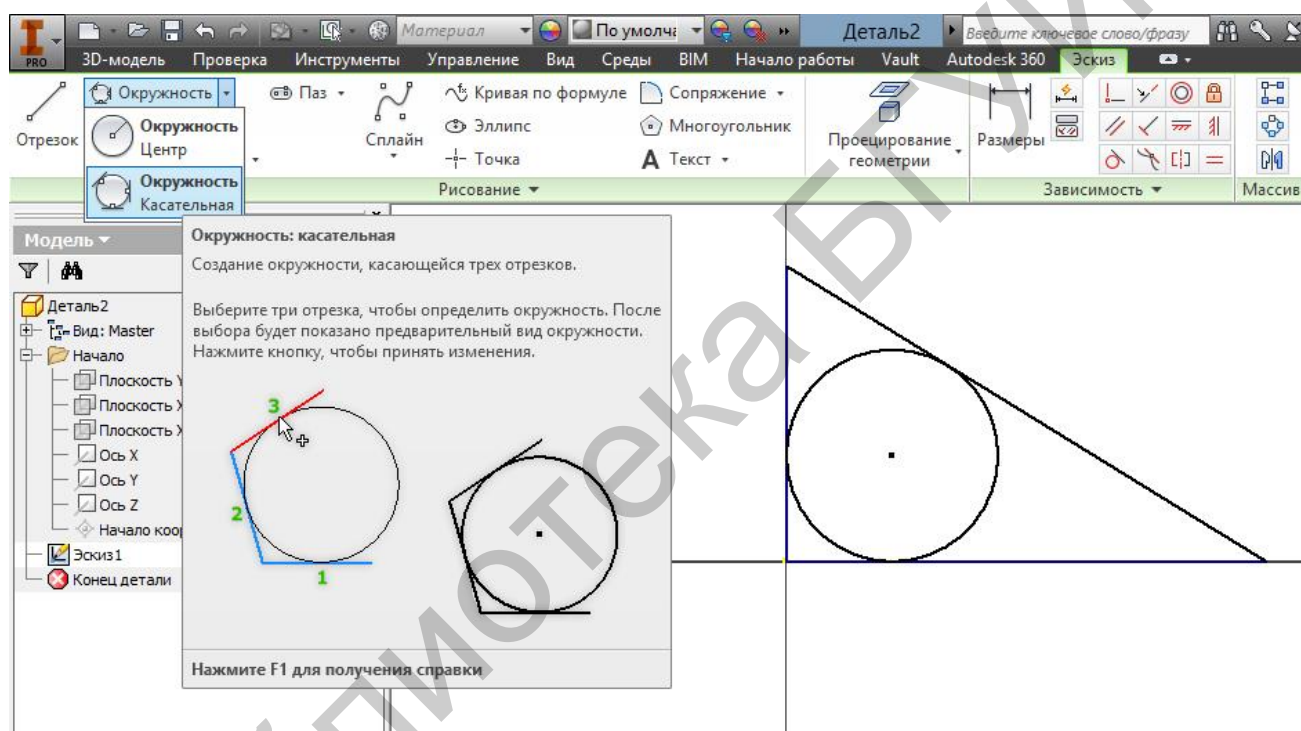


Рисунок 7 – Построение окружности по трём касательным в режиме создания и редактирования 2D-эскиза

Также построение прямоугольника можно начать не только с его вершины, но и из точки пересечения его диагоналей (рисунок 8).

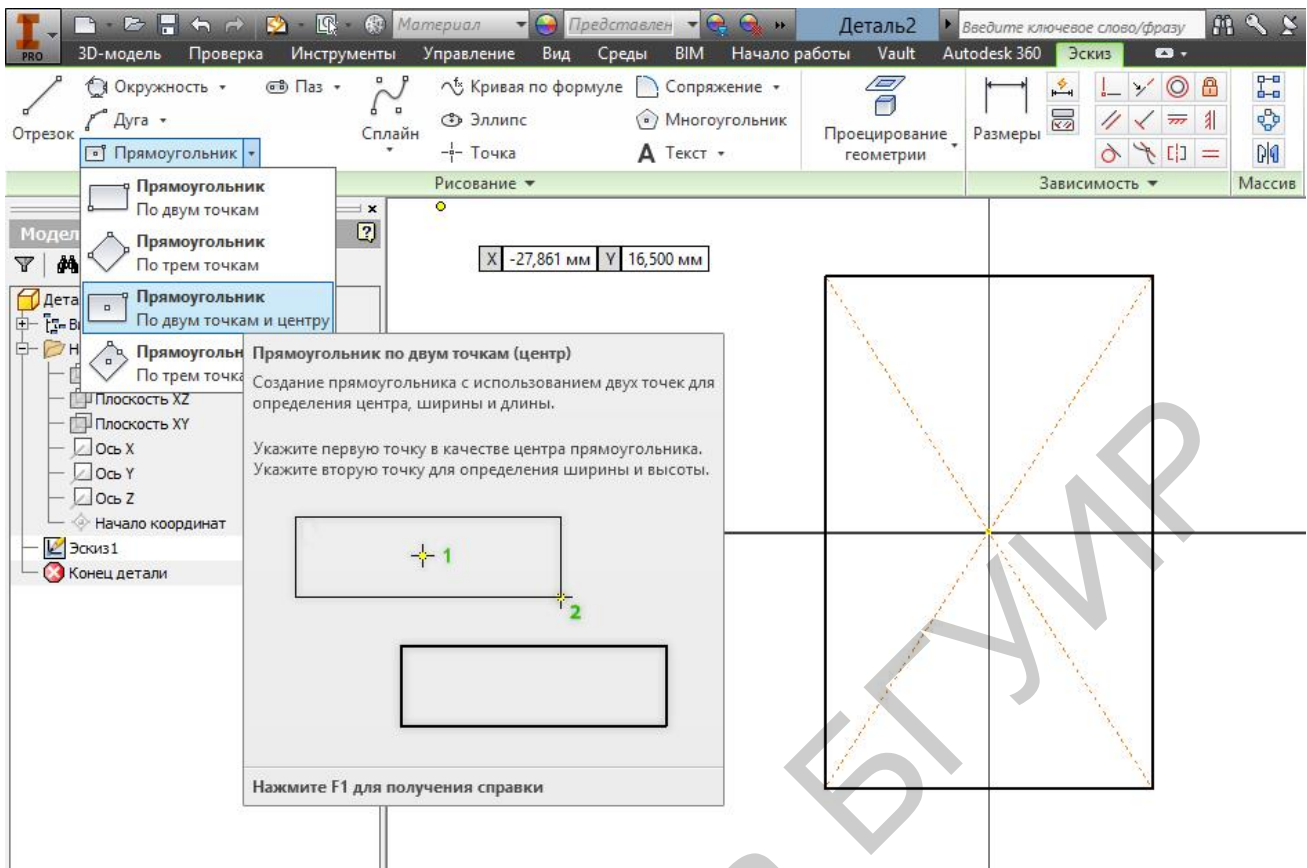


Рисунок 8 – Построение прямоугольник из точки пересечения его диагоналей

В Inventor расширены возможности построения сплайновых кривых. Они могут быть заданы как свободная форма, и как сегменты Безье (рисунок 9), и попросту импортированы в виде таблиц и зависимостей из программ математической статистики и Microsoft Excel. Также предусмотрен способ задания кривых математической формулой в явном или неявном виде в декартовых или полярных координатах.

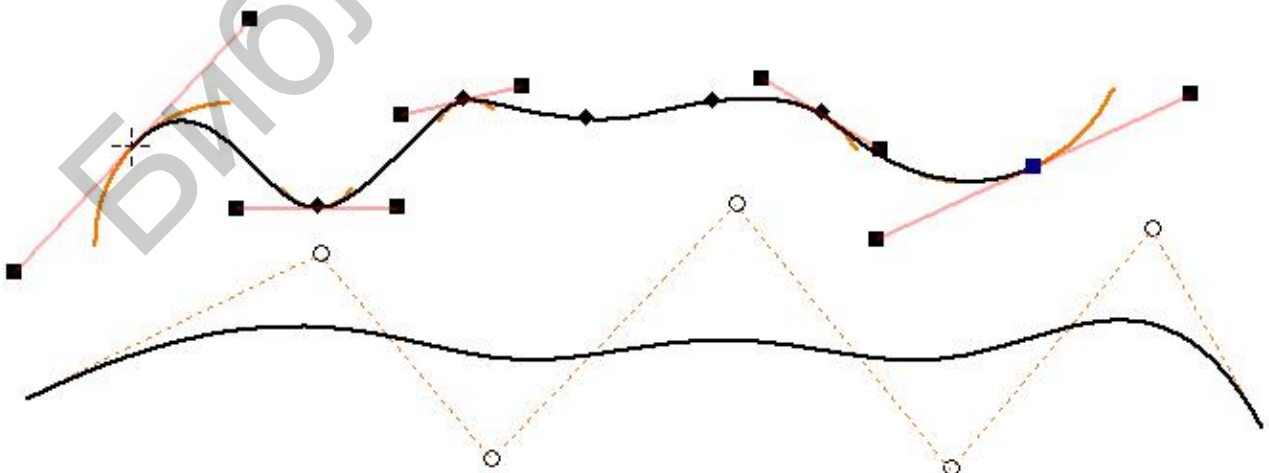


Рисунок 9 – Сплайновые кривые, построенные с помощью управляющих вершин и методом интерполяции

Цвет линий в эскизе. В этом графическом редакторе нет ни режимов работы со слоями, ни настройки свойств линий (цвет, толщина, тип линии). В то же время можно заметить, что катеты треугольника на рисунке 7, исходящие из центральной точки, оказались синего цвета, а гипотенуза – чёрного. В таблице 2 поясняется, что означает цвет линии при образовании эскиза.

Таблица 2 – Значение цвета линии в образовании эскиза

Цвет линии эскиза	Значение линии, её свойства
Жёлтый	Наследуемая (спроецированная) геометрия. Построения и линии, уже существовавшие ранее, до начала работы с данным конкретным эскизом (скетчем). Эти линии появляются при проецировании геометрии «Начало» или при проецировании уже имеющихся на предмете граней, рёбер и контуров. Цвет начальной точки
Чёрный	Нефиксированная геометрия. Линии, выполненные в данном эскизе, но не привязанные к наследуемой геометрии. Привязать линии к наследуемой геометрии можно путём наложения зависимостей (привязок) либо путём нанесения размеров
Синий	Фиксированная геометрия. Линии, положение которых строго определено размерами или зависимостями (привязками)
<p>П Р И М Е Ч А Н И Е – Перечисленные цвета характерны только для цветовой схемы Презентация. В данном учебно-методическом пособии эта схема использована как наиболее подходящая для полиграфии. В случае использования цветовой схемы, установленной по умолчанию, нефиксированная геометрия будет отображаться зелёным цветом.</p>	

Таким образом, для того чтобы все три стороны треугольника на рисунке 7 (а вместе с ними и «привязанная» к ним окружность) стали синими – фиксированными, необходимо наложить на них зависимости (привязки) либо нанести размеры.

Нанесение размеров на 2D-эскиз. Размеры в приложение Autodesk Inventor наносятся просто. В отличие от AutoCAD панель расстановки размеров здесь заменяет всего одна кнопка инструментальной палитры – **Размеры**. Эта команда позволяет указывать как расстояние между точками, так и расстояние от точки до отрезка, расстояние между отрезками прямых или концентрических окружностей, угол между прямыми, радиус дуги или диаметр окружности и др. При этом программа сама распознаёт характер линий и их взаимное расположение и предлагает требующийся тип размера: в случае пересекающихся линий укажет угол между ними, в случае параллельных – кратчайшее расстояние, а в случае если линией является дуга или окружность, – её радиус или диаметр. Достаточно просто выбрать эту команду и указать на экране курсором определяемую линию.

Кроме того, все построения и зависимости в Inventor **параметрические**, поэтому само размерное число можно в любой момент поменять, и в случае если новое значение не вызовет серьёзных противоречий, изменится и сама форма определяемой линии.

Таким образом, для фиксации треугольника в примере на рисунке 7 достаточно нанести любые два размера: например, длины его катетов, длину одного катета и величину одного из углов или величину угла с диаметром вписанной окружности и т. п. После этого все линии эскиза станут фиксированными.

На рисунке 1 цветной вклейки эскиз контура детали показан до нанесения размеров и после. В этом примере использованы настройки цветовой схемы «по умолчанию».

Ранее, выполняя чертежи вручную либо в среде AutoCAD, вы неоднократно сталкивались с проблемой правильности расстановки размеров. Эта тема всегда вызывала немало вопросов. Недостаточное количество размеров, как и их избыток, являлись главными источниками ошибок и замечаний. Autodesk Inventor позволяет освободить часть ресурсов вашего интеллекта, взяв на себя контроль над количеством указанных в эскизе размеров. До тех пор пока размеров будет не хватать, некоторые линии эскиза не изменят цвет. А при попытке дважды указать либо косвенно продублировать уже обозначенный размер вы получите от приложения сообщение об ошибке.

Заключительным действием в построении эскиза является команда **Принять эскиз** в инструментальной палитре. Ею следует воспользоваться после того, как необходимый эскиз построен, и все необходимые размеры и зависимости нанесены. После выполнения этой команды инструментальная палитра рисования эскиза закрывается и на её месте снова возникает панель работы с трёхмерными объектами.

В приложении А на чертежах 1–5 предложены примеры практических заданий для закрепления темы. По данным чертежам необходимо построить в Autodesk Inventor эскизы и нанести требуемые размеры.

Вопросы для самоконтроля

1. Как вызвать режим рисования эскиза?
2. Что означает цвет линий на эскизе?
3. В чём заключается сущность параметрического создания эскиза?
4. Как указывают размеры на эскизах?
5. Каким образом и после чего завершают работу над эскизом?

Занятие 3

Работа с конструктивными элементами

Вспомним, что процесс создания модели геометрического тела методами твердотельного моделирования можно разделить на две последовательные операции: создание эскиза и действия над ним (выдавливания, вращения и др.). В Autodesk Inventor эти две операции последовательны, т. е. не закончив эскиза, перейти к действию над ним нельзя, а не закончив действия над одним эскизом, нельзя перейти в следующему эскизу.

После того как эскиз выполнен, а вы убеждены в том, что все линии в нём определены и зафиксированы, все необходимые размеры нанесены, можно переходить к действию над ним. На данном этапе нужно **Принять эскиз**, что позволит избавиться от ставшей ненужной инструментальной панели **Эскиз**, вернув на её место панель **3D-модель** (рисунок 10). Простейшими действиями над эскизом, способными преобразовать его в 3D-модель, являются уже упомянутые в прошлом занятии выдавливание и вращение.

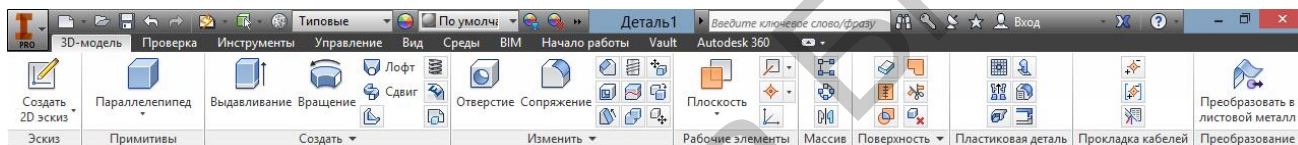


Рисунок 10 – Инструментальная палитра работы с конструктивными элементами

Вращение. Ранее построенный эскиз (рисунок 1 на цветной вклейке) преобразуем в тело вращения. Для этого в инструментальной палитре выберем конструктивный элемент **Вращение**. На экране появится диалоговое окно **Вращение** и облако динамического ввода параметров (рисунок 11). Команды и параметры диалогового окна и облака динамического ввода дублируют друг друга.

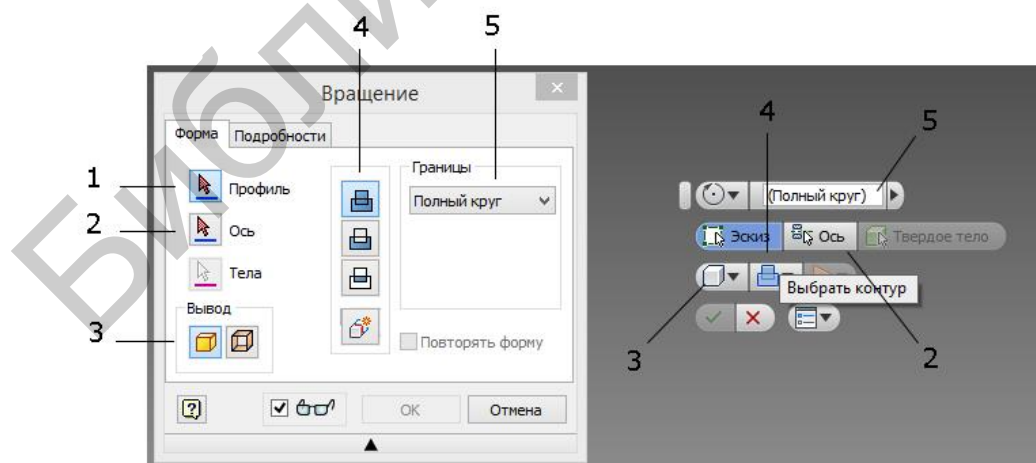


Рисунок 11 – Диалоговое окно и облако динамического ввода параметров команды **Вращение**

Кнопки 1 и 2 позволяют выбрать на эскизе вращаемый контур и ось вращения. Кнопками 3 можно переключить режимы твердотельного либо поверхностного моделирования. Группой кнопок 4 – это булева арифметика, добавление конструктивного элемента к существующей модели, вычитание из модели отверстия либо полости или логическое перемножение, когда необходимо оставить только ту часть, которая одновременно принадлежит к исходной и новой форме. Разумеется, в нашем случае, пока исходная форма не задана, две кнопки этой группы просто недоступны. В поле 5 при необходимости можно задать угол поворота исходного контура, если его нужно повернуть не на полный оборот.

Для преобразования 2D-эскиза в тело вращения достаточно выбрать замкнутый контур и ось вращения (рисунок 12).

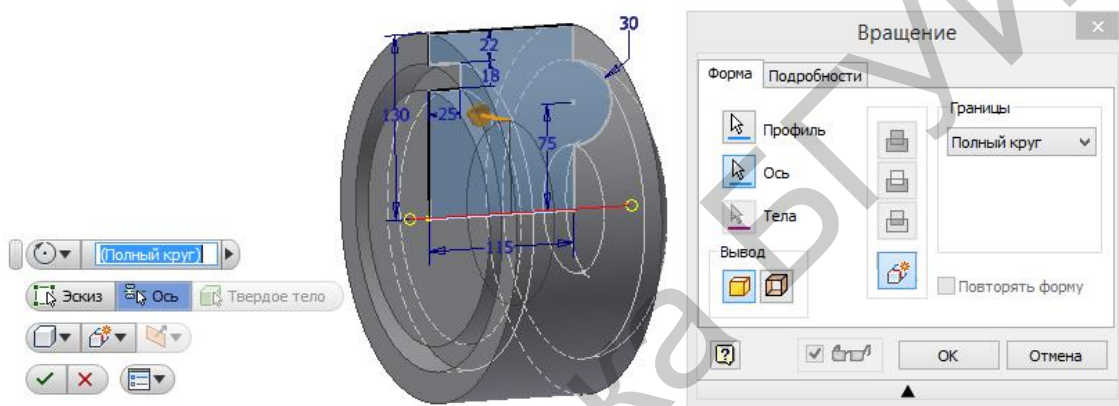


Рисунок 12 – Пример выполнения команды **Вращение**

Выдавливание. По аналогии с построением тел вращения выполняются тела выдавливания. Для этого в инструментальной палитре предусмотрена команда **Выдавливание**. В похожем диалоговом окне нужно указать выдавливаемый контур, режим твердотельного либо поверхностного моделирования, булеву арифметику добавления конструктивного элемента к существующей модели, вычитания из модели отверстия либо полости или логического перемножения. В зоне 5 можно численно указать протяжённость (дистанцию) выдавливания либо выбрать иные опции (на всю длину, до следующего, между). В диалоговом окне также встретится группа кнопок, регулирующих направление выдавливания: на себя, от себя, либо в обе стороны поровну (рисунок 13).

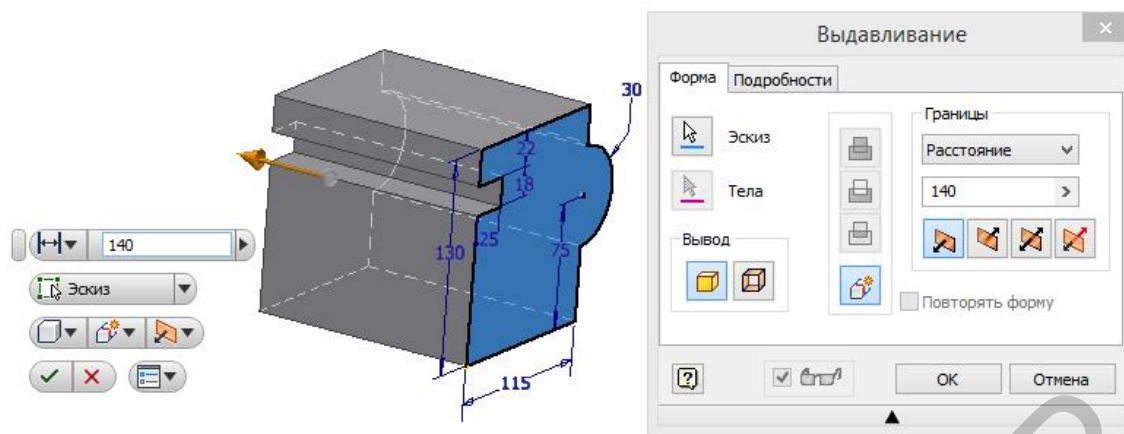


Рисунок 13 – Пример выполнения команды **Выдавливание**

Классификация способов формообразования. Возможности создания объёмных тел не ограничиваются командами выдавливания и вращения. В общем случае способы твердотельного формообразования в Autodesk Inventor можно разделить на следующие:

- основанные на одном эскизе;
- основанные на двух эскизах;
- основанные на множестве эскизов;
- не требующие эскизов.

Примерами действий, требующих одного эскиза, кроме уже рассмотренных команд **Вращение** и **Выдавливание**, могут служить **Ребро жёсткости**, **Отверстие** и **Пружина**.

Команда **Ребро жёсткости** отражает технологические особенности выполнения этого конструктивного элемента на деталях. Для выполнения этой команды необходим эскиз, содержащий форму ребра жёсткости и величину его толщины.

Команда **Отверстие** позволяет получать цилиндрические отверстия принятой формы: с резьбой, фаской, зенковкой, цековкой, коническим следом выхода сверла, прочими стандартными конструктивными элементами. Такой подход к формообразованию отверстий сокращает затраты времени на конструирование, позволяет пользоваться готовыми базами стандартных размеров резьбы, а при необходимости её изготовления упрощает компиляцию 3D-модели детали в программу действий станка с числовым программным управлением (ЧПУ) или 3D-принтера. Для выполнения этой команды в эскизе достаточно точками указать центры требуемых отверстий и в диалоговом окне настроить их параметры и характеристики (рисунок 14).

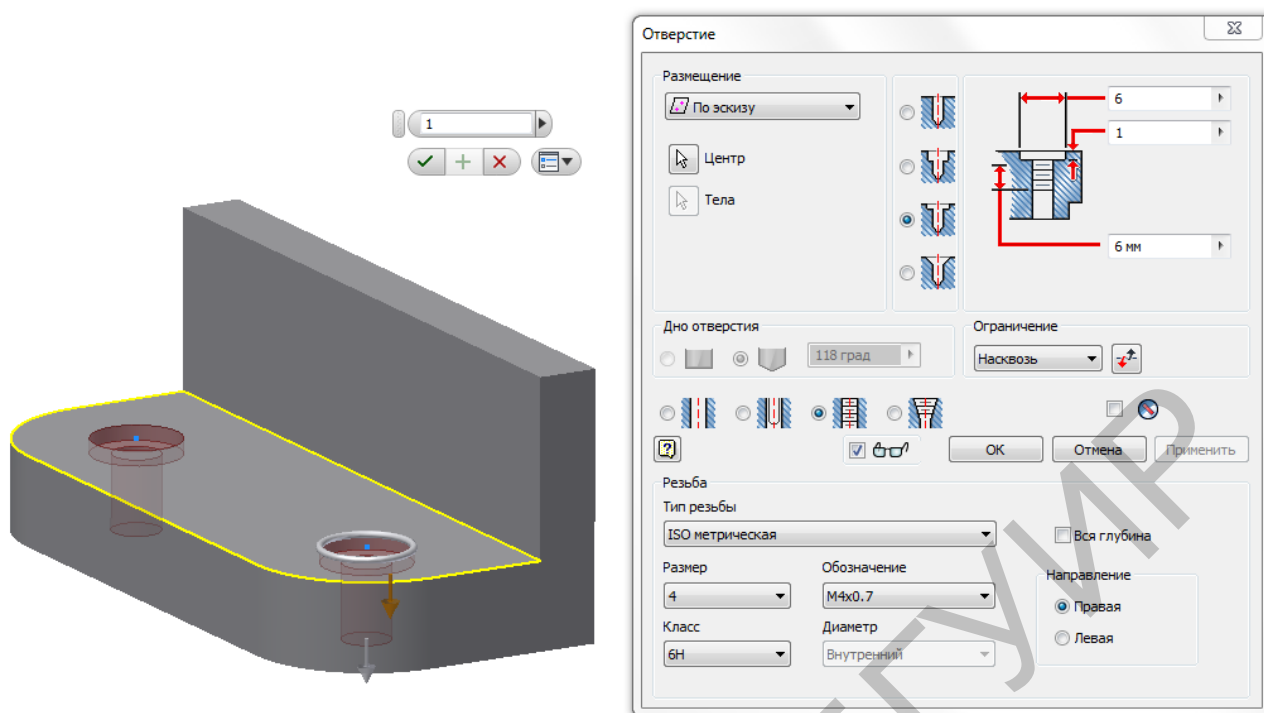


Рисунок 14 – Пример выполнения команды **Отверстие**

Команда **Пружина** позволяет строить винтовые цилиндрические и конические пружины (в случае добавления материала) или винтовые проточки на цилиндрических и конических поверхностях – резьбу (в случае вычитания материала). Для выполнения этой команды эскиз должен содержать профиль проволоки, из которой выполняется пружина и её ось вращения. Остальные данные вносятся в форму диалогового окна (рисунок 15).

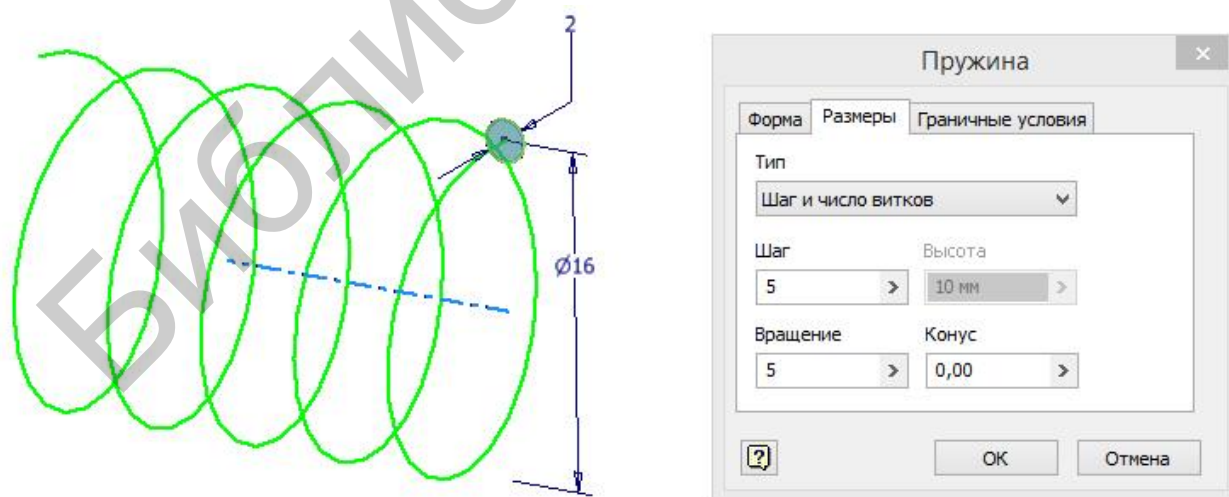


Рисунок 15 – Пример выполнения команды **Пружина**

Действием, требующим два эскиза, является команда **Сдвиг**. Она позволяет выдавить контур не только по прямой, перпендикулярной плоскости эскиза, а по любой траектории, даже криволинейной. При этом если первым эскизом является выдавливаемый профиль, то вторым – путь, по которому он должен быть выдавлен. На рисунке 16 первым эскизом и соответственно выдавливаемым контуром является шестиугольник, а вторым – Г-образная кривая с сопряжением R10. Эти два эскиза расположены во взаимно перпендикулярных плоскостях.

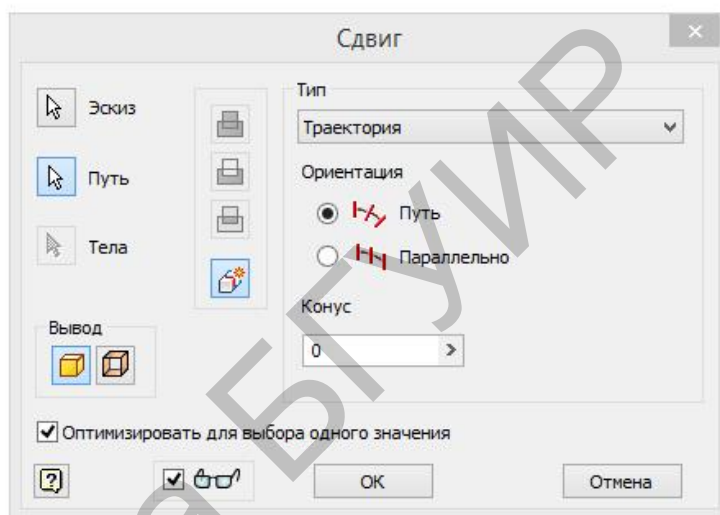
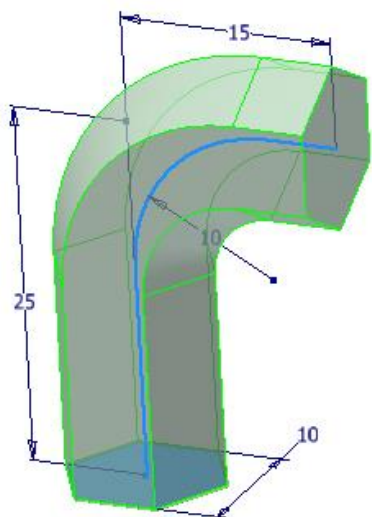


Рисунок 16 – Пример выполнения команды **Сдвиг**

Действием, которое может использовать одновременно более двух эскизов является команда **Лофт**. Данную команду можно объяснить как «огibaющая, которая сглаживает несколько профилей». Примерами могут служить шпангоуты судна, нервюры крыла самолёта. На рисунке 17 показан пример выполнения такой команды. При этом рисунок показывает, что соединяемые контуры могут находиться как в параллельных, так и в пересекающихся плоскостях.

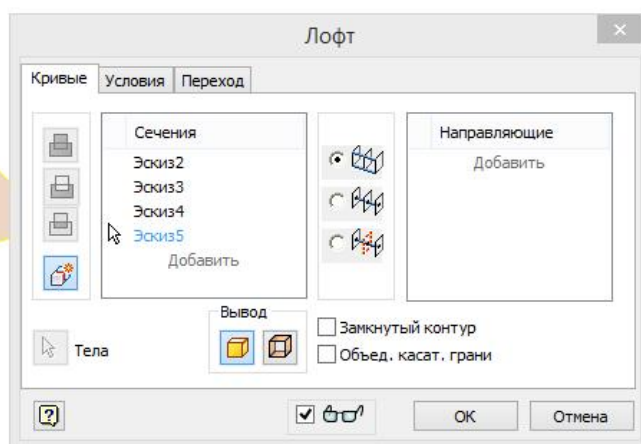
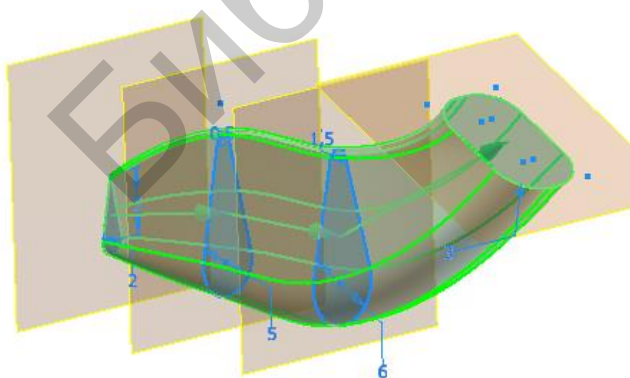


Рисунок 17 – Пример выполнения команды **Лофт**

Без эскиза выполняются команды **Фаска** (рисунок 18) и **Сопряжение** (рисунок 19), но для них необходимо, чтобы геометрическое тело уже было построено и имело ребро между сопрягаемыми гранями.

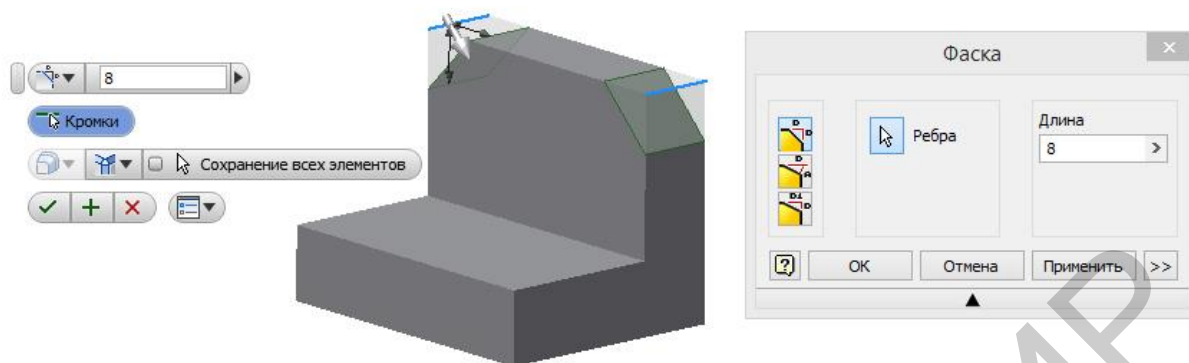


Рисунок 18 – Пример выполнения команды **Фаска**

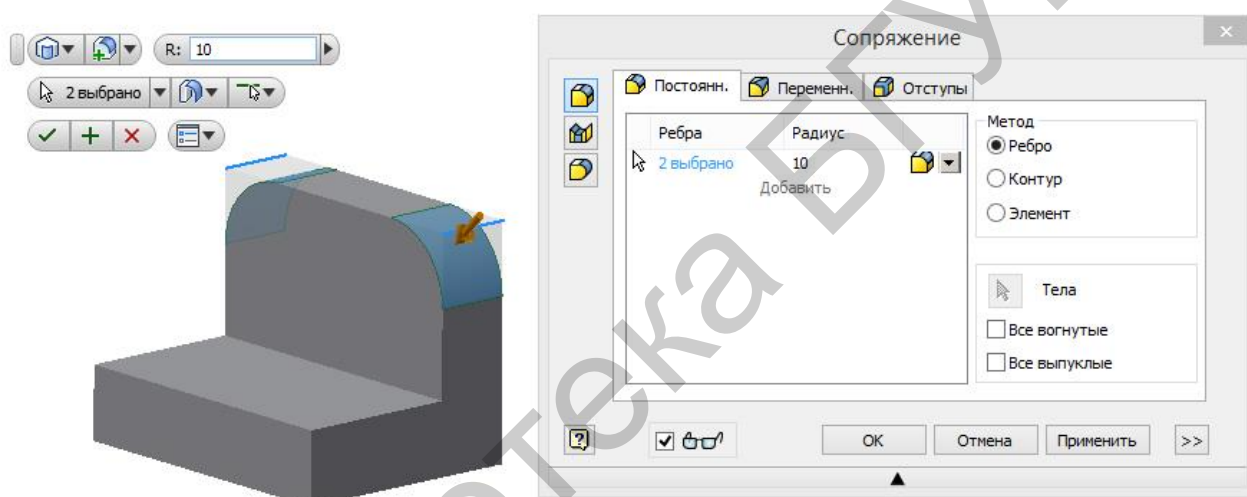


Рисунок 19 – Пример выполнения команды **Сопряжение**

Примеры выполнения простейших моделей

В приложении А (позиции 6–10) приведены чертежи деталей, 3D-модели которых можно получить при помощи одной операции. Для построения крышки 1 достаточно в качестве эскиза выполнить контур половины его сечения (рисунок 20), а затем воспользоваться командой **Вращение**. Модель шайбы 2 можно получить выдавливанием её контура, как показано на рисунке 21. Эскизом для построения пружины 3 служит окружность, равная поперечному сечению проволоки, удалённая от оси на половину диаметра пружины (рисунок 22). Для построения модели прокладки 4 при помощи команды **Сдвиг** потребуются два эскиза: контур поперечного сечения – окружность и путь, по которому будет производиться сдвиг, – квадрат со скруглёнными вершинами (рисунок 23). А для построения модели ручки потребуются три эскиза – окружности, лежащие в разных плоскостях (рисунок 24).

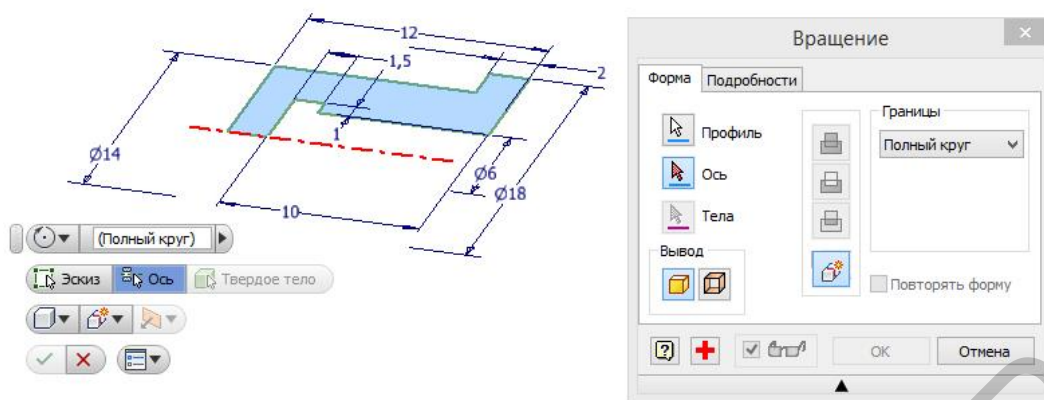


Рисунок 20 – Выполнение модели втулки при помощи команды **Вращение**

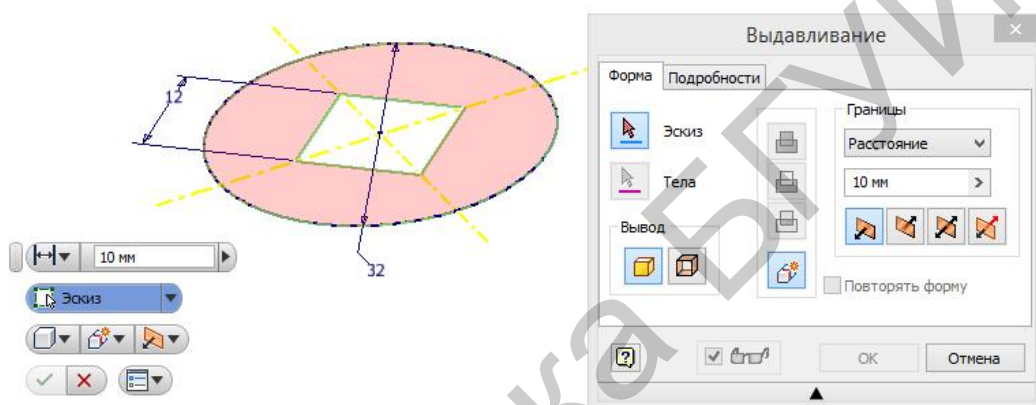


Рисунок 21 – Выполнение модели шайбы при помощи команды **Выдавливание**

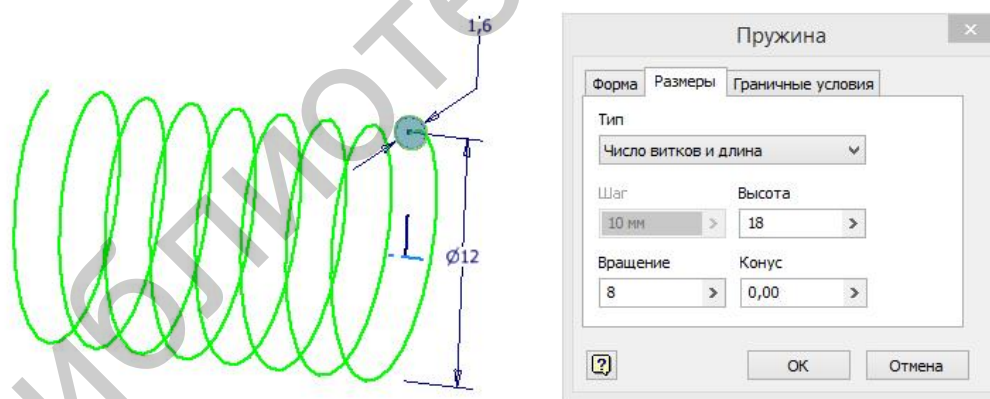


Рисунок 22 – Выполнение модели пружины

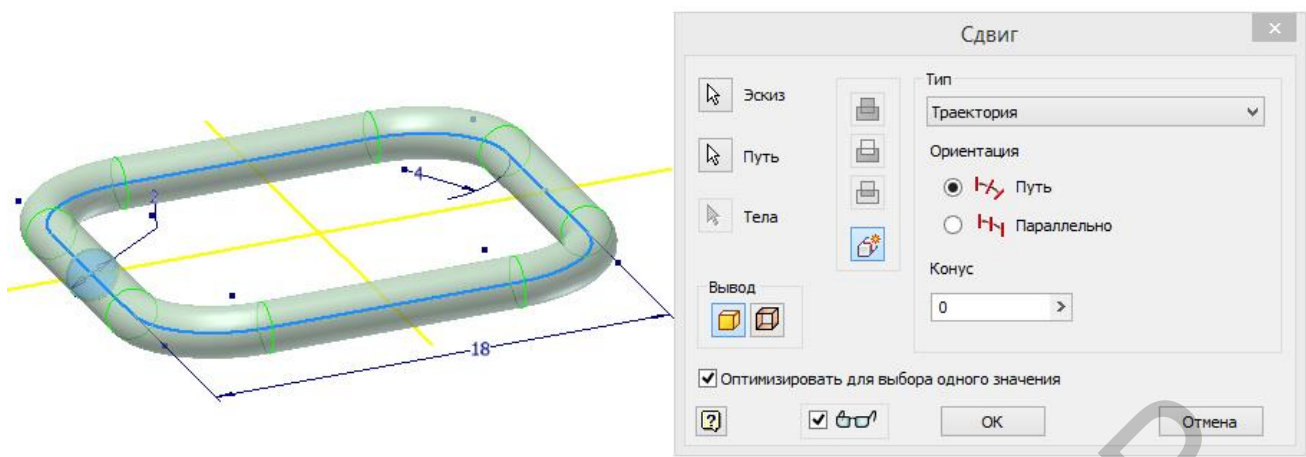


Рисунок 23 – Выполнение модели фасонной прокладки при помощи команды **Сдвиг**

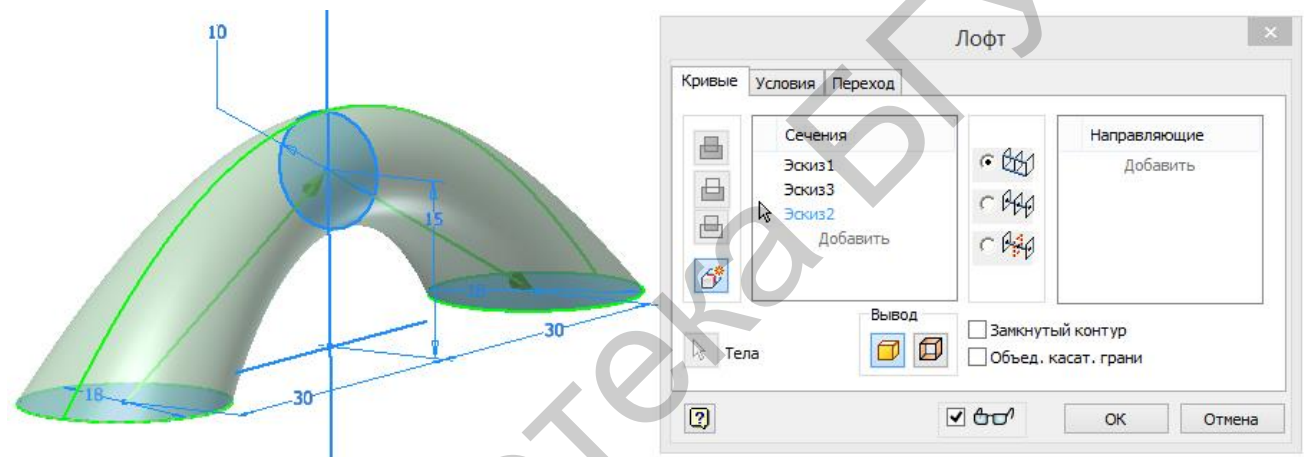


Рисунок 24 – Выполнение модели рукоятки при помощи команды **Лофт**

Приложение А также содержит чертежи, по которым 3D-модели предлагается построить самостоятельно (позиции 11–19).

Занятие 4

Решение позиционных задач начертательной геометрии

Решение задач начертательной геометрии, касающихся определения взаимного положения геометрических тел, трудоёмко, но вместе с тем увлекательно. Заложенные в конце XVIII века Г. Монжем основы ортогонального проецирования на три плоскости и связанные с ним методы начертательной геометрии до сих пор остаются чуть ли не единственными способами анализа формы изделий и технических деталей. Главной целью развития компьютерной графики, а в особенности трёхмерного моделирования, являлось освобождение инженера от рутинных графических построений, использование его интеллекта и пространственного воображения для решения более конкретных задач. Отдельные, наиболее трудоёмкие темы начертательной геометрии, в настоящее время проще и нагляднее изучать с использованием современной компьютерной техники и соответствующих технологий. В данном подразделе рассмотрим некоторые способы решения задач начертательной геометрии при помощи твердотельного 3D-моделирования.

В качестве примера рассмотрим задачу нахождения линии пересечения конуса со сферой (рисунок 25), приняв значения $H = 80$, $D = 70$, $d = 50$, $x = 10$, $y = 15$, $z = 30$. В начертательной геометрии классическим методом решения задач такого типа является метод вспомогательных секущих плоскостей уровня. Поставим перед собой цель решить эту задачу методом твердотельного 3D-моделирования, а ответ представить в виде иллюстрации, поясняющей классический метод начертательной геометрии.

Для решения данной задачи методом 3D-моделирования потребуется построение двух геометрических примитивов – конуса и шара. Способы построения этих примитивов рассмотрены в предыдущих занятиях. Для построения модели конуса потребуется эскиз в виде прямоугольного треугольника с катетами H и $D/2$ и операция **Вращение** (рисунок 26). Для добавления к модели конуса модели шара потребуется создание нового примитива на основе нового эскиза. Для построения этого эскиза придётся создать новую вспомогательную плоскость.

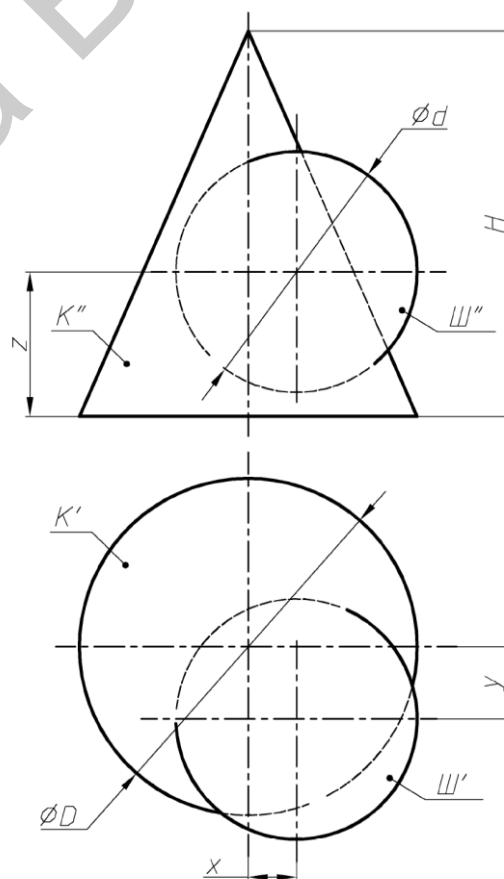


Рисунок 25 – Задание на построение линии пересечения поверхностей

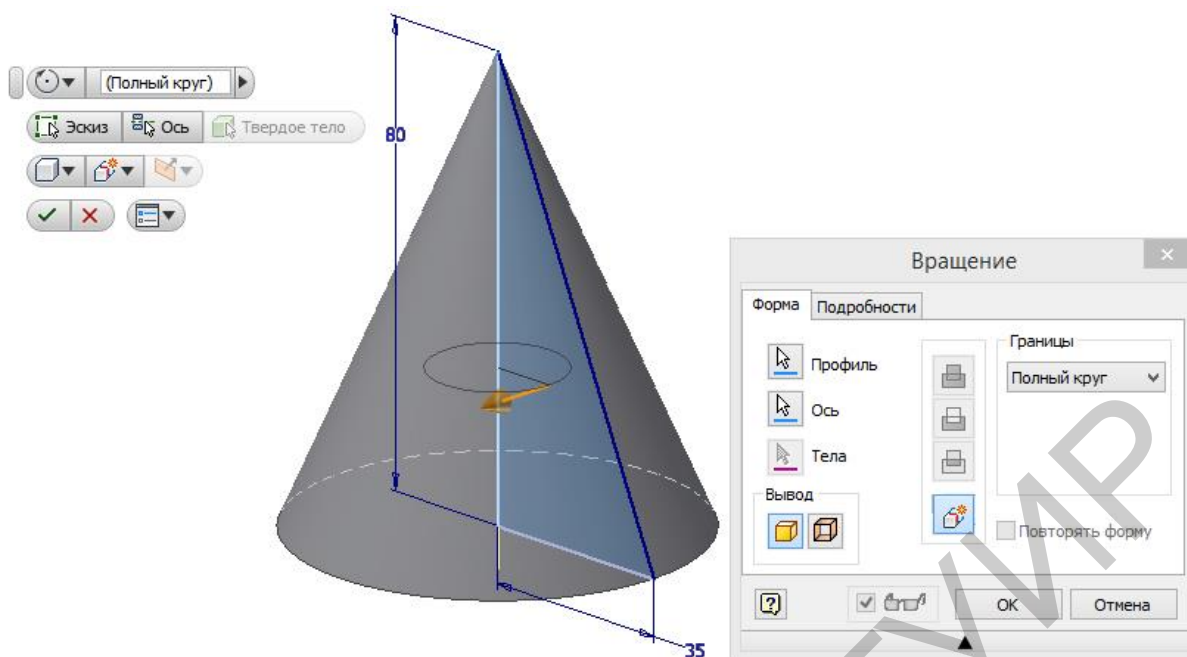


Рисунок 26 – Построение модели конуса

Создание дополнительной плоскости в модели осуществляется при помощи команды инструментальной панели **3D-модель** (см. рисунок 10). После вызова этой команды можно указать курсором на любую из основных плоскостей, отображаемых в браузере и оттянуть высветившуюся в графическом окне плоскость на необходимую дистанцию. Величину этой дистанции можно ввести во всплывшем при этом окне (рисунок 27). На этом рисунке новая плоскость строится на основании существующей фронтальной плоскости, проходящей через ось конуса, поэтому во всплывшем окне введено значение $y = 15$.

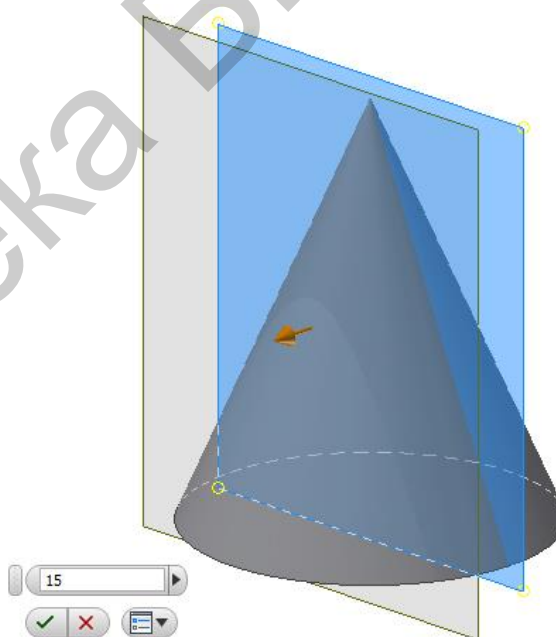


Рисунок 27 – Добавление в модель дополнительной плоскости

В построенной плоскости создадим второй эскиз. Для этого снова вызовем команду **Создать 2D-эскиз** и укажем на эту плоскость. Эскиз будет представлять собой половину окружности – контур, который следует вращать вокруг диаметра, чтобы построить шар (рисунок 28). На этом эскизе нужно будет указать размеры: диаметр сферы 50 мм, координаты её центра $x = 10$ и $z = 30$ (координата y учтена ранее при создании плоскости).

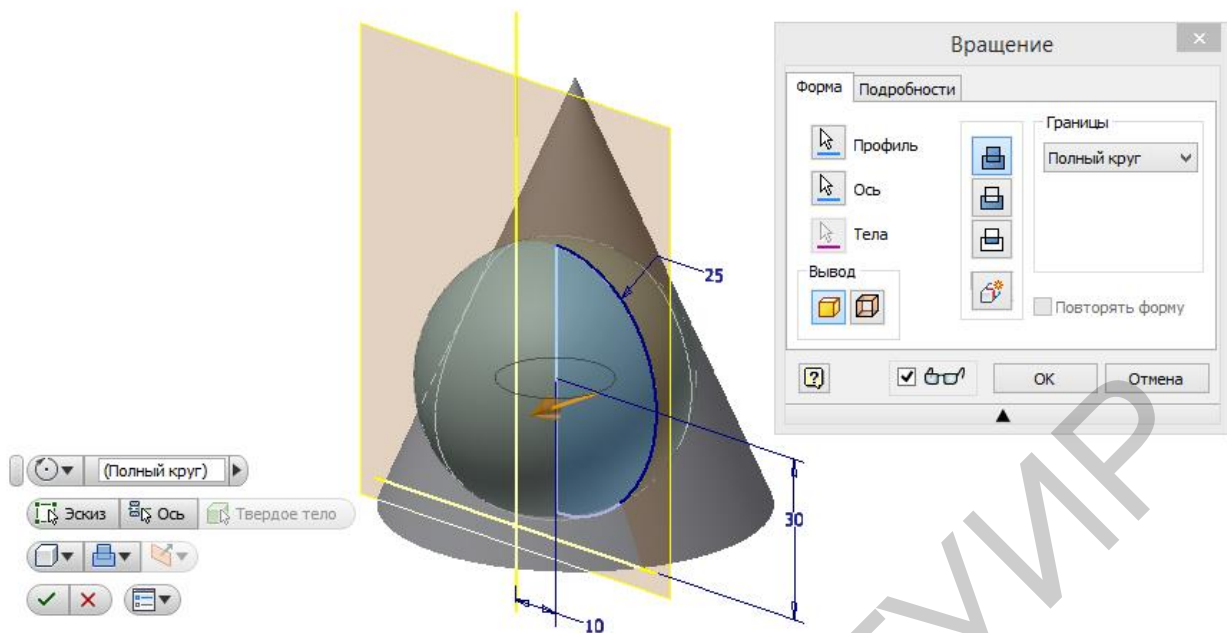


Рисунок 28 – Добавление к конусу модели шара

Построенная на данном этапе модель представляет собой две пересекающиеся твердотельные фигуры – конус и шар. Эти фигуры ограничены тремя самостоятельными поверхностями: конус – конической поверхностью и плоским основанием, а шар – сферической поверхностью. Для наглядности модели к этим поверхностям можно применить различные цвета или текстуры (цветная вклейка, рисунок 2). Для этого достаточно правой кнопкой мыши выделить необходимую поверхность и в открывшемся окне выбрать опцию «Свойства» (см. цветную вклейку, рисунок 2).

Построенная модель изображает пересекающиеся объёмные тела. Для того чтобы она иллюстрировала классический для начертательной геометрии метод вспомогательных секущих плоскостей уровня, добавим к модели горизонтальную плоскость, которая пересекала бы оба геометрических тела. Для этого снова, как и на рисунке 27, воспользуемся командой **Плоскость**. Только в этом случае в качестве исходной плоскости выберем плоскость основания, а величину дистанции 45 мм выберем из соображений иллюстративности и гармоничности изображения (рисунок 29).

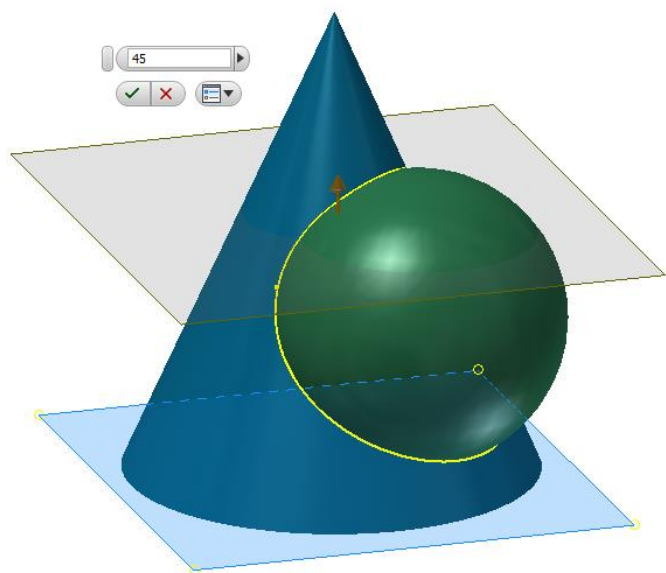


Рисунок 29 – Создание горизонтальной вспомогательной секущей плоскости

Далее следует воспользоваться командой **Разделение** инструментальной палитры 3D-модель. В качестве разделяемых граней указать коническую и сферическую поверхности, а в качестве инструмента разделения – созданную плоскость (рисунок 30). В этом случае сферическая и коническая поверхности разделятся на две самостоятельные поверхности – ниже секущей плоскости и выше неё.

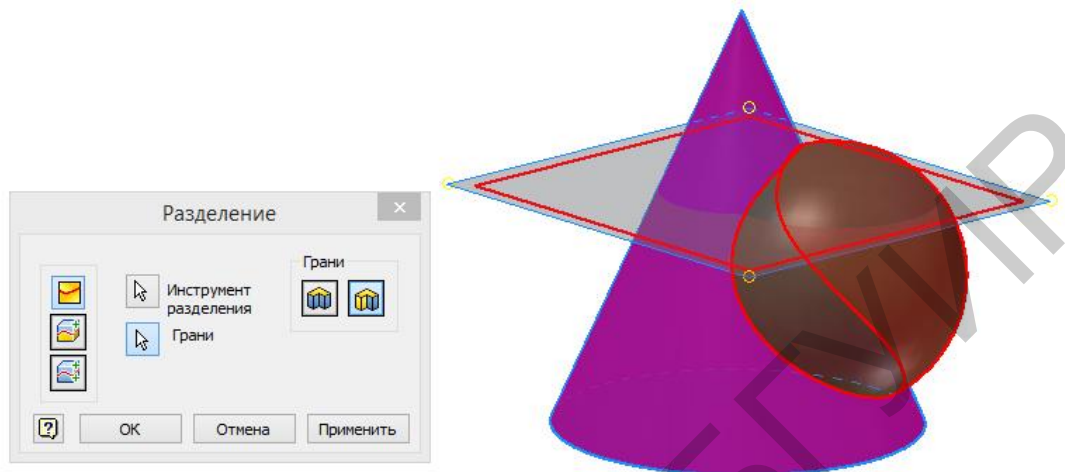


Рисунок 30 – Разделение конической и сферической поверхности секущей плоскостью

Верхние части обеих поверхностей также можно раскрасить отличными от нижних частей цветами. Затем, сохранив полученную модель в виде растрового изображения (в простейшем случае сделав скриншот экрана), в любом графическом редакторе (Adobe Photoshop, CorelDraw) можно добавить поясняющие надписи и обозначения. В результате получим иллюстрацию, поясняющую метод вспомогательных секущих плоскостей уровня (цветная вклейка, рисунок 3).

Для того чтобы эту иллюстрацию сопроводить эпюром Монжа, построенную модель нужно ортогонально спроецировать на несколько (две или три) проекционных плоскостей. В Autodesk Inventor эти действия также можно выполнить в автоматизированном режиме. Для преобразования 3D-модели в эпюр потребуется новый файл шаблона **ГОСТ.dwg** (см. рисунок 2).

Шаблон **ГОСТ.dwg** выглядит как лист бежевого цвета с рамкой и основной надписью согласно ГОСТ 2.104–68 в графическом окне. Инструментальная палитра содержит команды работы с проекциями и видами. После вызова команды **Базовый** должно открыться окно, показанное на рисунке 31.

В этом окне из списка правой колонки можно выбрать и сформировать главный вид чертежа (эпюра), относительно которого будут размещаться остальные проекции. Если на момент открытия шаблона **ГОСТ.dwg** сама 3D-модель была уже сохранена, но не закрыта, то она сразу по умолчанию станет доступной для проецирования. Если модель была закрыта, её нужно найти при помощи стандартной файловой системы в этом же окне. Кроме того, в этом окне можно заранее указать масштаб чертежа (см. левый нижний угол окна на рисунке 31). В правом нижнем углу окна можно выбрать режим отображения: «с отображением невидимых граней», «с отображением только видимых граней»

или «с отображением цветов и текстур». Для наших целей достаточным будет оставить масштаб 1:1, то есть по умолчанию, а в качестве режима отображения выбрать первую кнопку – с невидимыми линиями.

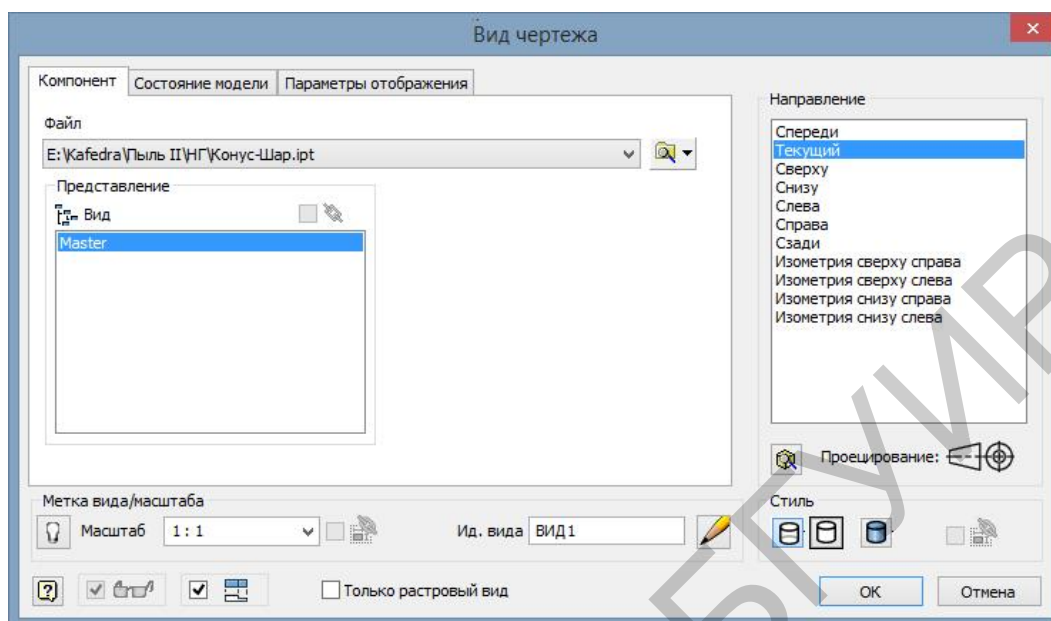


Рисунок 31 – Окно настройки вида чертежа и выбора главного вида

После нажатия кнопки **ОК** окно **Вид чертежа** исчезнет и можно будет в графическом окне выбрать место на листе для размещения фронтальной проекции (главного вида).

Для создания второго вида – горизонтальной проекции – нужно воспользоваться командой **Проекционный**, левой кнопкой мыши зафиксировать место предпочтительного размещения проекции, а затем нажатием правой кнопки вызвать динамическое окно, в котором будет доступна команда **Создать** (рисунок 32).

Учитывайте, что указанное расположение изображений не окончательное, в дальнейшем их можно перемещать, выбирать более удобные расположения. В том числе эти действия возможны при последующем редактировании эпюра в AutoCAD.

Эпюр неизбежно потребует редактирования в AutoCAD. На него нужно будет нане-

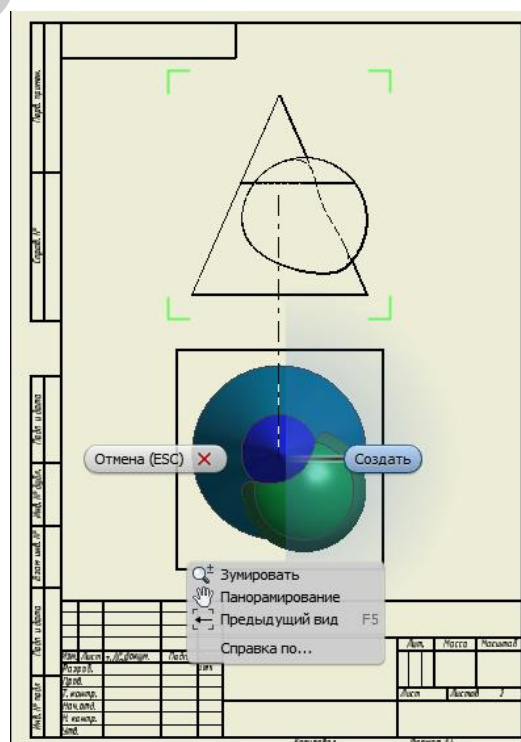


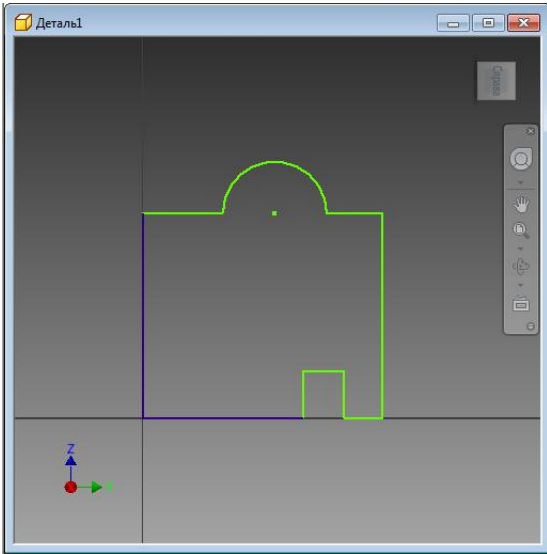
Рисунок 32 – Размещение горизонтальной проекции

сти осевые линии, линии построения, линии проекционных связей, поясняющие надписи. Многие из этих действий в AutoCAD выполнить значительно проще.

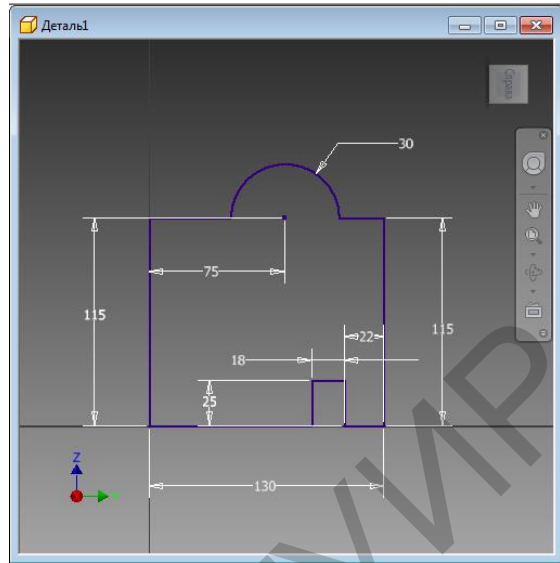
Для того чтобы эюор, созданный в Inventor, стал доступным для редактирования в AutoCAD, его копию нужно особым образом сохранить – как файл *.dwg AutoCAD. Для этого следует войти в главное меню – нажать на логотип Autodesk Inventor в левом верхнем углу, а затем открыть вкладки **Сохранить как/сохранить копию как**.

Результат редактирования эюора в AutoCAD может выглядеть так, как показано на рисунке 4 цветной вклейки. Этот же эюор может быть выполнен и в ахроматической палитре, и в монохромном режиме, если подобрать соответствующие выразительные средства (градации серого цвета, толщину линий) для обозначения характера и смысловой нагрузки построений.

Библиотека БГУИР



a



б

Рисунок 1 – Эскиз до нанесения размеров (*a*) и после (*б*)



Рисунок 2 – Назначение поверхностям модели цветов или текстур

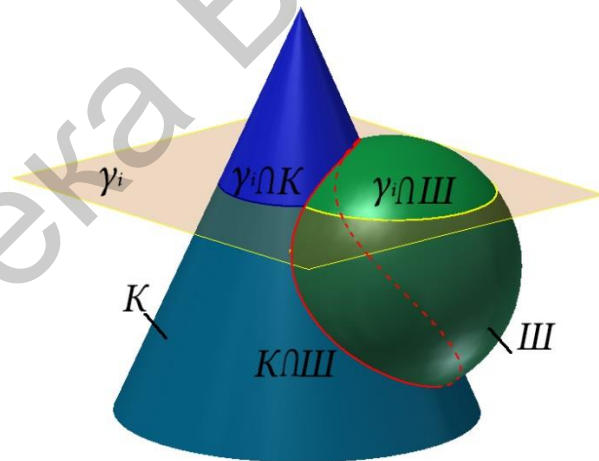


Рисунок 3 – Полученная иллюстрация способа построения линии пересечения объёмных тел при помощи вспомогательных секущих плоскостей уровня

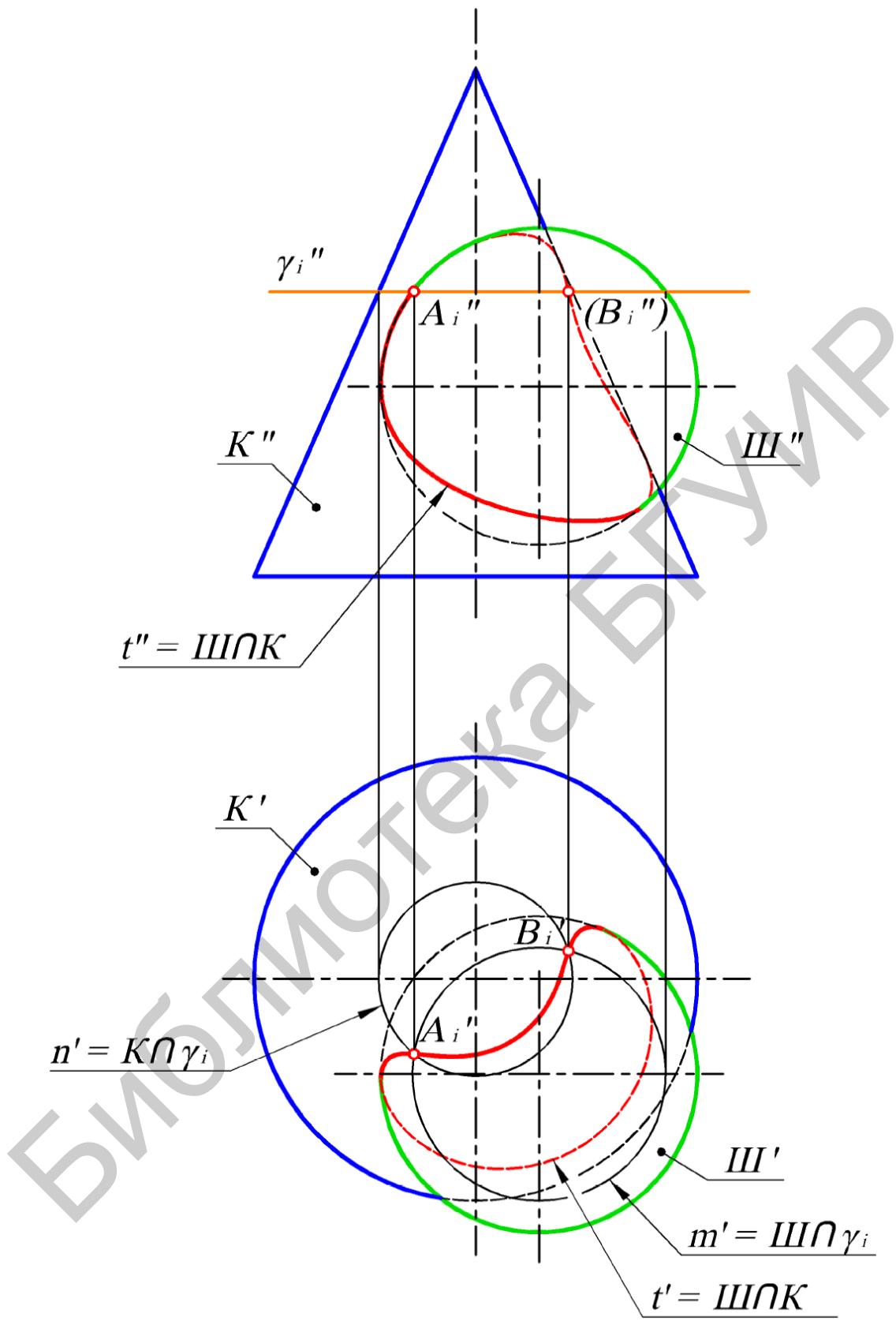


Рисунок 4 – Пример оформления эпюра, иллюстрирующего способ построения линии пересечения объёмных тел при помощи вспомогательных секущих плоскостей уровня

2 Второй уровень освоения Autodesk Inventor

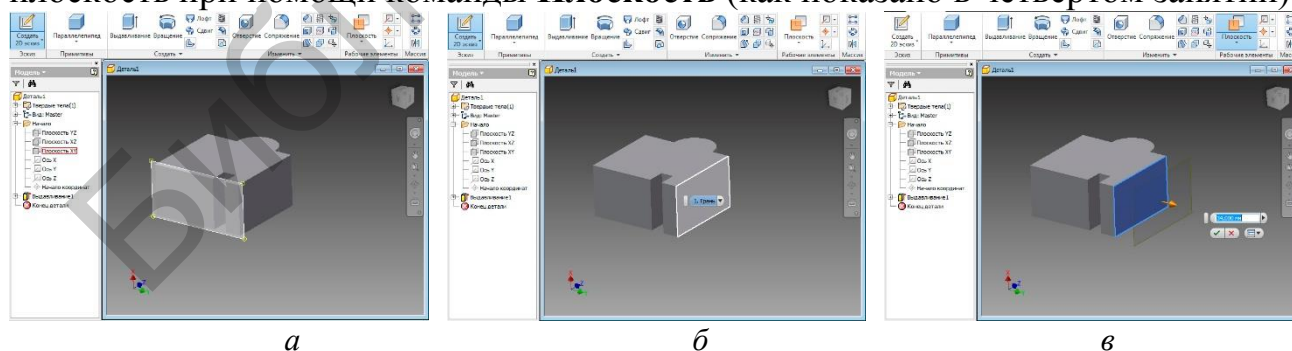
Данный раздел содержит описание способов твердотельного 3D-моделирования конкретных изделий радиоэлектронной техники, создания сборочных узлов, настройки статических и кинематических связей между деталями, преобразования моделей деталей и узлов в чертежи. В целом охватываются все вопросы, необходимые для успешного проектирования изделий средней сложности, при этом не затрагиваются вопросы параметрического и адаптивного моделирования. То есть рассмотренные в данном разделе методики с небольшими изменениями можно распространить на любые другие среды твердотельного 3D-моделирования, кроме Autodesk Inventor.

Занятие 5

Создание твердотельных моделей деталей

Продолжение работы над моделью. В реальной технике детали, которые можно построить в одно действие, встречаются крайне редко. В общем случае процесс создания детали – это последовательность эскизов и конструктивных элементов (действий над ними). Для того чтобы добавить к существующему объекту новый конструктивный элемент, необходимо снова нарисовать эскиз этого конструктивного элемента. А для того чтобы нарисовать этот эскиз, нужно выбрать для него рабочую плоскость. Выбрать для нового эскиза рабочую плоскость можно тремя способами (рисунок 33):

- 1) во вкладке **Начало** окна **Модель** выбрать одну из трёх стандартных плоскостей **YZ**, **XZ**, **XY**;
- 2) в качестве новой плоскости можно использовать любую грань уже существующего предмета;
- 3) если и этих плоскостей недостаточно, всегда можно создать новую плоскость при помощи команды **Плоскость** (как показано в четвёртом занятии).



а

б

в

- а* – из перечня основных проекционных плоскостей;
б – из плоских граней геометрического тела;
в – создание новой рабочей плоскости

Рисунок 33 – Способы выбора новой рабочей плоскости

Для того чтобы сделать выбранную плоскость активной и начать рисовать в ней новый эскиз, нужно выделить её либо во вкладке **Начало** окна **Модель**, либо прямо на экране нажатием курсора, а затем нажать кнопку **Создать 2D-эскиз** инструментальной панели (можно также воспользоваться для этого «быстрой клавишей» **S** на клавиатуре).

Необходимую для построений нового эскиза наследуемую (спроецированную) геометрию можно нанести на плоскость нового эскиза командой **Проецирование геометрии**. Эта геометрия отобразится на плоскости в виде жёлтых линий, к которым можно будет осуществлять привязку.

Если выбранная вами плоскость пересекает сам объёмный твердотельный предмет и части предмета мешают вам видеть и рисовать эскиз, воспользуйтесь командой **Разрезать модель**, которую найдёте, либо щёлкнув по графическому экрану правой кнопкой мыши, либо вызвав «быстрой клавишей» **F7**.

Примеры построения моделей некоторых деталей средней сложности. Под средней сложностью будем понимать детали, модели которых невозможно получить в одно действие, но при этом способ их построения понятен и очевиден. Дерево построения таких деталей, как правило, не превышает 10–15 операций. Часто такие модели можно получить несколькими одинаково верными способами, а последовательность действий внутри алгоритма построений может быть произвольной.

Создание любой детали начинается с создания эскиза первого конструктивного элемента, который может иметь очень простую форму. Конструктивный элемент, который создан первым, называется базовым. Грамотный выбор базового элемента может существенно сократить время и количество действий, необходимых для создания детали. Поэтому перед созданием модели детали необходимо ответить на следующие вопросы:

1. Какой вид детали наиболее удачно отображает её форму? Как правило, в качестве базового выбирают тот элемент, который наиболее полно изображается на этом виде.

2. Какие из конструктивных элементов детали являются наиболее важными? Рекомендуется сначала создавать именно эти элементы, и затем при создании других элементов опираться на них.

3. Для каких элементов требуется эскиз, а для каких не требуется? Как поверхности, так и тела могут быть созданы путём выдавливания соответствующих контуров. Для фасок и сопряжений эскизы не нужны.

4. Возможно ли эффективное использование исходных координатных осей и плоскостей? Например, если ось вала параллельна одной из координатных осей, для создания эскиза шпоночной канавки можно выбрать в браузере одну из координатных плоскостей. Если деталь обладает плоскостями симметрии, то логично совместить их с исходными проекционными плоскостями.

5. Будет ли полезным применение цветов? Применение различных цветов и текстур помогает отличать детали и их конструктивные элементы друг от друга.

6. Размеры в эскизах и параметры действий над ними лучше указывать с учётом их конструктивного и технологического значения. Такой подход не только облегчит последующее преобразование модели в чертёж, но и, что особенно важно, в дальнейшем упростит освоение параметрического адаптивного принципа моделирования.

В процессе создания твердотельной модели детали можно настроить необходимые визуальные опции. Например, предмет может выглядеть реалистично с окраской и оптическими свойствами того материала, из которого должен быть изготовлен. При необходимости контроля всей геометрической формы изделия его отображение можно сделать полупрозрачным или вообще каркасным. Кроме того, в Inventor предусмотрены такие опции визуализации, как настройка источников света, бликов, преломления, теней, а также эффекты перспективы.

В качестве примеров рассмотрим последовательности построения деталей, чертежи которых показаны в приложении А (позиции 20–23).

Деталь «Контакт»

(см. приложение А, позиция 20) технологически можно получить из цилиндрического прутка точением на нём цилиндрических поверхностей, сверлением торцовых отверстий и отсечением трёх плоских поверхностей – лысок (рисунок 34). Рассмотрим эту последовательность.

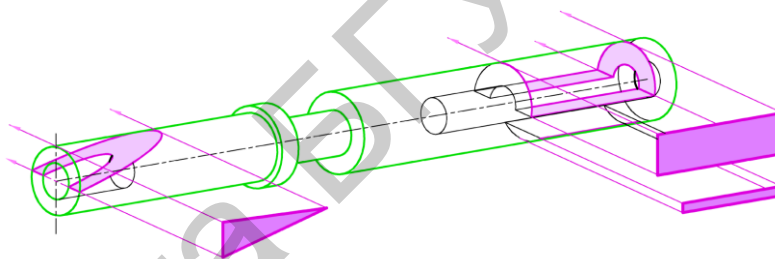


Рисунок 34 – Принцип формообразования детали «Контакт»

1. Заготовкой для изготовления детали «Контакт» может являться отрезок прута круглого сечения диаметром 3,6 мм, длиной 36 мм. Её модель можно получить вращением прямоугольника 1,8×36 мм вокруг его длинной стороны (рисунок 35).

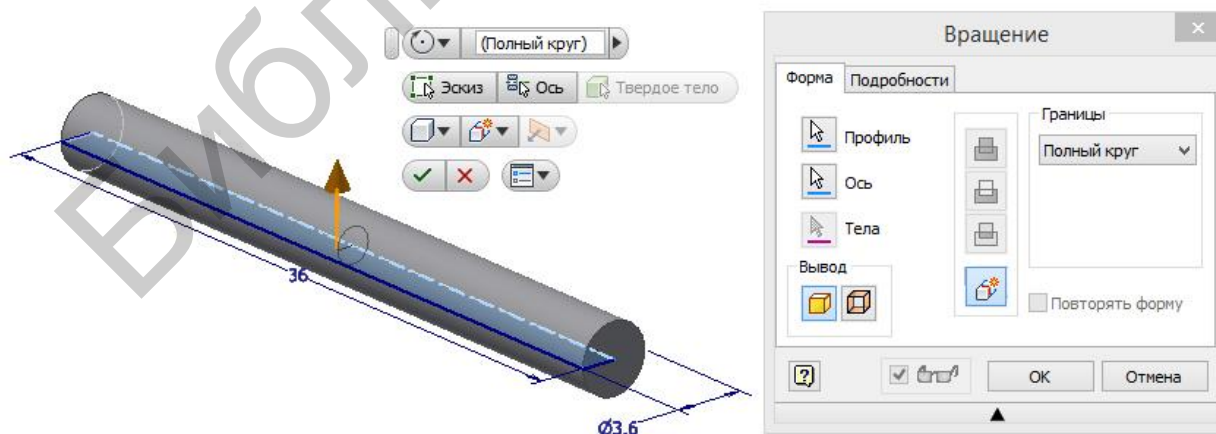


Рисунок 35 – Первая стадия построения модели детали «Контакт» – получение цилиндрической заготовки

2. Следующим этапом изготовления детали может быть сверление двух торцовых отверстий диаметром 1,6 мм, глубиной 13 мм и 6 мм, с коническим дном, равным острию заточки сверла – 118°. Получать эти отверстия на модели следует при помощи команды создания компонента **Отверстие**. Эта команда позволит воспользоваться стандартными шаблонами технологически возможных отверстий заданного размера и формы (рисунок 36). Для выполнения этой команды потребуется эскиз на торцевой плоскости заготовки. Никаких построений в этой плоскости выполнять не нужно. Размеры и форму отверстий можно настроить позже путём изменения соответствующих опций и параметров в окне настройки действия или в облаке динамического ввода.

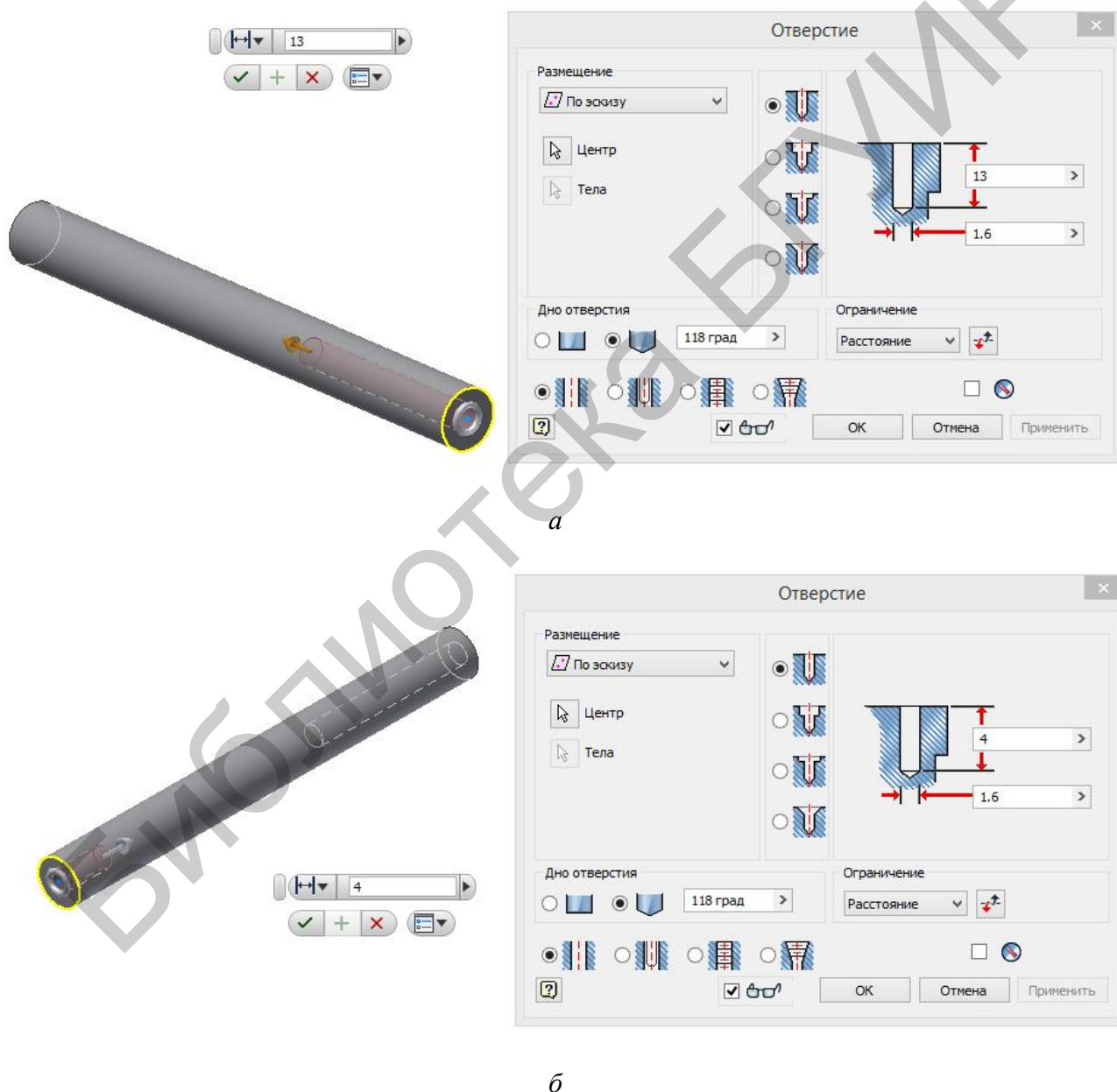


Рисунок 36 – Вторая стадия выполнения детали «Контакт» – сверление торцовых отверстий глубиной 13 мм (а) и 4 мм (б)

3. Аналогом операций точения цилиндрических поверхностей диаметром 3 и 2 мм может являться команда **Вращение**, в том случае, если в качестве эскиза выбран прямоугольный контур удаляемой части, а в опциях команды указано **Полный круг** (рисунок 37, позиция 1), **Вычитание** (рисунок 37, позиция 2).

Для создания таких эскизов потребуется одна из основных плоскостей, находящихся в браузере в папке «Начало». Для построения и привязки вращаемого контура к уже существующей геометрии модели потребуется проецирование на эскиз контуров детали и её основной оси.



Рисунок 37 – Третья стадия выполнения детали «Контакт» – точение цилиндрических поверхностей диаметром 3 мм (а) и 2 мм (б)

4. Заключительными операциями изготовления этой детали являются операции фрезерования трёх лысок (см. рисунок 34). Несмотря на то что выполнение каждой из них представляет собой отдельную операцию, при построении твердотельной модели допускается их совмещение в один компонент. Для этого в одной из осевых плоскостей нужно создать эскиз, содержащий в себе геометрию каждой из лысок (рисунок 38), а затем «выдавить их» с удалением материала, указав в ячейке **Границы** вместо расстояния выдавливания значение **Всё** (рисунок 39).

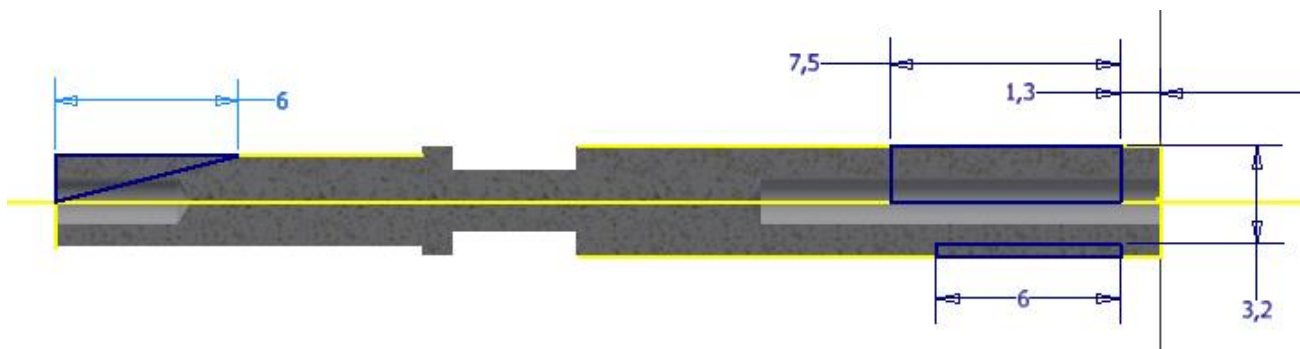


Рисунок 38 – Эскиз для выполнения заключительной операции детали «Контакт»

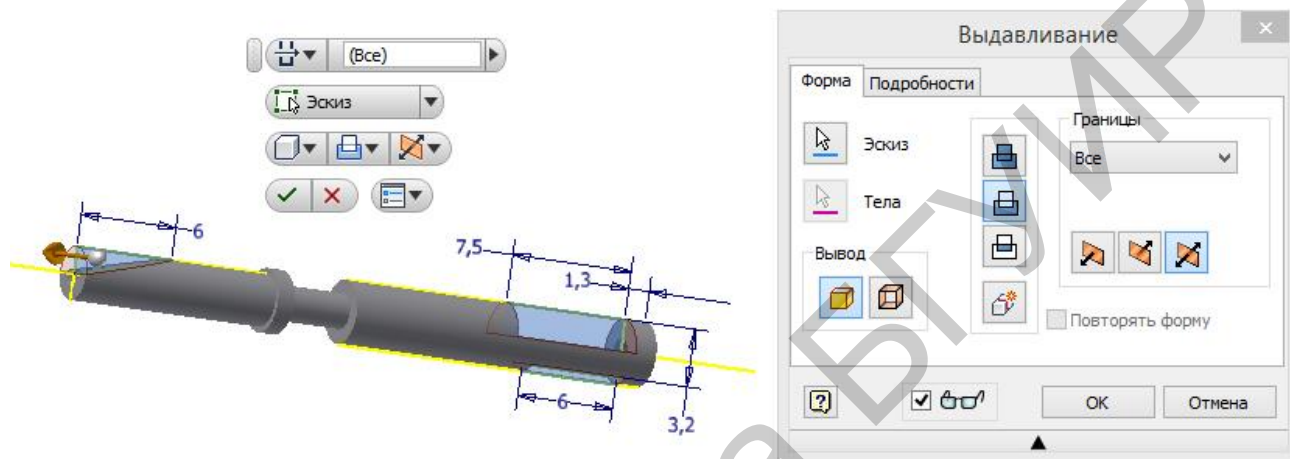


Рисунок 39 – Заключительная операция выполнения детали «Контакт» – построение лысок

Деталь «Упор» (см. приложение А, позиция 21). Заготовкой и базовым конструктивным элементом этой детали является кольцо с внутренним диаметром 50 мм, внешним – 76 мм и шириной 10 мм. Рассмотрим последовательность построения её модели.

1. Получить кольцо с указанными размерами можно вращением прямоугольника, как показано на рисунке 40.

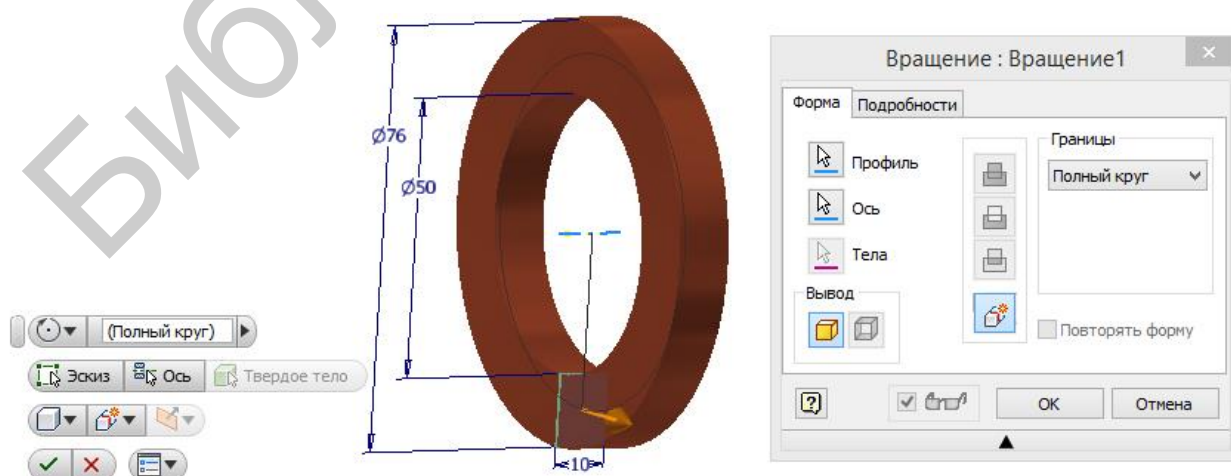


Рисунок 40 – Построение заготовки детали «Упор»

2. Затем на этом кольце следует при помощи команды **Вращение** выполнить проточку диаметром 66 мм и глубиной 7 мм, но не на полный оборот, а на угол 270° (рисунок 41).

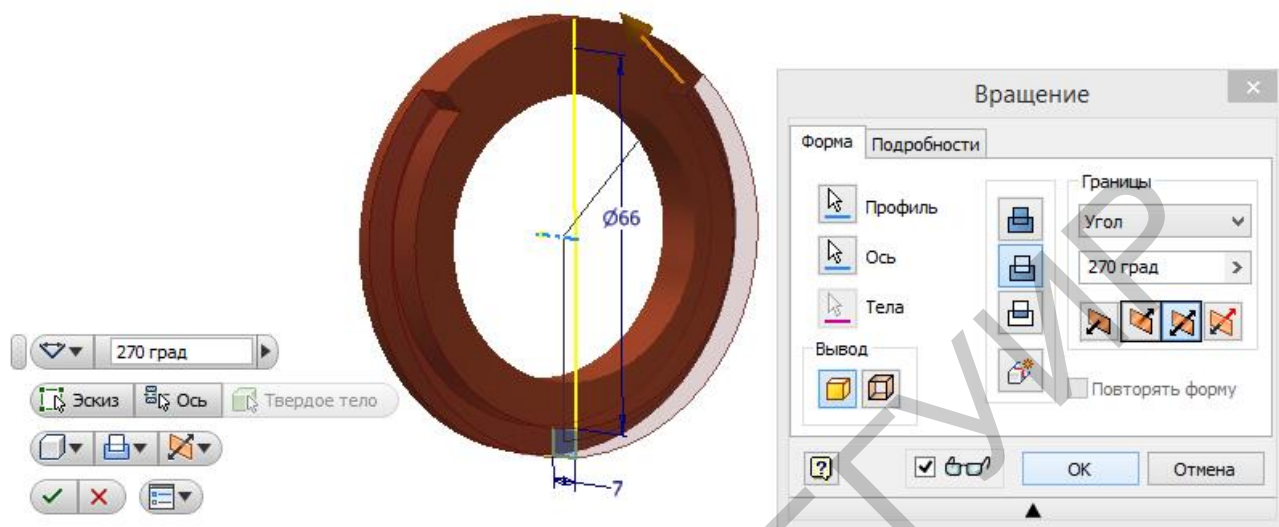


Рисунок 41 – Выполнение проточки на угол 270°

3. Поверхность среза в верхней части детали можно выполнить при помощи команды **Скульптор** в группе команд **Поверхность** инструментальной палитры **3D-модель**. Эта команда позволяет удалить из модели геометрического тела объём, заданный плоскостью или поверхностью. Для выполнения этой команды создадим новую плоскость, отстоящую от базовой осевой плоскости на 32 мм (либо от касательной плоскости на 70 мм). После выполнения этой команды, как показано на рисунке 42, сегмент кольца будет заменён плоской гранью. При этом создание эскиза для этой операции не потребуется.

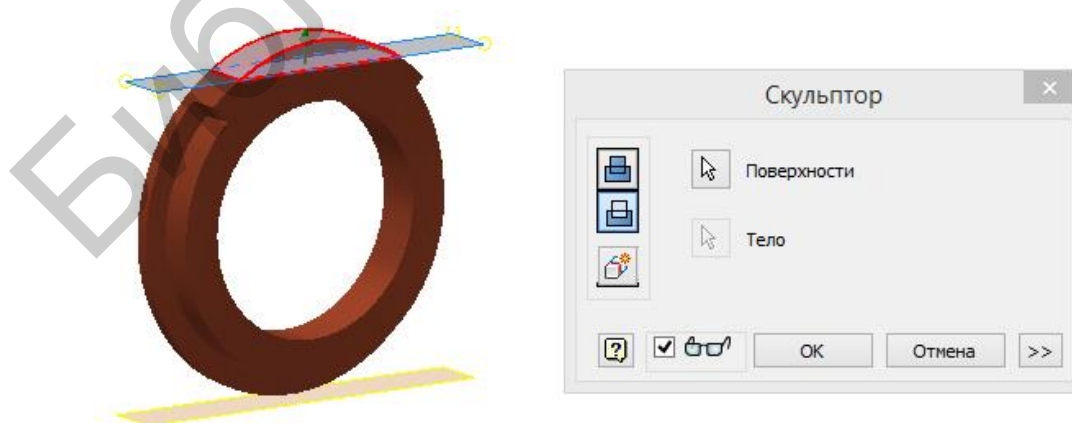


Рисунок 42 – Выполнение поверхности среза при помощи команды **Скульптор**

4. Резьбовые отверстия М4 как на поверхности среза (рисунок 43), так и на торце кольца (рисунок 44) рекомендуется выполнять при помощи конструктивного элемента **Отверстие**. Эскизы для этих конструктивных элементов должны содержать точки – центры отверстий с размерами, указывающими их расположение.

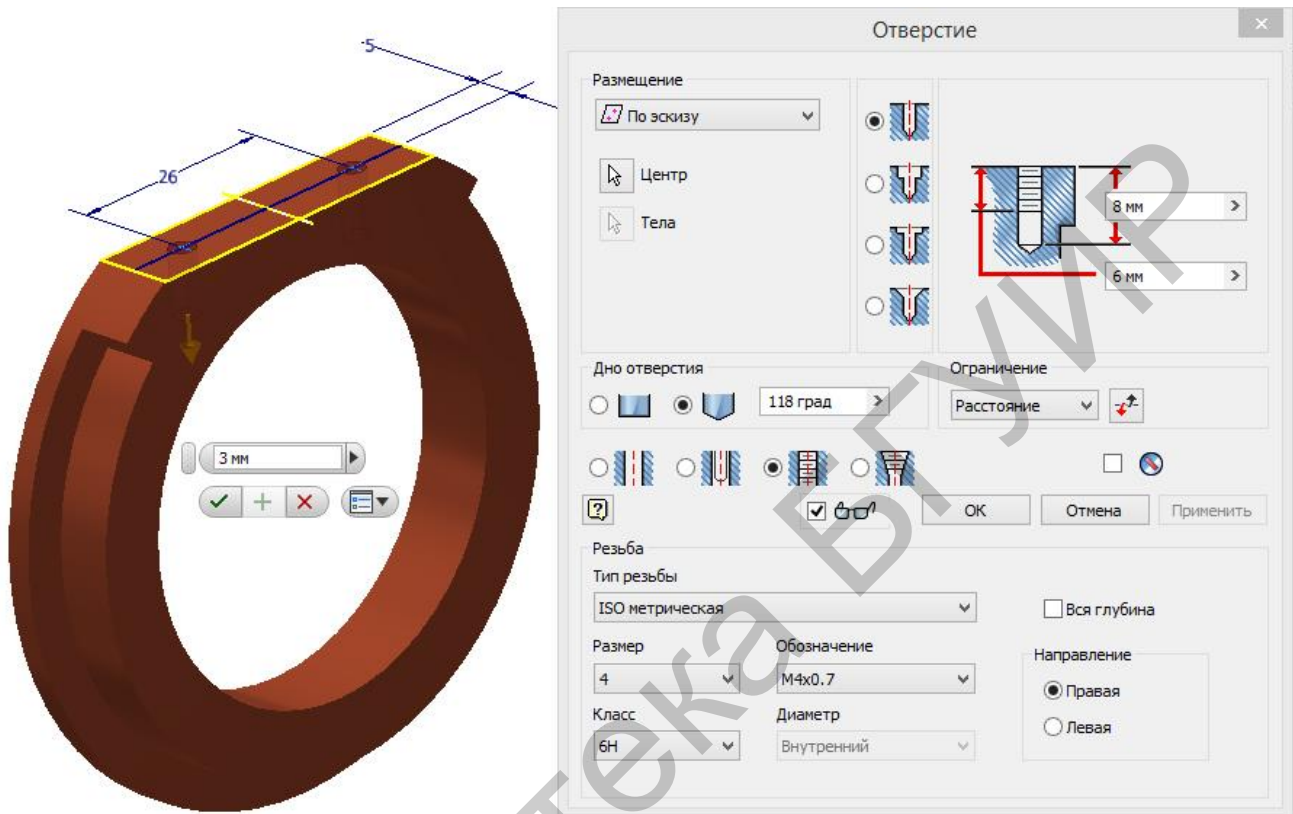


Рисунок 43 – Выполнение двух глухих резьбовых отверстий М4 на поверхности среза

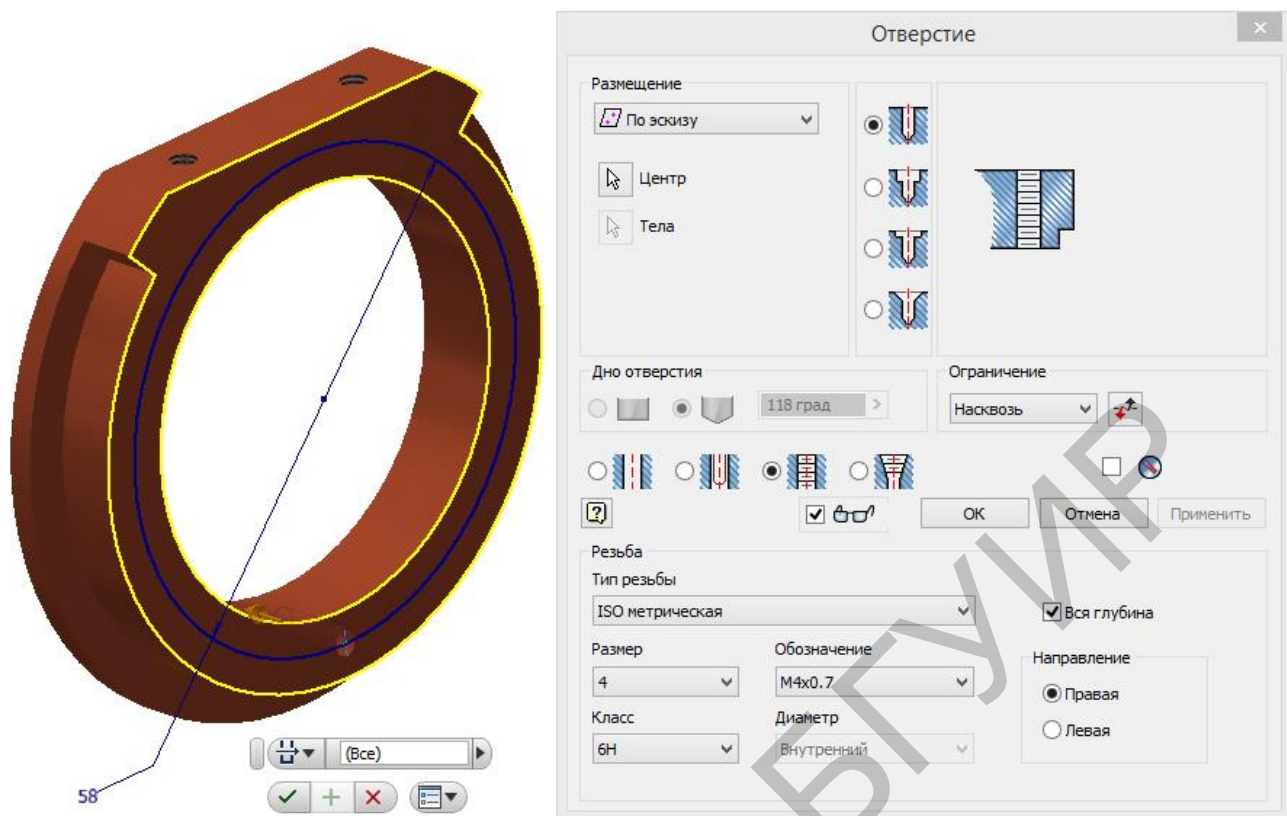


Рисунок 44 – Выполнение одного из трёх сквозных резьбовых отверстий М4 на торце кольца

После построения на торце кольца одного сквозного резьбового отверстия диаметром М4 его можно размножить при помощи команды **Круговой массив**. Размножаемый элемент можно выбрать непосредственно на модели или в браузере. В качестве оси массива достаточно указать ось любой цилиндрической поверхности (рисунок 45).

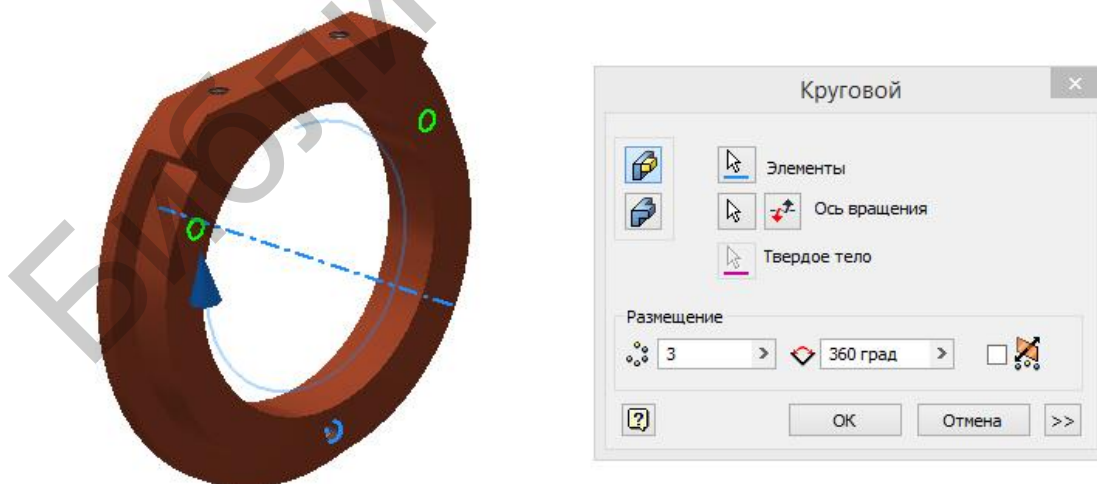


Рисунок 45 – Создание кругового массива из трёх сквозных резьбовых отверстий М4

Деталь «Крышка» (приложение А, позиция 22) достаточно сложна. Её сложность заключается в формообразовании самой заготовки. Она состоит одновременно и из тел вращения (цилиндрическая поверхность под резьбу, цилиндрический фланец), и из тела выдавливания (шестигранная призма под ключ 20 мм). Кроме того, некоторые поверхности имеют между собой радиусы сопряжения 2 мм, а на кромках шестигранника присутствует фаска под углом 20...25°. Технологически подобные заготовки выполняются литъём либо штамповкой, а следовательно, сложность их геометрии определяется сложностью литейной или пресс-формы. В одно действие получить модель такой заготовки невозможно. Рассмотрим подробно одну из возможных последовательностей действий.

На первой стадии построим конструктивные элементы, имеющие форму тел вращения. Главное внимание уделим цилиндрической поверхности диаметром 16 мм под резьбу и цилиндрическому фланцу диаметром 28 мм (рисунок 46). Что же касается призматической шестигранной поверхности, то её пока заменим вписываемым цилиндром диаметром 20 мм, поскольку именно к этому диаметру привязан размер сопряжений 2 мм на разрезе А–А (см. позицию 22 в приложении А).

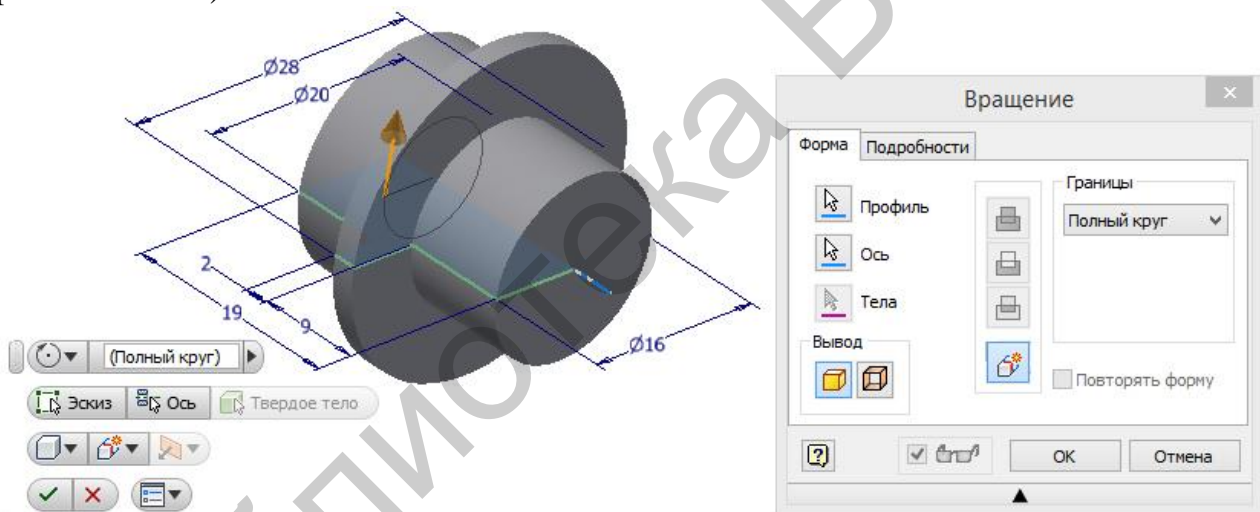


Рисунок 46 – Построение цилиндрических частей заготовки детали «Крышка»

Второй стадией получения заготовки детали «Крышка» будет являться построение сопряжения 2 мм между цилиндрической поверхностью диаметром 20 мм и плоской поверхностью фланца (рисунок 47).

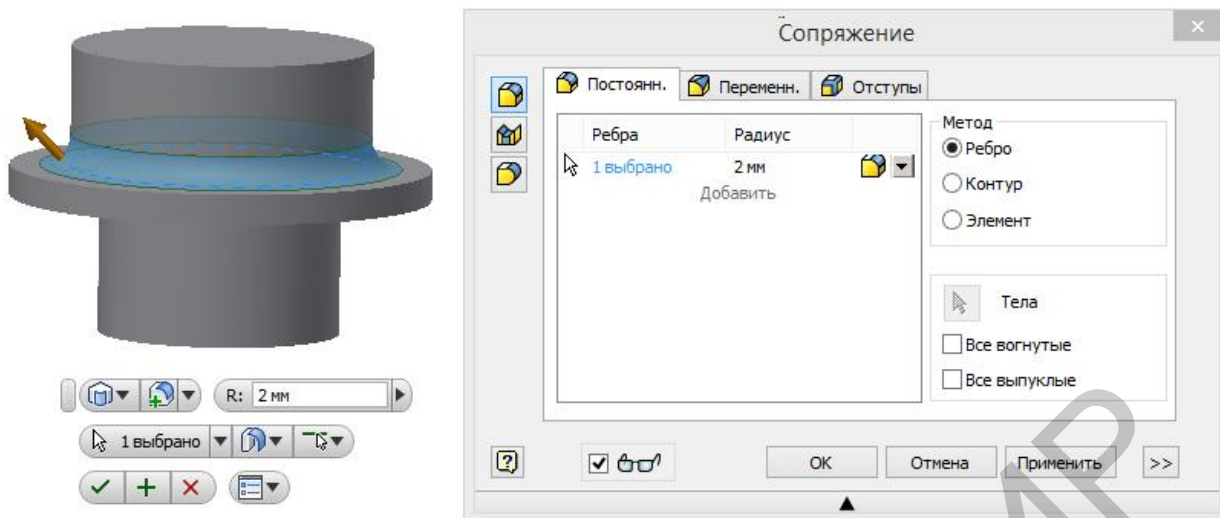


Рисунок 47 – Построение сопряжения 2 мм между цилиндрической и плоской поверхностями

Третья стадия – это выдавливание в режиме **До следующего** шестиугольника, описанного вокруг окружности диаметром 20 мм, построенного на верхнем торце заготовки. Она позволит получить шестигранную призму под ключ (рисунок 48).

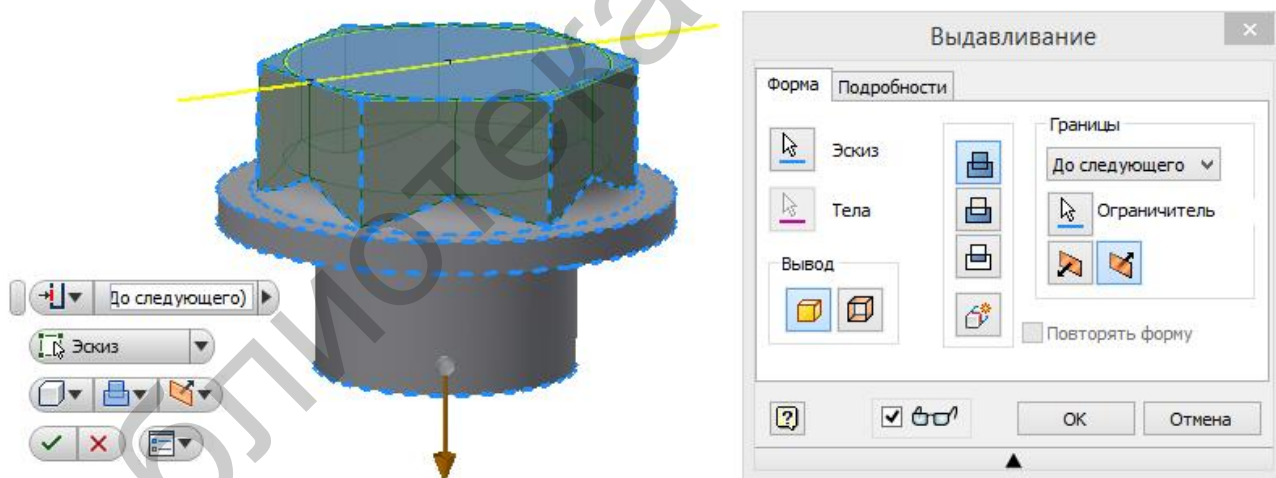


Рисунок 48 – Построение шестигранной призмы под ключ

На заключительной стадии создания модели заготовки для получения фаски под углом 25° на верхних кромках шестигранника можно создать по требуемым размерам нетвердотельную коническую поверхность вращения (рисунок 49), а затем при помощи команды **Скульптор** заменить ею выступающие кромки (рисунок 50).

Этот способ построения фасок на кромках шестигранной призмы является хорошей иллюстрацией, поясняющей происхождение гиперболических дуг на изображениях болтов и гаек, которые на практике в качестве упрощения чертежа чаще заменяют дугами окружностей.

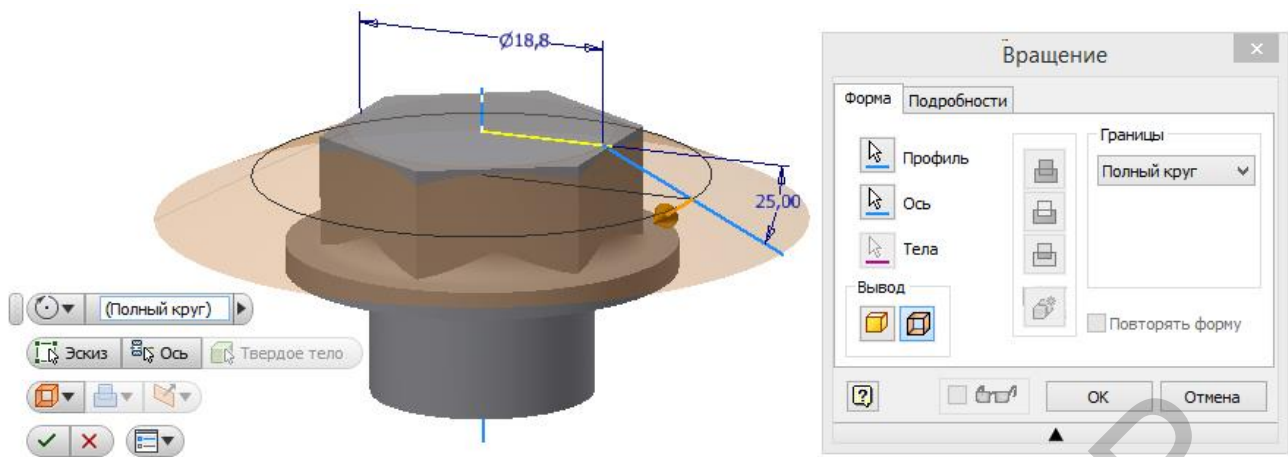


Рисунок 49 – Построение вспомогательной нетвердотельной конической поверхности для образования фаски

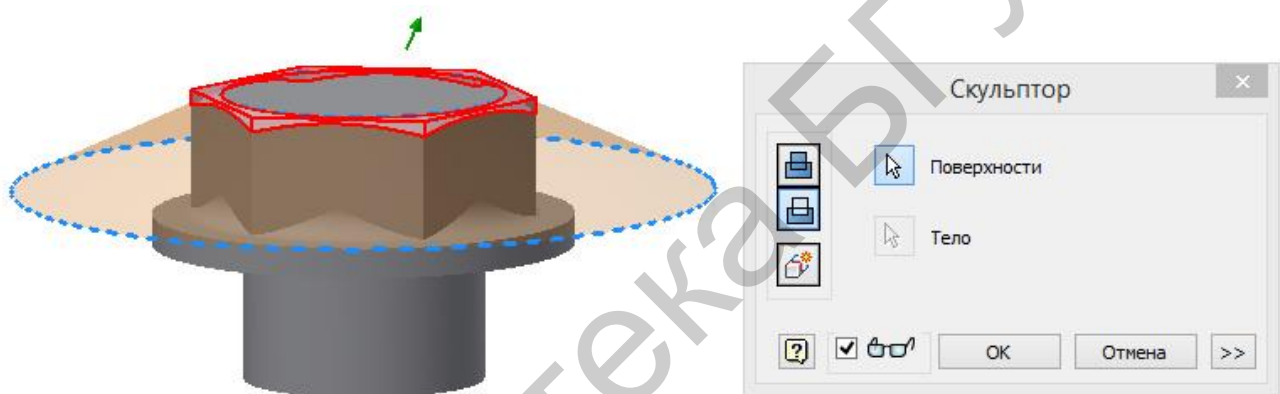


Рисунок 50 – Замена кромок граной поверхности конической фаской при помощи команды **Скульптор**

Дальнейшая последовательность построения модели очевидна:

1. Построить проточку шириной 1,5 мм и диаметром 14 мм (рисунок 51).
2. Нанести резьбу M16×1 на поверхность диаметром 16 мм (рисунок 52).
3. Построить на нижнем торце детали отверстие диаметром 12 мм и глубиной 17 мм (рисунок 53).
4. Просверлить одно из отверстий диаметром 3 мм в грани шестигранной призмы (рисунок 54).
5. Создать массив из шести отверстий диаметром 3 мм, выбрав в качестве оси массива ось любой из цилиндрических поверхностей (рисунок 55).
6. Нанести на кромки резьбы фаски (рисунок 56), размер которых на чертеже не обозначен, но выбирается равным либо большим, чем глубина резьбы (приблизительно равен шагу резьбы – 1 мм).

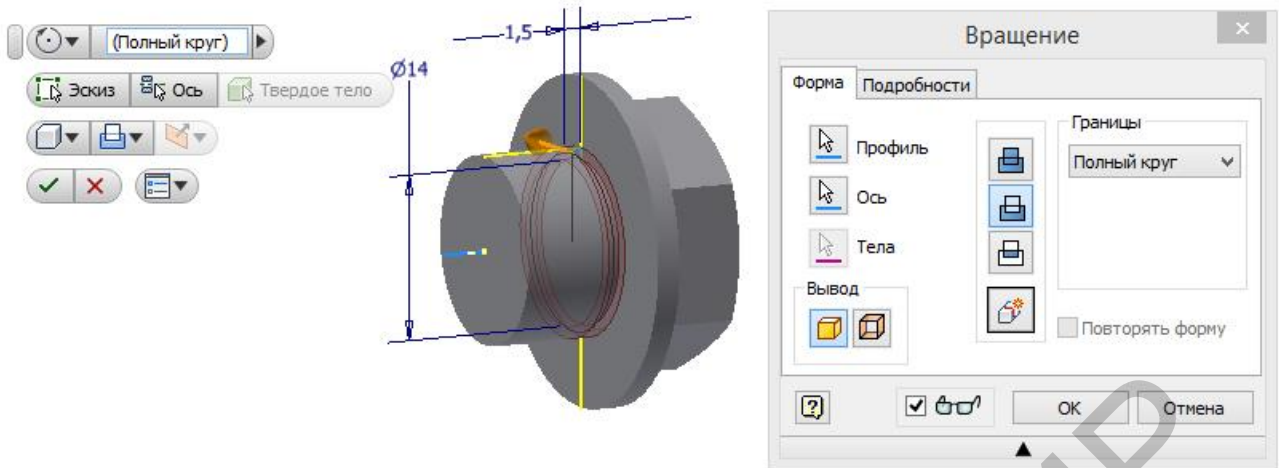


Рисунок 51 – Создание проточки, компенсирующей недорез резьбы

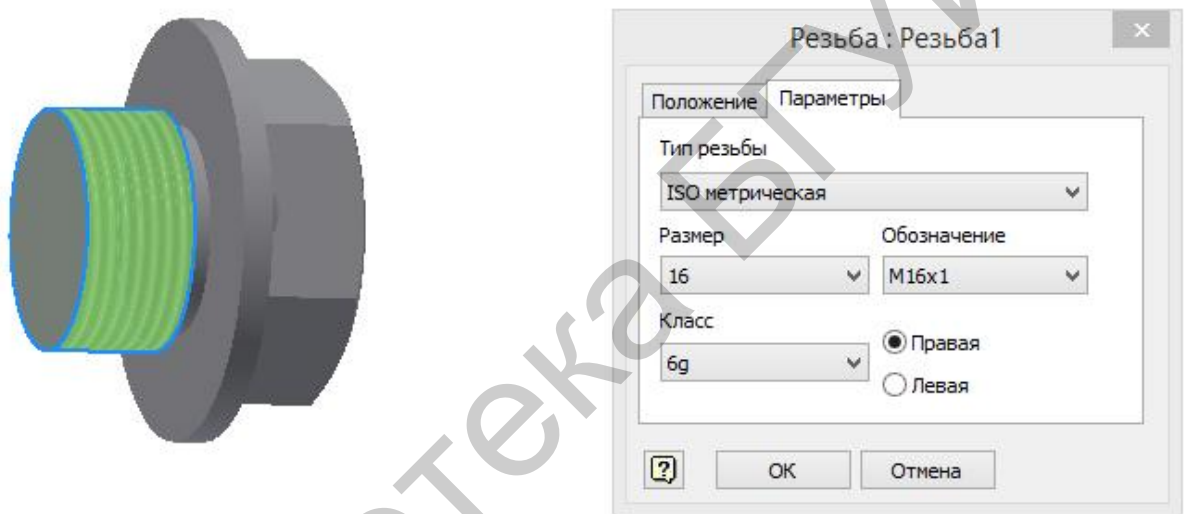


Рисунок 52 – Выполнение резьбы

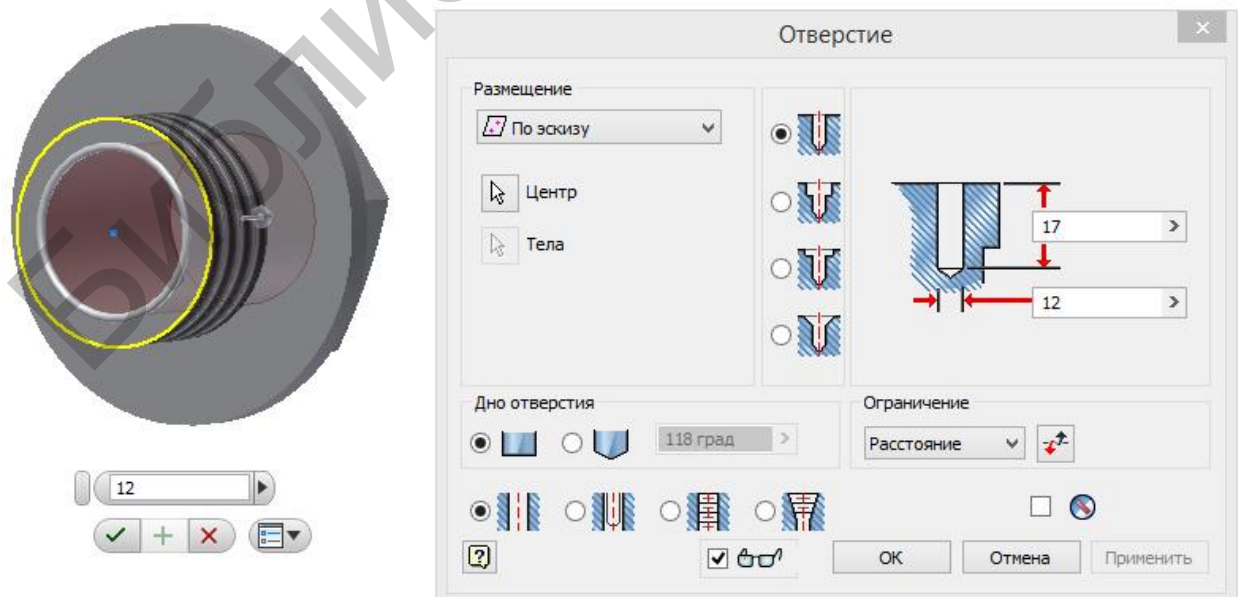


Рисунок 53 – Выполнение глухого отверстия диаметром 12 мм

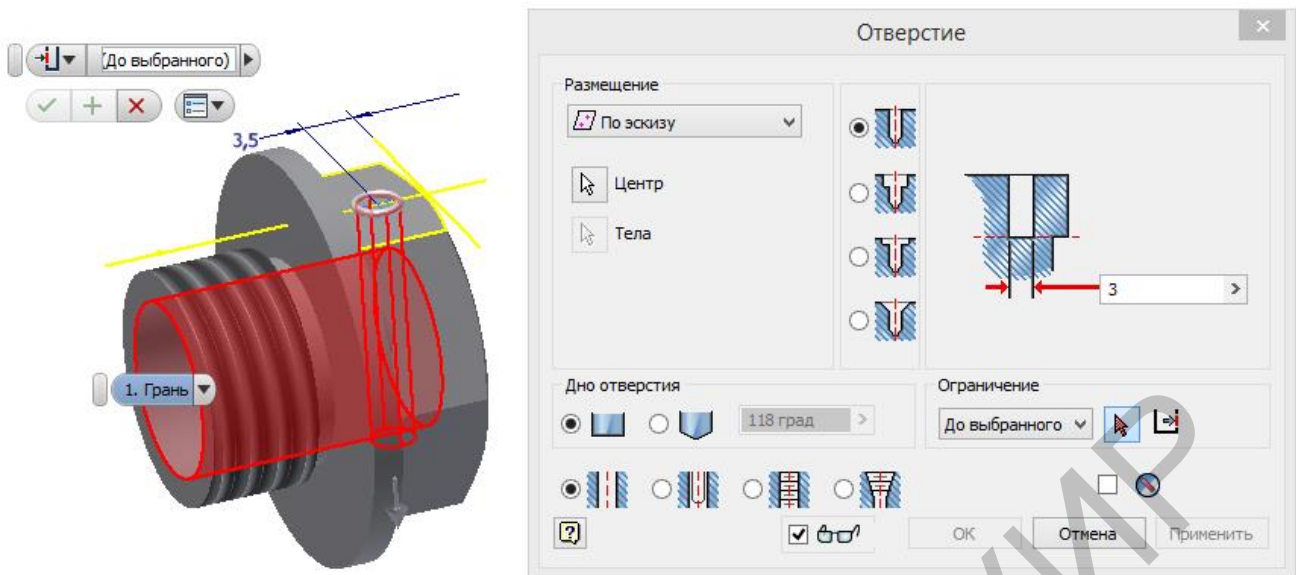


Рисунок 54 – Выполнение одного из отверстий в грани шестигранника в режиме «До выбранного»

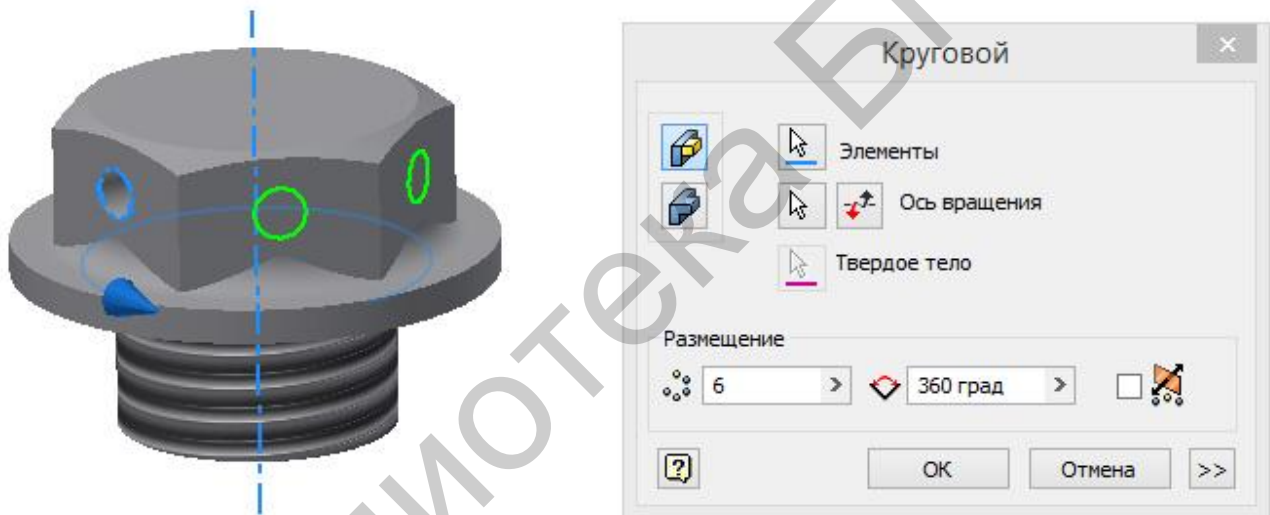


Рисунок 55 – Создание кругового массива из шести отверстий

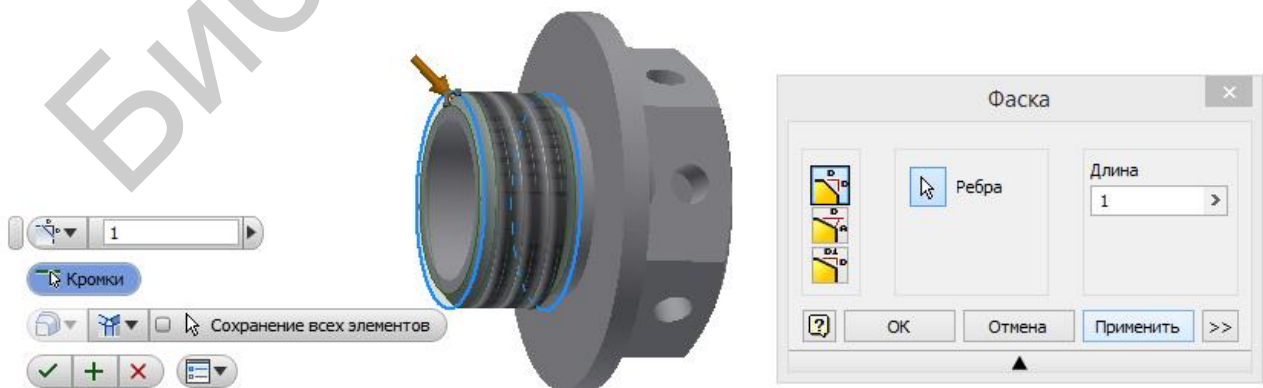
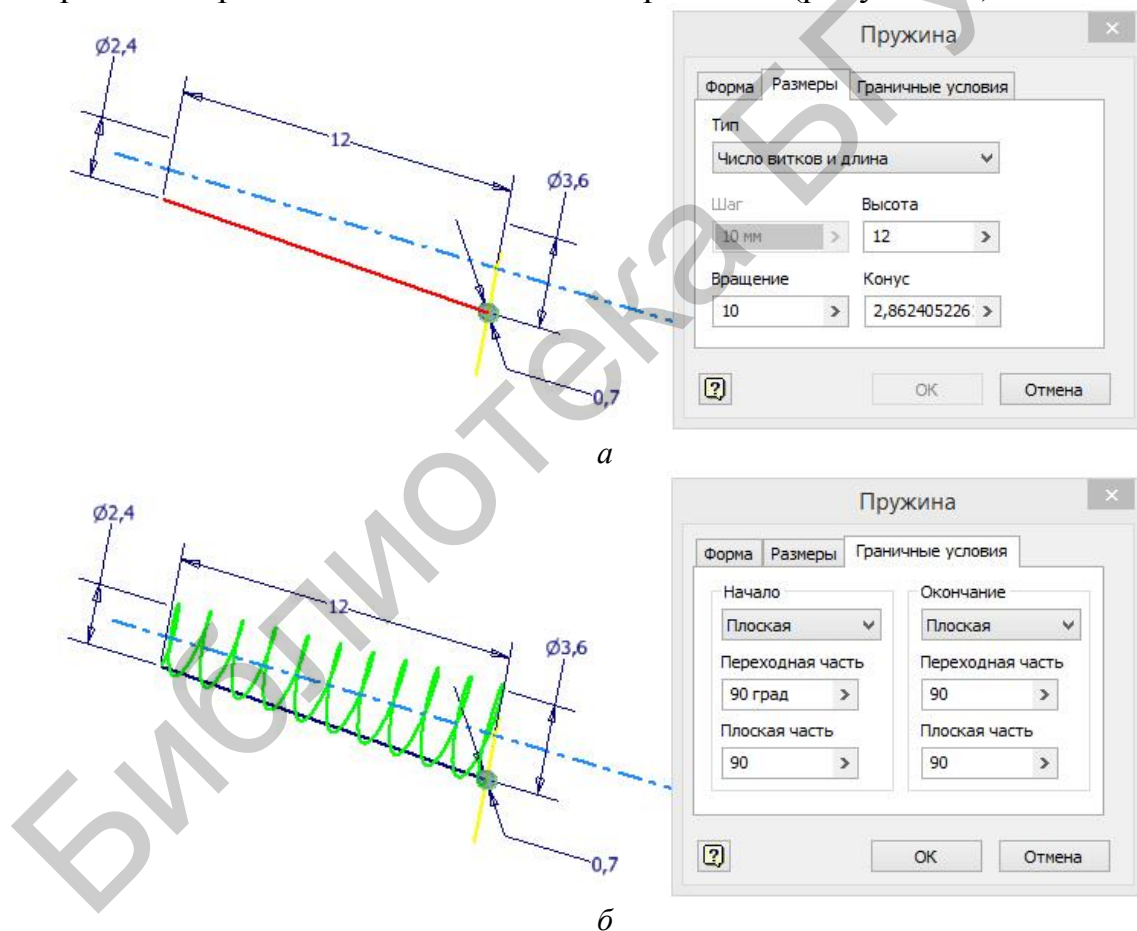


Рисунок 56 – Выполнение фасок на резьбе

Деталь «Пружина коническая». На рисунке 22 был рассмотрен способ построения модели цилиндрической пружины. Коническая пружина, показанная на чертеже в приложении А (позиция 23), может быть выполнена по аналогии с этим способом. Единственным отличием являются зашлифованные торцы. В режимах настройки конструктивного элемента «Пружина» есть опция создания на торцах плоской переходной части. Опция «плоская переходная часть» подразумевает сжатие шага крайних витков пружины, но не позволяет «зашлифовать торцы». Поэтому на первом этапе построим модель конической пружины без зашлифованных торцов. Причём если на эскизе заблаговременно указать ось расположения сечений витков (как показано на рисунке 57, а), затем при заполнении опций и размеров в поле **Конус** вместо значения выбрать **Измерить** и указать последовательно на эту линию и ось пружины, то в самом поле **Конус** появится уже вычисленное с высокой точностью значение требуемого угла.

Зашлифовать торцы пружины до длины 12 мм можно в ходе отдельной стандартной операции выдавливания или вращения (рисунок 58).



а – измерение угла конусности;
 б – указание граничных условий для торцовых витков

Рисунок 57 – Заполнении опций и размеров конструктивного элемента **Пружина**

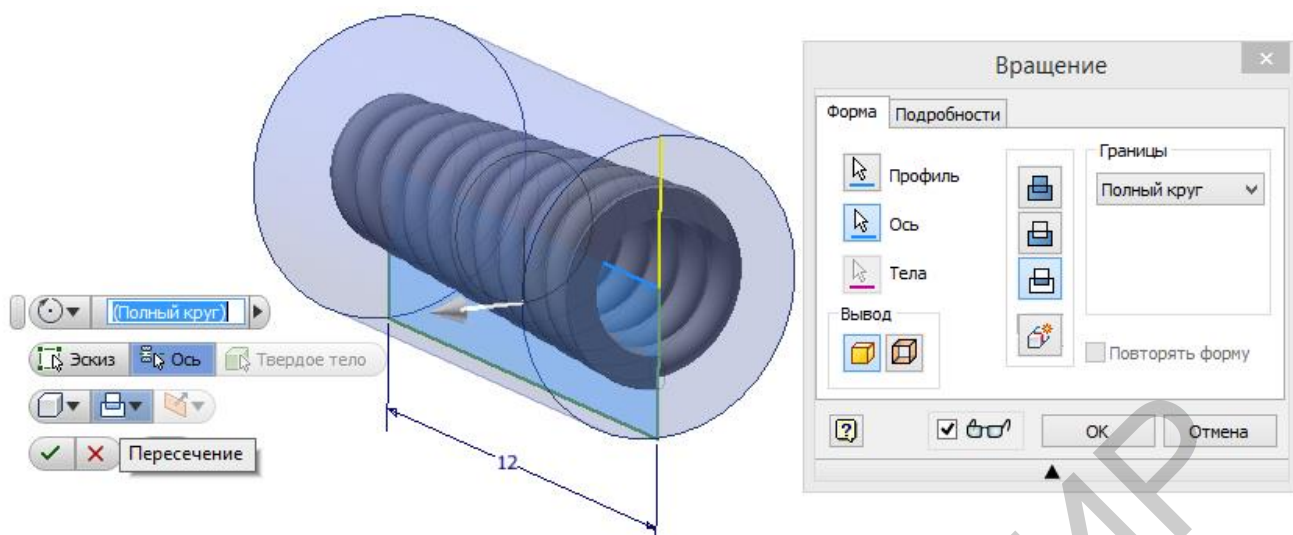


Рисунок 58 – Выполнение зашлифованных торцов при помощи команды **Вращение**

В заключение темы предлагаем несколько полезных советов от специалистов-конструкторов, в совершенстве владеющих приложением Autodesk Inventor:

1. Не перегружайте эскиз «лишними» построениями. Пусть лучше ваша модель будет состоять из большего количества операций, но в основе этих операций будут лежать простые лаконичные эскизы. Такую модель впоследствии будет легче редактировать и видоизменять. Не забывайте, что некоторые конструктивные элементы принципиально невозможно совместить в одной операции.

2. Освободите часть ресурсов своего интеллекта и направьте его на создание формы будущей детали за счёт «фиксирования» двумерного эскиза на плоскости. Иными словами, по возможности упорядочите положение эскиза на плоскости, постарайтесь как можно более разумно выбрать базовую точку. Только в этом случае Inventor сможет за вас проверить и правильность расстановки размеров, и их количество.

3. Комбинируйте способы наложения зависимостей на эскиз. Не забывайте о том, что используя, к примеру, команду **Зеркальное отражение** инструментальной панели **Массив**, вы избавляете себя от необходимости дважды наносить размеры на правую и левую части эскиза.

4. При необходимости используйте **Общий доступ к эскизу**. Его использование особенно удобно в том случае, когда вы строите модель детали по уже готовому векторному чертежу.

5. Удаляйте «лишние» профили из эскиза. В каждом эскизе оставляйте лишь те линии, которые либо служат контурами, либо являются линиями необходимых привязок.

В приложении А (позиции 24 и 25) предложены чертежи деталей средней сложности для самостоятельного моделирования и закрепления темы.

Занятие 6

Построение моделей сложной формы

К сложным деталям можно отнести те, твердотельные модели которых раскладываются более чем на 15 примитивов. Соответственно столько же операций включает в себя и алгоритм построения их моделей. В подавляющем большинстве случаев последовательность выполнения действий принципиально важна для грамотного построения формы. Даже опытный конструктор не каждую модель способен создать грамотно с первого раза. Поэтому, приступая к моделированию сложных деталей, необходимо заблаговременно позаботиться о наличии и соблюдении следующих обязательных факторов:

1. Владение полным арсеналом инструментов, операций и примитивов используемой среды разработки. Знание всех тонкостей опций и настроек используемых команд. Умение прогнозировать сбои и ошибки программного обеспечения, поскольку ни одна программная среда не является идеальной и всегда находится в стадии разработки и оптимизации. Умение решать одну задачу разными способами – строить один и тот же примитив несколькими альтернативными методами.

2. Наличие достаточного ресурса времени. Также немаловажно умение критически оценивать результат своего труда. Правильное решение задачи, как и форма изделия, не всегда и не всем очевидны изначально. Чаще всего понимание конструкции и способа её воплощения возникает в процессе накопления ошибок. Особенно это характерно для выполнения учебной работы. Поэтому в случае обнаружения несоответствий в созданной конструкции необходимо найти и исправить их причины. Возможно, даже потребуются отменить несколько действий и удалить несколько примитивов или начать построение заново. По окончании работы следует тщательно проверить соответствие модели заданию.

3. Представление о способе и технологии изготовления детали. Последовательность создания конструктивных элементов изделия должна в первую очередь соответствовать последовательности их изготовления в реальных условиях. Поэтому моделист-конструктор, создающий трёхмерную твердотельную модель детали, должен если не владеть, то по крайней мере представлять себе технологию её изготовления. Знание технологии и последовательности изготовления детали также окажется полезным при оформлении чертежа, выборе технологической базы, расстановке размеров.

В качестве примера предлагаем ознакомиться с созданием модели «Корпус регулятора давления». Чертёж этой детали в двух проекциях показан в приложении А (позиция 26).

На рисунке 59 показана последовательность действий при построении модели этой детали. Даже с учётом того, что многие однородные действия по возможности объединены, общее их количество составило 25. Далее разберём их подробно. Рекомендуем всю последовательность повторить самостоятельно, обращая внимание на содержащиеся на рисунках настройки опций команд.

Изначальная форма заготовки, из которой выполнен корпус, представляет собой отливку. Форма отливки сама по себе сложна и требует выполнения не одной, а шести операций, включая операцию вращения, условно названную «Первая стадия отливки», операцию выдавливания цилиндра «Вторая стадия отливки», операции построения литейных радиусов.

Операция «Первая стадия отливки» (рисунок 60) позволяет одновременно построить все внешние соосные цилиндрические поверхности заготовки.

Сразу после выполнения этой операции шесть кромок заготовки заменяются радиусами литейных сопряжений 2 мм – «Литейные радиусы». Выполнить их лучше всего именно на этой стадии потому, что после выполнения «Второй стадии отливки» геометрия некоторых из этих кромок станет намного сложнее.

Для выполнения «Второй стадии отливки» понадобится дополнительная вспомогательная плоскость на высоте 24,5 мм относительно главной оси заготовки – «Плоскость верхнего торца». Именно в этой плоскости будет построен эскиз – окружность диаметром 28 мм, которая впоследствии будет выдавлена вниз в режиме **До выбранного** (рисунок 61).

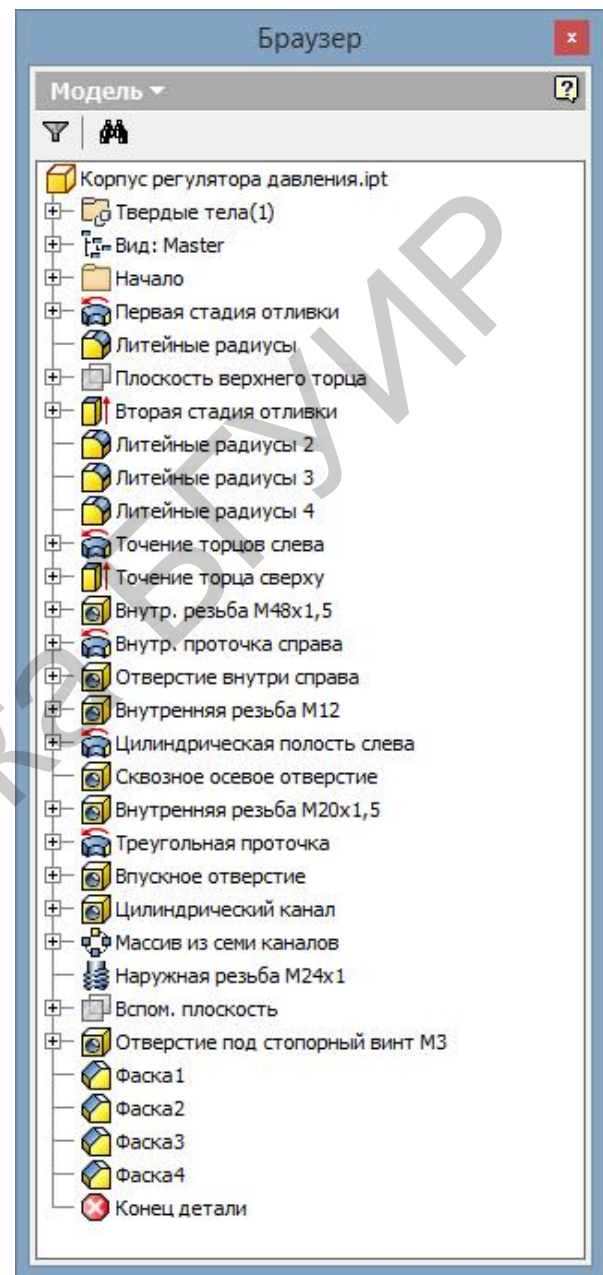


Рисунок 59 – Последовательность построения модели «Корпус регулятора давления»

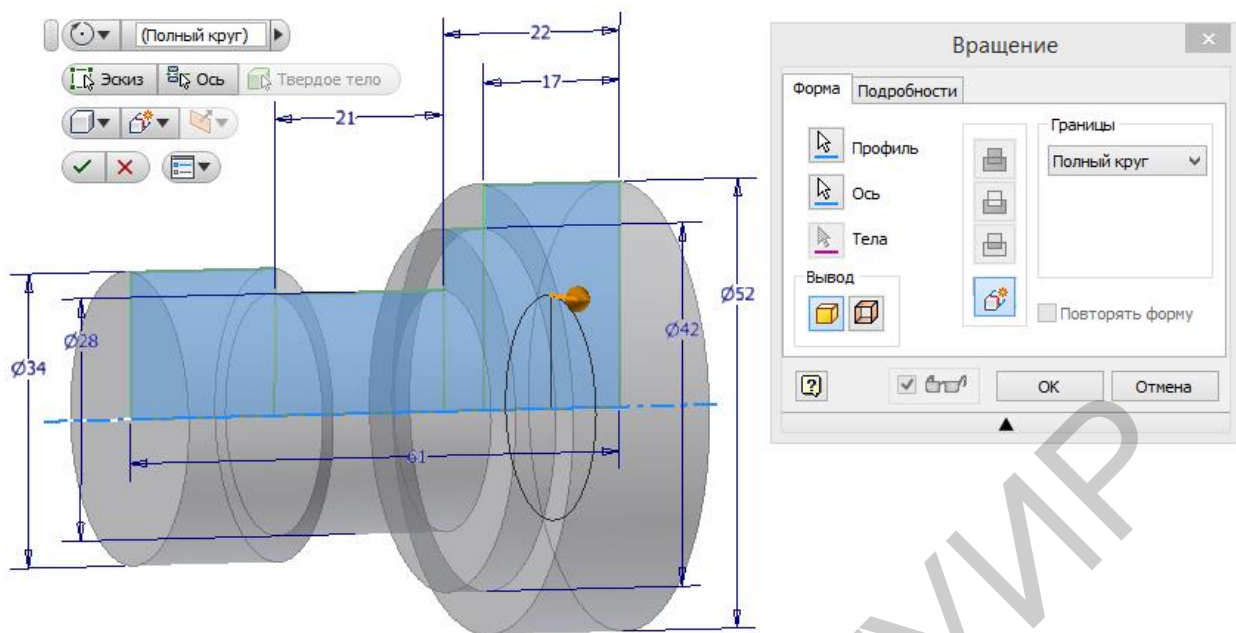


Рисунок 60 – Первая стадия формообразования заготовки корпуса

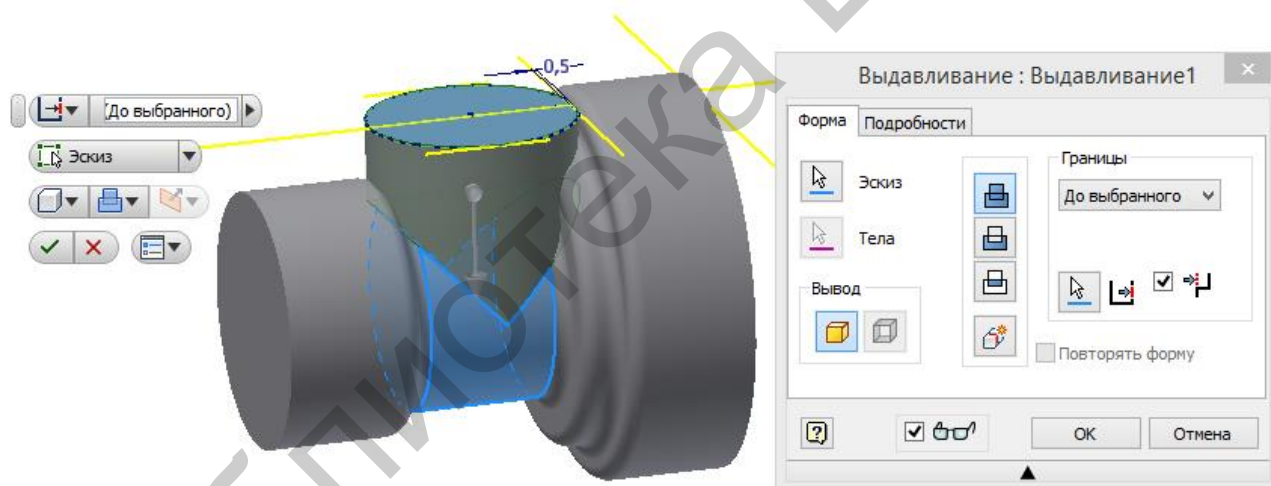


Рисунок 61 – Вторая стадия формообразования заготовки корпуса

Завершающей стадией формообразования заготовки корпуса является нанесение литейных радиусов. Поскольку многие из сопрягаемых поверхностей имеют сложные линии пересечения, построение сопряжений приходится раскладывать на несколько операций «Литейные радиусы 2...4» с той целью, чтобы не перегружать вычислениями графическое ядро программы. На рисунке 62 показана только одна из стадий формирования литейных сопряжений.

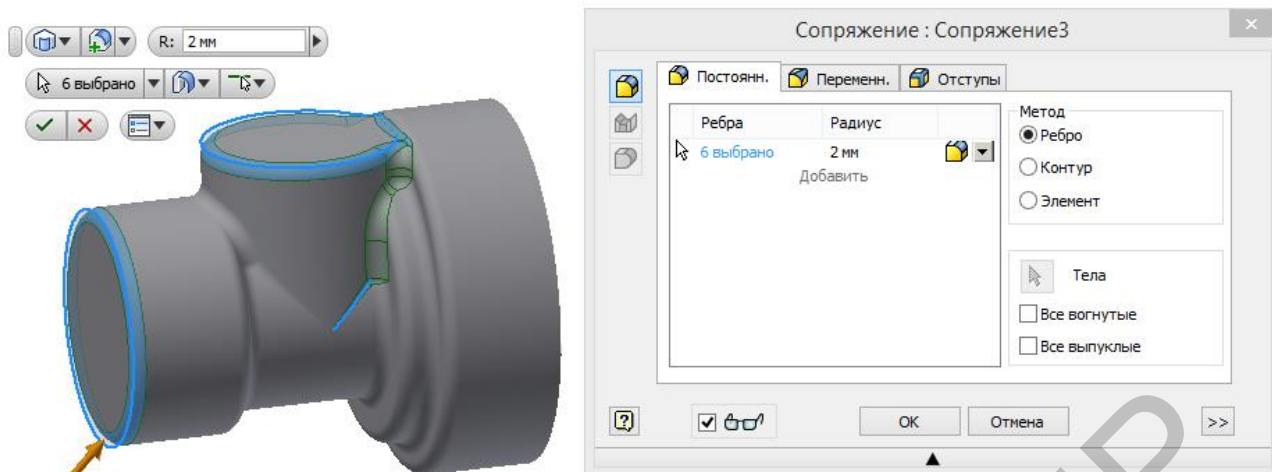


Рисунок 62 – Одна из стадий нанесения литейных сопряжений на кромки заготовки корпуса

После того как модель заготовки корпуса готова, технологически обоснованными являются операции механической обработки. Операция, условно названная «Точение торцов слева», объединяет в себе формирование цилиндрической поверхности диаметром 24 мм и длиной 16,5 мм под резьбу M24×1 и проточку глубиной 1 мм и шириной 2 мм для выхода режущего инструмента при образовании этой резьбы (рисунок 63).

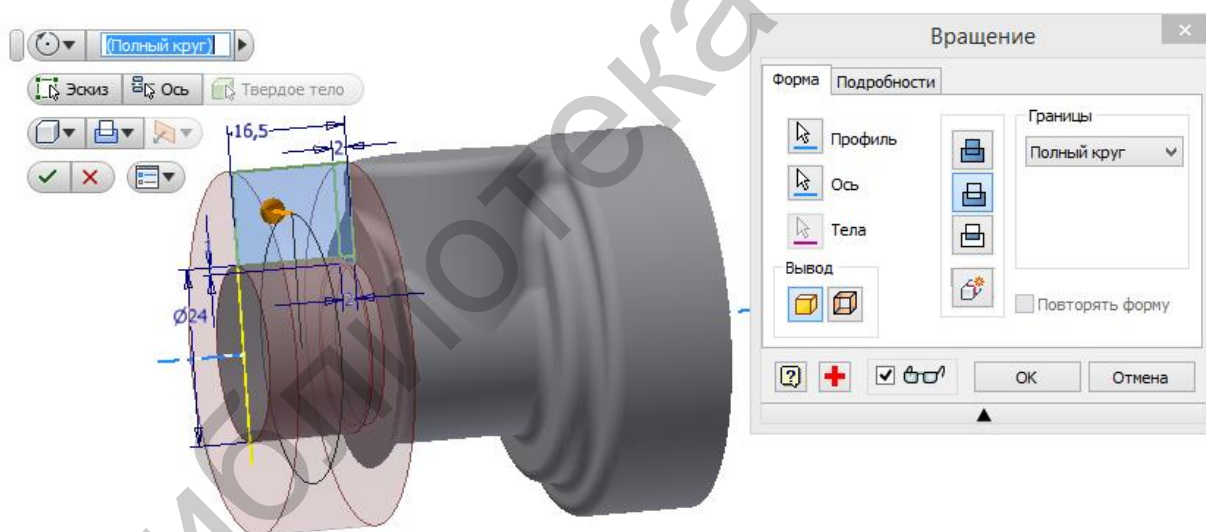


Рисунок 63 – Операция «Точение торцов слева»

Операция «Точение торца сверху» предназначена для того, чтобы удалить лишние сопряжения и обеспечить высоту верхнего фланца относительно главной оси заготовки 23 мм согласно чертежу. Именно с целью удаления сопряжений окружность диаметром 28 мм в данном эскизе следует выдавливать не на 1,5 мм вниз, а на 3 мм симметрично в обе стороны (рисунок 64).

Операция «Внутр. резьба M48×1,5» показана на рисунке 65.

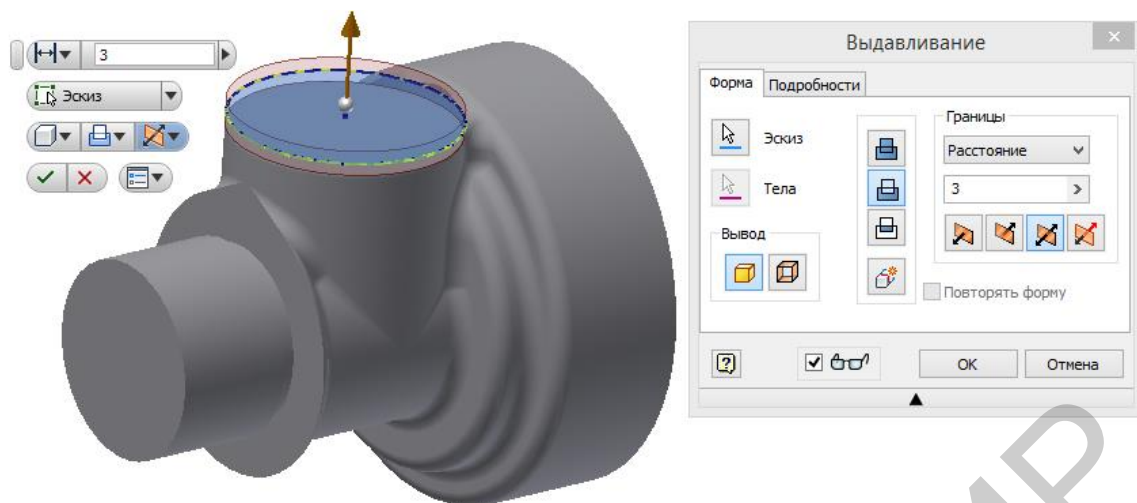


Рисунок 64 – Операция «Точение торца сверху»

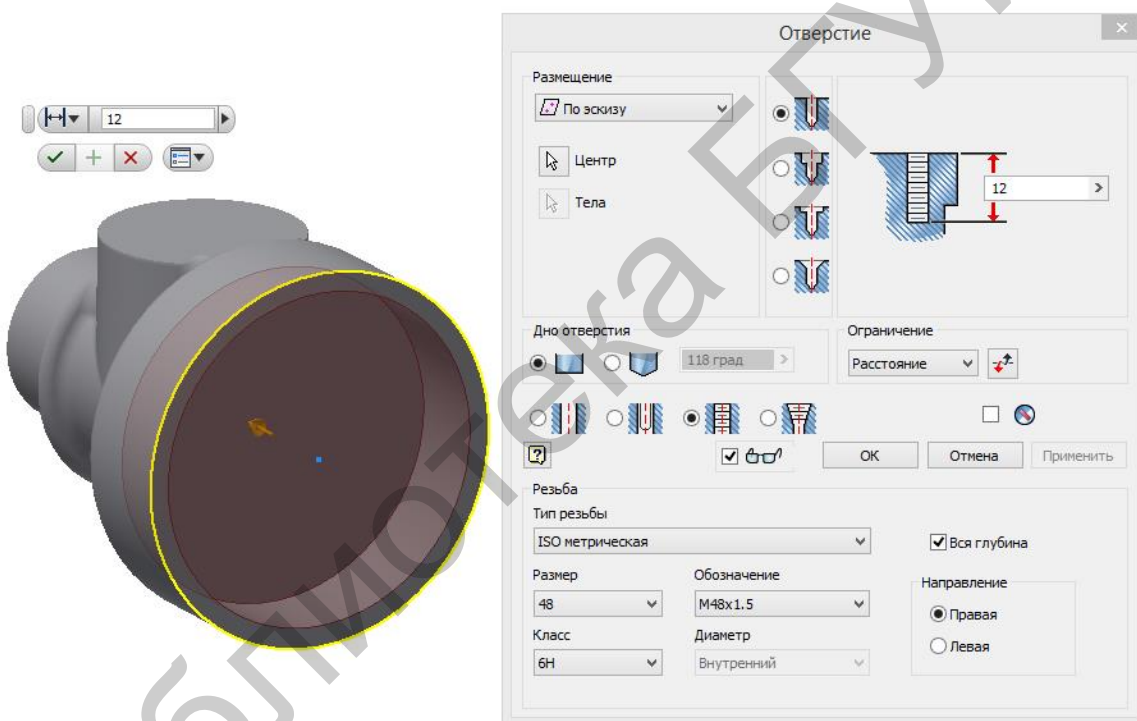


Рисунок 65 – Операция «Внутр. резьба M48×1,5»

Важно отметить, что если внешнюю резьбу всегда можно нарезать на цилиндрической поверхности с заданным диаметром, то диаметр отверстия для нарезания внутренней резьбы всегда должен учитывать припуск на её формирование. Величина этого припуска с точки зрения технологии в грубом приближении равна глубине профиля резьбы. Эта величина является справочной и правильно учесть её без специализированной литературы невозможно. Именно поэтому при создании твердотельных моделей в Autodesk Inventor внутреннюю резьбу всегда предпочтительнее создавать при помощи операции **Отверстие**. Правильная настройка опций этой операции уже содержит величину необходимого припуска.

Операция «Внутр. проточка справа» (рисунок 66) позволяет одновременно построить цилиндрическую поверхность диаметром 45 мм, оставшуюся после сбега резьбы M48×1,5 с заплечиками для упора сопрягаемой детали, и цилиндрическую поверхность диаметром 37 мм с сопряжением 2 мм.

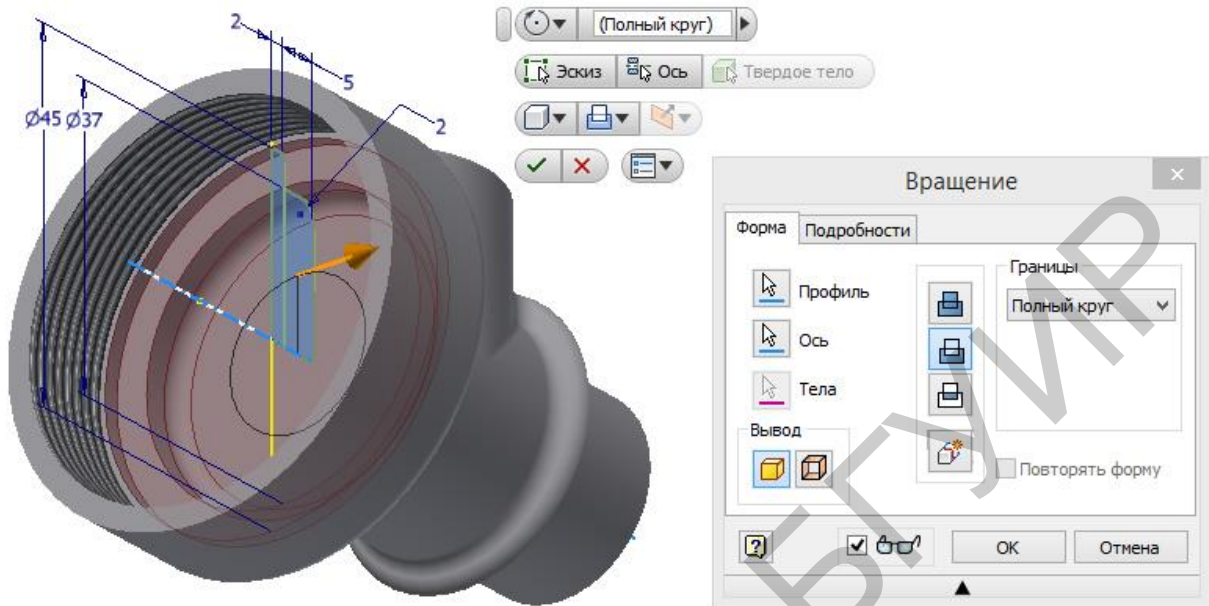


Рисунок 66 – Операция «Внутр. проточка справа»

В ходе выполнения предыдущей операции образовалось плоское основание цилиндрической выборки, в центре которого можно сверлить отверстие диаметром 8 мм с коническим дном – операция «Отверстие внутри справа» (рисунок 67).

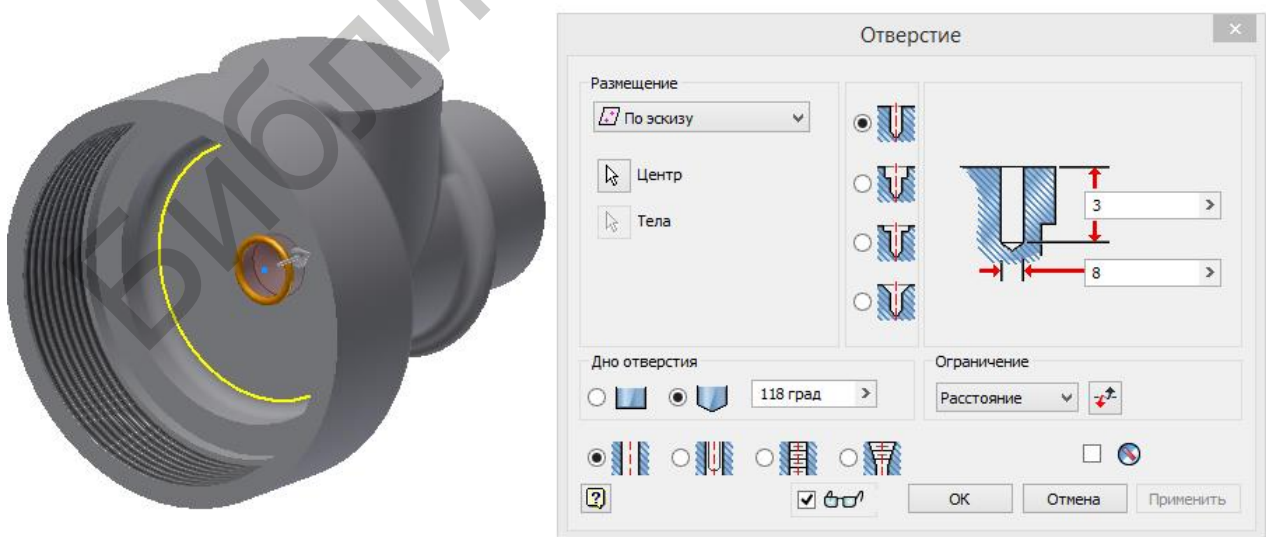


Рисунок 67 – Операция «Отверстие внутри справа»

На этом конструктивные элементы, расположенные в правой части корпуса, заканчиваются, и следующая группа операций сосредоточена на выполнении необходимых полостей в левой части заготовки.

Первой операцией этой группы является сверление осевого отверстия с «Внутренней резьбой М12» (рисунок 68).

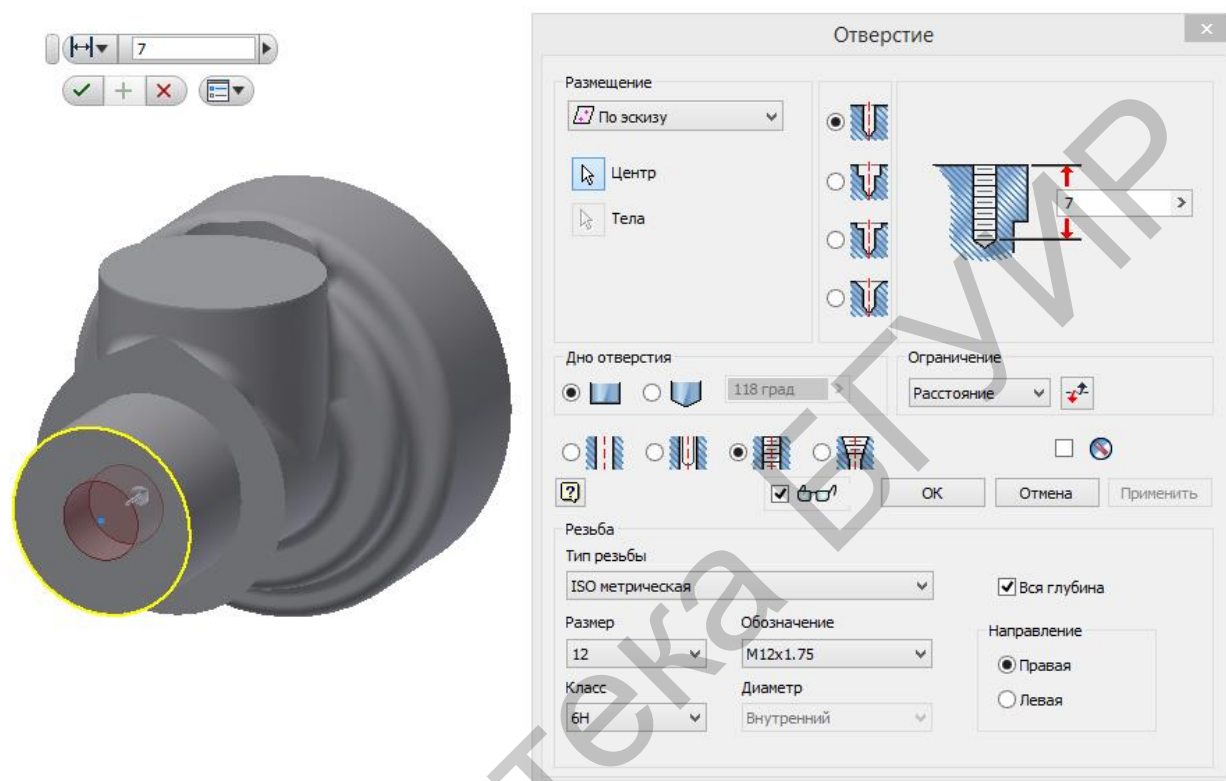


Рисунок 68 – Операция «Внутренняя резьба М12»

Следующая операция «Цилиндрическая полость слева» совмещает в себе формирование трёх конструктивных элементов: проточки диаметром 13 мм для выхода резьбонарезного инструмента в продолжение резьбовой поверхности предыдущей операции, самого цилиндрического отверстия диаметром 9 мм и круглой бобышки диаметром 3 мм с коническими краями на дне этого отверстия (рисунок 69).

После этой операции останется соединить левую и правую полости детали сквозным отверстием диаметром 3 мм. Пример выполнения операции «Сквозное осевое отверстие» показан на рисунке 70. После её завершения можно приступить к образованию конструктивных элементов в верхней части заготовки.

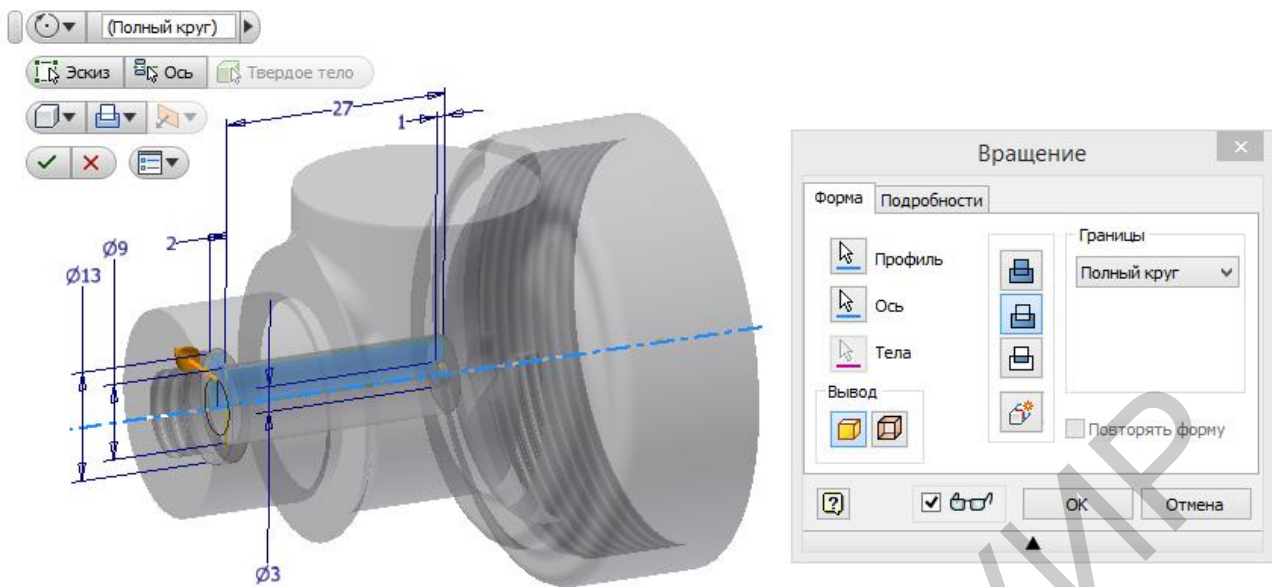


Рисунок 69 – Операция «Цилиндрическая полость слева»

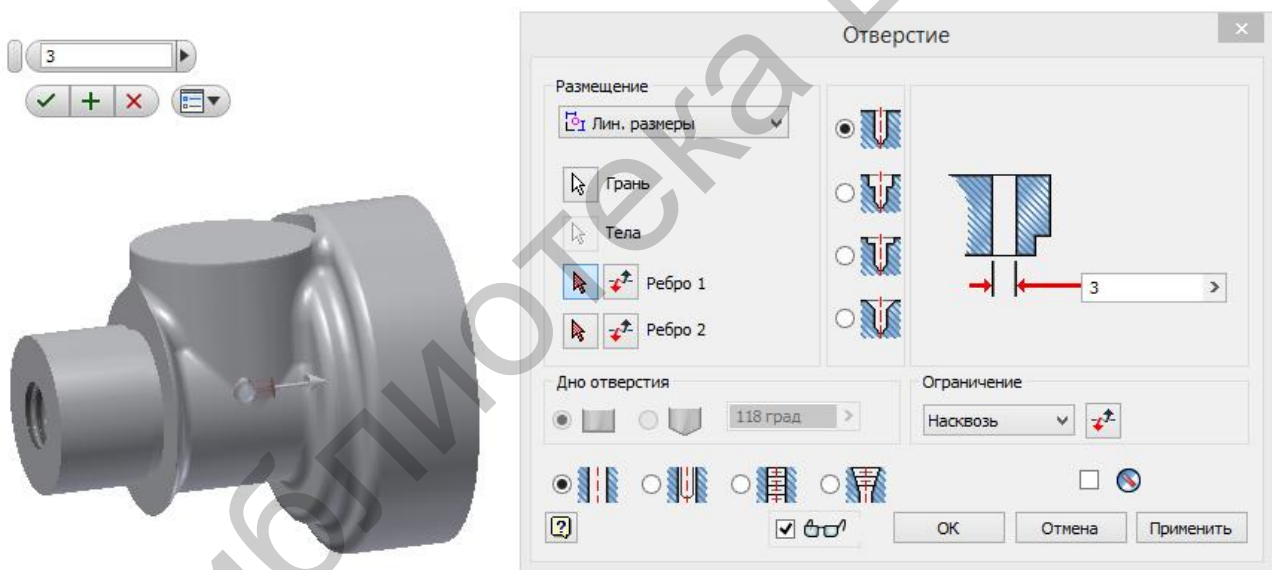


Рисунок 70 – Операция «Сквозное осевое отверстие»

Основным конструктивным элементом верхней части детали является «Внутренняя резьба M20×1,5». Выполнить её можно одновременно с буртиком высотой 2 мм, если учесть, что буртик этот образуется цекованием поверхности диаметром 24 мм, что и показано в примере на рисунке 71.

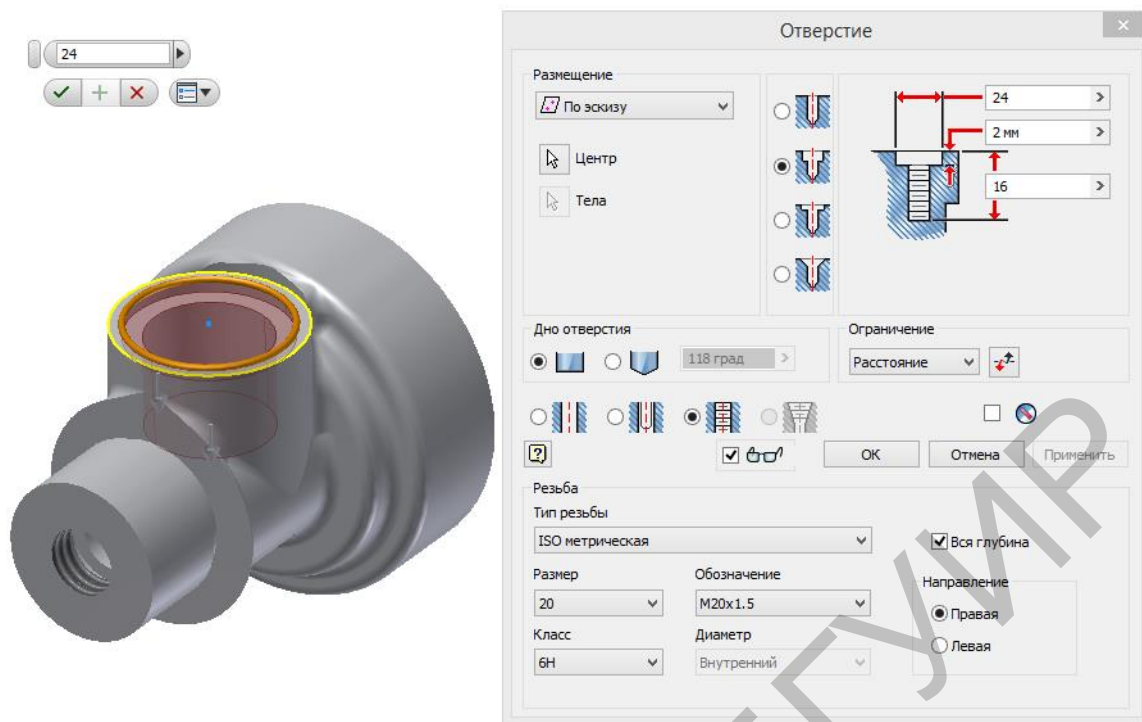


Рисунок 71 – Операция «Внутренняя резьба M20×1,5»

В завершение внутренней резьбы M20×1,5 в детали должна быть выполнена «Треугольная проточка», компенсирующая недорез резьбы и выход резьбонарезного инструмента. Выполнить эту проточку можно операцией **Вращение** с удалением материала (рисунок 72).

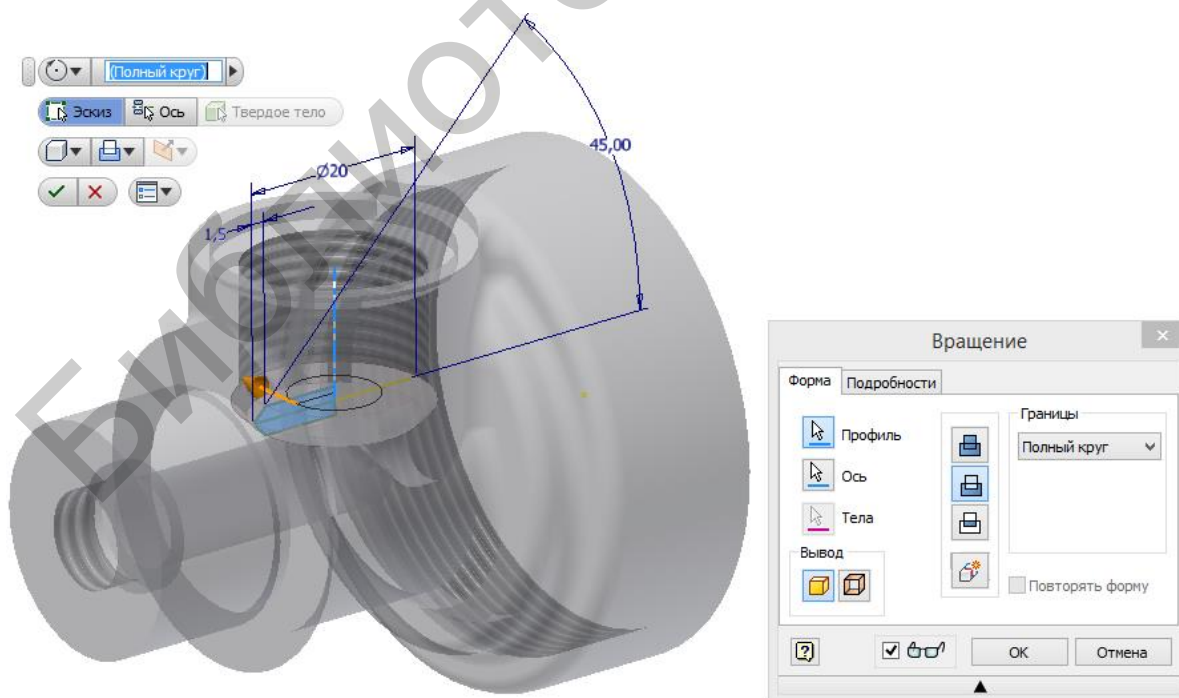


Рисунок 72 – Операция «Треугольная проточка»

Верхняя полость детали с правой и левой осевыми полостями соединяется выпускным отверстием диаметром 2 мм. Выполнить его проще всего так, как показано на рисунке 73.

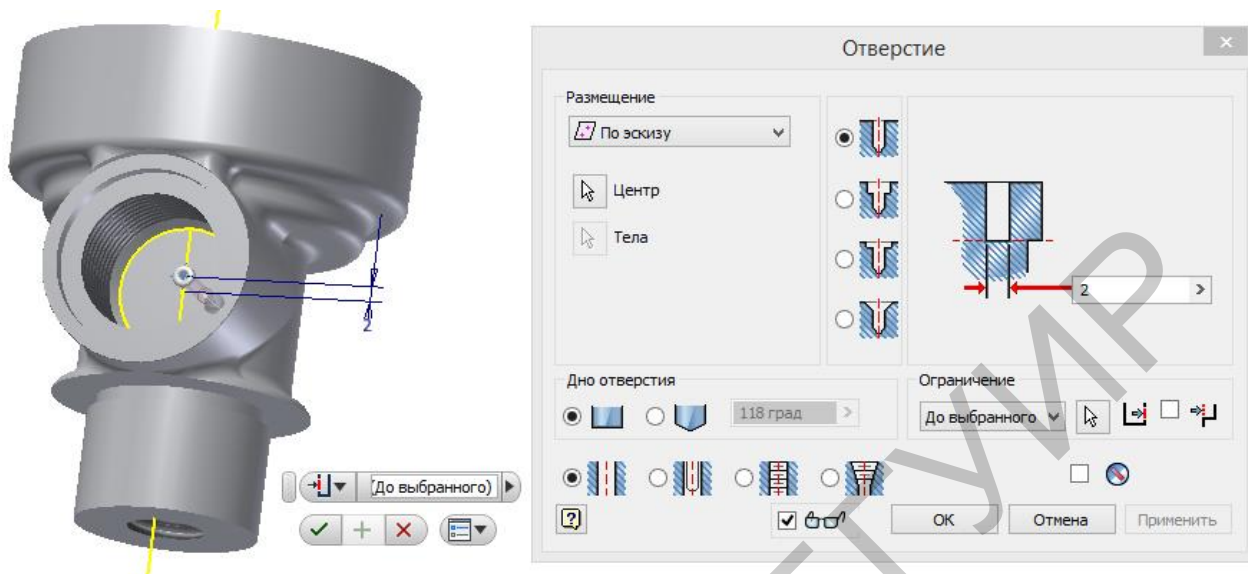


Рисунок 73 – Операция «Выпускное отверстие»

Кроме уже построенных конструктивных элементов с левого торца детали расположены семь сквозных цилиндрических каналов – отверстий диаметром 3 мм. Выполнить их можно в два действия: сначала построить одно из них, как показано на рисунке 74, а затем размножить при помощи команды **Круговой массив элементов** (рисунок 75).

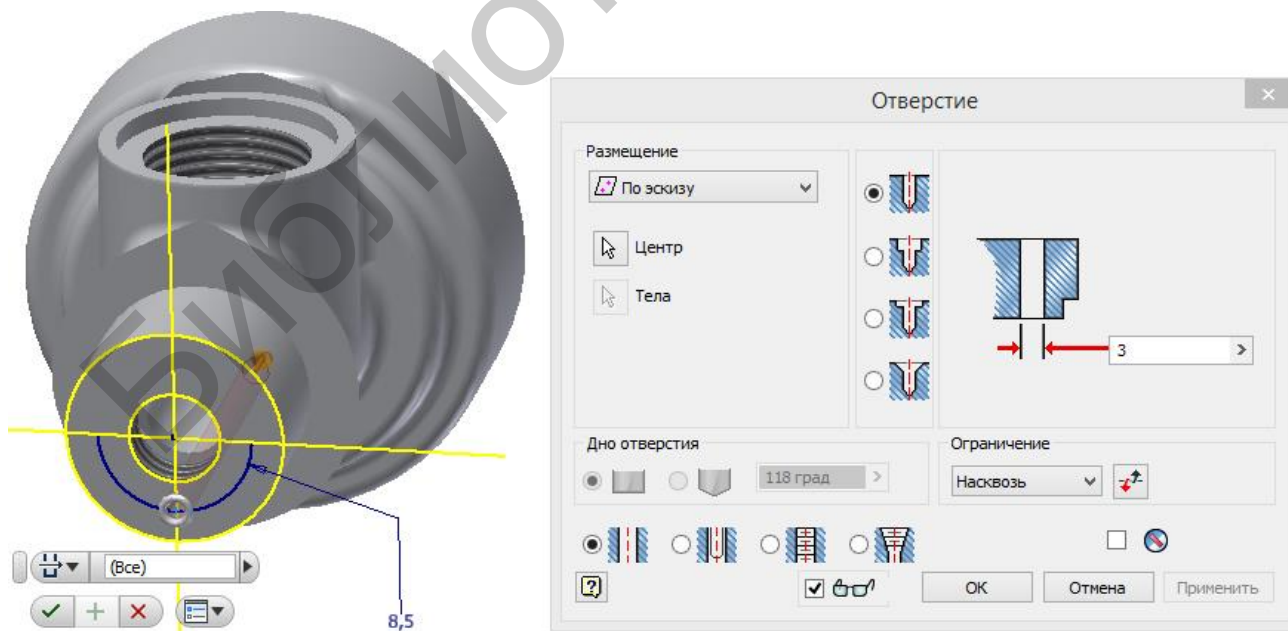


Рисунок 74 – Операция «Цилиндрический канал»

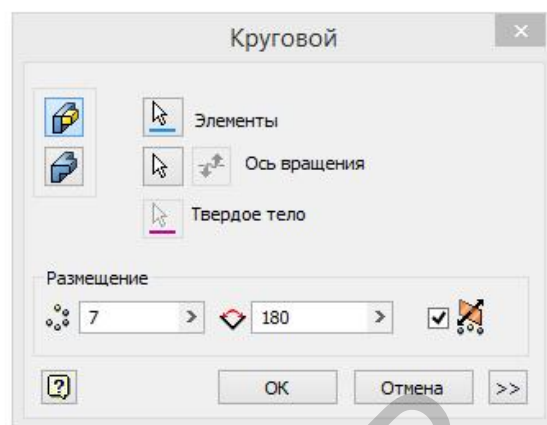
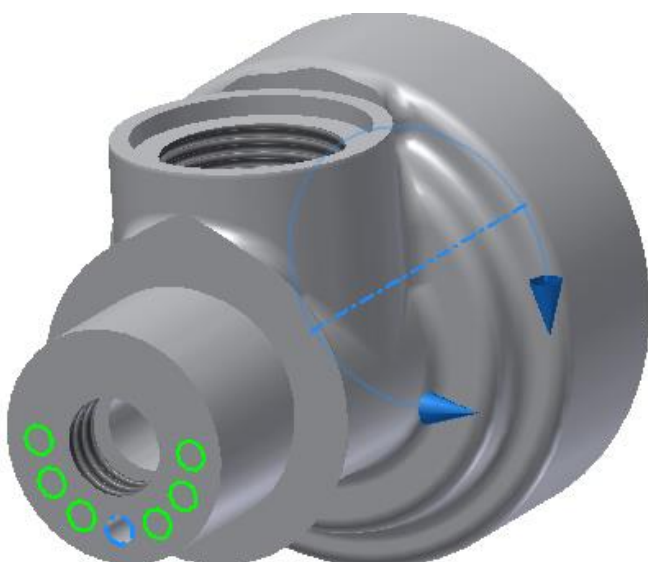


Рисунок 75 – Операция «Массив из семи каналов»

Завершаем работу над моделированием корпуса выполнением наружной резьбы M24×1 на левом торце (рисунок 76) и выполнением отверстия под стопорный винт (рисунок 77), для создания эскиза которого потребуется введение вспомогательной плоскости, касательной к цилиндрической поверхности.

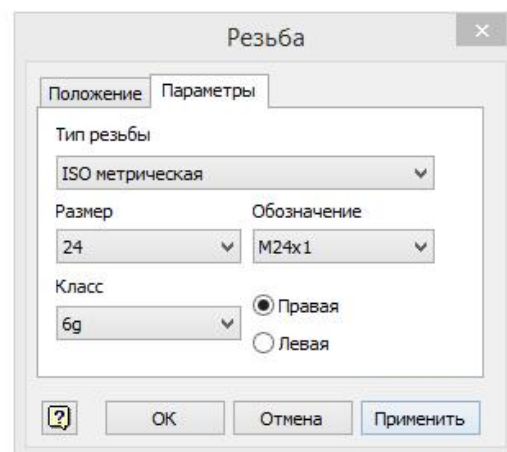


Рисунок 76 – Операция «Наружная резьба M24×1»

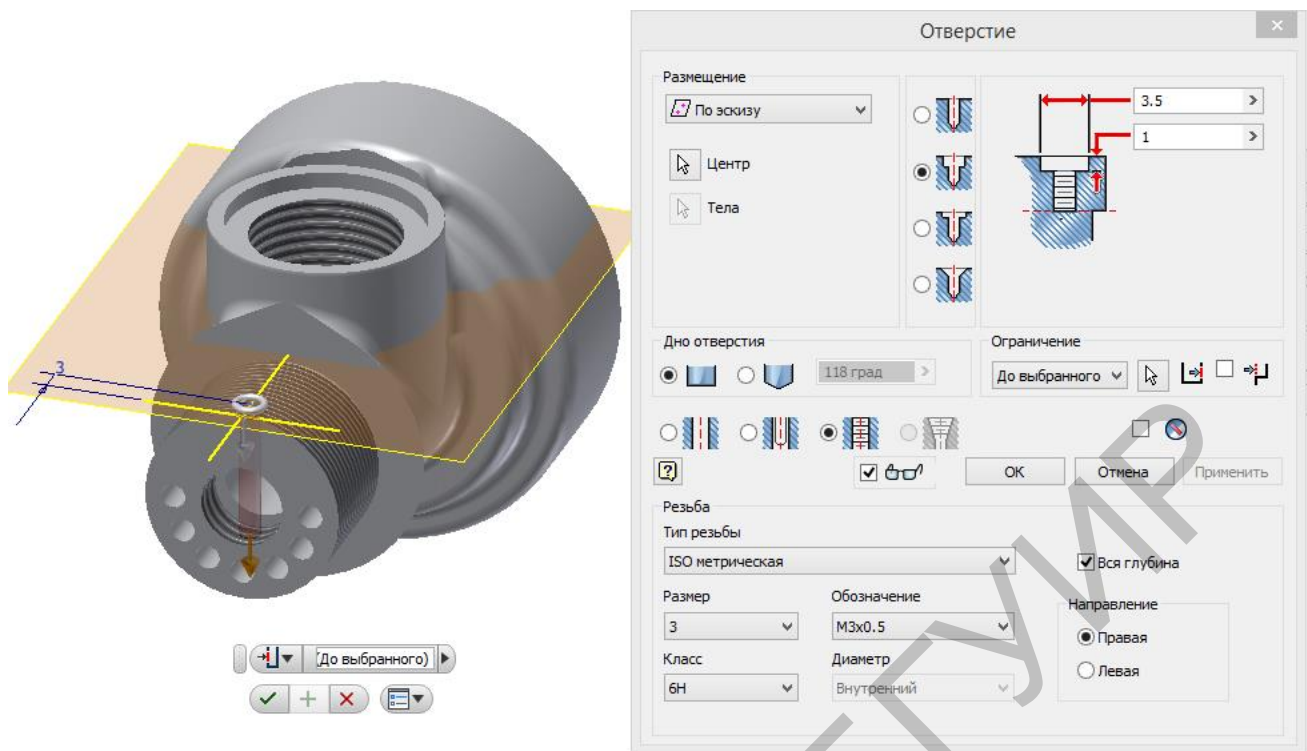


Рисунок 77 – Операция «Отверстие под стопорный винт М3»

После нанесения всех недостающих фасок на кромки поверхностей деталей (рисунок 78) и назначения свойств материала – бронза – получаем такую же модель детали, как показанная на обложке данного учебно-методического пособия.

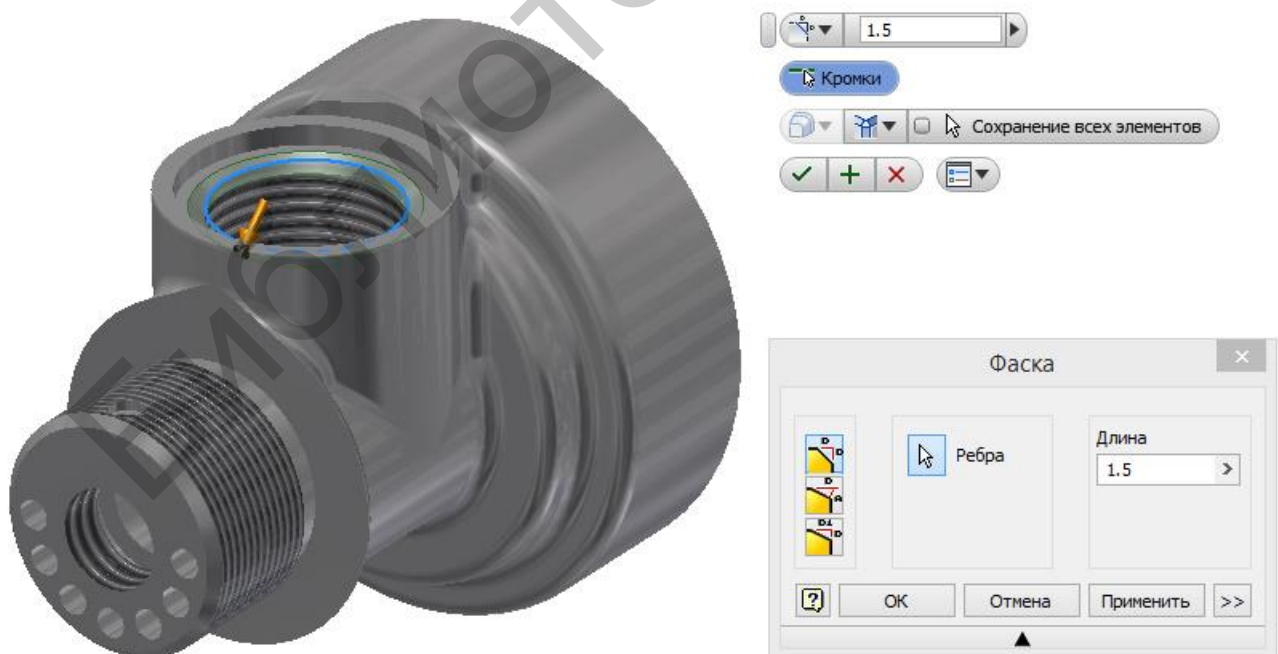


Рисунок 78 – Операция нанесения фаски 1,5×45°

Занятие 7

Моделирование изделий из листового металла

Часто при проектировании изделий радиоэлектронной техники необходимы детали, изготовленные из листового металла. Такими изделиями являются корпуса, панели, защитные экраны, кожухи и различного рода крепежная фурнитура. Детали из листового металла имеют постоянную толщину. Операции выполняются таким образом, чтобы в итоге проектирования детали можно было получить её развёртку для дальнейшего изготовления на станках с числовым программным управлением. Autodesk Inventor обеспечивает функциональность, облегчающую проектирование, редактирование и составление документации как для готовых моделей после гибки, так и для разверток деталей из листового металла.

В данном занятии познакомимся со способами создания деталей из листового металла. Для открытия нового проекта под названием **Листовой металл** нужно в списке шаблонов (см. рисунок 2) выбрать **ЛистМат(мм).ipt.** и нажать кнопку **Создать**.

Панель инструментов **Листовой металл** (рисунок 79) сильно отличается от панели **3D-модель**. При этом неизменным остаётся основной принцип твердотельного моделирования: прежде чем приступить к созданию первого примитива, нужно создать эскиз. Команда **Создать 2D-эскиз** находится с левого края палитры.

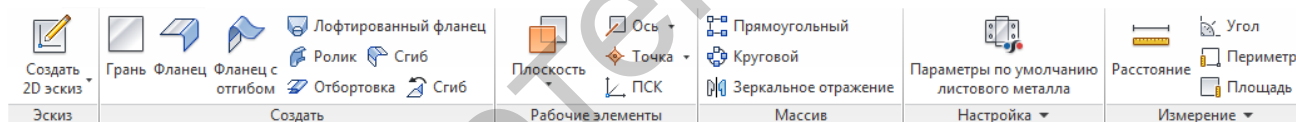


Рисунок 79 – Инструментальная палитра работы с моделями из листового металла

Прежде чем приступить к моделированию, необходимо задать толщину листа, из которого будет изготовлено изделие. Для этого в инструментальной палитре нужно выбрать команду **Параметры по умолчанию листового металла**. В открывшемся окне (рисунок 80) можно указать не только требуемую толщину металла, но и дополнительные условия гибки и развёртывания, если нажать кнопки с изображением карандаша. В графе **Материал** кроме металла можно выбрать другие материалы.

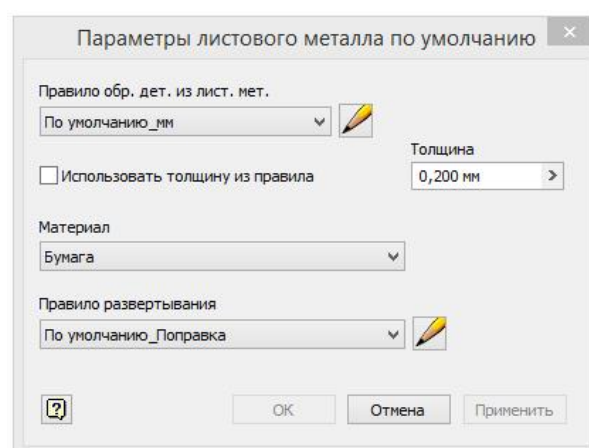


Рисунок 80 – Окно установки параметров листового металла

Внесённых в примере значений (толщина 0,2 мм, материал – картон) будет достаточно, чтобы для начала сконструировать простейшую модель – спичечный коробок. Выбрав за основную грань дно короба, в качестве первого эскиза создадим его контур – прямоугольник с размерами 25×47 мм. Затем при помощи команды **Грань** преобразуем его в лист ранее заданной толщины (рисунок 81).

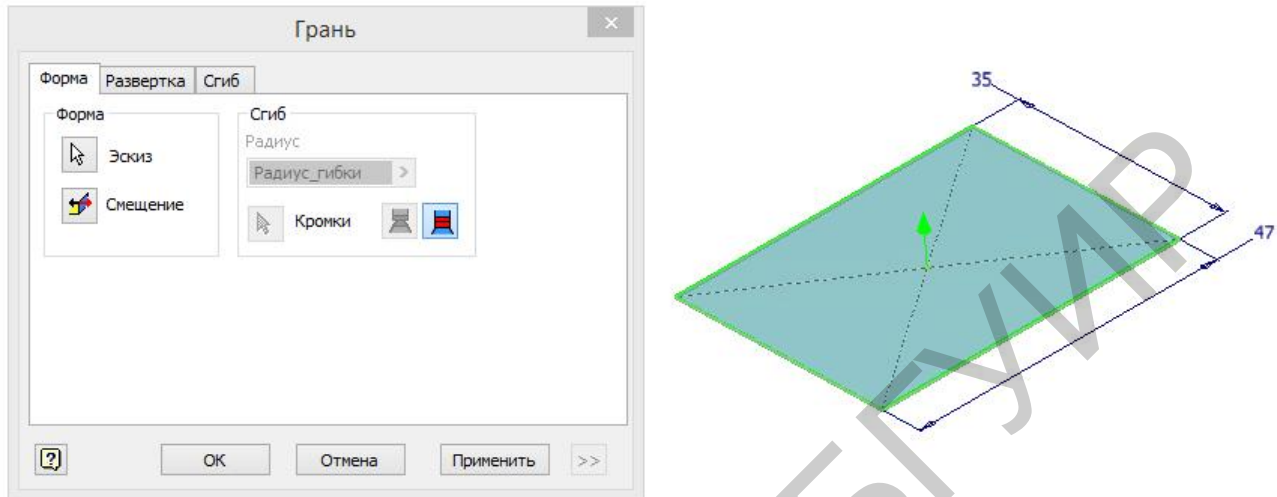


Рисунок 81 – Создание первой грани детали из листового материала

Следующей стадией будет являться построение бортов с длиной стороны 47 мм. Их можно выполнить при помощи команды **Фланец**. Эта команда не требует создания эскиза, но требует внимательной настройки параметров и опций. Особое внимание рекомендуем обратить на опции **Отсчёт высоты** и **Место сгиба** (рисунок 82). Именно их неправильное использование, как правило, и является причиной накопления ошибок в дальнейшем.

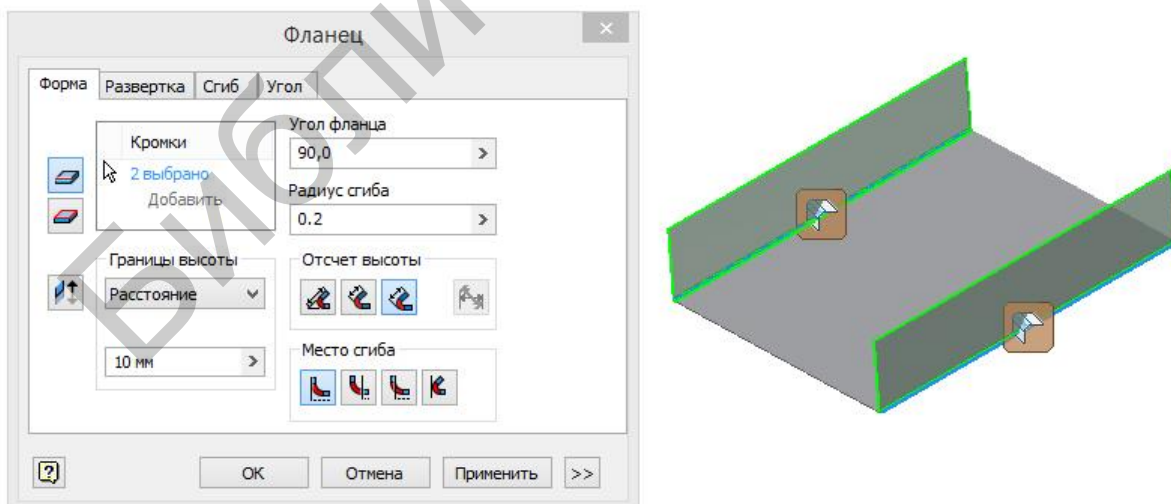


Рисунок 82 – Создание бортов при помощи команды **Фланец**

Боковые кромки построенных бортов, как правило, имеют отгибы для крепления с соседними бортами. Построим эти отгибы до того, как приступим к выполнению остальных двух бортов (рисунок 83).

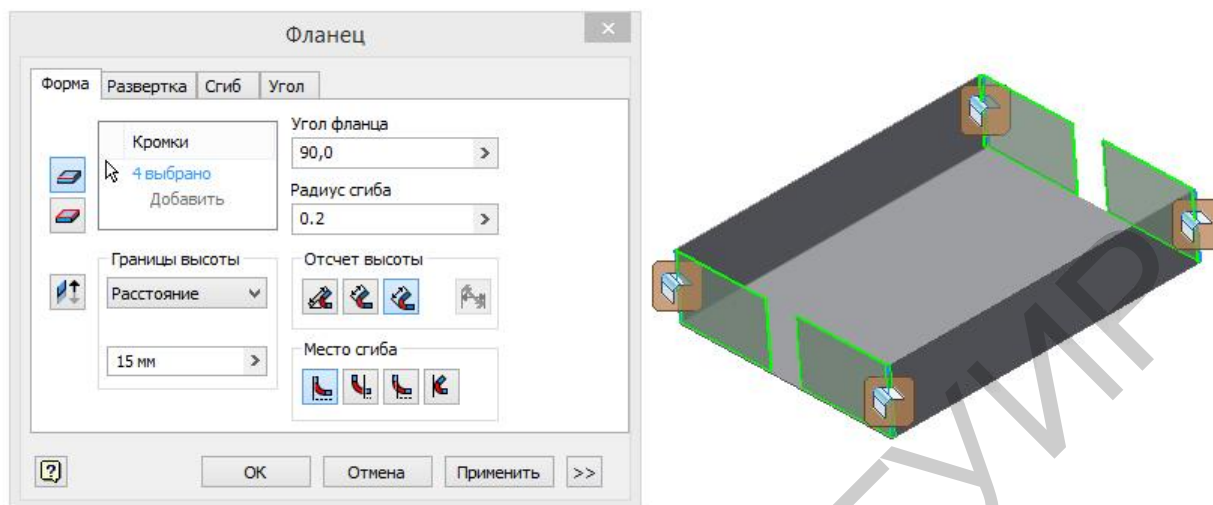


Рисунок 83 – Создание отгибов для крепления с соседними бортами

Приступим к выполнению остальных двух бортов (рисунок 84).

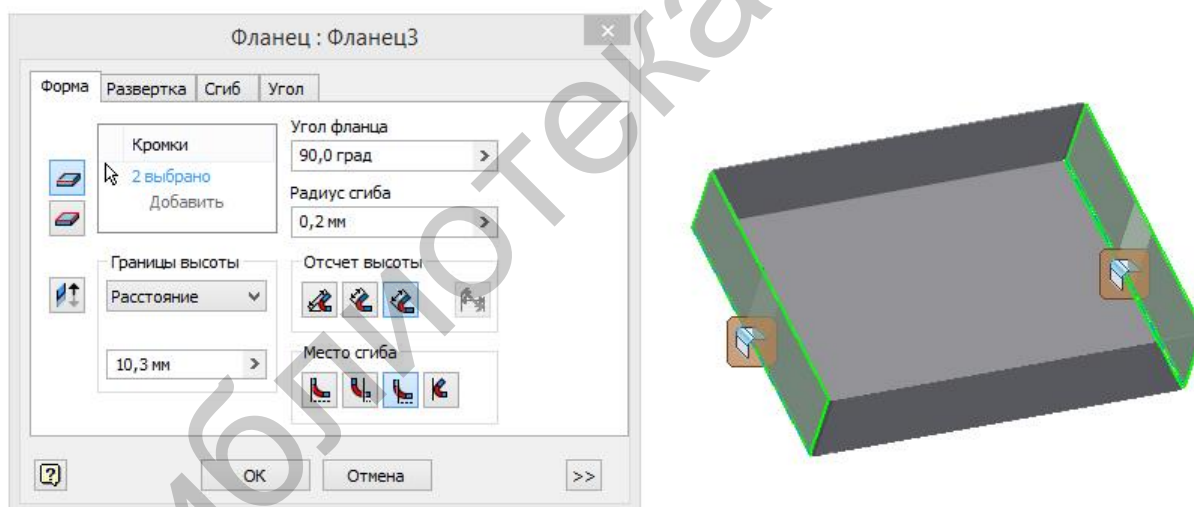


Рисунок 84 – Создание двух коротких бортов

Обратите внимание на настройки опции **Место сгиба**. Именно такие настройки позволят избежать взаимных пересечений материала и позволят получить такой сгиб, какой показан на рисунке 85.

Также обратите внимание на высоту борта 10,3 мм. Эта величина больше двух первых бортов для того, чтобы остался запас на отбортовку.

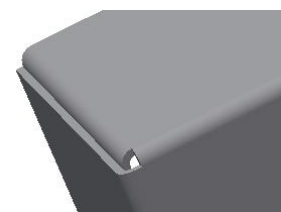


Рисунок 85 – Образец выполнения сгиба

Отбортовка (загиб борта на 180°) необходима для конечного закрепления соседних бортов между собой. Она должна перекрыть и обхватить ранее построенные на длинных бортах отгибы. Выполняется отбортовка при помощи соответствующей команды (рисунок 86). При этом параметры зазора выбраны такими, чтобы отбортовка захватила только толщину отгибов и чтобы загнутая часть не упёрлась ни в дно, ни в радиус гибки у основания.

Сгибание развёрток является вторым способом создания моделей из листового материала. В качестве примера построим модель детали радиотехнического назначения – контакта предохранителя. Чертёж детали показан в приложении А (позиция 27).

На чертеже показана развёртка заготовки с указанием толщины листового металла, линий сгиба, радиусов и углов гибки. Целесообразнее начинать создание модели именно с её развёртки. При этом последовательность первых операций ничем не будет отличаться от способа, рассмотренного ранее:

- первым шагом будет являться настройка параметров по умолчанию: материал – сталь, толщина 0,3 мм;
- затем следует создание первого эскиза – контура одного из лепестков (рисунок 87).

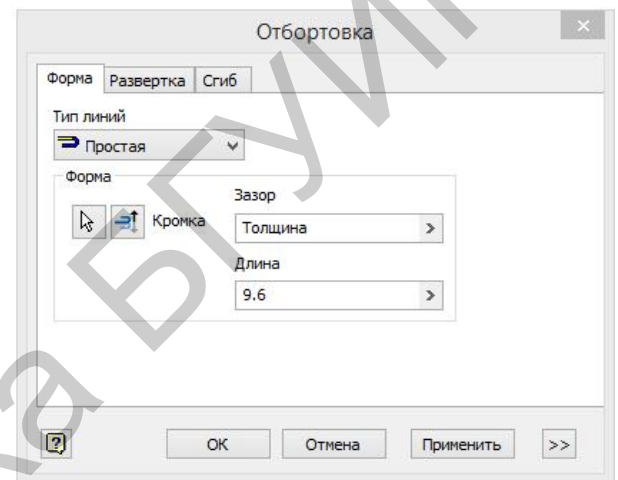
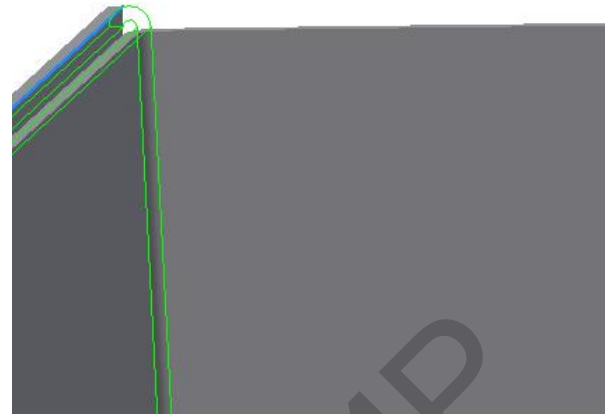


Рисунок 86 – Пример выполнения отбортовки

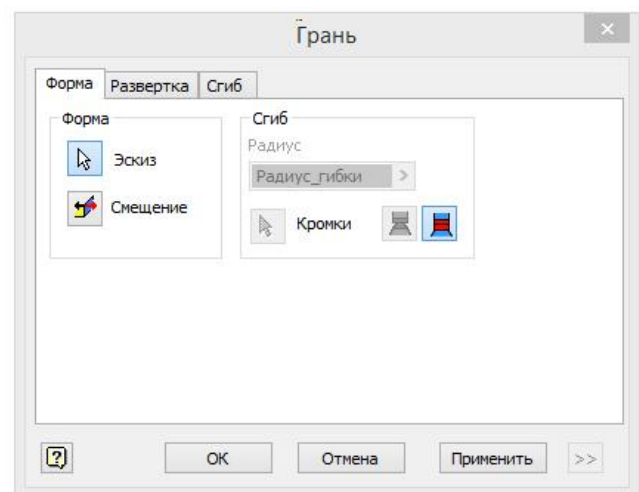
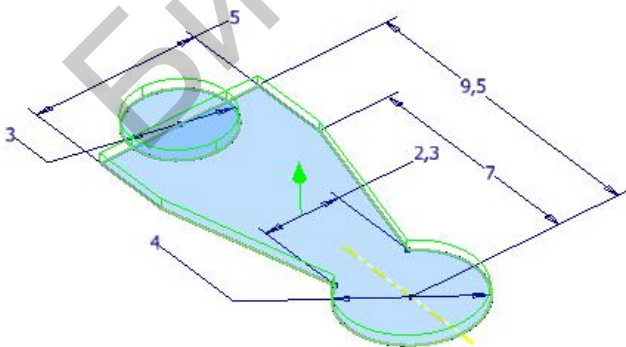


Рисунок 87 – Создание одного из лепестков контакта

Остальные три лепестка можно получить при помощи кругового массива конструктивных элементов (рисунок 88).

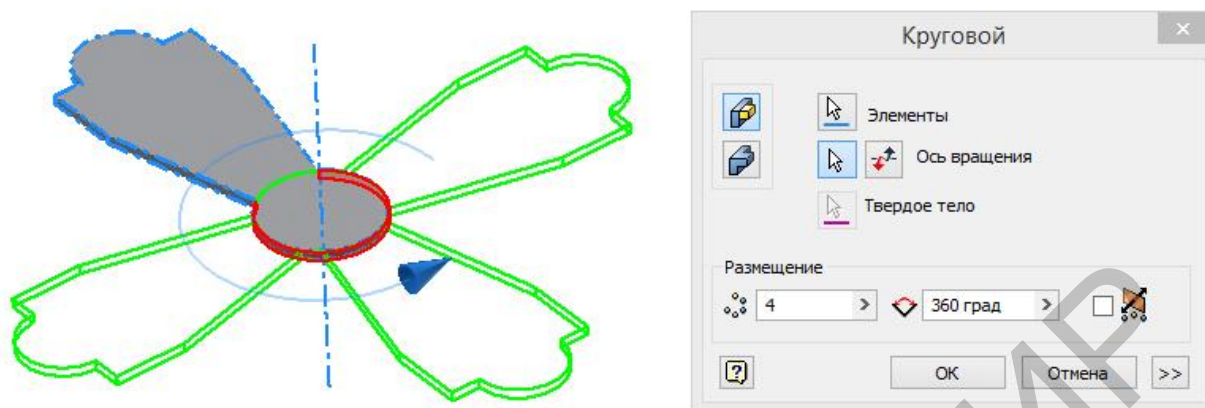


Рисунок 88 – Создание кругового массива из четырёх лепестков

Изогнуть заготовку по заданной линии сгиба, на заданный угол и по заданному радиусу позволяет команда **Сгиб (фальцевание)**. Для её выполнения достаточно наличия плоского листа (заготовки) и эскиза (линии на её поверхности). Все остальные условия и параметры действия указываются во всплывающем окне настроек.

На рисунке 89 показано, как в эскизе, построенном на поверхности развёртки, нарисована ось гибки на расстоянии 3 мм от центра детали, а затем в окне настройки параметров **Фальцевание** указаны угол и радиус гибки, характер расположения линии сгиба относительно размерной базы этих параметров.

Отметим, что таким образом мы можем изогнуть только один из четырёх лепестков. Для остальных трёх указанные действия придётся повторить или воспользовавшись всё тем же массивом конструктивных элементов (рисунок 90).

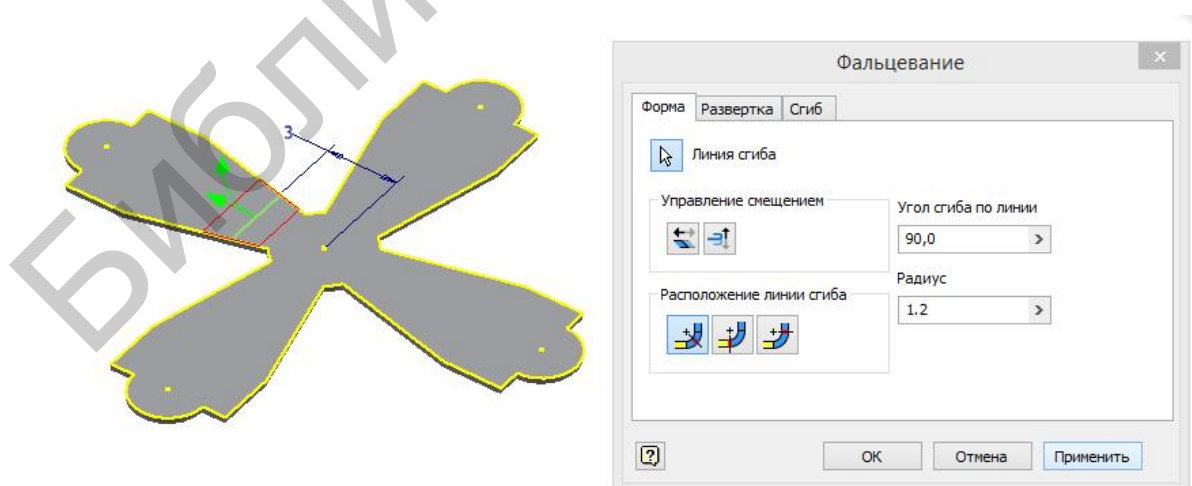


Рисунок 89 – Сгиб одного из лепестков

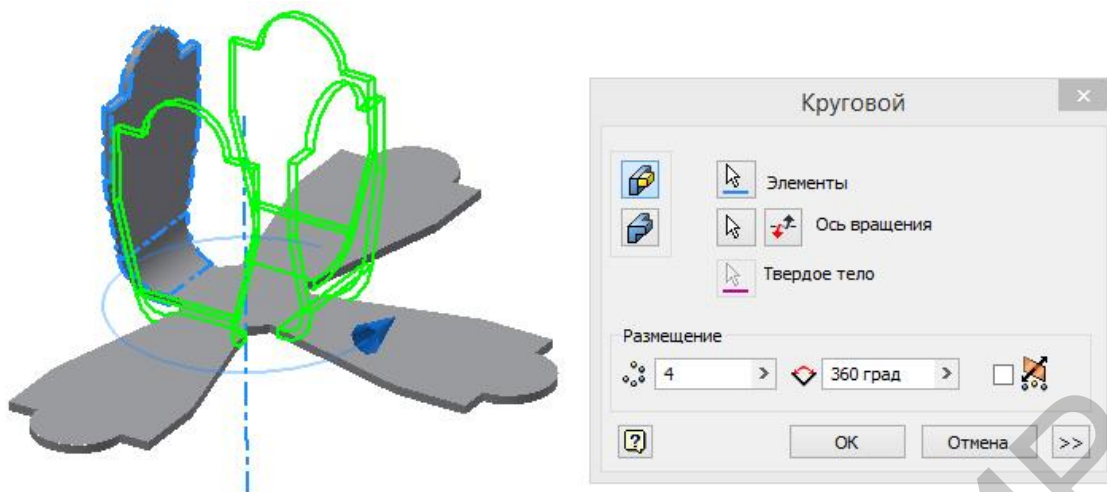


Рисунок 90 – Создание массива из четырёх согнутых лепестков

Дальнейшие операции гибки края одного из лепестков на 30° и создания массива аналогичны (рисунок 91).

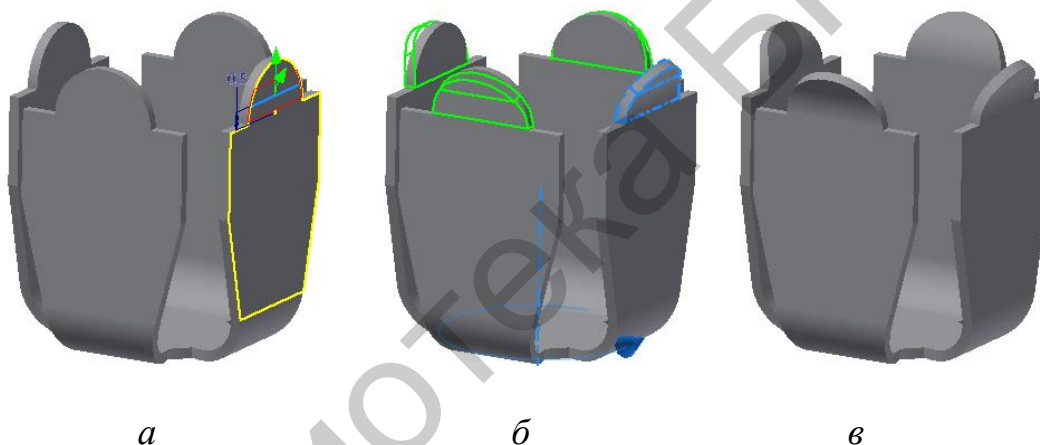


Рисунок 91 – Заключительные стадии гибки (а) и создания массива лепестков (б) в детали «Контакт предохранителя» (в)

В ряде случаев даже для некоторых деталей несложной формы приходится использовать комбинацию этих двух методов, то есть в процессе проектирования изделия несколько раз сгибать заготовку и снова преобразовывать её в развёртку. Примером такой детали может служить контакт, показанный в приложении (позиция 28). Начнём построение модели этой детали согласно первому методу, а именно:

- построим исходную грань (рисунок 92);
- построим боковые буртики высотой 1 мм (рисунок 93);
- построим вторую грань – фланец (рисунок 94);
- выполним на фланце скругления (рисунок 95).

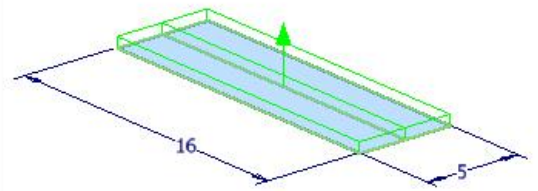
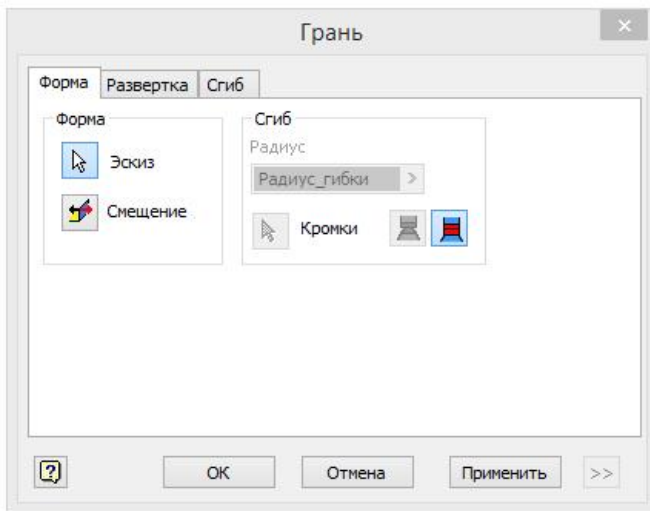


Рисунок 92 – Построение исходной грани детали типа «Контакт»

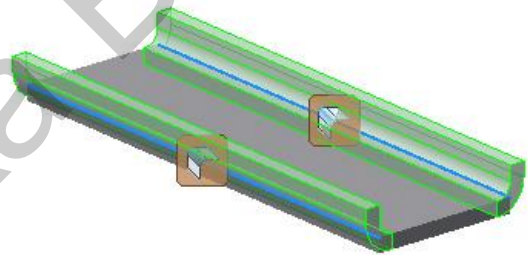
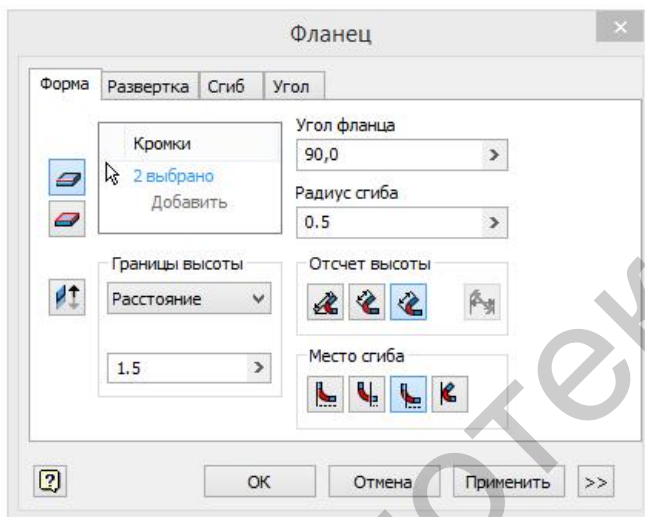


Рисунок 93 – Построение боковых буртиков

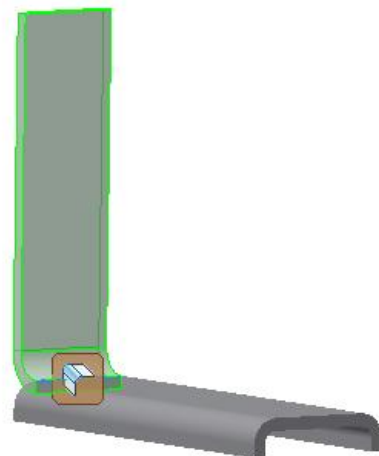
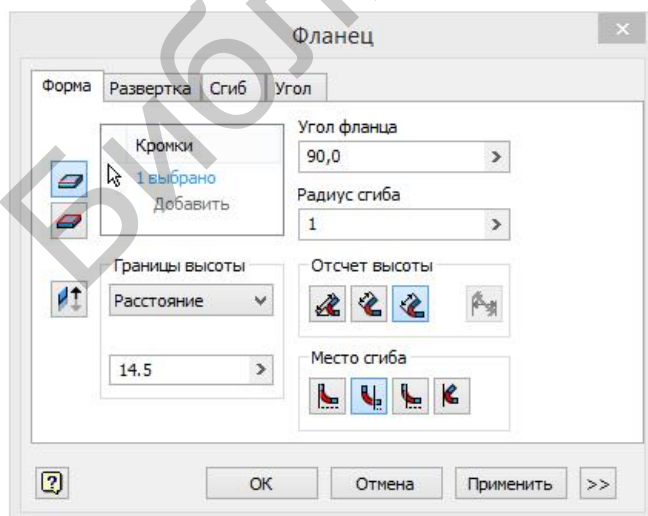


Рисунок 94 – Построение второй грани – фланца

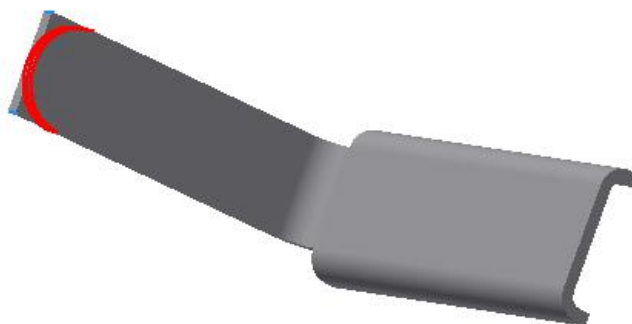
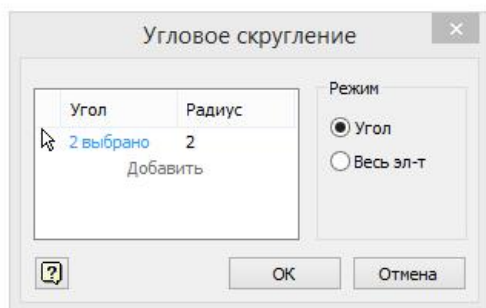


Рисунок 95 – Нанесение скруглений

После этого для построения в детали отверстий и пазов сначала сделаем её развёртку (рисунок 96). Затем построим эскиз требуемых отверстий и пазов и вырежем их (рисунок 97). После чего деталь согнём повторно (рисунок 98).

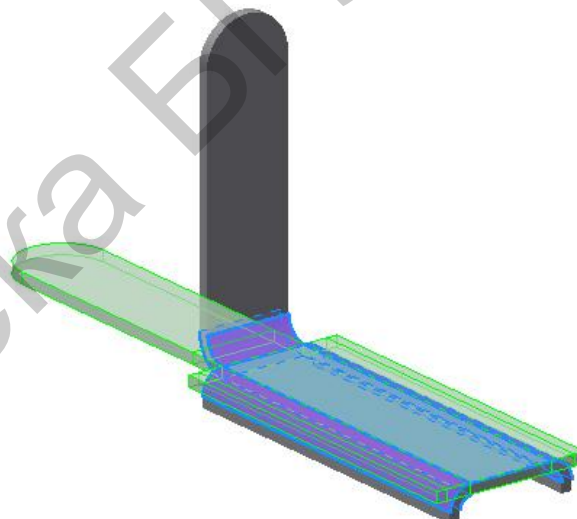
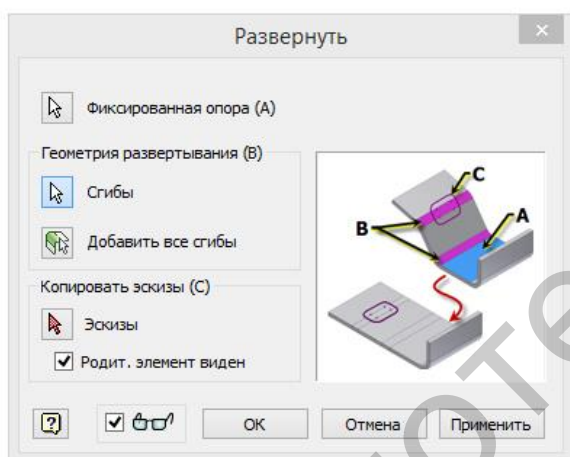


Рисунок 96 – Развёртывание заготовки детали

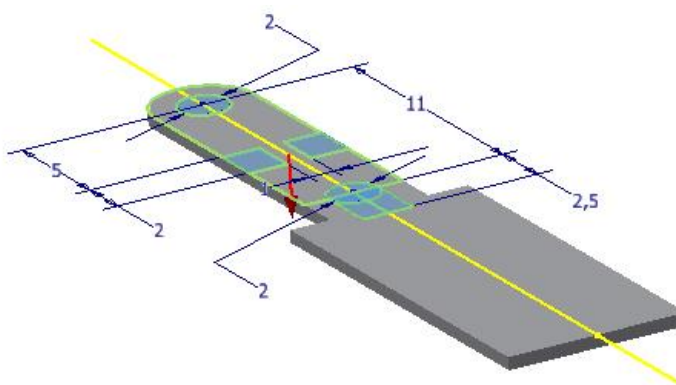
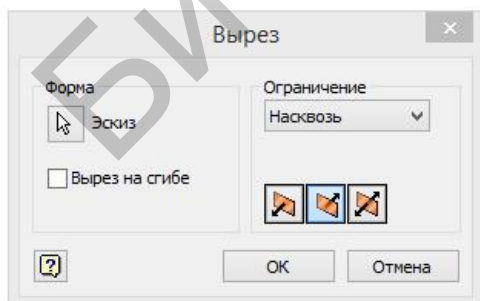


Рисунок 97 – Выполнение отверстий и пазов в развёртке

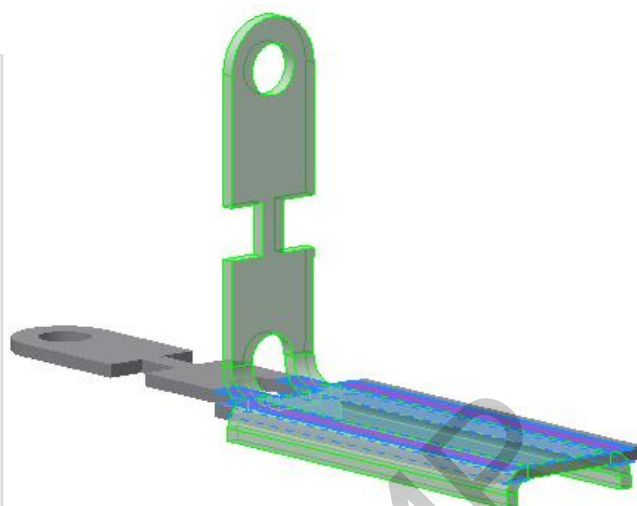
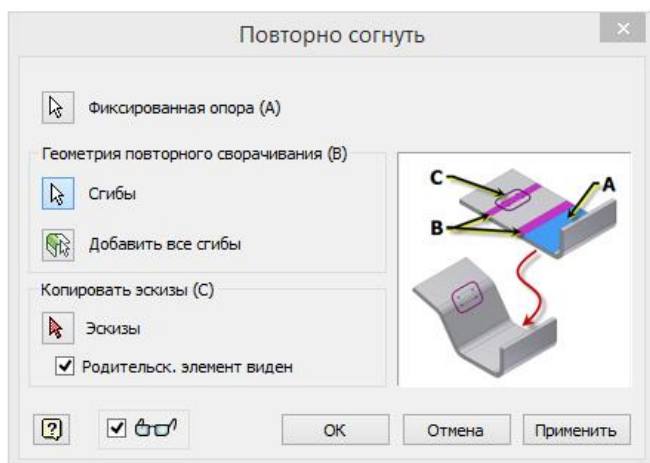


Рисунок 98 – Повторное сгибание заготовки

Кроме построения простых прямолинейных изгибов, инструментарий работы с листовым материалом в Autodesk Inventor также позволяет моделировать детали, изготавливающиеся из листового металла штамповкой. В качестве примера построим модель детали «Колпачок» (приложение А, позиция 29). Технологически её можно получить штамповкой чаши, разрезанием её на две половины, удалением двух секторов по краям (рисунок 99) и сверлением необходимых отверстий диаметром 1,5 мм. В общих чертах той же последовательности будем придерживаться и в построении модели, за исключением первого шага, так как команда построения конструктивного элемента **Ролик (контурный валик)** не позволяет замкнуть контур на 360°. Для построения половины чаши в плоскости эскиза нарисуем внешний (либо внутренний) контур, а в настройках режима операции **Ролик (контурный валик)** укажем значение угла закругления 180° (рисунок 100).

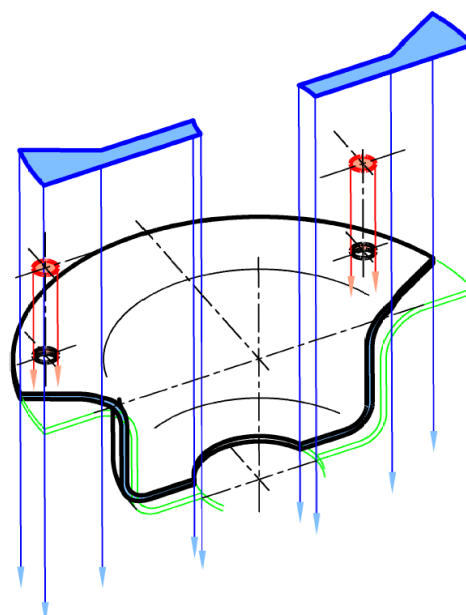


Рисунок 99 – Вариант формообразования детали, получаемой штамповкой

Последующие команды **Вырезать** и **Отверстие** совершенно аналогичны командам **Выдавливание** и **Отверстие**, рассмотренным в третьем занятии. Порядок их выполнения, содержание эскизов и значения опций настройки команд ясны из рисунков 101 и 102.

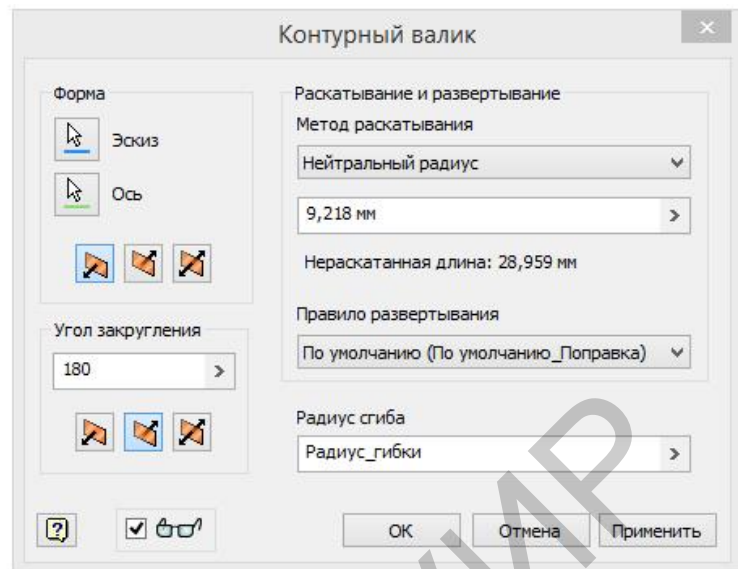
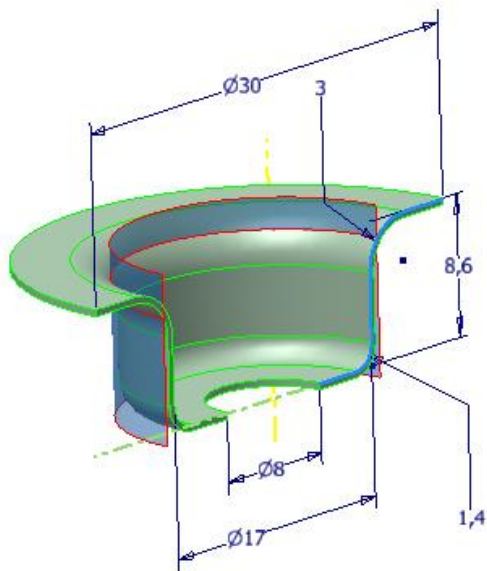


Рисунок 100 – Выполнение команды **Ролик (контурный валик)**

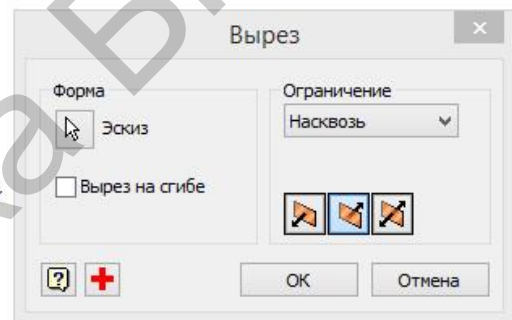
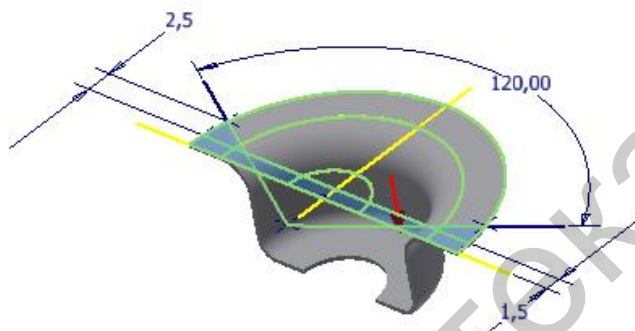


Рисунок 101 – Выполнение команды **Вырезать**

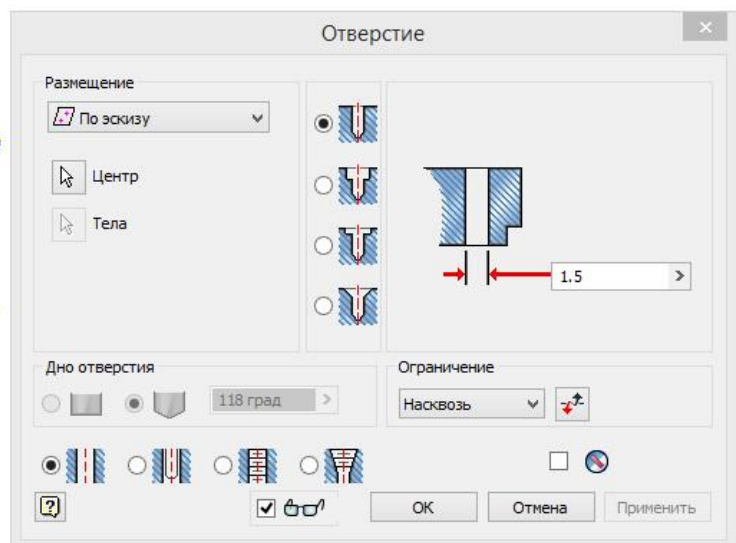
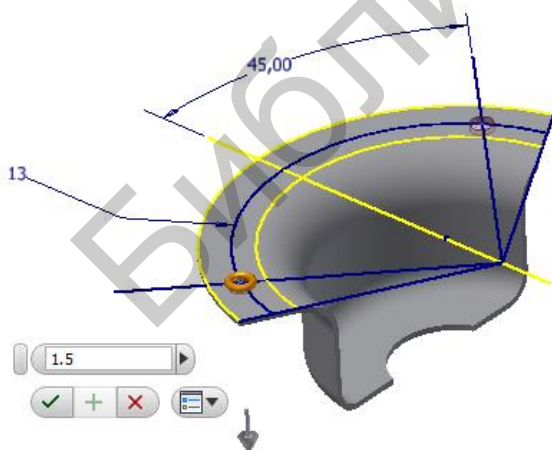


Рисунок 102 – Выполнение отверстий

Занятие 8

Создание твердотельных моделей сборочных единиц

Даже для проектирования отдельной детали чаще всего недостаточно просто создать её трёхмерную модель. Не менее важным также является исследование того, как эта деталь вписывается в сборочную единицу, сборочный узел, изделие, как осуществляется её присоединение к другим деталям механизма или устройства, какие ограничения на её форму накладывают прочие изделия. Ответ на все эти вопросы можно дать только в ходе 3D-моделирования сборочных единиц. Для этих целей в Autodesk Inventor предусмотрен специальный шаблон **Сборка** с расширением *.iam. Этот шаблон представляет собой не просто файл, а целый проект, состоящий из моделей каждой отдельной детали, входящей в сборочный узел, и отдельного файла, содержащего информацию о связях и зависимостях между деталями. Не забывайте об этом, сохраняя проект на внешний носитель, а особенно – перенося проект с компьютера на компьютер!

Сам же процесс создания модели сборочной единицы заключается во внесении в шаблон проекта необходимых деталей и настройке зависимостей между ними. Зависимостями будем называть ограничения степеней свободы детали при наложении на неё связей с другими деталями узла.

Для назначения между деталями статических и динамических зависимостей в Autodesk Inventor предусмотрена команда **Зависимости в сборке**. Доступные статические и динамические зависимости сгруппированы в три вкладки:

- «Сборка» (статические связи – возможны пять типов: совмещение, угол, касательность, вставка, симметричность);
- «Динамические» (моделируют взаимное перемещение компонентов изделия);
- «Управляющие» (задают предполагаемые зависимости между соприкасающимися и скользящими поверхностями, примером может служить кулачок в пазе).

Также здесь есть набор геометрических ограничений.

Для успешного создания статичной модели сборочной единицы, что и является целью данного занятия, достаточно рассмотреть только четыре статические связи.

1. **Совмещение** – ограничение, обеспечивающее плоскостное позиционирование двух выбранных компонентов (точки, оси, плоские грани) параллельно друг другу (рисунок 103). Перечисленные компоненты могут как совмещаться, так и располагаться параллельно со смещением на заданное расстояние друг от друга. Нормали к плоскостям могут быть направлены навстречу друг другу либо в одну сторону (заподлицо). Ограничение устраняет одну поступательную и две вращательные степени свободы между плоскими поверхностями.

Обычно речь идёт о совмещении поверхностей компонентов, но можно также совмещать линии и точки. Соответственно существуют три особенности задания этой зависимости:

- совмещение плоскостей (рисунок 104, *а*) – позиционирование компонентов с совмещением граней или с выравниванием граней заподлицо – определяется последовательным выбором двух плоских граней или рабочих плоскостей двух разных деталей;

- сопряжение линий (рисунок 104, *б*) – совмещение прямолинейных рёбер твердотельных моделей, осей цилиндрических и конических поверхностей или рабочих осей двух деталей, то есть две детали сборки располагаются так, чтобы совместились их линии или центровые линии дугообразных либо круговых кромок;

- сопряжение в точке (рисунок 104, *в*) – совмещение конечных точек линий или кромок твердотельных моделей, центров дуг, сфер, рабочих точек или ближайших точек выбранной кромки поверхности.

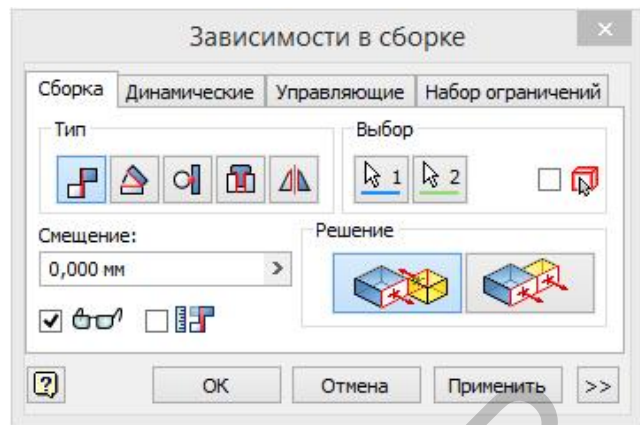
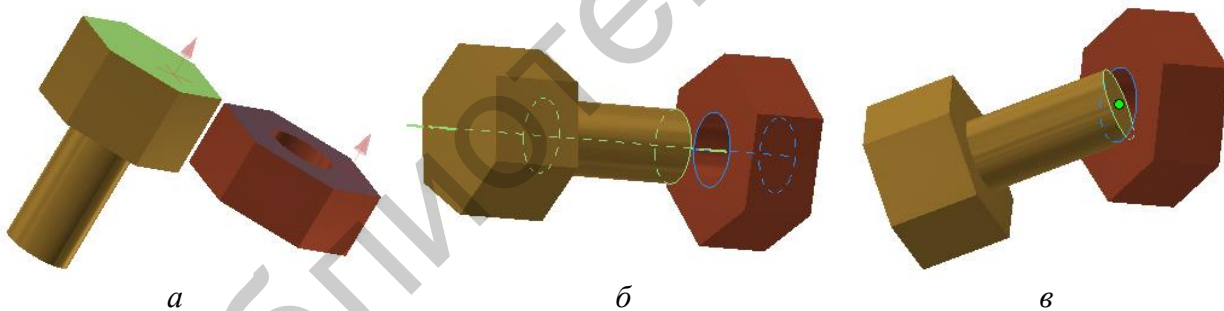


Рисунок 103 – Диалоговое окно команды **Зависимости в сборке** в режиме настройки связи **Совмещение**



а – совмещение плоскостей заподлицо;
б – совмещение осей цилиндрических поверхностей;
в – совмещение точек (в данном случае центров окружностей)

Рисунок 104 – Варианты выполнения зависимости **Совмещение**

2. Угол – зависимость, обеспечивающая позиционирование рёбер/граней двух компонентов под заданным углом (рисунок 105). Наложение ограничения приводит к тому, что детали располагаются так, чтобы угол между выбранными гранями/плоскостями был равен заданному. Зависимость данного типа устраняет одну вращательную степень свободы и две степени свободы углового вращения между плоскими поверхностями.

Для каждой пары компонентов имеется три возможных решения:

- направленный угол – поворот одного компонента относительно другого на заданный угол исключительно против часовой стрелки;

- ненаправленный угол – поворот одного компонента относительно другого на заданный угол без указания направления;

- точный опорный вектор – самое удобное из решений, поскольку кроме выбора фиксированного и поворачиваемого объекта указывается ещё вектор оси вращения, который и определяет направление поворота.

3. **Касательность** – зависимость, обеспечивающая соприкосновение в точке касания плоскостей, цилиндров, сфер, конусов и сплайнов при контакте или на определённом расстоянии (рисунок 106). Касание может выполняться как с внутренней, так и с внешней стороны образующей линии в зависимости от направления выбранной нормальной поверхности. При внешнем решении компоненты касаются своими внешними гранями, а при внутреннем – внешняя грань одного компонента касается внутренней грани другого. Зависимость данного типа устраняет одну поступательную (между цилиндром и плоскостью), одну линейную и одну вращательную степень свободы.

Один и тот же компонент можно располагать по касательной к нескольким граням. Это позволяет имитировать работу подвижных компонентов (например, кулачков) и тем самым проверять корректность конструкции.

Приводятся две опции задания позиции касания:

- внутри – позиционирование первой выбранной детали внутри второй выбранной детали в точке касания;

- снаружи – позиционирование первой выбранной детали в точке касания снаружи второй выбранной детали.

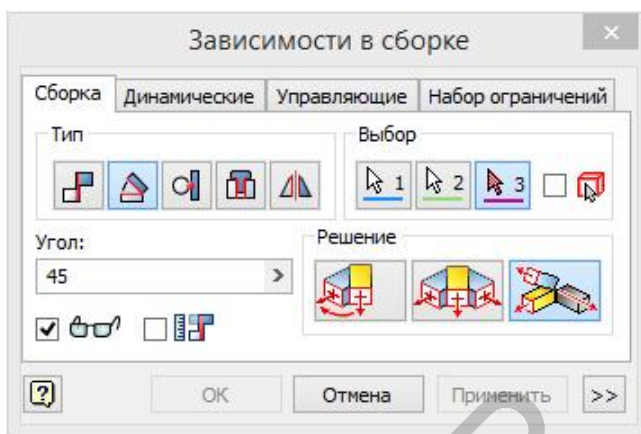


Рисунок 105 – Диалоговое окно команды **Зависимости в сборке** в режиме настройки связи **Угол**

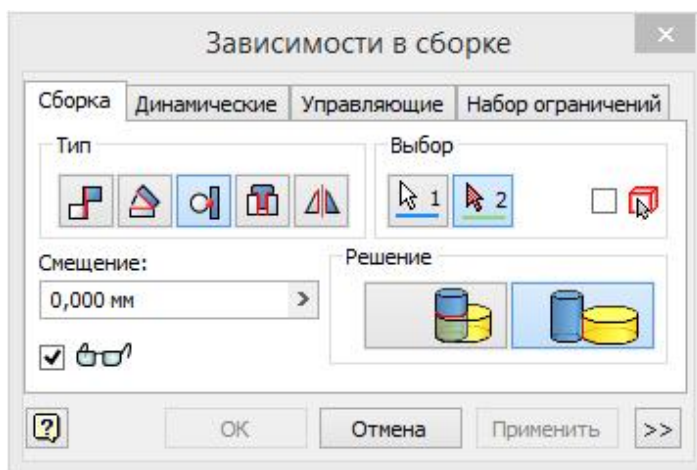


Рисунок 106 – Диалоговое окно команды **Зависимости в сборке** в режиме настройки связи **Касательность**

4. **Вставка** – комбинация совмещения плоскостей с совмещением осей вращения двух компонентов (рисунок 107). Ограничение этого типа отбирает пять степеней свободы и оставляет только вращательную степень. Этот тип связи может быть установлен для деталей, имеющих круговые кромки (только), поскольку они определяют центровую линию (ось) и плоскость в каждой детали. Зависимость накладывается только на торцевые грани цилиндра и отверстия и используется для создания связи между двумя деталями с круглыми кромками или плоскостями, имеющими общую ось. Может применяться, например, для установки цилиндрической втулки в отверстие до упора. При выборе круговых кромок на разных деталях центровые линии деталей выравниваются, а к плоскостям, заданным круговыми кромками, применяется ограничение сопряжения.

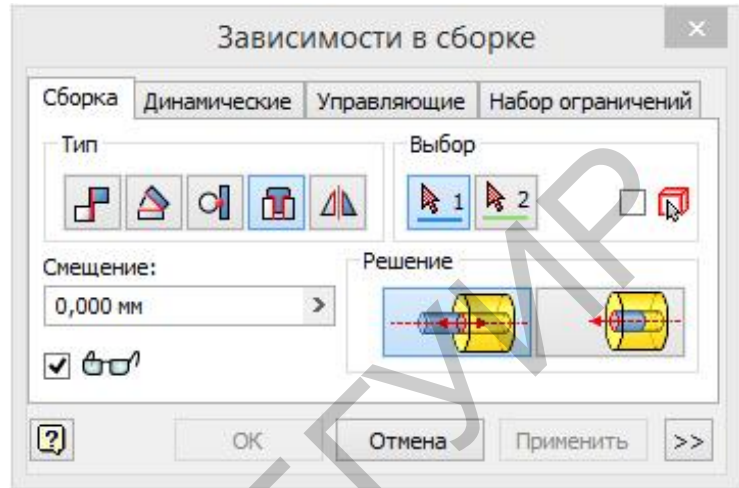


Рисунок 107 – Диалоговое окно команды **Зависимости в сборке** в режиме настройки связи **Вставка**

Возможны две опции назначения направления этой зависимости:

- встречно – противоположное направление при соприкосновении выбранных компонентов;
- согласованно – соприкосновение двух компонентов производится в одном направлении.

Первый способ конструирования модели сборочной единицы: вставка и позиционирование компонентов сборочного узла. Этот способ уместен в том случае, когда детализация узла уже проработана, то есть когда выполнены модели всех входящих в него компонентов. В этом случае инженеру достаточно:

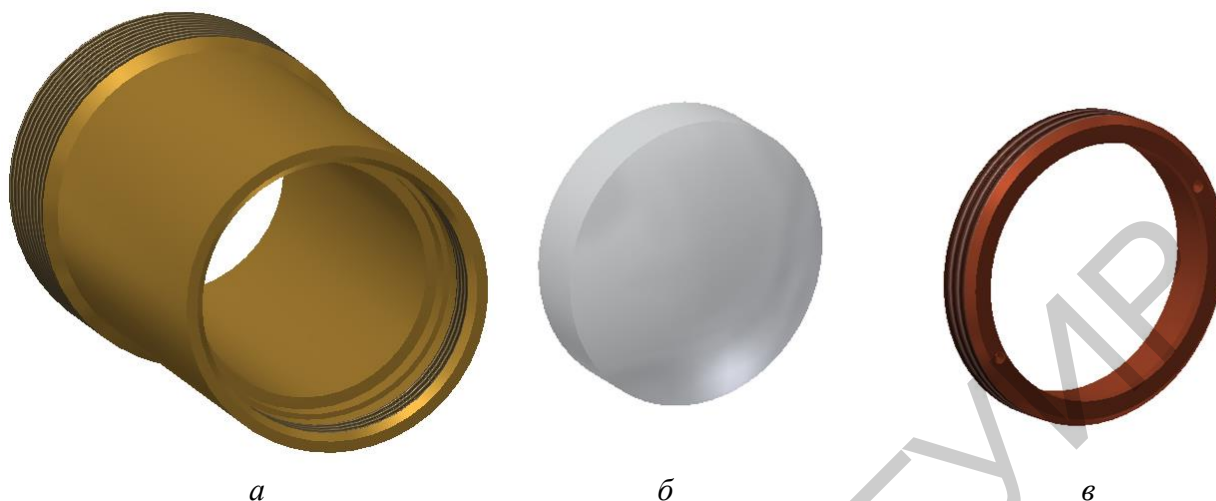
- поместить их в один общий файл;
- назначить между ними связи и зависимости.

Способ удобен при работе в многопользовательском режиме или в том случае, когда над проектом работает коллектив и обязанности по проектированию отдельных компонентов распределены между участниками.

Второй способ конструирования модели сборочной единицы: достраивание отдельных деталей по размерам и форме собранного узла. Этот способ применяется в том случае, когда чертеж самого узла ещё нет, а конструкция его компонентов находится в стадии разработки. Способ достраивания отдельных деталей по размерам и форме собираемого узла позволяет не только адаптивно проектировать детали под конкретные размеры, но способен заменить либо автоматизировать стадию эскизной проработки изделия.

Рассмотрим некоторые приёмы настройки позиционирования компонентов в сборочном узле.

Установка линзы в оправу и крепление её гайкой. Пусть даны (уже построены и сохранены) модели трёх компонентов: оправы, линзы и гайки (рисунок 108). Необходимо поместить все три компонента в новый проект **Обычный(мм).iam** и назначить связи.



a – оправа; *b* – линза; *c* – гайка

Рисунок 108 – Модели компонентов

Поместить все эти три компонента в новый проект можно при помощи команды **Вставить** инструментальной палитры **Компонент** работы со сборками. После того как все три компонента окажутся в графическом поле сборки, можно приступить к настройке связей между ними. В первую очередь установим линзу в оправу, то есть назначим связь между её задней круговой кромкой и круговой кромкой специального буртика на оправе. Для этой цели удобнее всего воспользоваться зависимостью **Вставка** (рисунок 109).

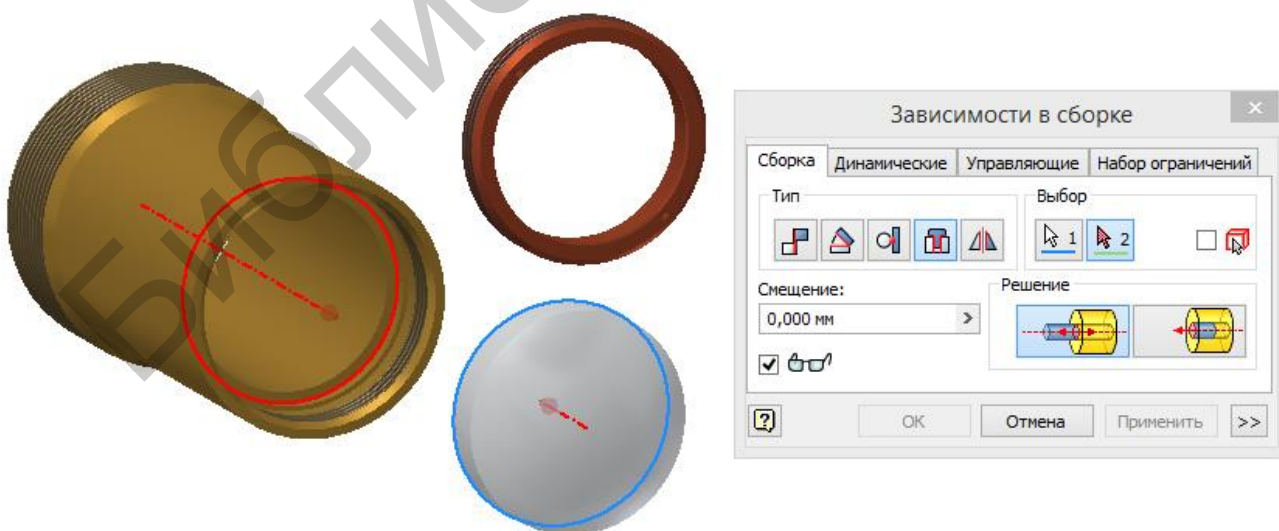


Рисунок 109 – Установка линзы в посадочное место на оправе

Если при этом будет включена опция «с просмотром» (изображение очков в окне настройки), то линза сразу после указания её положения в оправе с характерным звуковым сигналом (щелчком) займёт своё место. Останется нажать кнопку **ОК** для закрытия окна настройки зависимостей или кнопку **Применить** для назначения связей между гайкой и оправой. Гайку нужно установить в оправу по резьбе так, чтобы она своей кромкой касалась линзы и прижимала её. Поэтому первой применённой к ней связью будет соосность её внешней резьбы с внутренней резьбой на оправе. Выполнить это можно при помощи зависимости **Совмещение** (рисунок 110).

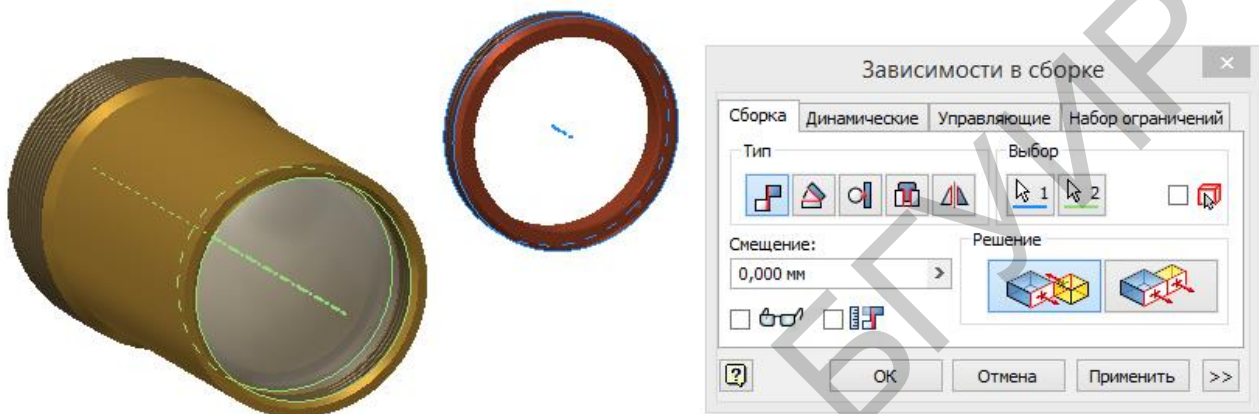


Рисунок 110 – Установка гайки соосно резьбе на оправе

Такая зависимость лишает гайку четырёх степеней свободы, но сохраняет две: гайка может свободно вращаться вокруг своей оси и двигаться поступательно вдоль её направления (рисунок 111).

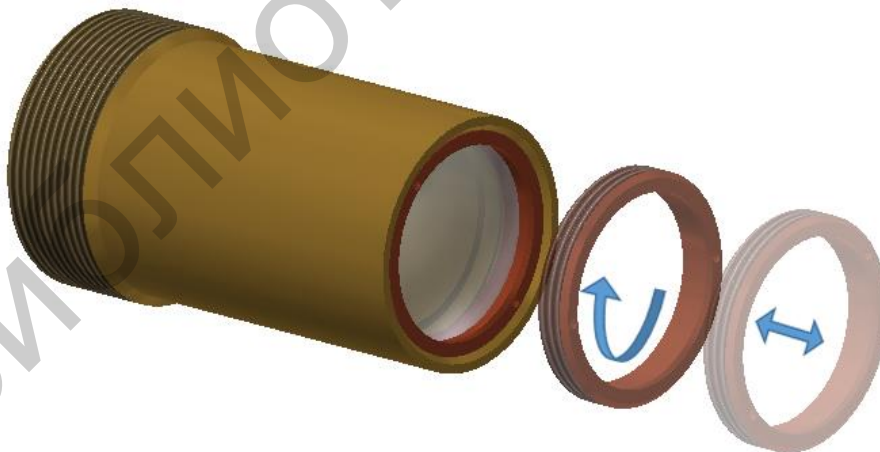


Рисунок 111 – Степени свободы гайки после применения зависимости **Совмещение**

Для того чтобы ограничить и эти степени свободы и заставить гайку стать на место, прижимая линзу к оправе, добавим зависимость **Касательность** между сферической поверхностью выпуклой линзы и конической поверхностью фаски на тыльной стороне гайки.

Готовая модель конструкции представлена на рисунке 112. Её сборочный чертёж приведен в приложении А (позиция 30).

Назначение кинематических связей в системе кулачок – толкатель. Кулачковый механизм применяется в том случае, когда необходимо преобразовать вращательное движение в поступательное по некоторому определённому сложному закону. В этом случае диск с определённым контуром – кулачок – приводится во вращение, а толкатель, постоянно соприкасаясь с ним, совершает поступательные движения. Разумеется, механизм должен обеспечивать поступательное движение толкателя по направляющим, а также постоянное его касание с действительным профилем кулачка.

При наличии уже готовых деталей: кулачка, толкателя и вмещающего их корпуса или панели (рисунок 113) – собрать действующую функциональную модель механизма не сложно. Для этого достаточно назначить следующие связи:

- **Совмещение** для соосности толкателя с направляющими отверстиями (рисунок 114);

- **Вставка** для установления оси кулачка в отверстие до упора (рисунок 115);

- **Касательность** между сферическим торцом толкателя и профилем кулачка (рисунок 116).

В этом случае у толкателя и кулачка останется только по одной степени свободы: поступательное движение у толкателя, вращательное – у кулачка.

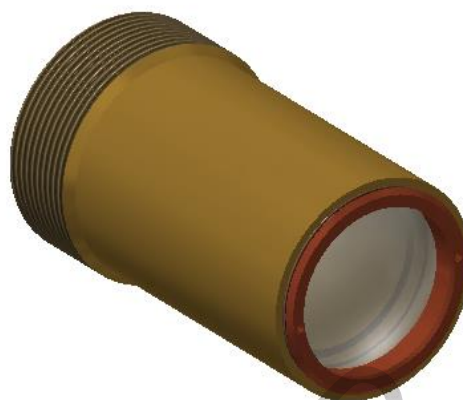
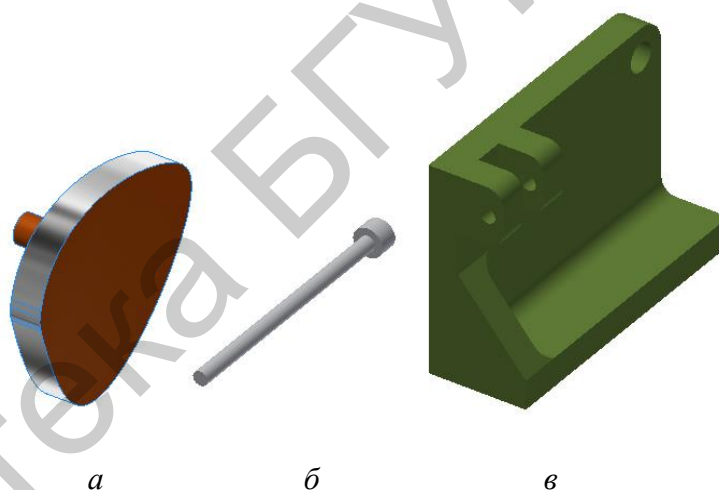


Рисунок 112 – Модель сборочной единицы «Линза в оправе»



a – кулачок; *б* – толкатель; *в* – панель

Рисунок 113 – Компоненты кулачкового механизма

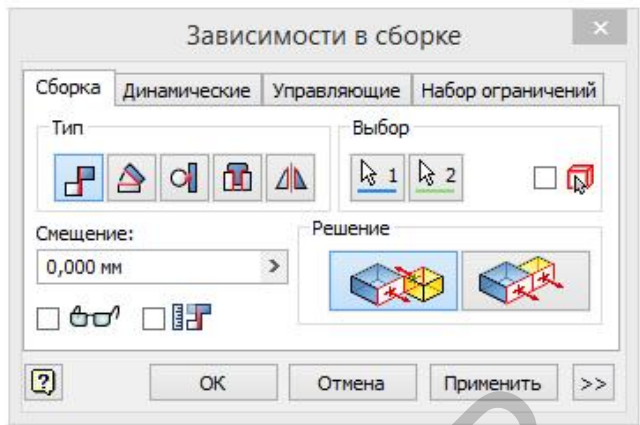
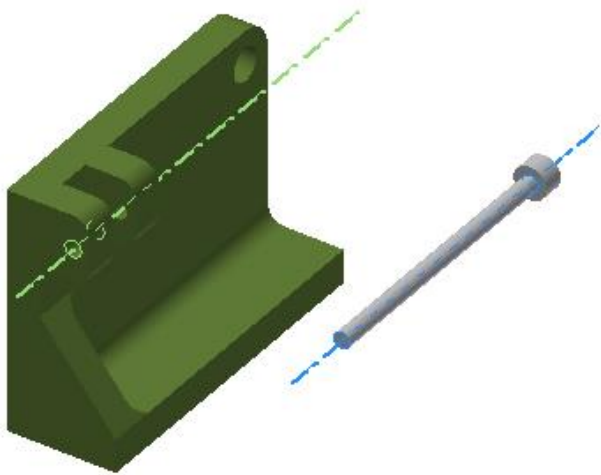


Рисунок 114 – Настройка соосности толкателя с направляющими отверстиями

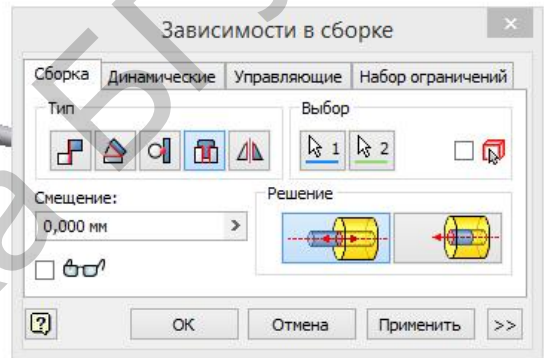
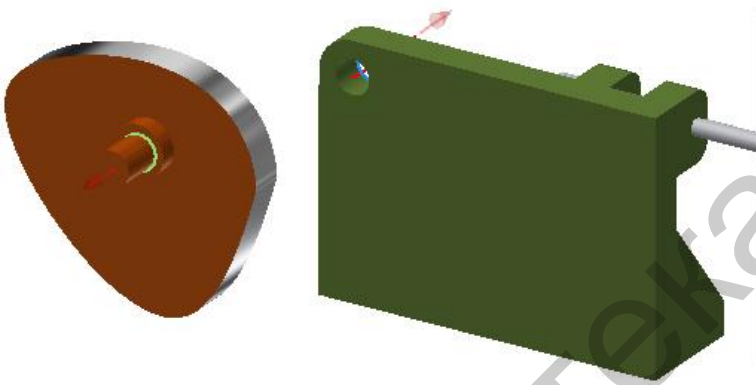


Рисунок 115 – Установка оси кулачка в отверстие до упора

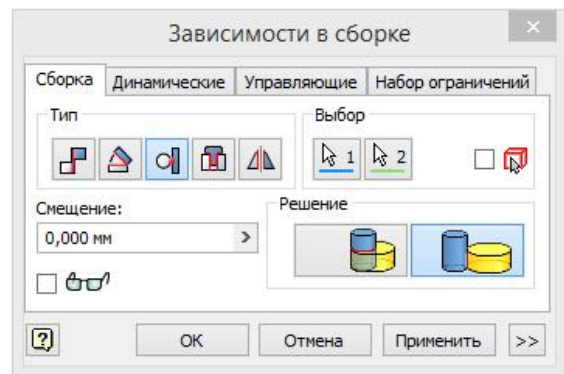
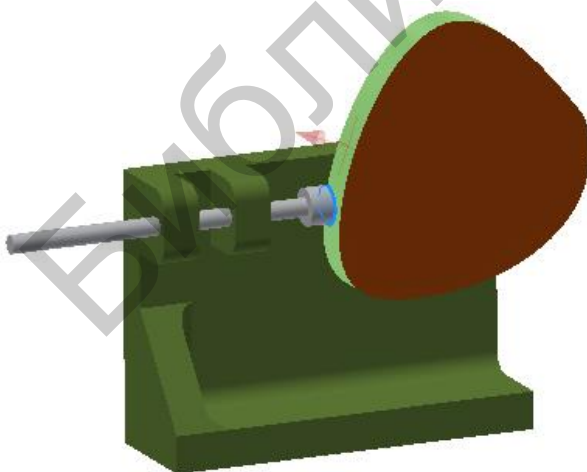
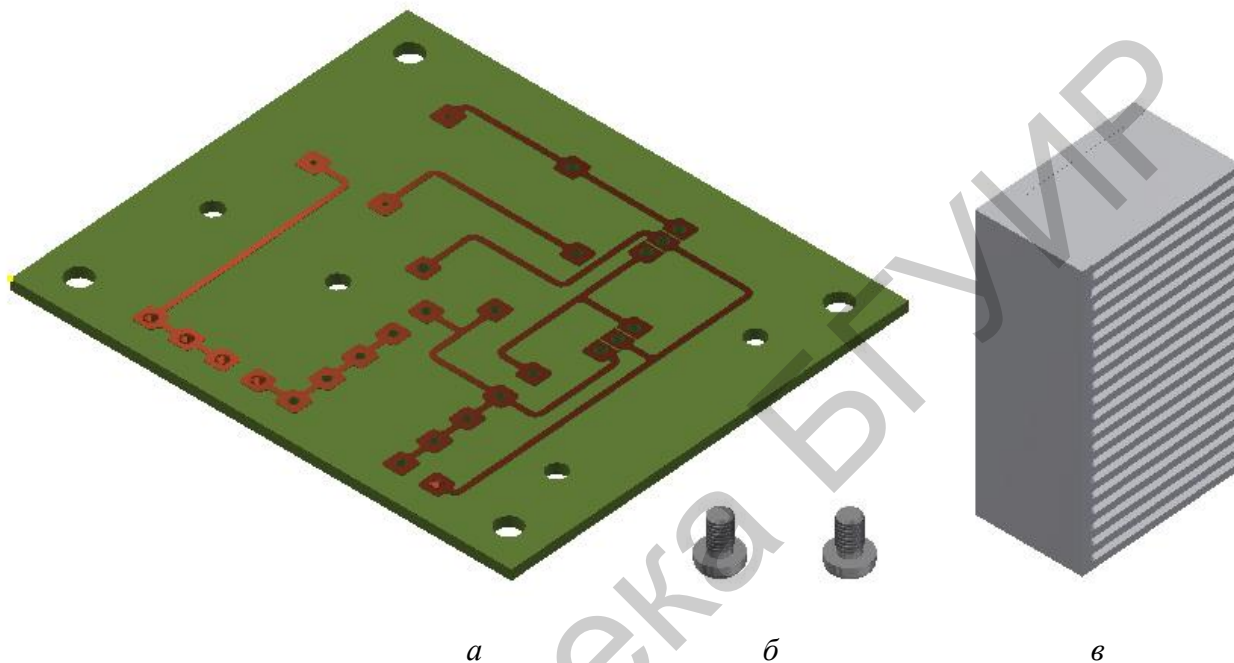


Рисунок 116 – Настройка касания торца толкателя с кулачком

Позиционирование радиатора на печатной плате и крепление его двумя стандартными винтами. Пусть даны готовые 3D-модели печатной платы и радиатора (рисунок 117). Возможный способ построения модели платы достаточно подробно рассмотрен в учебно-методическом пособии [2]. Необходимо установить радиатор на поверхности платы со стороны расположения навесных радиодеталей и закрепить его винтами М3, как показано на сборочном чертеже в приложении А (позиция 31). При этом предположим, что расположение установочных отверстий М3 в радиаторе пока неизвестно.



a – печатная плата; *б* – винты М3; *в* – радиатор

Рисунок 117 – Компоненты печатного узла

В первую очередь при помощи связи **Совмещение** расположим основание радиатора на тыльной поверхности платы (рисунок 118).

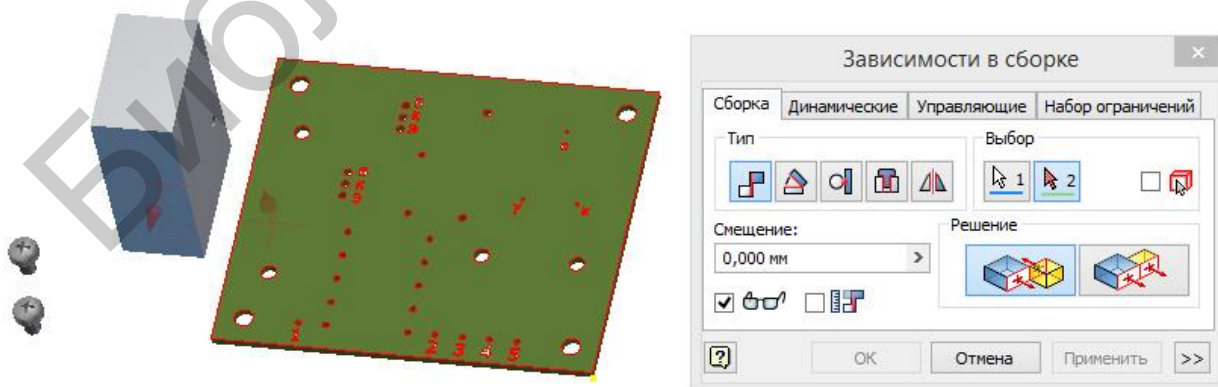


Рисунок 118 – Установка радиатора на тыльной поверхности платы

Следующим действием будет размещение кромки радиатора заподлицо с кромкой платы (рисунок 119).

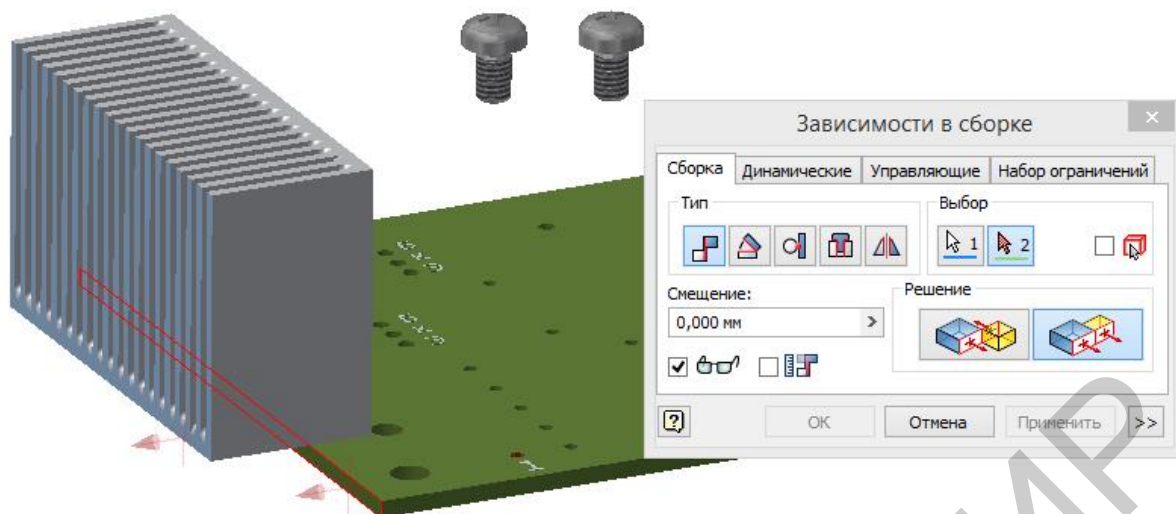


Рисунок 119 – Совмещение радиатора с кромкой платы

После наложения этих зависимостей у радиатора относительно платы должна остаться только одна степень свободы – он может свободно двигаться вправо-влево вдоль кромки платы. Для того чтобы ограничить эту свободу, зафиксируем радиатор соосно с платой. Для этого нам понадобится вспомогательная геометрия: плоскость, делящая плату пополам, и плоскость симметрии самого радиатора. Создать эту справочную геометрию можно, не выходя из режима работы со сборкой. Если двойным щелчком кнопки мыши указать на название компонента в браузере (также можно дважды щёлкнуть кнопкой мыши на сам компонент в графическом окне), то все остальные компоненты станут неактивными, полупрозрачными, а форма и геометрия выбранного компонента станут редактируемыми (рисунок 120). Выйти из режима редактирования компонента можно нажав правой кнопкой мыши на любой области графического экрана и выбрав команду **Закончить редактирование**.

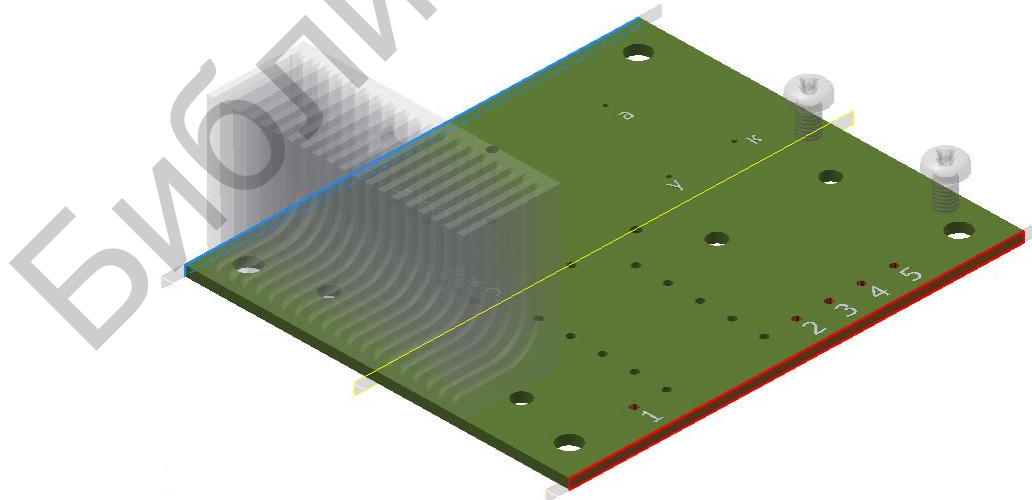


Рисунок 120 – Сборочный узел в режиме редактирования отдельного компонента – печатной платы – и создания в этом компоненте справочной геометрии – центральной плоскости

Таким же образом можно создать плоскость симметрии и у радиатора. После этого обе плоскости совместить между собой (рисунок 121).

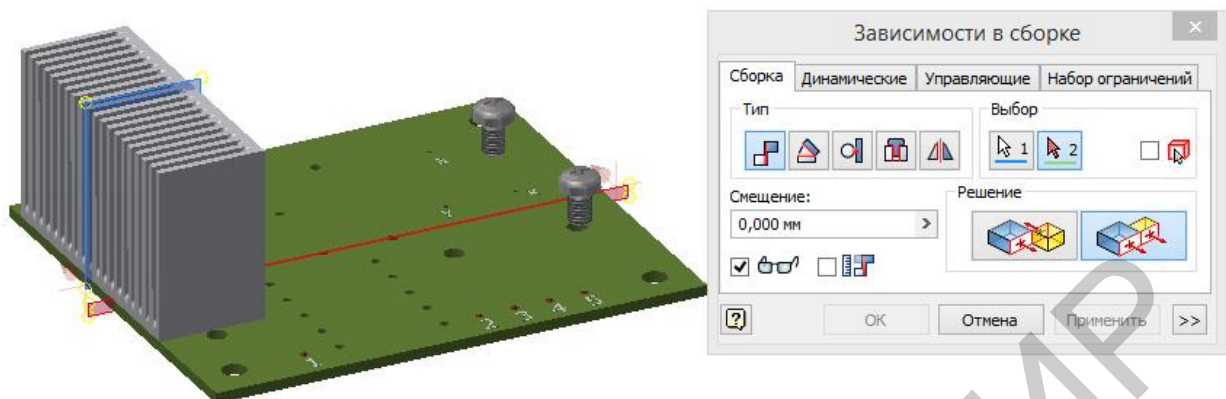


Рисунок 121 – Совмещение осевой плоскости радиатора с центральной плоскостью платы

Если в дальнейшем эти две вспомогательные плоскости будут мешать, можно выключить их видимость. Для этого нужно снова войти в режим редактирования компонента, выделить плоскости в браузере или прямо в графическом окне правой кнопкой мыши и выключить опцию **Видимость**. Но удалять эти плоскости ни в коем случае нельзя, так как вместе с ними удалятся и относящиеся к ним связи и зависимости.

После того как радиатор установлен на нужное место и все его степени свободы исключены, в нём можно выполнить два отверстия М3, необходимые для крепления к плате. Для этого, не покидая режима работы со сборкой, входим в режим редактирования компонента – радиатора (двойным щелчком кнопки мыши на его изображении либо наименовании в браузере). Создадим на плоскости основания радиатора 2D-эскиз и при помощи команды **Проецирование геометрии** перенесём на него с платы контуры установочных отверстий (рисунок 122).

После этого можно выполнить команду **Принять эскиз** и в центрах спроецированных окружностей расположить резьбовые отверстия М3 (рисунок 123). Подобные построения называются **адаптивными**, поскольку подразумевают взаимозависимость геометрии одного компонента от геометрии другого. Изменения геометрии одного из компонентов приведёт к адаптивной перестройке геометрии второго.

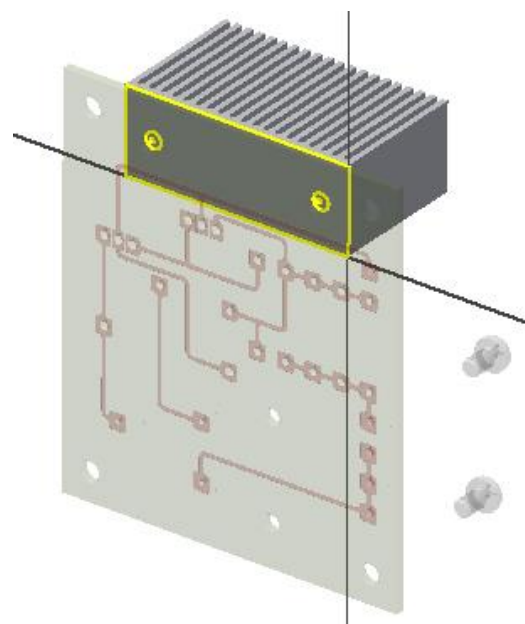


Рисунок 122 – Проецирование геометрии печатной платы на грань радиатора

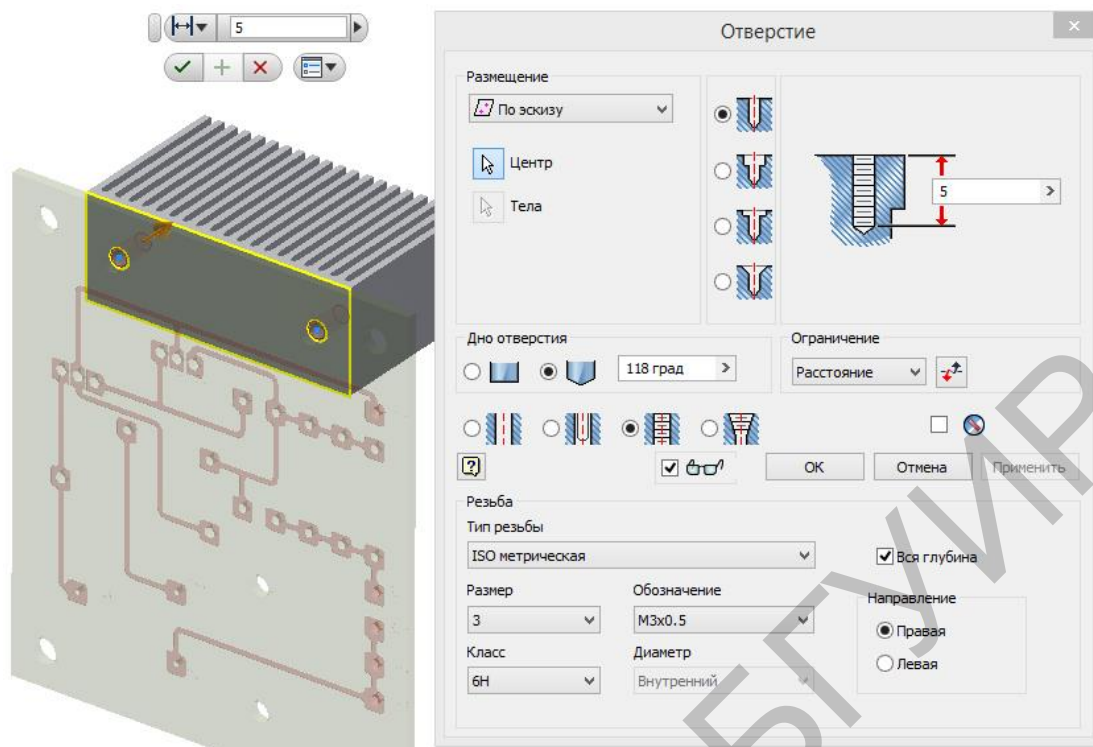


Рисунок 123 – Размещение отверстий в радиаторе адаптивно по отношению к геометрии печатной платы

Заключительным этапом создания сборки будет применение зависимостей **Вставка** к винтам М3 и соосным отверстиям в плате и радиаторе.

Занятие 9

Преобразование 3D-модели в чертёж

В зависимости от уровня развития и использования современных технологий САПР в конкретной отрасли или на конкретном предприятии заключительным этапом проектирования детали является её прототипирование, то есть печать её модели на 3D-принтере либо изготовление на станке ЧПУ. Однако для подавляющего большинства предприятий неизбежным остаётся этап работы с чертежами на бумажных носителях.

Для того чтобы преобразовать модель детали либо сборочной единицы в чертёж, нужно при открытии нового документа выбрать шаблон **аннотированного документа**. Эти шаблоны собраны в третью группу файлов с расширениями *.idw и *.dwg (см. рисунок 2). Первый формат является внутренним для приложения Autodesk Inventor, второй соответствует требованиям графического редактора AutoCAD. Чертежи, сохранённые в этом формате, можно открыть и редактировать в любой версии AutoCAD не старше 2004 года выпуска. Autodesk Inventor позволяет создавать чертежи согласно требованиям любых национальных и международных стандартов, в том числе ГОСТ. После выбора нужного шаблона, например, **ГОСТ.dwg**, в графическом поле появится чертёжный лист, а инструментальная палитра будет содержать команды работы с изображениями: проекциями, видами, сечениями (рисунок 124). В браузере можно выбрать чертёжные листы и рамки требуемых размеров.

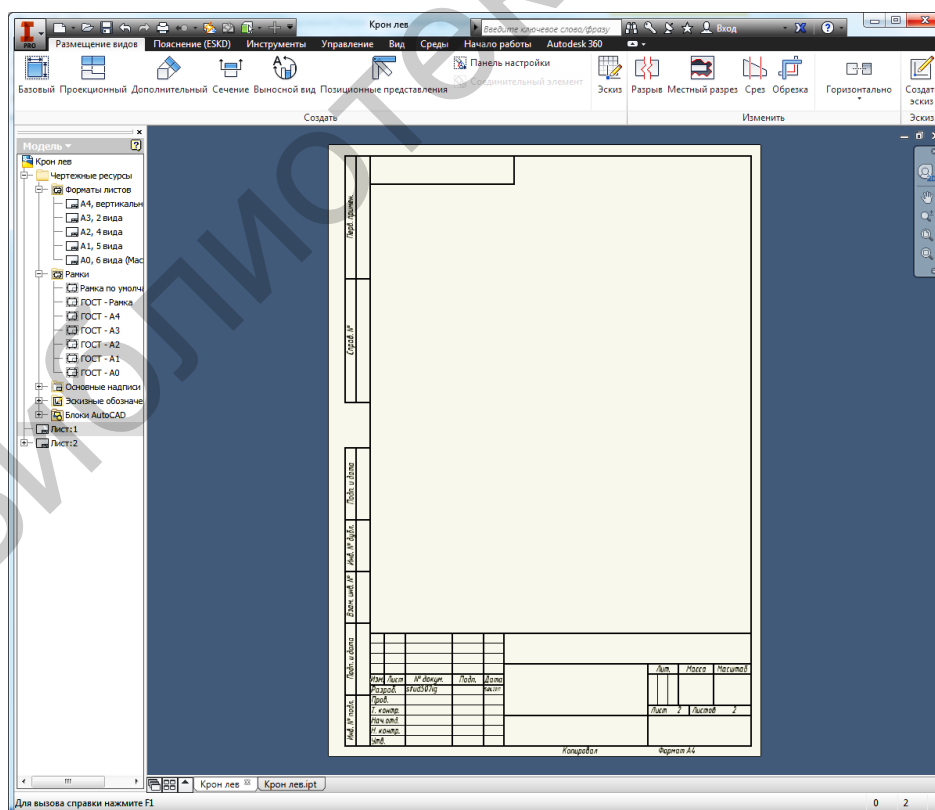


Рисунок 124 – Интерфейс программы Autodesk Inventor 2014 в режиме создания чертежа

Инструменты этой палитры позволяют выбрать базовый вид и создать относительно его необходимые проекционные, дополнительные и выносные виды, выполнить сечения и разрезы, в том числе местные, построить аксонометрические проекции.

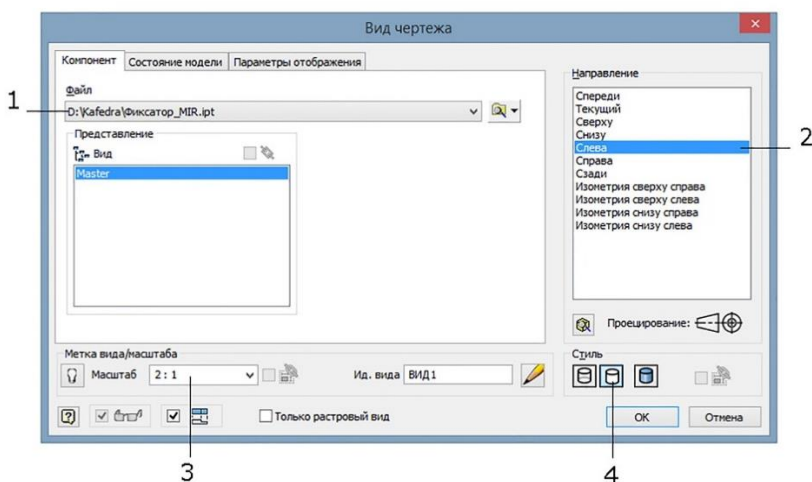


Рисунок 125 – Диалоговое окно настройки главного (базового) вида

изображения: с линиями невидимого контура, без таких линий, с цветовыми схемами и текстурами поверхностей (рисунок 125, позиция 4).

В тех случаях, когда трёхмерная модель проецируемого изделия активна, то есть её файл открыт в одном из текущих окон программы, нет необходимости искать соответствующий файл в файловой системе (см. рисунок 125, позиция 1). Его наименование по умолчанию будет находиться в указанном поле, а сама модель – доступна для проецирования.

После того как необходимое изображение выбрано и размещено на поле чертежа, можно приступать к размещению проекционных видов (команда **Проекционный**). Для этого достаточно мышью последовательно указать на чертеже главный вид, а затем желаемое расположение новых видов. После этого нажатием правой кнопки мыши вызвать облако команд и выбрать в нём команду **Создать** (рисунок 126). До вызова этой команды требуемые проекции отображаться не будут, а их расположение на поле чертежа будет обозначено прямоугольными контурами.

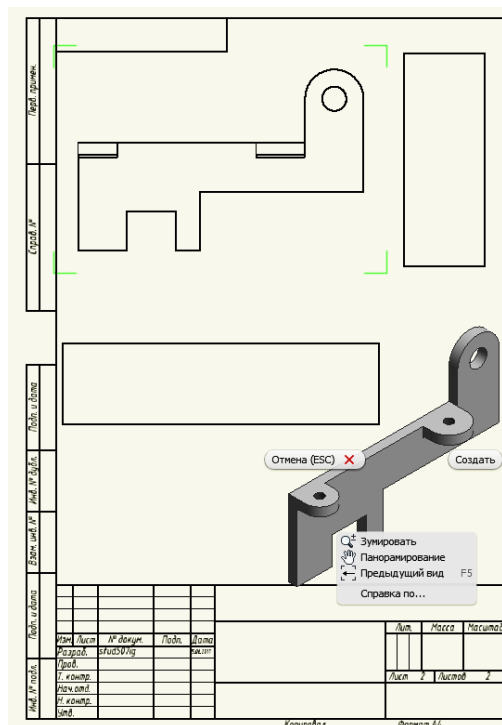


Рисунок 126 – Создание проекционных видов

При необходимости разместить на чертеже аксонометрическую проекцию изделия её можно получить также при помощи команды **Проекционный**. Для этого при выборе места для размещения нового проекционного вида курсор нужно двигать не вниз или вправо, а в необходимую сторону по диагонали от основного вида.

Для грамотного изображения на чертеже детали (изделия), имеющей внутренние полости и отверстия, неизбежно использование разрезов и сечений. Этот тип изображений выполняется при помощи команды **Сечение**. Порядок действий при работе с этой командой следующий:

- выбрать вид (изображение), через который будет проходить линия разреза (секущая плоскость);
- узловыми точками указать линию разреза (расположение секущей плоскости);
- нажать правую кнопку мыши, выбрать команду **Продолжить** и расположить построенное сечение или разрез в подходящей зоне чертежа (рисунок 127).

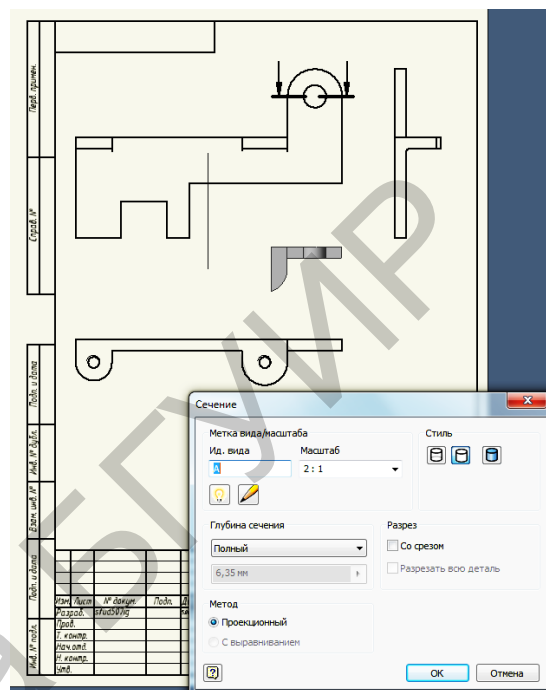


Рисунок 127 – Создание разреза

Для изображения некоторых отверстий и полостей достаточно использования местного разреза. Его можно выполнить при помощи команды **Местный разрез**, но перед этим на виде, который должен содержать разрез, нужно изобразить замкнутый контур. Выполняется это следующим образом:

- выделить требуемый вид;
- вызвать команду **Создать эскиз**, при этом инструментальная палитра будет иметь вид, показанный на рисунке 128;
- нарисовать при помощи сплайновой кривой на месте местного разреза замкнутый контур;
- принять эскиз;
- выбрать в инструментальной палитре команду **Местный разрез** и заполнить в открывшемся окне форму – выбрать замкнутый контур и указать отверстие, по которому должна пройти секущая плоскость.

Нужно внимательно следить за тем, чтобы эскиз открылся именно на требуемом виде. На виде, открытом для построения эскиза, должно появиться перекрестие двух осей.

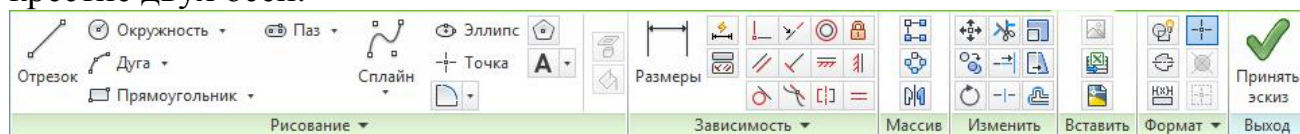


Рисунок 128 – Инструментальная палитра создания эскиза на чертеже

Для детали, использованной в рассматриваемом примере, более грамотным будет построение именно местных разрезов. Удалим с чертежа (см. рисунок 127) вид слева, а на виде сверху создадим эскиз и нарисуем в нём замкнутый контур. Затем вызовем команду **Местный разрез**, в открывшемся окне курсором **Эскиз** укажем на эскиз, содержащий замкнутый контур, курсором **Глубина** укажем на главном виде отверстие, по оси которого должна проходить секущая плоскость (рисунок 129).

Аналогичным образом выполним местный разрез через одно из резьбовых отверстий: создадим эскиз на главном виде; построим замкнутый контур; вызовем команду **Местный разрез**; укажем расположение местного разреза и секущей плоскости.

Поскольку масштаб главного вида может оказаться недостаточным для отображения на местном разрезе резьбы в отверстии, поместим местный разрез на выносном виде:

- выделим главный вид;
- вызовем команду **Выносной вид**;
- разместим в нужном месте выносимый контур;
- заполним форму в открывшемся окне **Выносной элемент** (рисунок 130);
- разместим полученное изображение в свободной зоне чертежа.

После размещения всех необходимых видов можно воспользоваться вто-

рой инструментальной палитрой **Пояснение**, которая позволит нанести размеры, осевые и центровые линии, настроить или заменить параметры штриховки в разрезах и сечениях, то есть подготовить чертёж к печати (рисунок 131). В этой же палитре можно найти команду **Основная надпись**, которая позволит заполнить рамку чертежа.

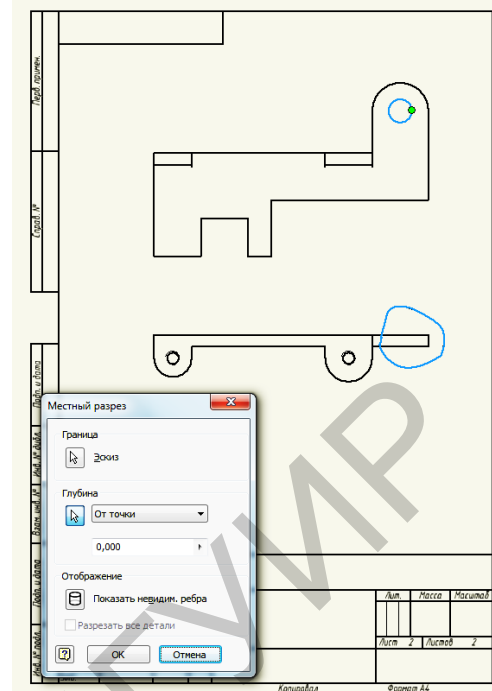


Рисунок 129 – Указание расположения местного разреза и секущей плоскости

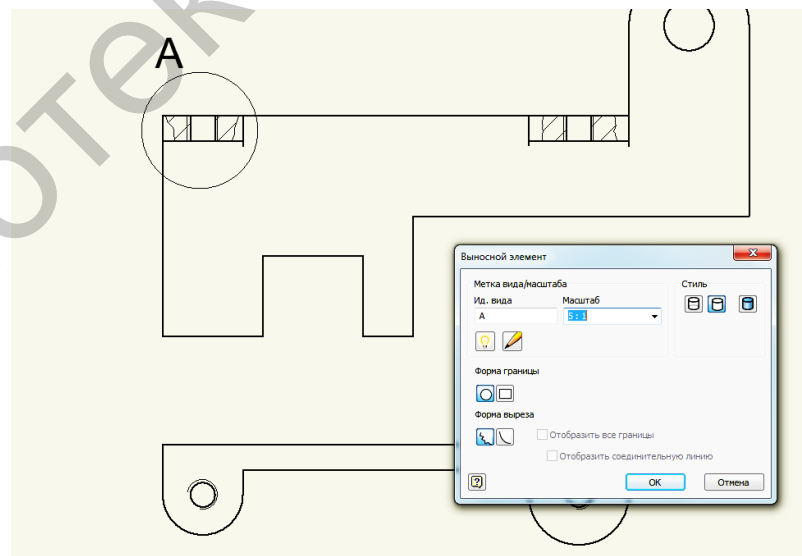


Рисунок 130 – Создание выносного вида

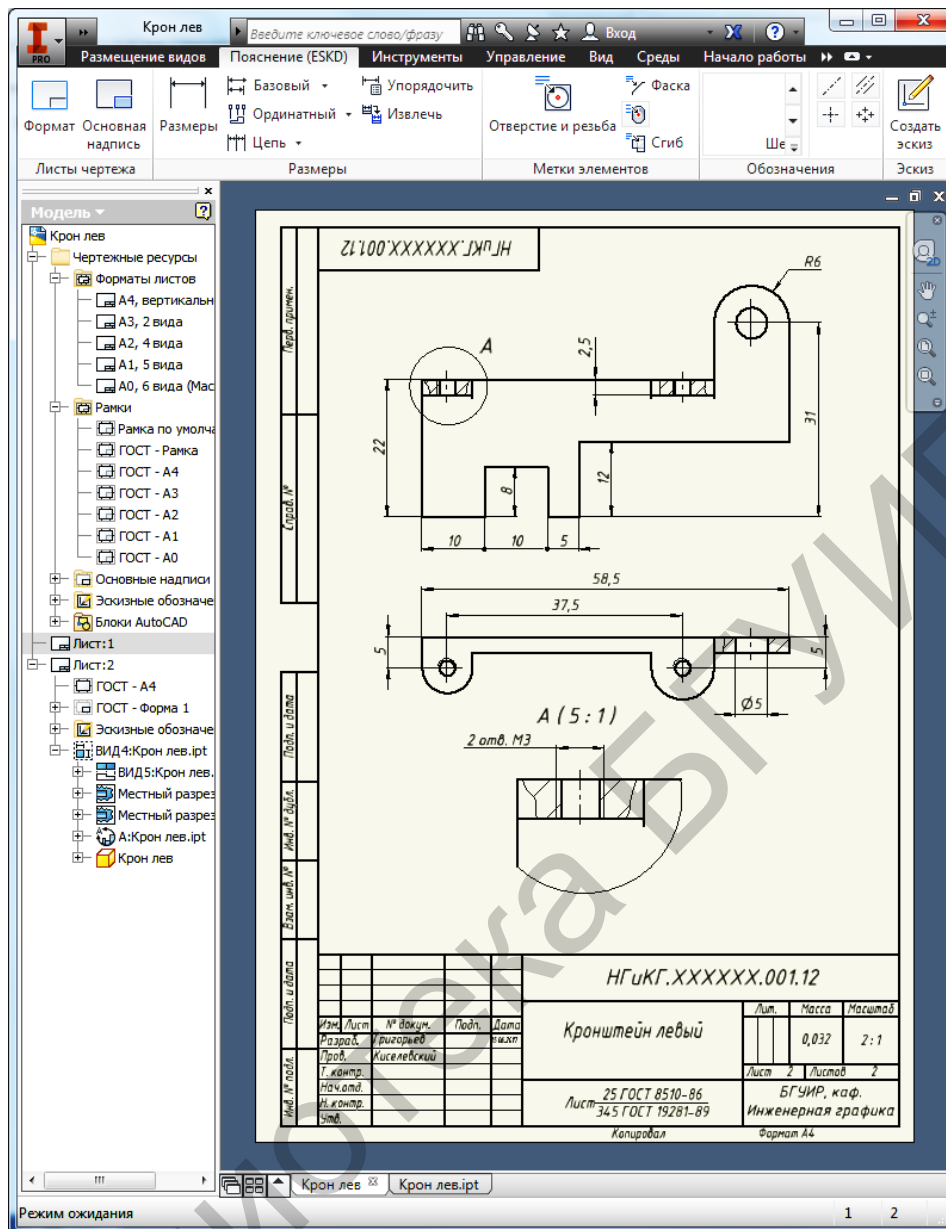


Рисунок 131 – Нанесение на чертёж размеров, осевых линий, заполнение основной надписи

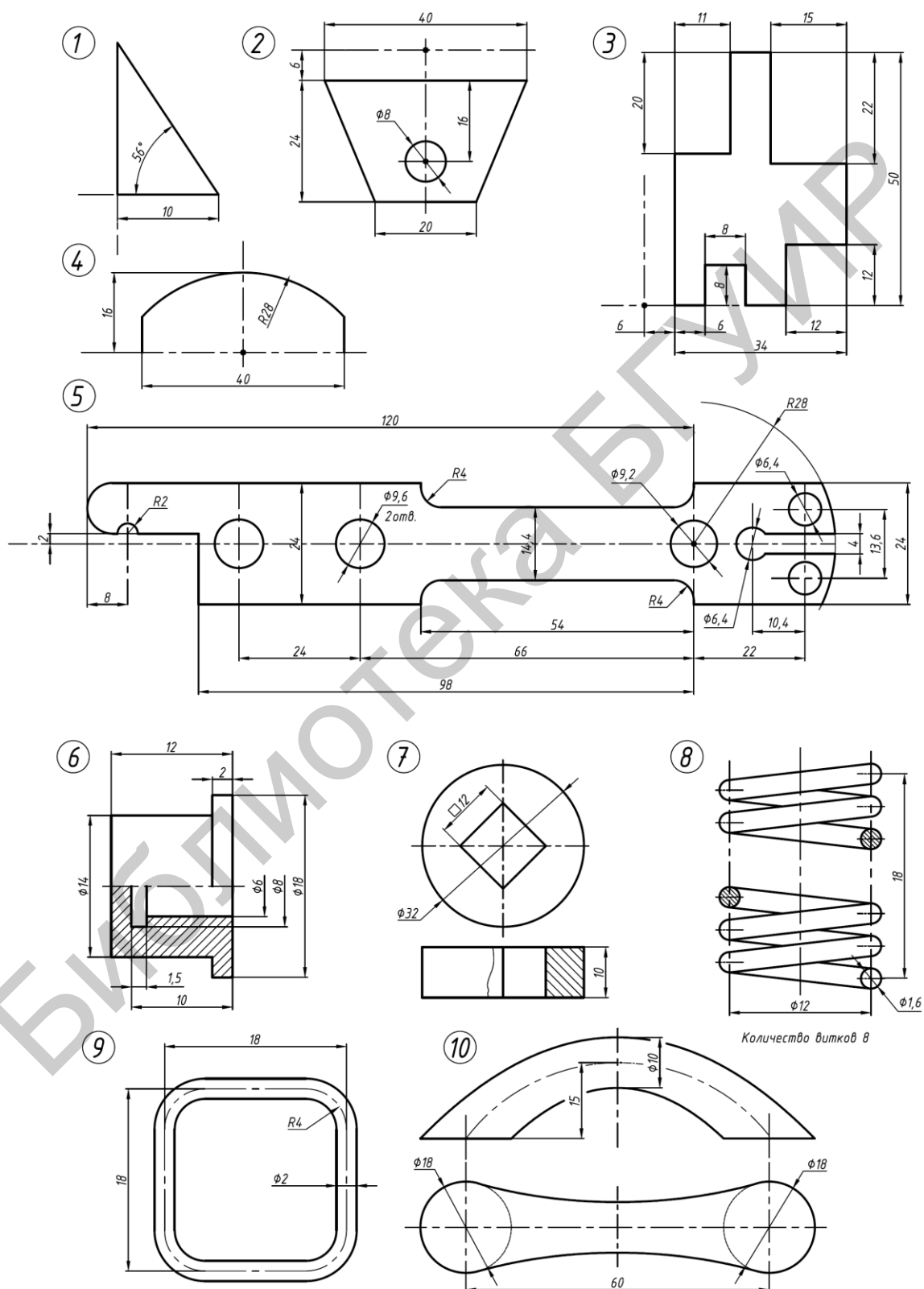
Таким образом, деталь любой сложности при наличии трёхмерной модели в Inventor может быть автоматизированно преобразована в чертёж. Чертёж может быть сохранён и выведен на печать. Кроме того, полученный чертёж будет адаптивным, то есть будет зависеть от размеров и параметров самой модели. Любые изменения геометрии модели будут автоматически отображаться и на чертеже.

Если же возникнет необходимость использования построенных проекций в AutoCAD, то такая возможность тоже существует. Для этого необходимо построенный чертёж специальным образом сохранить в доступном для AutoCAD формате. Как это правильно сделать, было рассказано на четвёртом занятии.

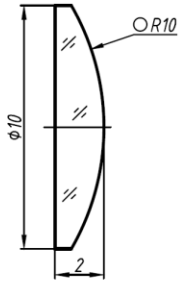
ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

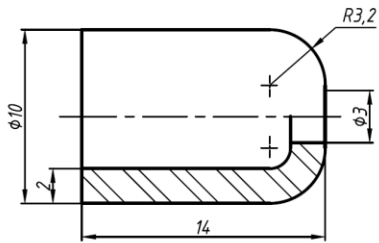
ЧЕРТЕЖИ ДЕТАЛЕЙ



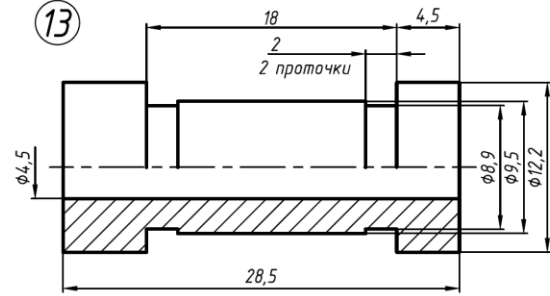
11



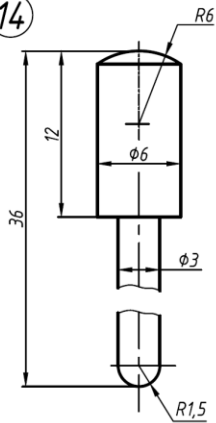
12



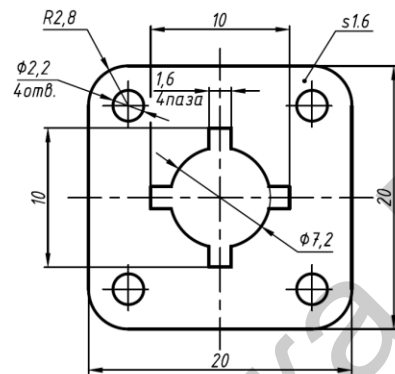
13



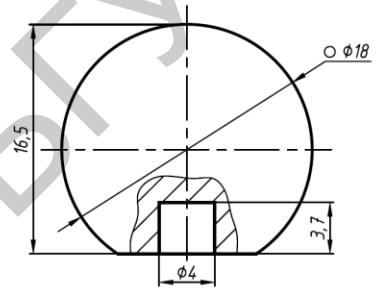
14



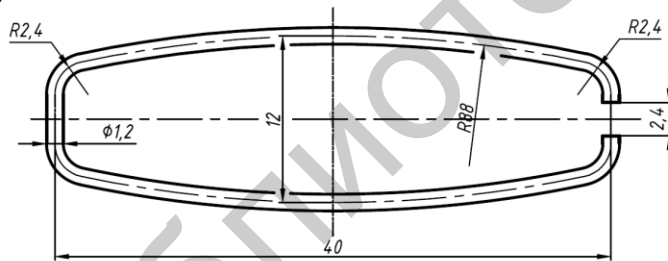
15



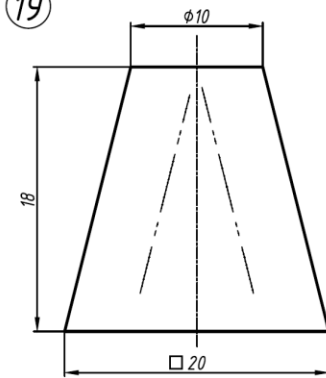
16



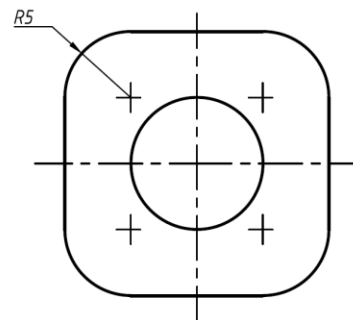
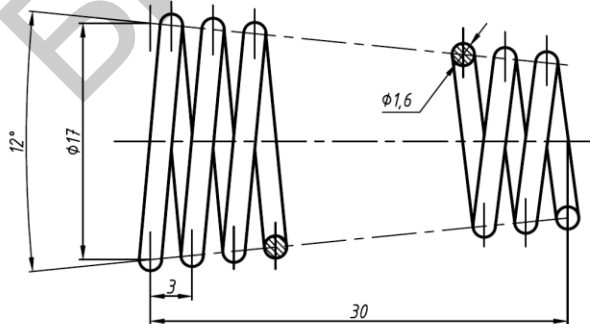
17

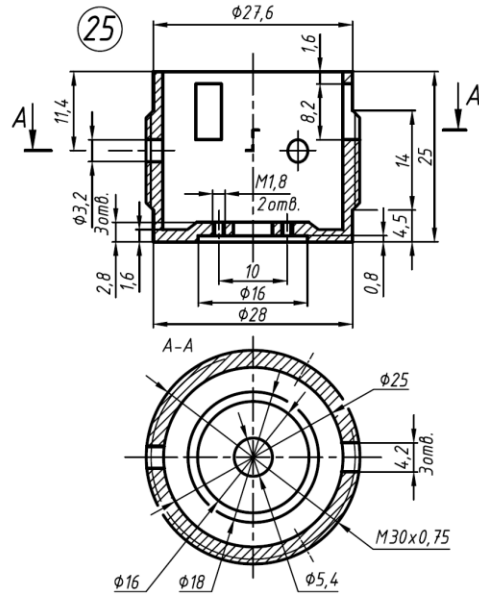
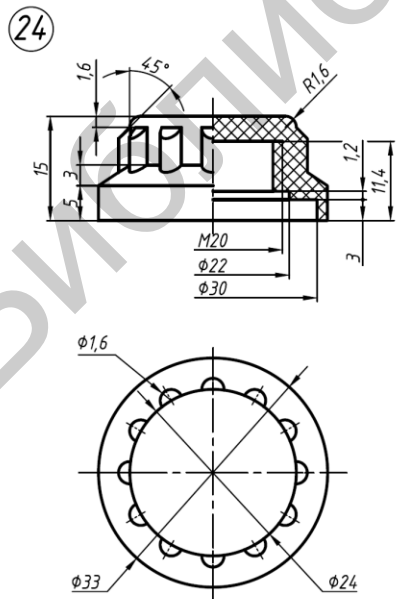
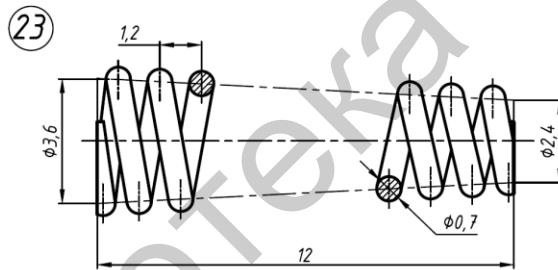
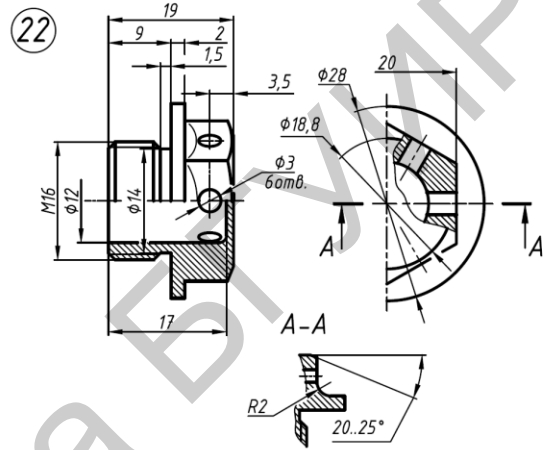
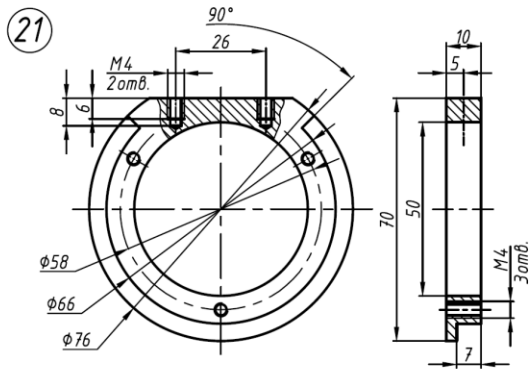
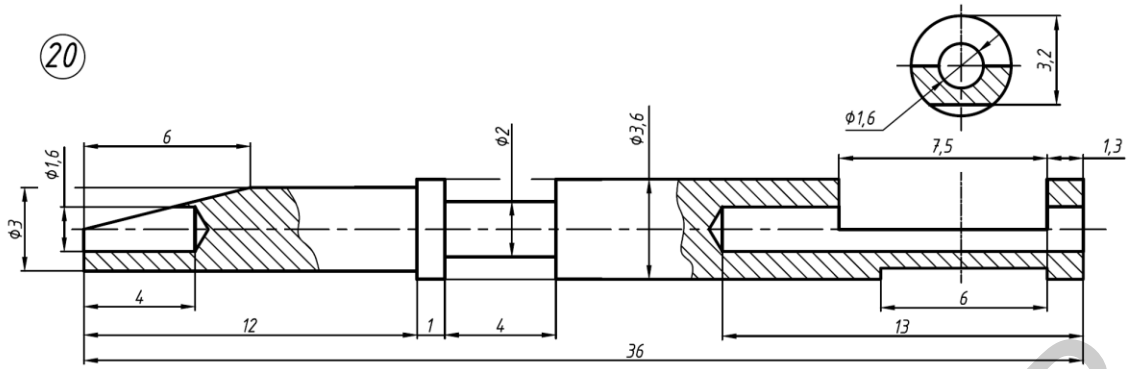


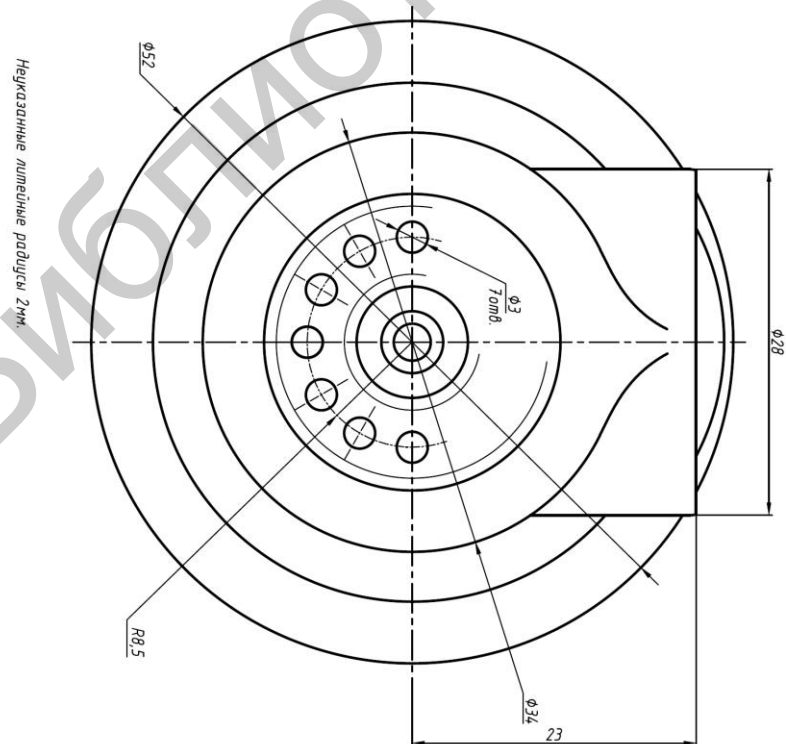
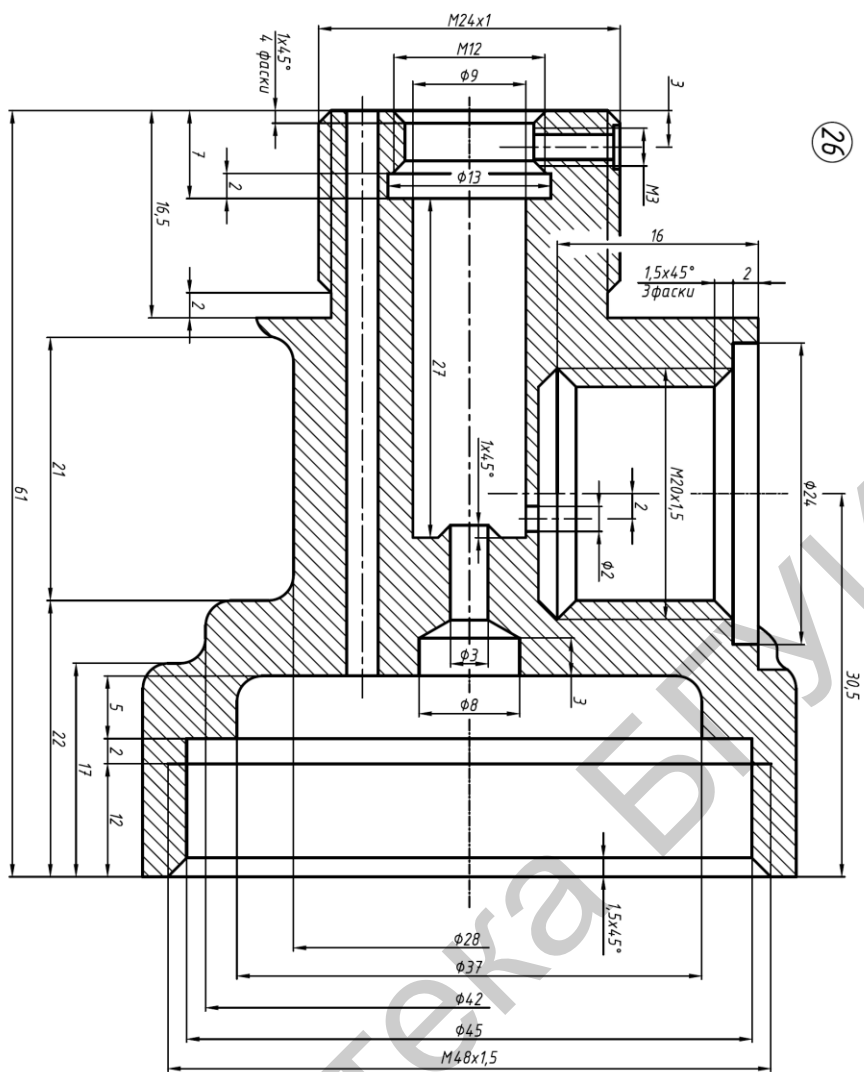
19



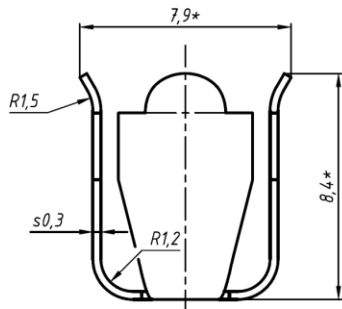
18



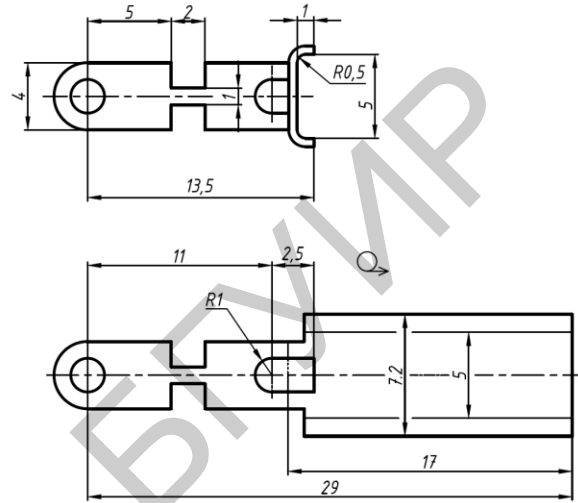
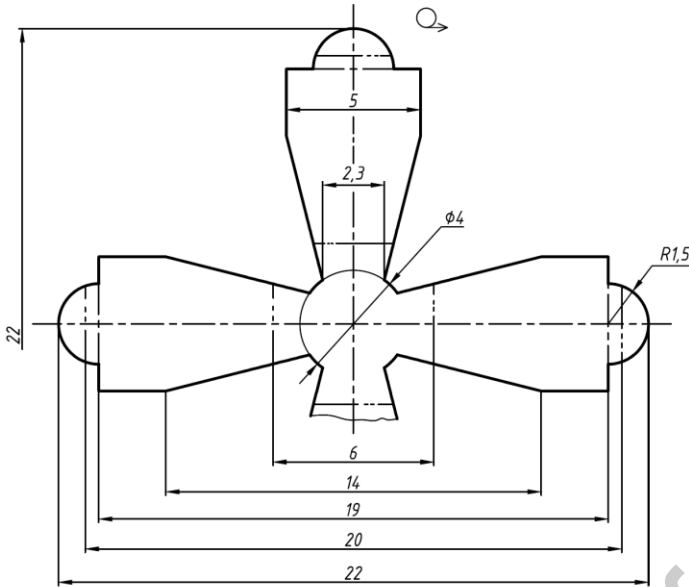
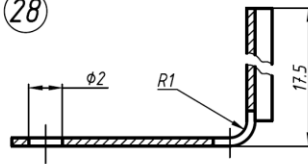




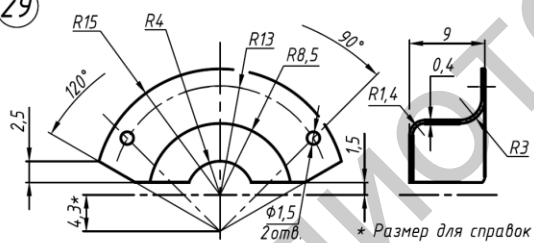
27



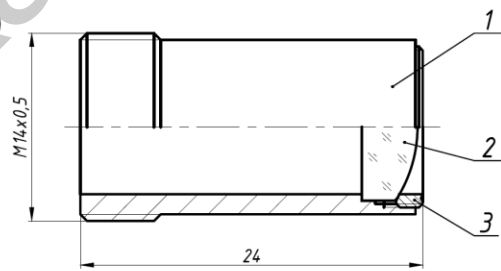
28



29

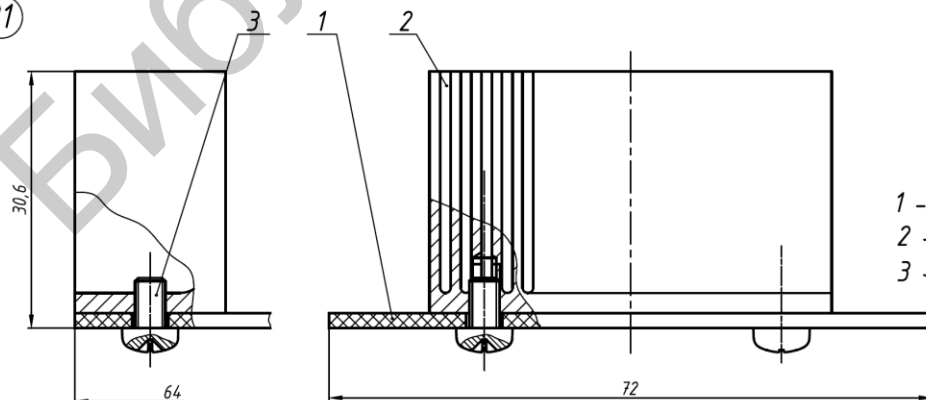


30



- 1 - Оправа;
- 2 - Линза;
- 3 - Гайка

31



- 1 - Печатная плата;
- 2 - Радиатор;
- 3 - Винт М3 (2 шт.)

ЛИТЕРАТУРА

1. Компьютерный инжиниринг : учеб. пособие / А. И. Боровков [и др.]. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 93 с.
2. Прикладные пакеты векторной графики : учеб.-метод. пособие / О. С. Киселевский [и др.]. – Минск : БГУИР, 2016. – 96 с.
3. Рожнова, Н. Г. CorelDRAW. Технологии построения и редактирования изображений : учеб.-метод. пособие / Н. Г. Рожнова, Б. А. Касинский. – Минск : БГУИР, 2015. – 84 с.
4. Голованов, Н. Н. Геометрическое моделирование / Н. Н. Голованов. – М. : Изд-во Физико-математической литературы, 2002. – 472 с.
5. САПР и графика [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://sapr.ru>.
6. Стандарт предприятия. Дипломные проекты (работы). Общие требования / разработ. : А. Т. Доманов, Н. И. Сорока. – Минск : БГУИР, 2009. – 174 с.
7. AutoCAD. Построение и редактирование электронного чертежа : метод. указания / сост. М. В. Мисько. – Минск : БГУИР, 2009. – 40 с.
8. Методические указания по разработке учебных сборочных чертежей печатных узлов / сост. М. В. Мисько. – Минск : МРТИ, 1990. – 48 с.

Библиотека БГУИР

Учебное издание

Киселевский Олег Сергеевич

***ТВЕРДОТЕЛЬНОЕ ТРЁХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
В AUTODESK INVENTOR***

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

Редактор *М. А. Зайцева*

Корректор *Е. Н. Батурчик*

Компьютерная правка, оригинал-макет *В. М. Задоля*

Подписано в печать 06.10.2017. Формат 60x84 1/8. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».
Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. 10,93. Уч.-изд. л. 5,5. Тираж 300 экз. Заказ 405.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий №1/238 от 24.03.2014,

№2/113 от 07.04.2014, №3/615 от 07.04.2014.

ЛП №02330/264 от 14.04.2014.

220013, Минск, П. Бровки, 6