

Содержание

Предисловие	4
Введение	6
Термины и определения	8
Глава 1 Построение плоского контура	10
Глава 2 Построение модели и создание чертежа детали и использованием базовых операций	27
2.1. Призма. Построение модели и создание чертежа	30
2.2. Пирамида со сквозным отверстием. Построение модели и создание чертежа	43
2.3. Полый шар со сквозными отверстиями. Построение модели и создание чертежа	55
Глава 3 Построение модели и создание чертежа детали с использованием базовых и конструкционных операций	67
3.1. Основание. Построение модели и создание чертежа	68
3.2. Вал. Построение модели и создание чертежа ...	90
Литература	110
Приложение	111

Предисловие

При проектировании изделий не достаточно 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 САD-модуля.

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

Описание выполнено на базе системы Autodesk Inventor 2012 Professional, настройки системы выбраны «по умолчанию», расположение и состав *ленточного интерфейса* соответствует первому запуску системы.

В пособии рассмотрены алгоритмы решений задач, построений *моделей* и выполнение *чертежей деталей* с подробным описанием всех последовательно выполняемых *операций* и *команд*.

Для описания выбраны построения *редактируемых моделей деталей*.

Классификация *моделей деталей* по набору накладываемых *геометрических зависимостей* и простановке *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 зависимостей* 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 они образуют несколько групп связанных размерных зависимостей, при этом группы между собой не имеют связи.
- **Полностью связанные** – «технические» модели деталей, в которых все размерные зависимости 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*.

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.

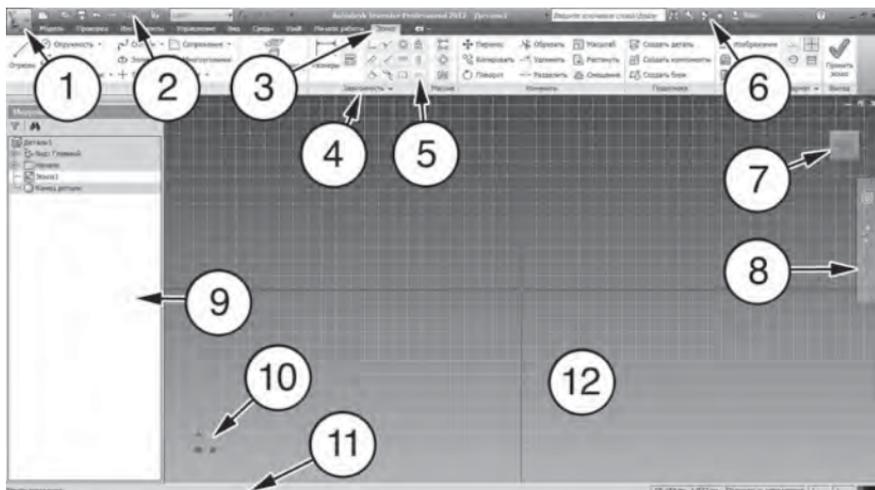
В графической системе Autodesk Inventor проектирование изделий машиностроения основано на использовании *твердотельных моделей деталей* и сборочных единиц.

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

Графическая система Autodesk Inventor Professional 2012 использует форму интерфейса, главной частью которого является лента.

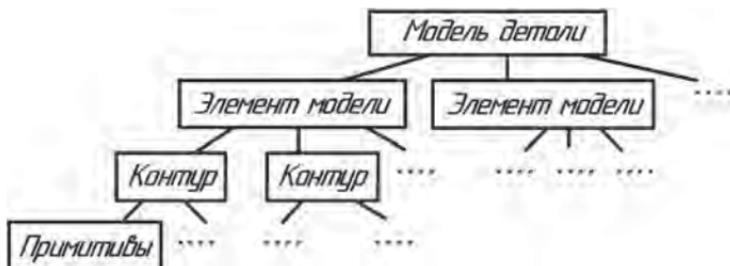
Ленточный интерфейс (Лента) – тип интерфейса, основанный на панелях инструментов, разделенных вкладками.

Расположение элементов интерфейса в системе Autodesk Inventor 2012



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 «Ифоцентр»** – *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. **Графическое окно** – основная область отображения в системе Autodesk Inventor (область отображения *модельного пространства*).

Структурная схема модели



Термины и определения

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

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

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

Геометрический элемент – идентифицированный (именованный) геометрический объект, используемый в наборе данных (ГОСТ 2.052).

Геометрическим объектом могут быть точка, линия, плоскость, поверхность, геометрическая фигура.

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

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

Контур – совокупность примитивов, определенным образом расположенных в пространстве.

Геометрическая зависимость – задание положения примитива на рабочей плоскости и/или примитивов между собой.

Размерные зависимости – задание величины примитива на рабочей плоскости и/или расстояния между примитивами.

Размеры для моделирования – размеры, которые требуется выдержать при построении контура 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 геометрической модели изделия, но не являются элементами этой модели (ГОСТ 2.052).

Основные рабочие плоскости – плоскости мировой декартовой прямоугольной системы координат (XY, XZ и YZ).

Основные рабочие оси – оси мировой декартовой прямоугольной системы координат (X, Y и Z).

Основная рабочая точка – точка начала мировой декартовой прямоугольной системы координат.

Рабочие плоскости, рабочие оси, рабочие точки – плоскости, оси и точки, не совпадающие с основными рабочими плоскостями и используемые для построений.

Базовые операции – универсальные операции для построения элементов модели детали.

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

Базовые операции	Конструкционные операции
«Выдавливание»	«Отверстие»
«Вращение»	«Оболочка»
«Лофт»	«Резьба»
«Сдвиг»	«Ребро жесткости»
	«Пружина»
	«Сопряжение»
	«Фаска»

Построение плоского контура



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): отрезок, сплайн, окружность, дуга, точка 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 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 и размерных зависимостей для каждого примитива контура.

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

Система 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 простановка геометрических зависимостей системой Autodesk Inventor не используется.

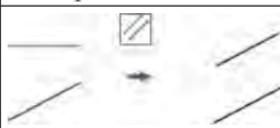
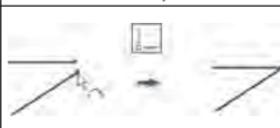
В системе Autodesk Inventor 2012 есть возможность отключить автоматическую постановку геометрических зависимостей при построении примитивов.

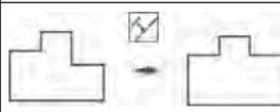
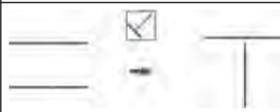
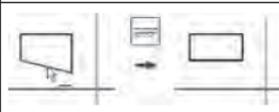
На вкладке «Эскиз» в панели «Зависимость» раскрыть выпадающее меню.

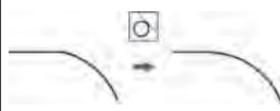
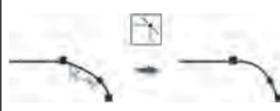
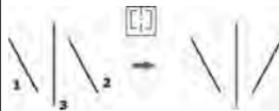
Снять выделение с настройки «Формирование зависимости».

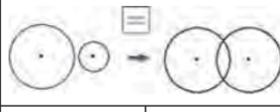
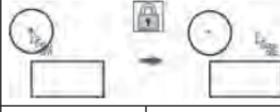
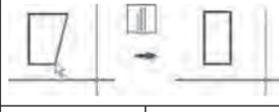
После данной настройки геометрические зависимости не будут проставляться автоматически.

Примеры нанесенных вручную геометрических зависимостей

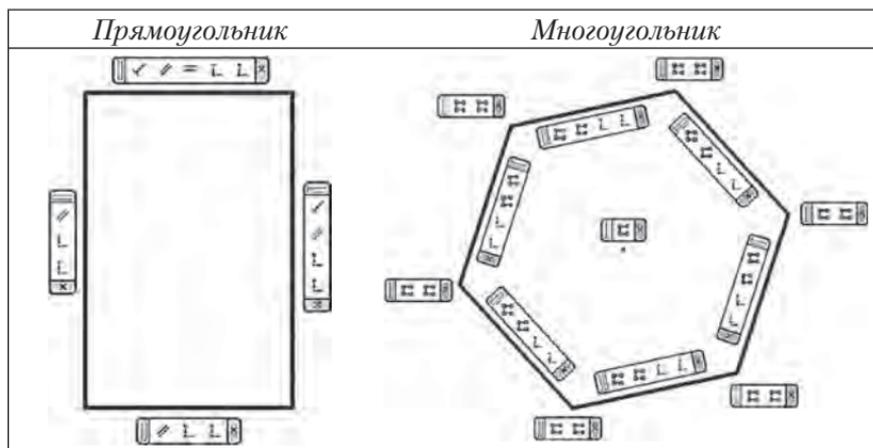
«Параллельность»		«Совмещение»		«Концентричность»	
					
до	после	до	после	до	после

«Коллинеарность»		«Перпендикулярность»		«Горизонтальность»	
					
до	после	до	после	до	после

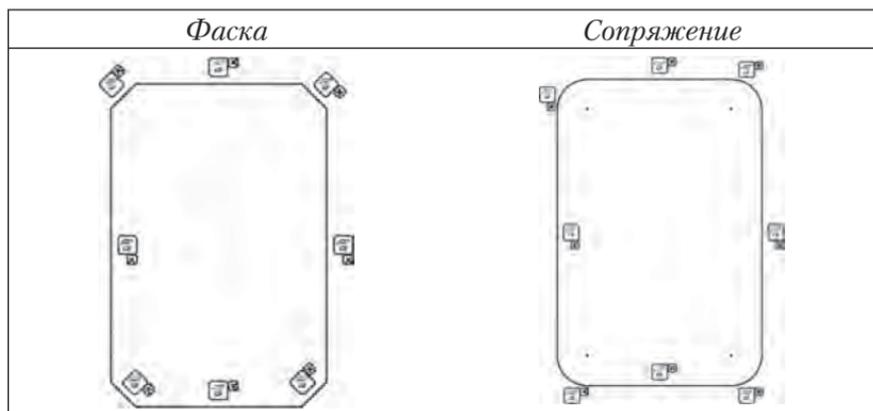
«Касательность»		«Сглаживание»		«Симметричность»	
					
до	после	до	после	до	после

«Равенство»		«Фиксация»		«Вертикальность»	
					
до	после	до	после	до	после

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

<i>Размерные зависимости формы</i>	<i>Размерные зависимости расположения</i>

Задача: Построить *контур* по размерам, указанным на рис. 1, затем *контур* выдать толщиной 5 мм.

Контур должен соответствовать следующему требованию: изменение одного или нескольких значений *размерных зависимостей* приводит к предсказуемым корректным изменениям формы модели детали (модель детали принадлежит к группе «*быстрых редактируемых*» моделей).

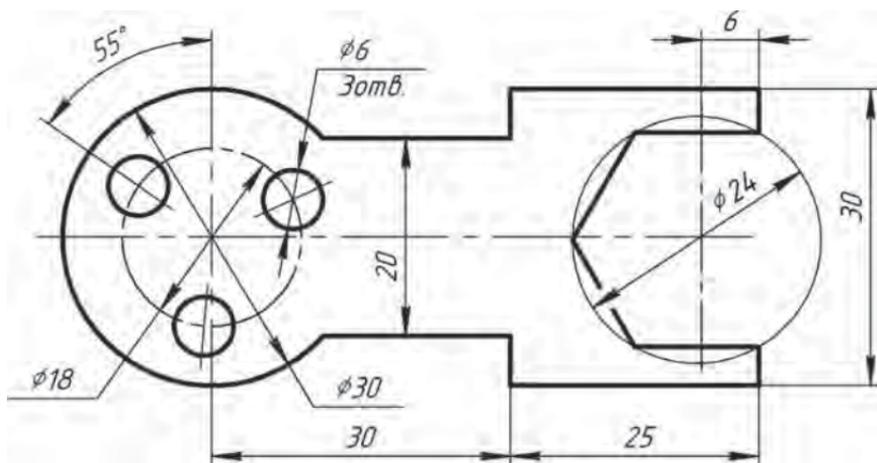


Рис. 1

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

Создание нового файла детали

Нажимаем на кнопку «Inventor», из выпадающего меню выбираем «Создать». В появившемся диалоговом окне «Новый файл» необходима закладка «Метрические», открываем файл-шаблон детали «Обычный (мм).ipt».

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

При открытии нового файла, система по умолчанию переходит в режим «Эскиз».

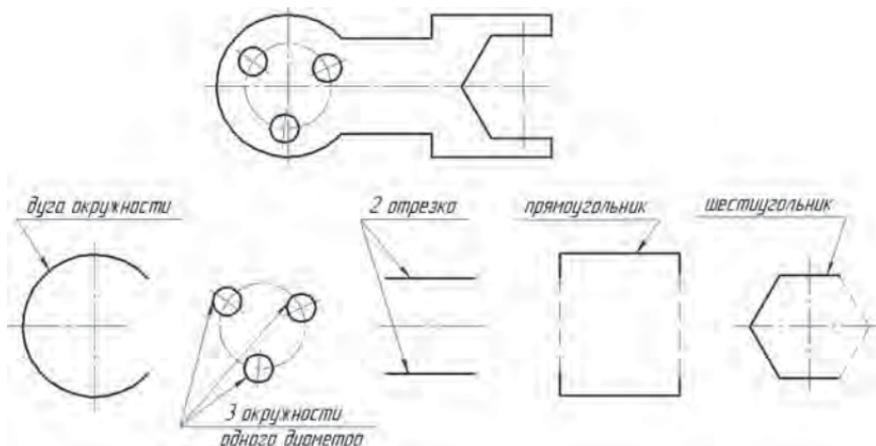
Анализ задачи и выбор последовательности построения

Рассмотрен один из вариантов анализа задачи и выбора последовательности построения.

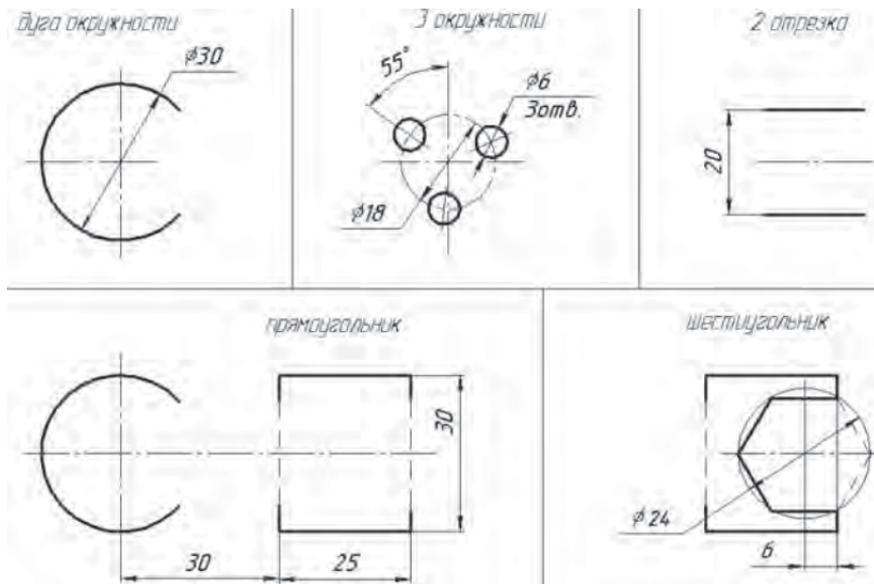
Выполнение задачи будет проходить в двух режимах:

- 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 одной из возможных точек начала построения является центр дуги 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.

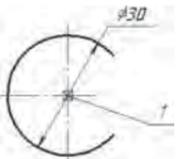
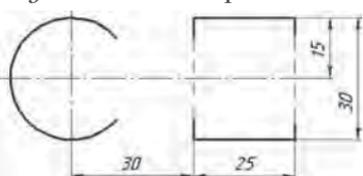
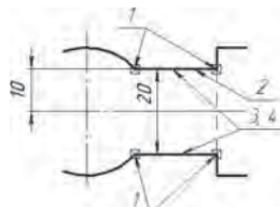
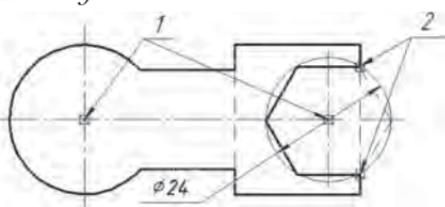
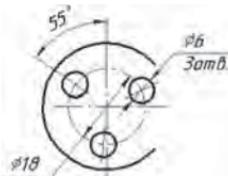
Прямоугольник со сторонами 25×30 мм.

2 отрезка, соединяющие дугу окружности с прямоугольником.

Шестиугольник.

3 окружности $\varnothing 6$ мм (круговой массив из окружностей).

5. Определение геометрических и размерных зависимостей для каждого примитива

	Геометрические зависимости
<ul style="list-style-type: none"> • Дуга окружности $\varnothing 30$ мм 	<p>1 – «Фиксация»</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Прямоугольник со сторонами 25×30 мм 	<p>—</p>
<ul style="list-style-type: none"> • 2 отрезка, соединяющие дугу окружности с прямоугольником 	<p>1 – «Совмещение» 2 – «Горизонтальность» 3 – «Параллельность» 4 – «Равенство»</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Шестиугольник 	<p>1 – «Горизонтальность» 2 – «Совмещение»</p>
<ul style="list-style-type: none"> • 3 окружности $\varnothing 6$ мм (круговой массив из окружностей) 	<p>—</p>

Построение контура

1. Построение дуги окружности $\varnothing 30$ мм

- Из панели «Рисование» выбираем команду «Дуга: центр». Вызываем из панели «Рисование» выпадающее меню и выбираем команду «Точный ввод». Центр дуги ставим в точку с координатами $X=0$, $Y=0$ (рис. 2). Точки начала и конца дуги окружности ставим произвольно, как показано на рис. 3.
- Из панели «Зависимость» выбираем команду геометрической зависимости «Фиксация» (рис. 4) и применяем к центру дуги окружности.



Рис. 2

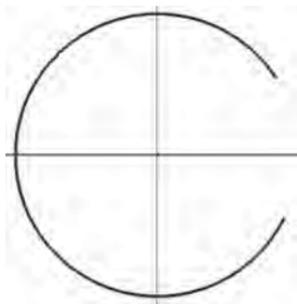


Рис. 3

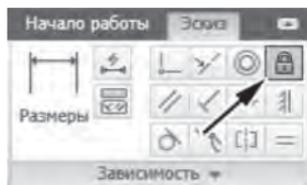


Рис. 4

Геометрическую зависимость «Фиксация» необходимо поставить лишь для того, чтобы после простановки размерной зависимости и изменения радиуса дуги окружности на требуемый, центр дуги остался в начале координат. Иначе он может произвольным образом переместиться в любую точку рабочей плоскости, то есть станет неизвестным расположение дуги окружности в пространстве.

Поскольку изначально для построения дуги окружности $\varnothing 30$ мм был взят примитив «Дуга», а не примитив «Окружность», то размерную зависимость Inventor ставит не диаметром, а радиусом. Тогда значение радиуса равно 15 мм.

Размерные зависимости проставляются с помощью команды «Размеры».

- Из панели «Зависимость» выбираем команду «Размеры». Ставим *размерную зависимость* на дугу окружности, затем меняем числовое значение радиуса на 15 мм (рис. 5).



Рис. 5

2. Построение *прямоугольника* со сторонами 25×30 мм

- Из панели «Рисование» выбираем команду «*Прямоугольник*», располагаем *примитив произвольно* на рабочей плоскости, как показано на рис. 6.

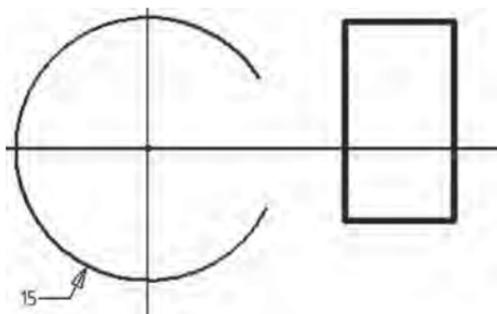


Рис. 6

- Из панели «Зависимость» выбираем команду «Размеры» и ставим на *прямоугольник размерную зависимость формы*, показывающие габариты (рис. 7), затем – *размерные зависимости расположения* относительно начала построения, то есть от центра *дуги окружности*, до соответствующих сторон *прямоугольника* (рис. 8).
- Изменяем значения *размерных зависимостей* на требуемые (рис. 9), которые указаны на рис. 1.

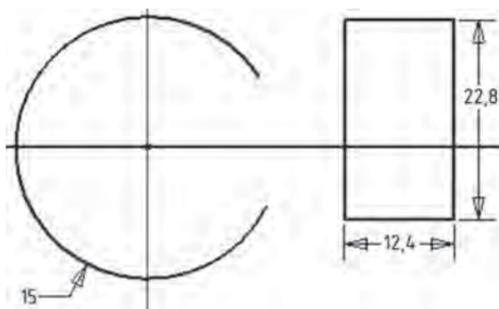


Рис. 7

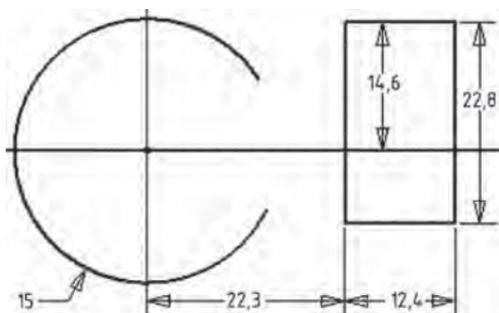


Рис. 8

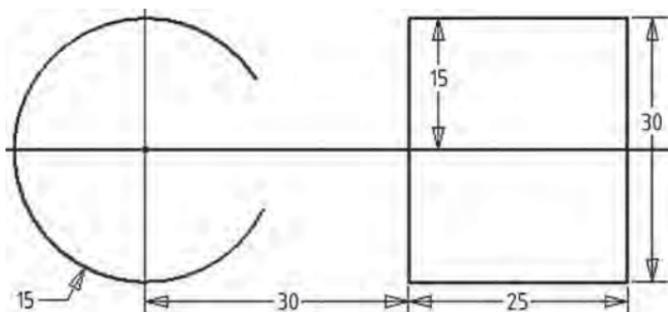


Рис. 9

3. Построение *отрезков*, соединяющих *дугу окружности* с *прямоугольником*

- Выбираем команду «Отрезок», располагаем отрезки произвольно между дугой и прямоугольником, как показано на рис. 10.

Один конец каждого из отрезков лежит на стороне прямоугольника, а второй на окончании дуги окружности, то есть необходимо воспользоваться геометрической зависимостью «Совмещение».

- Выбираем команду «Совмещение», указываем сначала на один конец одного из *отрезков*, затем на ближнюю сторону *прямоугольника*. Аналогично повторяем и для второго *отрезка*.
- *Геометрическую зависимость «Совмещение»* накладываем на свободные концы *отрезков* и соответствующие *дуги* (рис. 11).

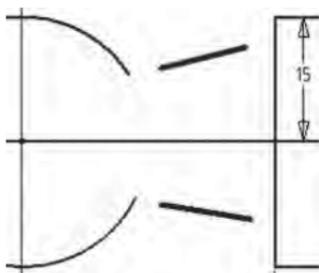


Рис. 10

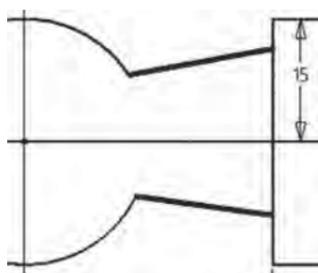


Рис. 11

Теперь, как бы в дальнейшем не изменялась конфигурация контура, один конец отрезков всегда будет принадлежать стороне прямоугольника, а второй всегда концу дуги окружности.

Из чертежа контура (рис. 1) видно, что данные отрезки расположены вдоль оси X, параллельны и равны между собой, то есть уже известны геометрические зависимости, которые необходимо к ним применить: «Горизонтальность», «Параллельность» и «Равенство».

- Выбираем команду «Горизонтальность», накладываем на один из *отрезков*.
- Выбираем команду «Параллельность», применяем к двум *отрезкам*, которые должны быть параллельны.
- Команду «Равенство», так же применяем к обоим *отрезкам*.

При помощи зависимостей удалось расположить отрезки на рабочей плоскости, связать их с дугой окружности и прямоугольником должным образом. Осталось поставить размерную зависимость. Чтобы избежать дополнительных построений и зависимостей, не-

обходимо поставить вертикальную размерную зависимость между одним из отрезков и центром дуги окружности.

- Выбираем команду «Размеры», ставим *вертикальную размерную зависимость* между одним из отрезков и центром *дуги окружности* и заменяем значение на 10 мм (рис. 12).

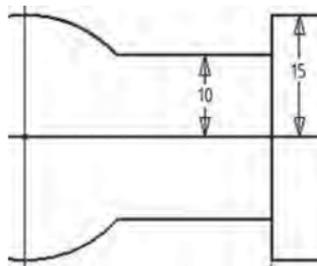


Рис. 12

Благодаря используемым ранее геометрическим зависимостям на второй отрезок не требуется ставить размерную зависимость.

4. Построение шестиугольника

- Выбираем из панели «Рисование» команду «Многоугольник». В диалоговом окне «Многоугольник» ставим число сторон равное 6, а способ построения выбираем «Вписанный» (рис. 13).
- Центр *шестиугольника* ставим *произвольно* внутри *прямоугольника*, так же *произвольно* ставим и управляющую *вершину* (рис. 14).



Рис. 13

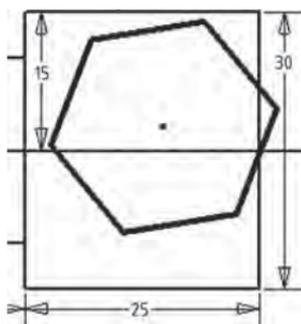


Рис. 14

Из чертежа контура (рис. 1) видно, что центр шестиугольника находится на одной горизонтальной линии с центром дуги окружности, а две вершины принадлежат соответствующей стороне прямоугольника. Следовательно, задать требуемое расположение шестиугольника возможно двумя геометрическими зависимостями: «Горизонтальность» и «Совмещение».

- Выбираем команду *«Горизонтальность»*, применяем к центру шестиугольника, затем к центру дуги окружности.

Поскольку центр дуги окружности зафиксирован в начале координат, геометрическая зависимость *«Горизонтальность»* перенесет центр шестиугольника на горизонтальную линию, проходящую через центр дуги окружности, а не наоборот.

- Команду *«Совмещение»* применяем к соответствующим вершинам шестиугольника (рис. 15).

На чертеже контура (рис. 1) размер шестиугольника поставлен как диаметр описанной окружности, поэтому придется поставить размерную зависимость между двумя противоположными вершинами.

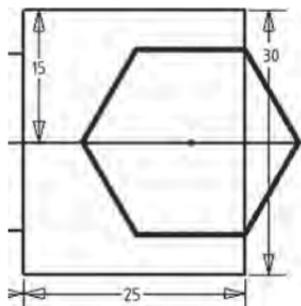


Рис. 15

- Выбираем команду *«Размеры»* и ставим *размерную зависимость* между двумя противоположными вершинами, затем меняем значение на 24 мм (рис. 16).

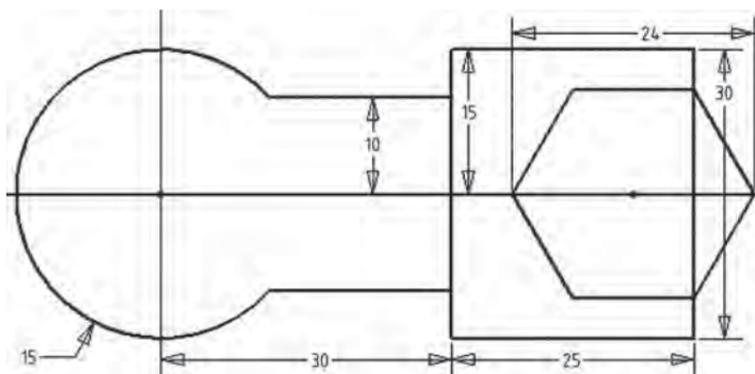


Рис. 16

5. Построение кругового массива из окружностей

В команде *«Круговой массив»* нет параметра *«Угловой поворот»*, система предлагает точно расположить первый элемент массива, что не всегда рационально. Поэтому одним из возможных способов решения может быть добавление элемента управления *Круговой*

поворот для кругового массива. Для этого придется сделать несколько дополнительных построений вспомогательной геометрии.

- Выбираем команду «Отрезок» и располагаем два *отрезка* внутри *дуги окружности* произвольным образом (рис. 17).
- Выбираем команду «Совмещение», применяем на один из концов одного из *отрезков* и центр *дуги окружности*. Затем аналогично проделываем для второго *отрезка*.
- Выбираем команду «Вертикальность» и применяем к одному из *отрезков*.

Поскольку необходимо отсчитывать угол поворота, то именно от этого вертикально расположенного отрезка и будет идти отсчет.

Второй же отрезок будет играть роль радиус-вектора для первого элемента массива. Таким образом, незакрепленный конец радиус-вектора будет совмещен с центром окружности $\varnothing 6$ мм. Но поскольку центр окружности $\varnothing 6$ мм принадлежит окружности $\varnothing 18$ мм, то радиус-вектор должен иметь длину равную 9 мм.

- На второй *отрезок* ставим *размерные зависимости*, характеризующие его длину и угол наклона от вертикально расположенного *отрезка*. Меняем значение размеров на 9 мм и 55° соответственно (рис. 18).

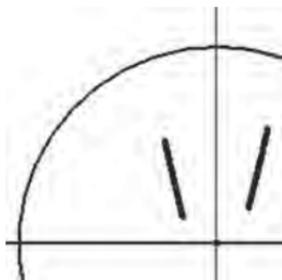


Рис. 17

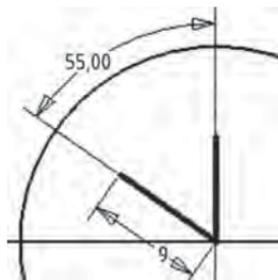


Рис. 18

Таким образом, дополнительными построениями был создан элемент управления – «угловой поворот». Теперь остается создать элемент массива и круговой массив.

- Выбираем команду «Окружность» и ставим *примитив* примерно внутри *дуги окружности* (рис. 19).

- Применяем команду «Совмещение» на центр окружности и на свободный конец отрезка длиной 9 мм.
- Ставим размерную зависимость на окружность и меняем значение на 6 мм.
- В панели «Массив» выбираем команду «Круговой массив». В диалоговом окне «Круговой массив» в группе «Геометрия» выбираем окружность $\varnothing 6$ мм как элемент массива, за центр массива выбираем центр дуги окружности и количество элементов ставим равным 3 (рис. 20).

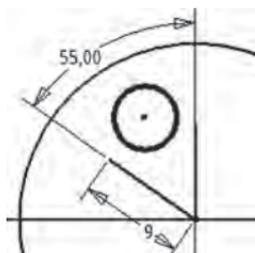


Рис. 19

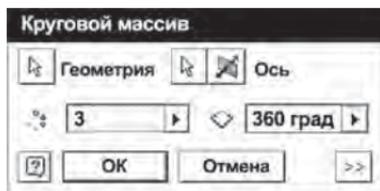


Рис. 20

Все элементы контура построены по размерам в соответствии с чертежом (рис. 1) и связаны необходимыми геометрическими и размерными зависимостями (рис. 21).

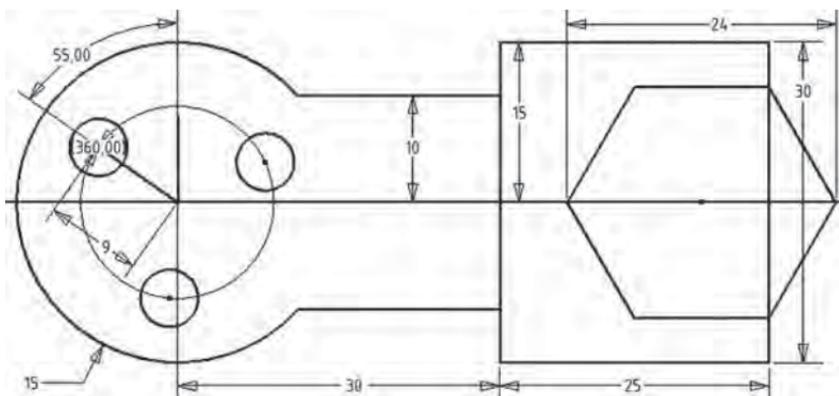


Рис. 21

6. Выдавливание контура

Завершаем режим «Эскиз».

- В панели «Выход» выбираем команду «Принять эскиз».

Этим завершается этап построения контура, и из **режима «Эскиз»** переходим в **режим «Модель»**.

- Из панели «Создать» выбираем команду «Выдавливание».
- В диалоговом окне «Выдавливание» во вкладке «Форма» в группе «Эскиз» необходимо указать объект выдавливания. Выбираем два замкнутых контура, которые заштрихованы на рис. 22. Глубину выдавливания ставим равной 5 мм.

На данном этапе построения задача считается выполненной (рис. 23).

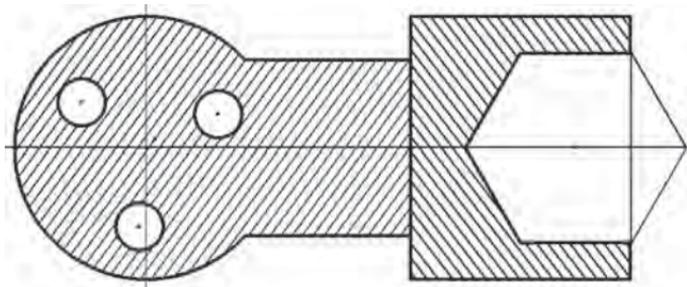


Рис. 22



Рис. 23