

# Содержание

---

Предисловие.....	4
Введение.....	7
Термины и определения.....	10
<hr/>	
<b>1</b> Построение плоского контура.....	15
<hr/>	
<b>2</b> Построение модели и выполнение чертежа детали с использованием базовых операций.....	31
2.1. Призма. Построение модели и выполнение чертежа.....	33
2.2. Пирамида со сквозным отверстием. Построение модели и выполнение чертежа.....	47
2.3. Полый шар со сквозными отверстиями. Построение модели и выполнение чертежа.....	59
<hr/>	
<b>3</b> Построение модели и выполнение чертежа детали с использованием базовых и конструктивных операций.....	71
3.1. Основание. Построение модели и выполнение чертежа.....	72
3.2. Вал. Построение модели и выполнение чертежа.....	93
<hr/>	
Литература.....	112
Приложение.....	114

# Предисловие

При проектировании изделий недостаточно быстро делать электронные модели. Электронная модель изделия должна позволять вносить в нее изменения, чтобы конструктор мог быстрее приходить к окончательному решению. Иначе без достаточно точной формализации исходного задания или без достаточно полной проработки обстановки смежниками или ведущими конструкторами он просто не приступит к своей работе.

Возможность внесения улучшений в проект до самого последнего момента работы над ним потенциально несет в себе более высокое качество проекта.

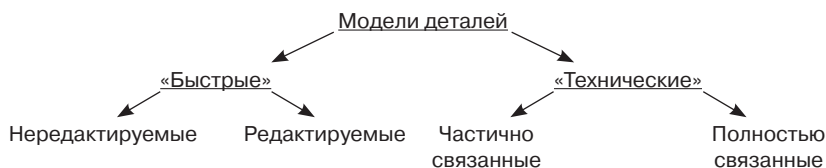
Современные программные решения позволяют моделировать трехмерные объекты практически любой степени сложности, используя базовый инструментарий САД-модуля.

Пособие предназначено для самостоятельной работы с системой автоматизированного проектирования Autodesk Inventor.

Описание выполнено на базе системы Autodesk Inventor 2016 Professional, настройки системы выбраны «по умолчанию», расположение и состав ленточного интерфейса соответствуют первому запуску системы.

В пособии рассмотрены алгоритмы и методы решения задач построения электронных геометрических моделей и выполнение электронных чертежей деталей с подробным описанием и комментариями ко всем применяемым операциям и выполняемым командам.

Для описания выбраны построения редактируемых моделей деталей.



*Классификация моделей деталей  
по набору накладываемых геометрических зависимостей  
и протановке размерных зависимостей*

**«Быстрые» модели деталей** – модели деталей, в которых размерные зависимости между собой не связаны.

- **Нередактируемые** – «быстрые» модели деталей, в которых изменения одного или нескольких значений размерных зави-

симостей приводят к непредсказуемым изменениям формы моделей деталей.

- **Редактируемые** – «быстрые» модели деталей, в которых изменения одного или нескольких значений размерных зависимостей приводят к предсказуемым корректным изменениям формы моделей деталей.

«**Технические**» модели деталей – «быстрые» редактируемые модели деталей, в которых размерные зависимости частично или полностью связаны между собой.

- **Частично связанные** – «технические» модели деталей, в которых несколько размерных зависимостей связаны между собой или образуют несколько групп связанных размерных зависимостей, при этом группы между собой не имеют связи.
- **Полностью связанные** – «технические» модели деталей, в которых все размерные зависимостей связаны между собой и зависят от одного значения доминирующей размерной зависимости.

Первой задачей является построение контура, предназначенного для проработки построения примитивов, наложения геометрических зависимостей и простановки размерных зависимостей.

Далее рассмотрены задачи, в которых заданы простые геометрические формы (призма, пирамида и шар). В этих задачах для построения моделей использованы базовые операции («Выдавливание», «Вращение», «Лофт» и «Сдвиг»). При выполнении чертежей рассмотрены построения видов, простых разрезов (соединение вида и разреза в одном изображении), нанесение размеров на чертеже.

Затем рассмотрены задачи, в которых представлены предметы, близкие по конфигурации к деталям машиностроения: «тела вращения» и «не тела вращения». При построении моделей в этих задачах использованы как базовые операции, так и конструкционные операции («Резьба», «Отверстие», «Фаска» и т. д.). При выполнении чертежей рассмотрены построения видов, простых, сложных (ступенчатых) и местных разрезов, сечений, выносных элементов и нанесение размеров на чертеже.

Система Autodesk Inventor позволяет выполнять задачи построения электронных геометрических моделей деталей, используя различные маршруты построения. При этом можно обобщить возможные маршруты построения и представить в виде структурной схемы, которая отражает стратегию построения электронных геометрических моделей деталей.



*Стратегия построения  
электронной геометрической модели детали (модели детали)*

# Введение

Согласно ГОСТ 2.052–2006 «Электронная модель изделия. Общие положения», определены три вида трехмерных электронных моделей.

**Твердотельная модель** – трехмерная электронная геометрическая модель, представляющая форму изделия как результат композиции заданного множества геометрических элементов с применением операций булевой алгебры к этим геометрическим элементам.

**Поверхностная модель** – трехмерная электронная геометрическая модель, представленная множеством ограниченных поверхностей, определяющих в пространстве форму изделия.

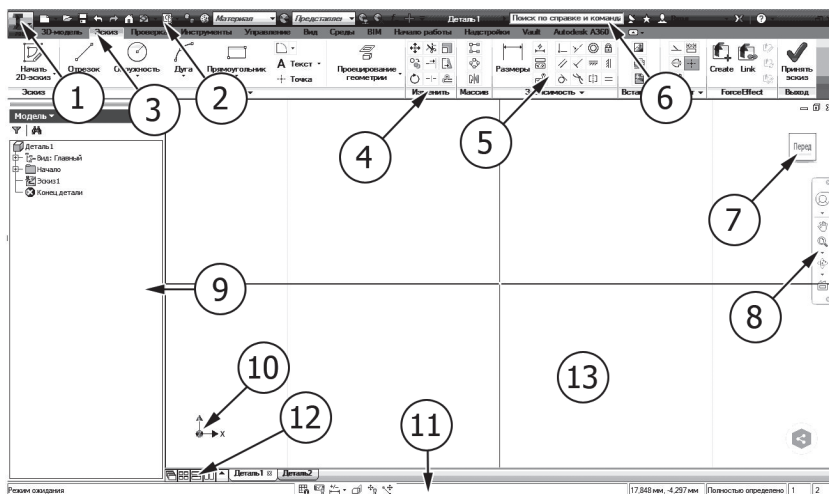
**Каркасная модель** – трехмерная электронная геометрическая модель, представленная пространственной композицией точек, отрезков и кривых, определяющих в пространстве форму изделия.

В графической системе Autodesk Inventor проектирование изделий машиностроения основано на использовании *твердотельных моделей деталей* и сборочных единиц.

Создание модели и чертежа детали осуществляется с помощью файлов-шаблонов детали (\*.ipt) и чертежа (\*.idw).

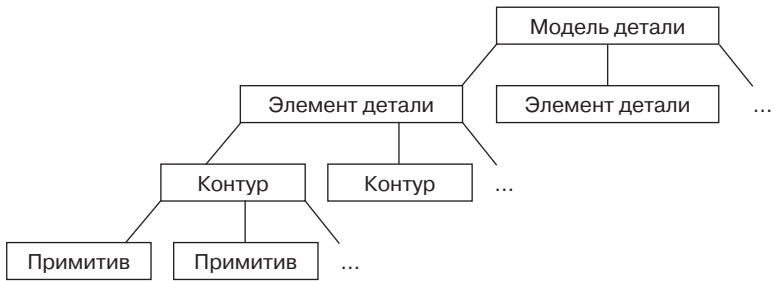
Графическая система Autodesk Inventor Professional 2016 использует форму интерфейса, главной частью которого является *лента*.

**Ленточный интерфейс (Лента)** – тип интерфейса, основанный на панелях инструментов, разделенных вкладками.



Расположение элементов интерфейса в системе Autodesk Inventor 2016

1. **Кнопка «Inventor»** – кнопка, предоставляющая доступ к инструментам, позволяющим создать, открыть, сохранить и опубликовать файл, а также к параметрам и настройкам системы Autodesk Inventor.
2. **Панель быстрого доступа** – отображение часто используемых команд на панели быстрого доступа.
3. **Вкладка** – элемент *ленточного интерфейса*, который позволяет переключаться между предопределенными наборами панелей ленточного интерфейса.
4. **Панель (панель инструментов)** – элемент *ленточного интерфейса*, в котором расположены инструменты и команды моделирования. Для каждой вкладки набор панелей различен.
5. **Команда** – действие, которое может выполнить пользователь, направленное на моделирование *электронных моделей изделия* и её элементов.
6. **Панель «Инфоцентр»** – панель, предназначенная для поиска различной информации, доступа к разделам справки и обновлениям программных продуктов.
7. **Видовой куб** – инструмент для управления ориентацией 3D-видов.
8. **Панель навигации** – панель, обеспечивающая доступ к инструментам навигации, включая инструменты *видовой куб* и *штурвал*.
9. **Браузер (дерево построений)** – область окна программы, в которой представлена иерархическая структура взаимоотношений между *элементами деталей*, сборок и *чертежей* (панель инструментов, в которой записывается история всех построений).
10. **ПСК (пользовательская система координат)** – активная система координат, которая задает *основную рабочую плоскость XY* и направление *основной рабочей оси Z* для создания *чертежей* и моделирования.
11. **Строка состояния** – панель, предназначенная для вывода вспомогательной информации: параметров *модели*, подсказок к командам и т. д.
12. **Панель «Графические окна»** – предназначена для различной компоновки графических окон открытых документов в системе Autodesk Inventor.
13. **Графическое окно** – основная область отображения в системе Autodesk Inventor (область отображения *модельного пространства*).



*Структурная схема электронной геометрической модели детали*

# Термины и определения

**Конструкторская документация** – совокупность конструкторских документов, содержащих данные, необходимые для проектирования (разработки), изготовления, контроля, приемки, поставки, эксплуатации, ремонта, модернизации, утилизации изделия (ГОСТ 2.001).

**Бумажный конструкторский документ** – конструкторский документ, выполненный на бумажном или аналоговом по назначению носителе (кальке, микрофильмах, микрофишах и т. п.) (ГОСТ 2.001).

**Графический документ** – конструкторский документ, содержащий в основном графическое изображение изделия и/или его составных частей, отражающее взаимное расположение и функционирование этих частей, их внутренние и внешние связи.

К графическим конструкторским документам относят чертежи, схемы, электронные модели изделия и его составных частей (ГОСТ 2.001).

**Текстовый документ** – конструкторский документ, содержащий в основном сплошной текст или текст, разбитый на графы.

К текстовым документам относят спецификации, технические условия, ведомости, таблицы и т. п. (ГОСТ 2.001).

**Электронный конструкторский документ** – конструкторский документ, выполненный программно-техническим средством на электронном носителе (ГОСТ 2.001).

Конструкторские документы могут быть выполнены как бумажный конструкторский документ и/или как электронный конструкторский документ [ГОСТ 2.001–2013, пункт 4.3].

Все двумерные (2D) конструкторские документы могут быть выполнены как бумажный конструкторский документ и/или как электронный конструкторский документ. Документы одного вида и наименования независимо от выполнения являются равноправными и взаимозаменяемыми [ГОСТ 2.102–2013, пункт 4.2].

Все графические документы (чертежи, схемы) могут быть выполнены как электронные чертежи (2D) и/или как электронные модели (3D). Все текстовые документы могут быть выполнены как электронные конструкторские документы. Вид документа и его наименование при этом сохраняются [ГОСТ 2.102–2013, пункт 4.3].

**Информационная единица** – файл или набор взаимосвязанных файлов, рассматриваемый как единое целое (ГОСТ 2.051).

**Файл модели** – файл, содержащий информацию о геометрических элементах, атрибутах, обозначениях и указаниях, которые рассматриваются как единое целое (ГОСТ 2.052).



**Модельное пространство** – пространство в координатной системе *электронной модели изделия*, в которой выполняется электронная геометрическая модель (ГОСТ 2.052).

**Данные расположения** – данные, определяющие размещение и ориентацию изделия и его составных частей в модельном пространстве в указанной системе координат (ГОСТ 2.052).

Начальная ориентация *электронной модели изделия* в модельном пространстве не оговаривается [ГОСТ 2.052–2006, пункт 5.5].

**Электронная модель изделия** – электронная модель детали или сборочной единицы по ГОСТ 2.102.

В компьютерной среде электронная модель изделия представляется в виде набора данных, которые вместе определяют геометрию изделия и иные свойства, необходимые для изготовления, контроля, приемки, сборки, эксплуатации, ремонта и утилизации изделия [ГОСТ 2.052–2006, пункт 4.1].

Электронная модель изделия, как правило, состоит из геометрической модели изделия, произвольного количества атрибутов модели и может включать технические требования [ГОСТ 2.052–2006, пункт 4.4].

**Электронная модель детали** – документ, содержащий электронную геометрическую модель детали и требования к ее изготовлению и контролю. В зависимости от стадии разработки он включает в себя предельные отклонения размеров, шероховатости поверхностей и др. (ГОСТ 2.102).

Модель должна содержать полный набор конструкторских, технологических и физических параметров согласно ГОСТ 2.109, необходимых для выполнения расчетов, математического моделирования, разработки технологических процессов и др. [ГОСТ 2.052–2006, пункт 4.5].

Электронный конструкторский документ, выполненный в виде модели, должен соответствовать следующим основным требованиям:

- б) все значения размеров должны получаться из модели;
- е) не допускается давать ссылки на нормативные документы, определяющие форму или размеры конструктивных элементов (отверстия, фаски, канавки и т. п.), если в них нет геометрического описания этих элементов. Все данные для их изготовления должны быть приведены в модели [ГОСТ 2.052–2006, пункт 4.7].

**Электронная геометрическая модель (модель детали)** – электронная модель изделия, описывающая геометрическую форму,

размеры и иные свойства изделия, зависящие от его формы и размеров (ГОСТ 2.052).

**Элемент геометрической модели детали (элемент модели)** – часть модели детали, которую можно построить, используя одну операцию для построения.

**Геометрия модели** – совокупность геометрических элементов, которые являются элементами геометрической модели изделия (ГОСТ 2.052).

**Основная геометрия модели** – совокупность геометрических элементов, представляющих форму и размеры геометрической модели (ГОСТ 2.056).

**Геометрический элемент** – идентифицированный (именованный) геометрический объект, используемый в наборе данных.

Геометрическим объектом могут быть точка, линия, плоскость, поверхность, геометрическая фигура (ГОСТ 2.052).

**Геометрическая целостность (электронной геометрической модели)** – свойство электронной геометрической модели изделия, определяющее, что при построении и преобразованиях (выполнении поворота, переноса и других операций преобразования) сохраняется целостность данных содержательной части (ГОСТ 2.056).

**Примитивы** – простейшие геометрические объекты (точка, отрезок прямой, сплайн, дуга окружности, окружность, прямоугольник, многоугольник правильный и др.).

**Контур** – совокупность примитивов, определенным образом расположенных и связанных между собой на рабочей плоскости или в пространстве.

**Геометрическая зависимость (геометрическое ограничение)** – зависимость, которая позволяет геометрически задать определенное положение примитива и/или примитивов между собой на рабочей плоскости или в пространстве.

**Размерная зависимость (размерное ограничение)** – зависимость, которая позволяет задать численно величину примитива и/или расположение между примитивами на рабочей плоскости или в пространстве.

**Размеры для моделирования** – размеры, которые требуется выдержать при построении контуров и модели детали.

**Размеры на чертеже** – для определения величины изображенного изделия и его элементов служат размерные числа, нанесенные на чертеже (ГОСТ 2.307).

**Вспомогательная геометрия** – совокупность геометрических элементов, которые используются в процессе создания геометрии

ческой модели изделия, но не являются элементами этой модели (ГОСТ 2.052).

**Основная рабочая плоскость (плоскость)** – элемент вспомогательной геометрии, плоскость мировой декартовой прямоугольной системы координат (XY, XZ или YZ).

**Основная рабочая ось (ось)** – элемент вспомогательной геометрии, ось мировой декартовой прямоугольной системы координат (X, Y или Z).

**Основная рабочая точка (точка)** – элемент вспомогательной геометрии, точка начала отсчета мировой декартовой прямоугольной системы координат.

**Рабочие плоскости, рабочие ось, рабочая точка** – элементы вспомогательной геометрии, плоскости, оси и точки, не совпадающие с основными рабочими плоскостями, основными рабочими осями и основной рабочей точкой.

**Контекстная панель инструментов** – панель команд, которая отображается при выборе элементов в графической области или в дереве конструирования. Она предоставляет доступ к часто выполняемым действиям для соответствующего контекста.

**Базовые операции** – универсальные операции для построения элементов модели детали.

**Конструкционные операции** – операции для создания определенных элементов модели детали.

#### **Базовые операции**

- «Выдавливание»
- «Вращение»
- «Лофт»
- «Сдвиг»

#### **Конструкционные операции**

- «Отверстие»
- «Оболочка»
- «Резьба»
- «Ребро жесткости»
- «Пружина»
- «Сопряжение»
- «Фаска»

**Аутентичный документ** – документ, одинаковый с исходным по содержанию и отличный от исходного по формату и/или кодам данных (ГОСТ 2.051).

**Визуализация** – отображение информации в пригодной и понятной для восприятия человеком форме. Визуализация выполняется соответствующими программными и/или техническими средствами (ГОСТ 2.051).

Результатом визуализации электронного конструкторского документа на графическом устройстве вывода ЭВМ является изображе-

ние (на экране дисплея), результатом визуализации электронного конструкторского документа на печатающем устройстве вывода ЭВМ – бумажная копия электронного документа по ГОСТ 2.051.

Результат визуализации электронного документа должен быть оформлен согласно требованиям стандартов ЕСКД [ГОСТ 2.051–2013, пункт 3.1.4].

**Чертеж детали (чертеж)** – документ, содержащий изображение *детали* и другие данные, необходимые для ее изготовления и контроля (ГОСТ 2.102).

При выполнении схем и чертежей на графических устройствах допускается пересекать и заканчивать штрих-пунктирные линии не только штрихами [ГОСТ 2.004–88, пункт 3.2].

Масштабы изображений на чертежах, выполняемых на графических устройствах, следует выбирать из ряда по ГОСТ 2.302. Допускается применять масштабы уменьшения 1:n и увеличения n:1, где n – рациональное число [ГОСТ 2.004–88, пункт 3.2].

При выполнении документов автоматизированным способом допускается применять шрифты, используемые средствами вычислительной техники. В этом случае должны быть обеспечены их хранение и передача пользователям документов [ГОСТ 2.304–81, пункт 2.1].

# 1 ПОСТРОЕНИЕ ПЛОСКОГО КОНТУРА

<b>2</b>	Построение модели и выполнение чертежа детали с использованием базовых операций	31
<b>3</b>	Построение модели и выполнение чертежа детали с использованием базовых и конструкционных операций	71

В основе построения любой трехмерной *модели* в системе Inventor лежит плоский *контур*. Даже самая сложная *модель* состоит из набора *контуров* и примененных к ним *операций* по созданию трехмерной *модели*. Сам *контур* создается в **режиме «Эскиз»** из простейших геометрических фигур (*примитивов*): *отрезка, сплайна, окружности, дуги, точки* и др.

Существует множество способов построения *контура*. Всегда необходимо знать расположение *контура* на *рабочей плоскости*. Особенно это существенно, когда в *модели детали* два или более *контуров*, которые требуется расположить между собой в пространстве должным образом.

### **Этапы составления маршрута построения контура**

1. Разбиение контура на примитивы, из которых может состоять контур.
2. Определение размеров для моделирования примитивов контура.
3. Выбор начального примитива и его расположения на рабочей плоскости для построения контура.
4. Определение последовательности построения примитивов контура.
5. Определение геометрических зависимостей и размерных зависимостей для каждого примитива контура.

Взаимосвязь *примитивов* создается при помощи *геометрических зависимостей*. При отсутствии *геометрических зависимостей* могут непредсказуемо измениться форма *контура* и ориентация его *примитивов*.

Система Autodesk Inventor во время построения подсказывает некоторые *геометрические зависимости*, но не всегда эти *геометрические зависимости* оказываются необходимыми. На начальной стадии обучения целесообразно ставить требуемые *геометрические зависимости вручную*.



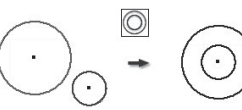
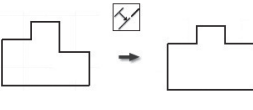
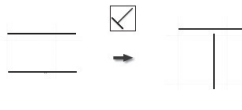
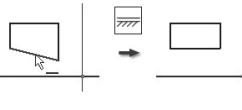
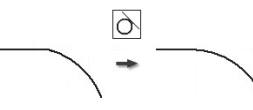
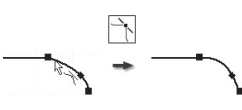
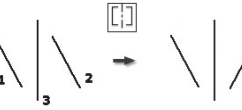
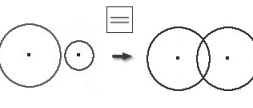


Далее, при употреблении определения **«произвольно»** при построении *примитивов*, подразумевается, что автоматическая постановка *геометрических зависимостей* системой Autodesk Inventor не используется.

В системе Autodesk Inventor 2016 есть возможность отключить автоматическую постановку *геометрических зависимостей* при построении *примитивов*.

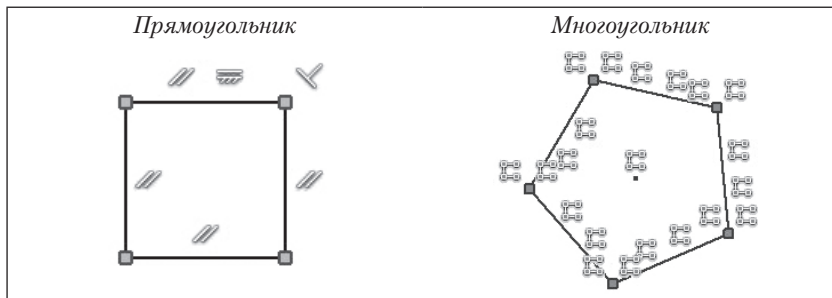
- На вкладке «Эскиз» в панели «Зависимость» выбрать команду «Настройки зависимостей».
- В появившемся окне на вкладке «Формирование» снять выделение с настройки «Формирование зависимости».

После данной настройки геометрические зависимости не будут проставляться автоматически.

**Примеры нанесенных вручную геометрических зависимостей**

<p>«Параллельность»</p>  <p>до → после</p>	<p>«Совмещение»</p>  <p>до → после</p>	<p>«Концентричность»</p>  <p>до → после</p>
<p>«Коллинеарность»</p>  <p>до → после</p>	<p>«Перпендикулярность»</p>  <p>до → после</p>	<p>«Горизонтальность»</p>  <p>до → после</p>
<p>«Касательность»</p>  <p>до → после</p>	<p>«Сглаживание»</p>  <p>до → после</p>	<p>«Симметричность»</p>  <p>до → после</p>
<p>«Равенство»</p>  <p>до → после</p>	<p>«Фиксация»</p>  <p>до → после</p>	<p>«Вертикальность»</p>  <p>до → после</p>

В системе имеются примитивы, которые уже содержат в себе ряд геометрических зависимостей.



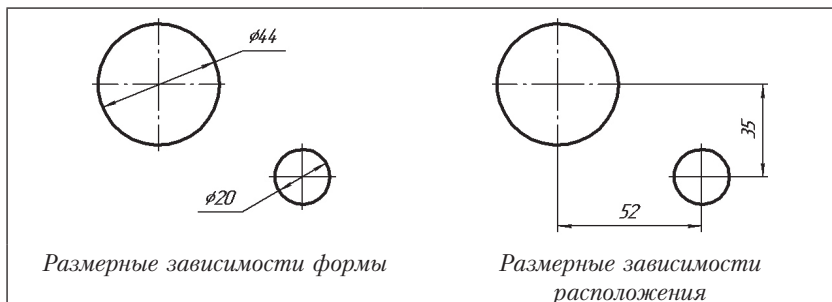
Геометрические зависимости наложены таким образом, что у *прямоугольника* противоположные стороны всегда параллельны, а смежные перпендикулярны. И концы *отрезков*, из которых состоит *прямоугольник*, всегда совмещены. У *многоугольника* стороны равны и соответствующие концы *отрезков* совмещены.



Для построения *примитивов фаска* и *сопряжение* используются созданные ранее *примитивы*.

При нарушении целостности этих *примитивов* ряд *геометрических зависимостей* снимается автоматически.

### Примеры размерных зависимостей для моделирования



Размерные зависимости формы

Размерные зависимости расположения



**Задача:** построить контур по размерам, указанным на рис. 1.1, затем контур выдавить толщиной 5 мм.

Контур должен соответствовать следующему требованию: изменение одного или нескольких значений размерных зависимостей должно приводить к предсказуемым корректным изменениям формы и расположения контура.

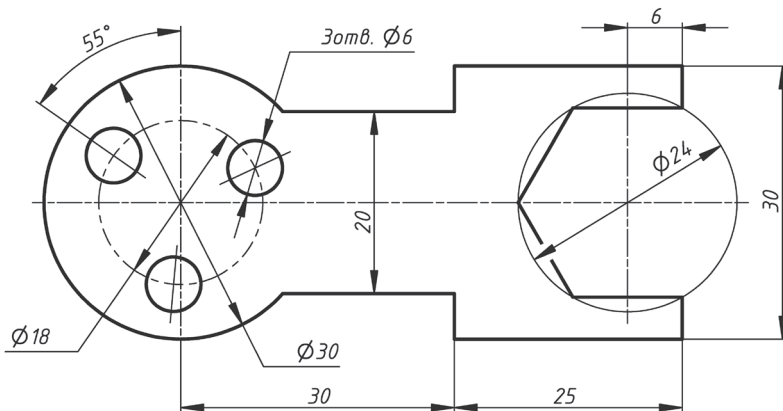


Рис. 1.1

Создадим новый проект.

Использование проектов позволяет запоминать информацию о размещении данных проекта и редактируемых файлов, а также поддерживать связи между ними.

### **Создание нового файла модели детали**

Нажимаем на кнопку **«Inventor»**, из выпадающего меню выбираем **«Создать»**. В появившемся диалоговом окне **«Создать новый файл»** из папки **«Метрические»** в группе **«Деталь»** открываем файл-шаблон детали **«Обычный (мм).ipt»**.

В папке **«Метрические»** находятся файлы-шаблоны с метрической системой единиц.

При открытии нового файла система по умолчанию находится в режиме **«Модель»**.

Для перехода в режим **«Эскиз»**:

- в браузере в папке **«Начало»** выбираем основную рабочую плоскость XY;
- вызываем команду **«Новый эскиз»**.

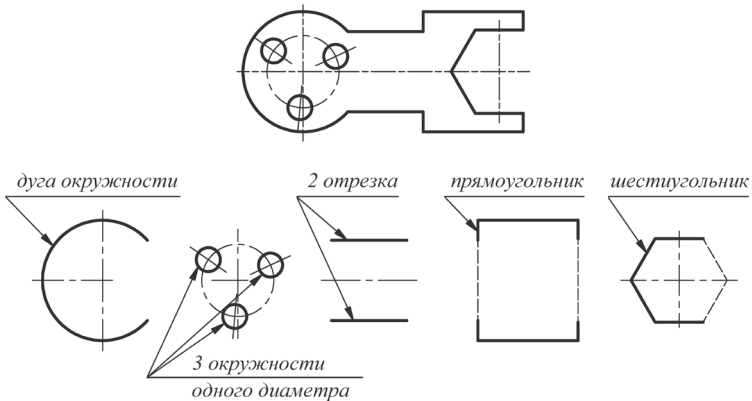
## Анализ данных и составление маршрута построения контура

Рассмотрен один из вариантов анализа задачи и выбора последовательности построения.

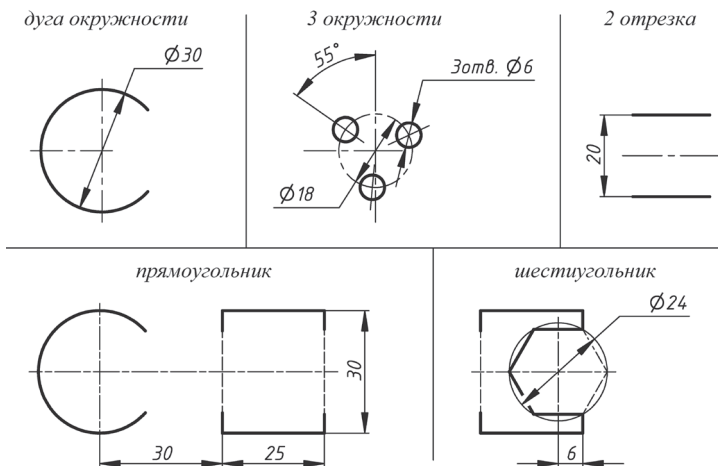
Выполнение задачи будет проходить в двух режимах:

- построение контура в режиме «Эскиз»;
- выдавливание контура в режиме «Модель».

### 1. Разбиение контура на примитивы



### 2. Определение размеров для моделирования



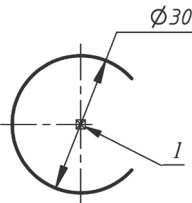
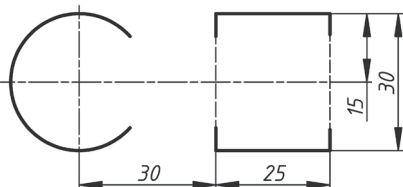
**3. Выбор начального примитива и его расположения на рабочей плоскости**

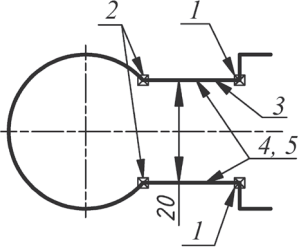
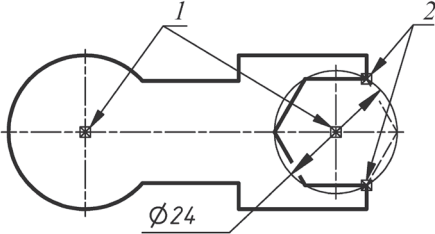
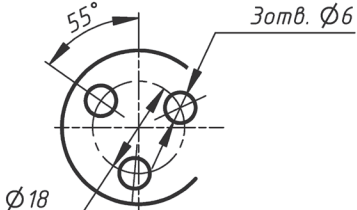
Для контура на рис. 1.1 одним из возможных начальных примитивов при построении может являться *дуга окружности* диаметра 30 мм. Начнем построение контура с этой *дуги*, а ее центр расположим в точке с координатами (0, 0).

**4. Определение последовательности построения примитивов контура**

- *Дуга окружности*  $\varnothing 30$  мм.
- *Прямоугольник* со сторонами  $25 \times 30$  мм.
- *2 отрезка*, соединяющих *дугу окружности* с *прямоугольником*.
- *Шестиугольник*.
- *3 окружности*  $\varnothing 6$  мм (круговой массив из *окружностей*).

**5. Определение геометрических и размерных зависимостей для каждого примитива**

	<i>Геометрические зависимости</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Дуга окружности</i> <math>\varnothing 30</math> мм</li> </ul> 	<p>1 – «Фиксация»</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Прямоугольник</i> со сторонами <math>25 \times 30</math> мм</li> </ul> 	

	Геометрические зависимости:
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 отрезка, соединяющих дугу окружности с прямоугольником</li> </ul> 	<p>1 – «Совмещение»  2 – «Совмещение»  3 – «Горизонтальность»  4 – «Параллельность»  5 – «Равенство»</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Шестиугольник</li> </ul> 	<p>1 – «Горизонтальность»  2 – «Совмещение»</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 окружности <math>\varnothing 6</math> мм (круговой массив из окружностей)</li> </ul> 	-

## Построение контура

### 1. Построение дуги окружности $\varnothing 30$ мм

- Из панели «Создать» выбираем команду «Дуга: центр». Вызываем из панели «Создать» выпадающее меню и выбираем команду «Точный ввод». Центр дуги ставим в точку с координатами  $X = 0, Y = 0$  (рис. 1.2). Точки начала и конца дуги окружности ставим произвольно, как показано на рис. 1.3.

Конец ознакомительного фрагмента.  
Приобрести книгу можно  
в интернет-магазине  
«Электронный универс»  
[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)