

Міністерство освіти і науки України
Донбаська державна машинобудівна академія

**Методичні вказівки до лабораторного
практикуму з дисципліни**

**«СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО
ПРОЕКТУВАННЯ ВЕРСТАТІВ»**

Розглянуто і схвалено
на засіданні кафедри
комп'ютеризованих мехатронних
систем, інструменту і технологій
Протокол № 10 від 20 січня 2018 р.
Завідувач кафедри
_____ Васильченко Я.В.

ВВЕДЕНИЕ

Широкое внедрение систем автоматизированного проектирования (САПР) или *CAD*-систем (*computer aided design*) во все сферы промышленной разработки продукции является свершившимся фактом. За последнее десятилетие системы автоматизированного проектирования прошли путь от простых систем двумерного рисования и разработки чертежей до программных продуктов, включающих поддержку полного цикла разработки изделия.

В настоящее время для повышения качества разработок обязательным условием является использование объемных трехмерных *3D* моделей как основного элемента проектирования. Трехмерная модель содержит полное описание физических свойств объекта (объем, момент инерции, характеристики материалов), что дает возможность разработчику максимально приблизить компьютерную модель к реальному изделию.

Система автоматизированного проектирования *SolidWorks* является интегрированной средой трехмерного параметрического моделирования, использующей традиционный интерфейс операционных систем семейства *Windows Microsoft*. *SolidWorks* включает полный цикл моделирования: от представления трехмерных моделей деталей и сборок, оформления двумерных чертежей до расчета механических, тепловых, электромагнитных и других характеристик методами численного моделирования и создания фотореалистичных изображений объектов.

Изложенный материал не является полным описанием объектов проектирования *SolidWorks*, содержит методики эффективного использования инструментов на основе примеров и заданий.

Первая часть содержит описание четырех лабораторных работ, посвященных общим принципам создания твердотельных моделей деталей и сборок в *SolidWorks*, во второй части будет изложен материал, связанный с особенностями проектирования изделий электронных средств с использованием инструментов рассматриваемой САПР.

При подготовке издания рассматривались версии *SolidWorks 2007 Education Edition*, предоставляемой фирмой *SolidWorks Russia* для некоммерческого использования в учебном процессе по программе *SWR Академия*.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ИЗУЧЕНИЕ ОБЩИХ ПРИНЦИПОВ ТРЕХМЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ В САПР *SOLIDWORKS*

Цель работы – изучение общих принципов построения трехмерных моделей деталей и сборок в системе автоматизированного проектирования *SolidWorks*.

Методические указания

Проектирование изделия в SolidWorks состоит из нескольких этапов: выбор конструктивной плоскости для создания двумерного эскиза, преобразование эскиза в твердотельный элемент, формирование детали из различных элементов, компоновка созданных деталей в сборку. При этом гибкие инструменты конструктора SolidWorks позволяют изменять значения любого размера, накладывать взаимосвязи на взаимное расположение объектов в течение всего процесса проектирования. Процесс создания трехмерных моделей основан на принципах добавления и снятия материала, аналогичных методам реальных технологических процессов.

Особенности интерфейса *SolidWorks*

Интерфейс *SolidWorks* соответствует привычному графическому интерфейсу программ семейства *Windows Microsoft*. Стандартные функции *Windows* обеспечивают работу с файлами (создание, открытие, сохранение и др.). Печать эскизов, 3D моделей с экрана и чертежей в *SolidWorks* осуществляется на любое устройство графического вывода (плоттер, принтер), установленное в операционной системе.

Проектирование в *SolidWorks* включает создание объемных моделей деталей и сборок с возможностью генерировать на их основе рабочие чертежи. Создание нового документа в *SolidWorks* сопровождается выбором шаблона документа: **Деталь**, **Сборка** или **Чертеж**. В случае выбора шаблонов **Деталь** или **Сборка** графическая область представляет собой трехмерное пространство.

Основными элементами интерфейса *SolidWorks* являются: меню, панели инструментов, область построения, строка состояния (рис. 1.1). Для наглядного представления процесса проектирования в *SolidWorks* существует **Дерево конструирования** или **Дерево построения** (*Fea-*

ture Manager). Оно реализовано в стиле традиционного **Проводника Windows**, обычно располагается в левой части рабочего окна *SolidWorks* и представляет собой последовательность конструктивных элементов, образующих деталь, а также дополнительные элементы построения (оси, плоскости). **Дерево построения** содержит полную информацию о трехмерном объекте и динамически связано с областью построения. В режиме сборки **Дерево построения** отображает список деталей, входящих в сборку, а также необходимые сопряжения деталей и сборок (рис. 1.1).

Основными функциями **Дерева конструирования** (*FeatureManager*) являются:

- выбор элементов по имени (по нажатию левой кнопки мыши);
- определение и изменение последовательности, в которой создаются элементы;
- отображение размеров элемента, которое можно выполнить, дважды нажав на имя элемента;
- отображение и гашение элементов детали и компонентов сборки.

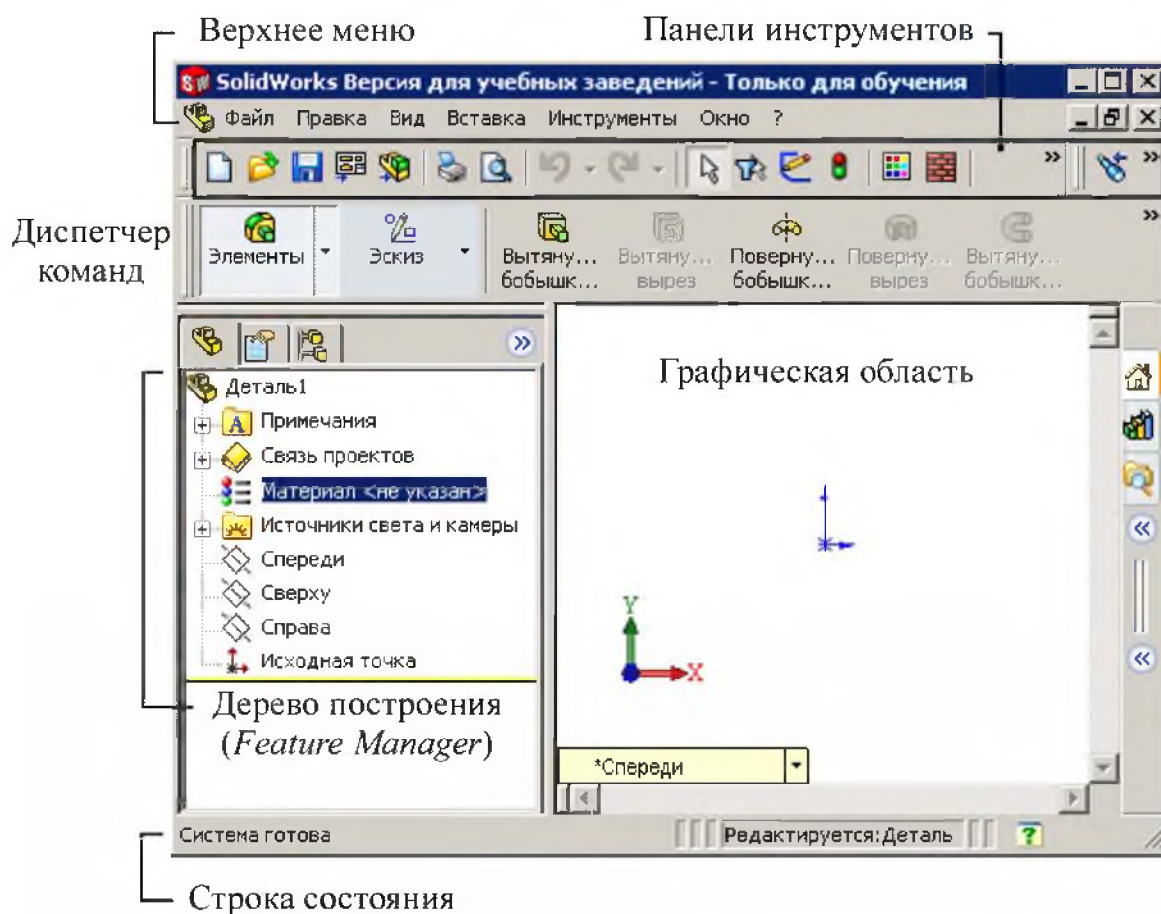


Рис. 1.1. Общий вид интерфейса *SolidWorks*

При построении новой трехмерной модели детали в **Дереве построения** по умолчанию присутствуют следующие графические элементы:

- **исходная точка** с нулевыми начальными координатами;
- три взаимно перпендикулярные плоскости: **Спереди, Сверху, Справа**.

Панель инструментов является настраиваемым элементом интерфейса. Пользователь имеет возможность устанавливать расположение панелей инструментов, их отображение в зависимости от типа документа.

Диспетчер команд – это контекстная панель инструментов, которая обновляется автоматически в зависимости от панели инструментов, к которой требуется доступ. При построении детали **Диспетчер команд** по умолчанию содержит панели инструментов: **Элементы** и **Эскиз**, в режиме сборки – панели инструментов **Сборка** и **Эскиз**.

Быстрая настройка **Панелей инструментов** и **Диспетчера команд** производится при нажатии правой кнопки мыши на границе окна соответствующей панели.

Верхнее меню содержит команды *SolidWorks* в полном объеме. При отсутствии команды на панели инструментов ее всегда можно найти через верхнее меню. В **строке состояния** в нижней части окна *SolidWorks* представлена информация, связанная с выполняемой функцией.

Действие манипулятора мыши в *SolidWorks* соответствует стандартным функциям операционных систем семейства *Windows Microsoft*. Выбор объектов (элементов в дереве построения, поверхностей твердотельной модели в области построения, выбор объектов в плоском эскизе) осуществляется при нажатии левой кнопки мыши. Нажатие правой кнопки мыши соответствует запуску всплывающего меню объекта.

Общий принцип создания твердотельных объектов выражается приведенной последовательностью:

1. Выбор плоскости для построения **Эскиза**.
2. Построение объектов плоского эскиза, простановка размеров, определение взаимосвязей.
3. Выполнение действия над плоским эскизом, придание толщины плоским объектам эскиза (вытягивание, поворот и т.д.).

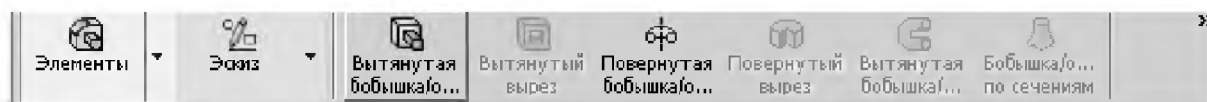
В режиме конструирования детали выполним построение простого цилиндрического элемента методом вытянутой бобышки, и на примере рассмотрим основные инструменты *SolidWorks*.

Создание цилиндрического твердотельного элемента

Для построения модели трехмерного цилиндра следует выполнить следующие действия:

1. Начать новый документ – деталь *SolidWorks*.

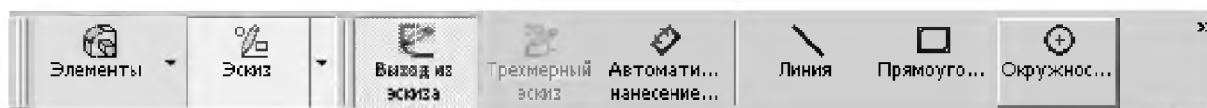
2. На панели инструментов **Элементы** нажать кнопку **Вытянутая бобышка/основание**. При этом будет активизирована команда создания твердотельного элемента методом вытянутой бобышки.



3. Система предложит выбрать одну из трех начальных плоскостей: **Спереди**, **Сверху**, **Справа** для построения **Эскиза** будущего трехмерного элемента.

4. Выбрать плоскость **Спереди** (выбор осуществляется по надписи наименования плоскости). При этом изображение на дисплее изменится таким образом, что плоскость **Спереди** будет обращена на пользователя, перпендикулярно направлению его взгляда. Выбор плоскости для построения эскиза может быть выполнен до активизации команды создания твердотельного элемента.

5. На панели инструментов **Эскиз** инструментом **Окружность** построить окружность произвольным радиусом с центром в **Исходной точке** с нулевыми координатами.



6. Нажать кнопку **Автоматическое нанесение размеров** и, выбрав дугу окружности, изменить размер в появившемся окне на значение 100 мм.

7. Нажать значок **Выход из эскиза** в окне **Угол для выбора**, чтобы завершить эскиз, при этом система автоматически предложит выбор параметров создаваемого элемента **Вытянуть** в окне **Менеджера свойств** (левая часть экрана), а также в графической области будет отображаться предварительный вид создаваемого трехмерного элемента (рис. 1.2).



8. В разделе **Направление 1** окна **Менеджера свойств** установить параметр **Глубина** равным 100 мм (рис. 1.2).

9. Нажать **Enter**, или **Ok**, либо значок принятия элемента в окне **Угол** (правый верхний угол экрана) для выбора в графической области системы *SolidWorks*.



10. Сохранить деталь под именем *Деталь1.sldprt*.

В результате была построена трехмерная модель цилиндра с диаметром основания 100 мм и высотой 100 мм. Построенный элемент отображается в графической части системы и динамически связан с объектом в **Дереве построения** под наименованием **Вытянуть 1**.



Рис. 1.2. Определение параметров элемента **Вытянуть**

Изменение ориентации вида

Для изменения ориентации вида существует панель инструментов **Стандартные виды** (рис. 1.3). Она позволяет выбрать один из шести стандартных видов: **Спереди**, **Сзади**, **Сверху**, **Снизу**, **Справа**, **Слева**, а также изометрические проекции **Изометрия**, **Диметрия**, **Триметрия**. Ориентации видов соответствуют расположению трех основных начальных плоскостей: **Спереди**, **Сверху**, **Справа**. При выборе вида **Спереди** плоскость экрана монитора соответствует плоскости **Спереди**.

Также панель **Стандартные виды** позволяет установить вид **Перпендикулярно** направлению взгляда наблюдателя. В этом случае предварительно необходимо выбрать плоскую грань или плоскость, либо цилиндрическую или коническую грань.

Установить необходимый вид возможно и с помощью всплывающего меню в левом нижнем углу графического окна (рис. 1.3). В этом поле отображается текущая ориентация вида и может быть задано количество видов в графической области: **Один вид**, **Два вида** или **Четыре вида**.

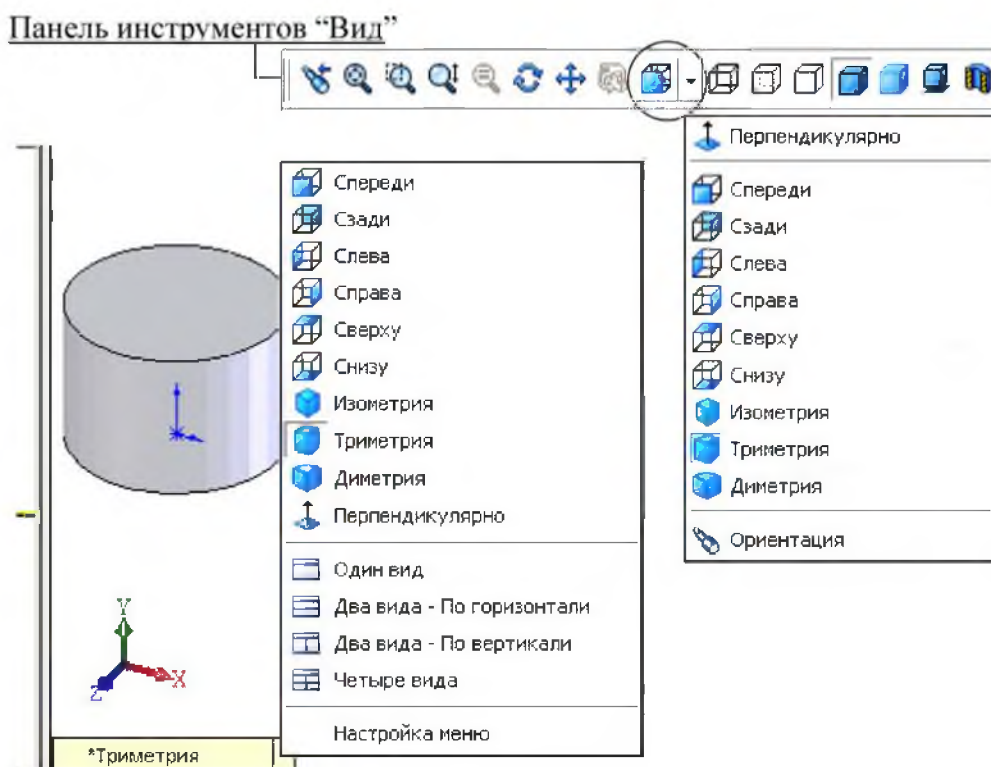


Рис. 1.3. Инструменты изменения ориентации вида

Изменение масштаба, вращение и перемещение вида

Команды изменение масштаба, вращения и перемещения вида содержатся на панели инструментов **Вид** (см. рис. 1.3).

Изменение масштаба вида выполняется тремя основными командами:

- **Увеличить/Уменьшить вид**
- **Увеличить элемент вида**
- **Изменить в размер экрана**



Команда **Изменить в размер экрана** изменяет масштаб вида так, чтобы модель, сборка или чертежный лист были видны полностью. Команды **Увеличить элемент вида** и **Увеличить/Уменьшить вид** могут быть успешно заменены изменением масштаба вида с помощью колеса «скрола» мыши. Поворот колеса мыши назад соответствует увеличению масштаба, поворот колеса мыши вперед – уменьшению масштаба вида. Во время вращения указатель мыши является центром изменения масштаба.

Вращение вида может быть выполнено по команде **Вращать вид** либо при нажатии средней кнопки мыши или колеса «скрола». В последнем случае для поворота вида необходимо нажать «скрол» и, не отпуская его, перемещать указатель мыши.

Перемещение детали выполняется по команде **Перемещать вид**. Перемещение вида может выполняться также аналогично повороту вида (перемещением мыши с нажатым колесом прокрутки) при нажатой клавише *Ctrl*.

Наиболее эффективное изменение параметров вида модели может быть достигнуто в случае совместного использования манипулятора «мыши» – его колеса прокрутки «скрола», а также кнопок панели инструментов **Вид**.

Редактирование трехмерной модели

На базе построенной заготовки цилиндра была создана трехмерная модель корпуса розетки соединителя в *SolidWorks* (рис. 1.4). При построении использовались элементы **Вытянутая бобышка/основание**, **Вытянутый Вырез**, **Скругление** и **Фаска**.

Для отображения всех размеров модели необходимо выбрать пункт **Отобразить размеры элемента** в папке **Примечания Дерева конструирования** (*Feature Manager*).

Использование **Полосы отката** позволяет осуществлять возврат модели в предыдущее состояние. При этом элементы, расположенные ниже **Полосы отката**, будут погашены (рис. 1.4).

Для редактирования элементов трехмерной модели следует активизировать контекстное меню (при нажатии правой кнопки мыши соответствующего элемента в **Дереве конструирования**). Используя команды **Редактировать определение**, пользователь переходит в ре-

жим редактирования элемента. Переход в режим редактирования эскиза осуществляется по команде **Редактировать эскиз** (рис 1.4).

Через контекстное меню возможно **Погасить** либо **Высветить** соответствующий элемент построения, а также **Удалить** элемент.

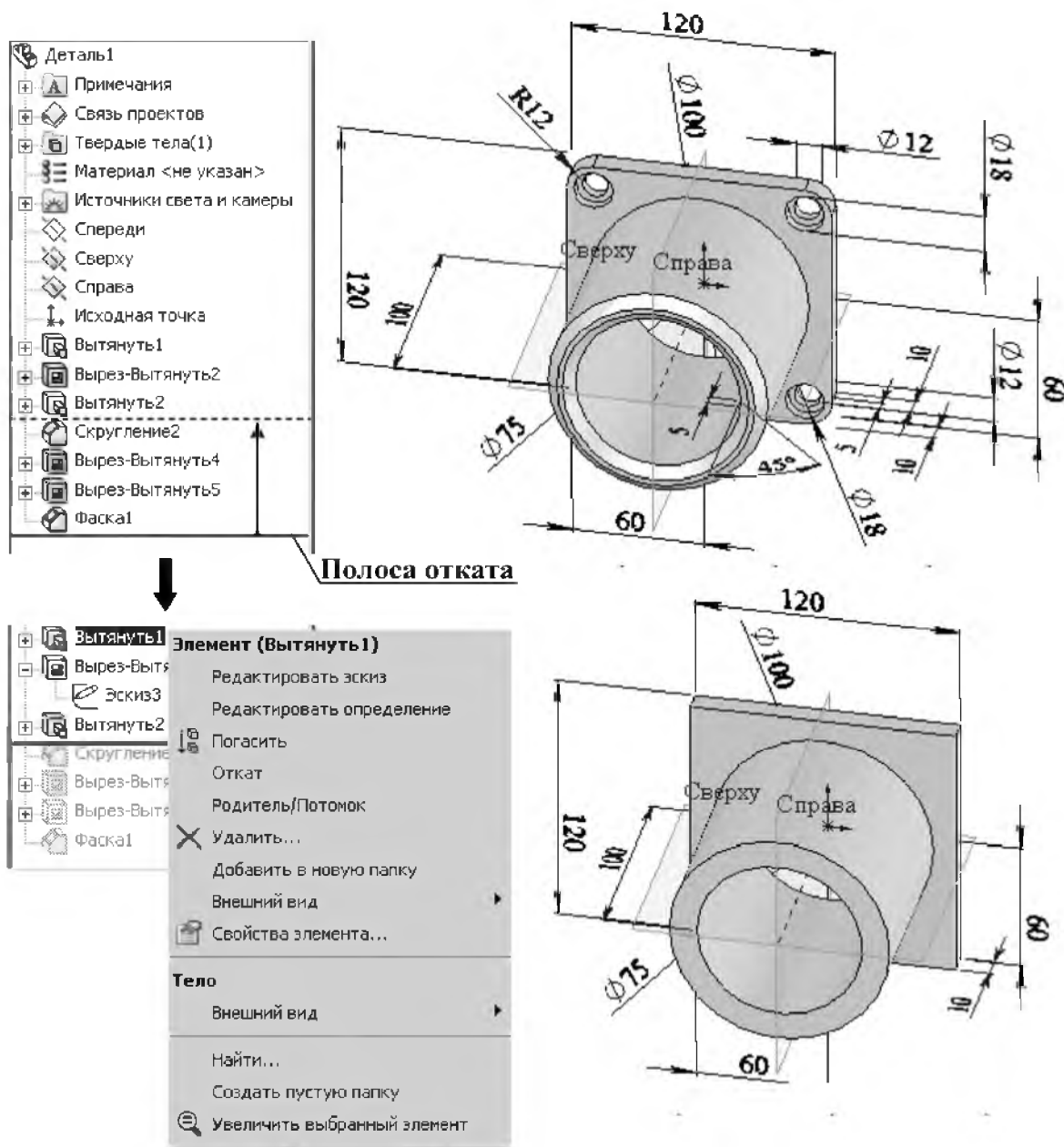




Рис. 1.4. Трехмерная модель корпуса розетки соединителя

Для того чтобы отобразить размеры конкретного элемента, нужно дважды нажать на его имени в **Дереве конструирования**. При этом двойной щелчок на значении соответствующего управляющего размера запускает окно **Изменить** (рис. 1.5). Новое значение размера,

введенного в этом окне, должно быть сохранено нажатием *Enter* на клавиатуре либо значка  в окне **Изменить**. Для изменения трехмерной графики необходимо перестроить модель – команда Перестроить .

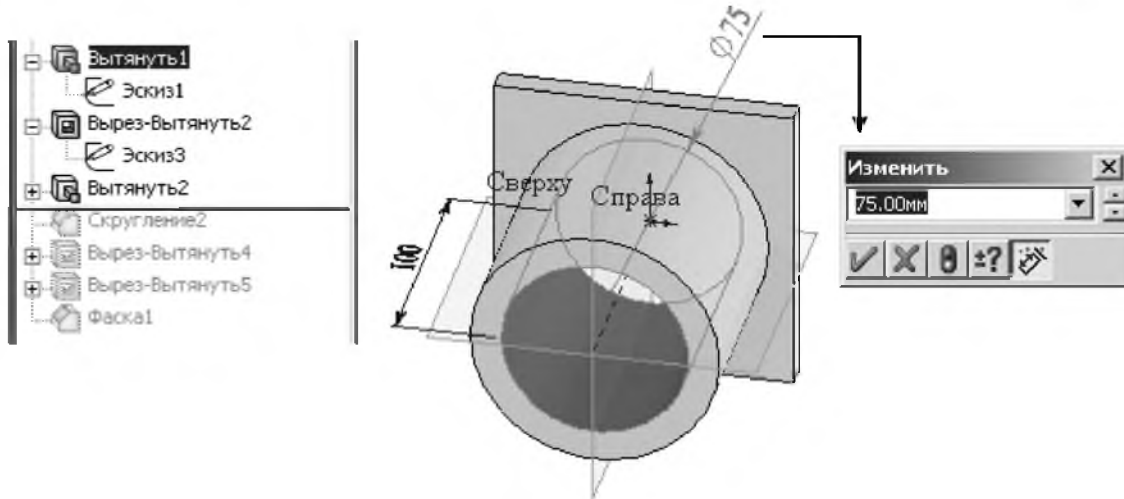





Рис. 1.5. Изменение управляющего размера элемента

Способы отображения модели и выбор элементов

При выборе элементов каждому объекту соответствует условное обозначение указателя мыши.

Все элементы в *SolidWorks* могут относиться непосредственно к трехмерной твердотельной модели (границы, кромки, вершины), эскизу (линии, точки, размерные линии и др.), элементам вспомогательной геометрии (плоскости, оси).

Вид указателя при выборе элемента трехмерной модели может изменяться следующим образом:

-  – при выборе кромки
-  – при выборе грани
-  – при выборе вершины

Выбираемые элементы выделяются сплошной линией, выделяемый элемент (грань, вершина, кромка и т.д.) дополнительно динамически подсвечивается. Если выбор элемента сделан (при нажатии левой кнопки мыши), то подсветка фиксируется.

Способ отображения определяет представление трехмерной модели в графической области. От способа отображения зависят возможности выбора элементов модели (рис. 1.6).

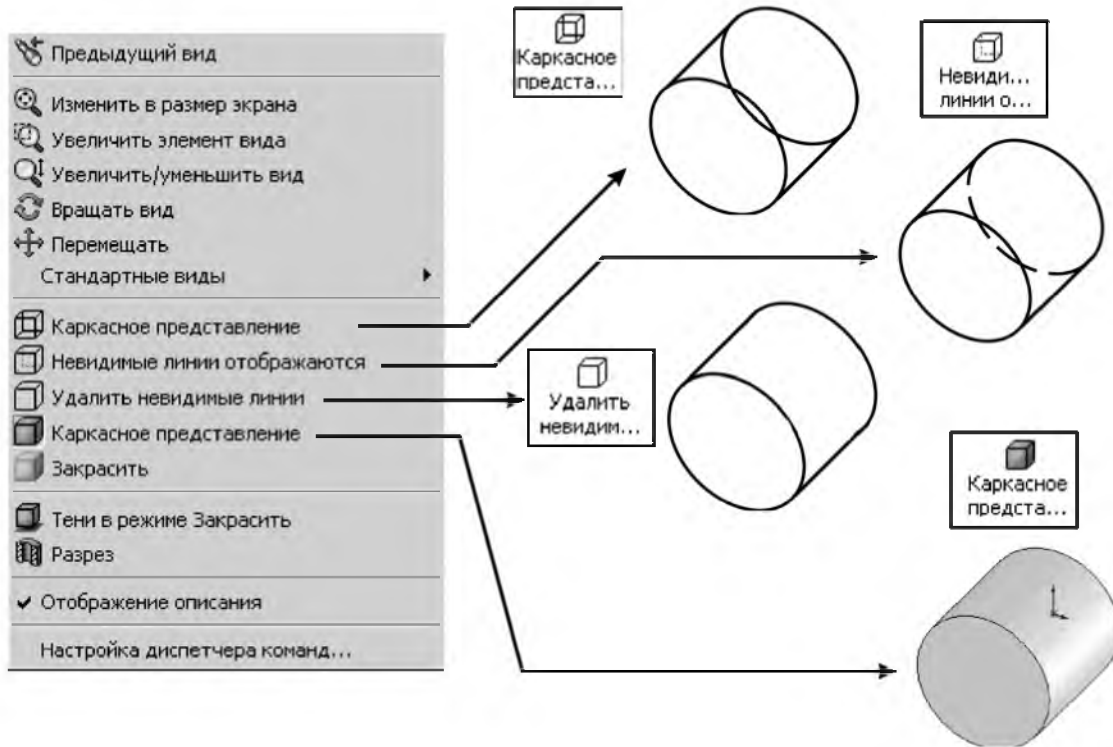




Рис. 1.6. Панель команды видов и способы представления модели

Для **Каркасного представления** отображаются все кромки модели. Кромки и вершины, находящиеся за гранями модели, отображаются как видимые и имеют равные возможности при выборе. При таком способе отображения видимые и невидимые кромки равнозначны.

При выборе способа **Невидимые линии отображаются** все кромки модели, которые невозможно увидеть под выбранным углом, отображаются серым цветом либо штриховой линией (в зависимости от настройки системы). Пользователь может выбирать как видимые, так и невидимые кромки и вершины.

Для способа **Скрыть невидимые линии** все кромки, которые невозможно увидеть под выбранным углом, не отображаются. Выбирать можно только видимые кромки, вершины и грани.

Наиболее показательным способом отображения, дающим представление о форме и объемах трехмерного объекта, является **Закрашенный вид с каркасным представлением** .

В разрезе документа детали или сборки (команда  Разрез) модель отображается таким образом, словно она разрезана с помощью указанных плоскостей и граней. При этом отображается внутренняя конструкция модели. Этот способ отображения дает наглядное представление о внутреннем устройстве деталей и сборок.

Изменение оптических свойств объектов

В *SolidWorks* существует возможность изменения оптических свойств (цвет, прозрачность и т.п.) отдельных граней модели, а также моделей деталей и сборок в целом. Использование различных цветов для трехмерных моделей позволяет легко отличить их друг от друга в сборке.

Чтобы изменить цвет или оптические свойства выбранного объекта (грани, детали, сборки), необходимо:

1. Выбрав объект через **Дерево построения** либо в **Графической области построения**, запустить всплывающее меню (при нажатии правой кнопки мыши), выбрать пункт меню **Внешний вид >> Цвет**.
2. Выбрать необходимый цвет в появившемся окне **Цвет и оптика**.
3. Зафиксировать изменения, нажав кнопку *Ok* либо *Enter*.

Лабораторное задание

1. В соответствии с выданным преподавателем изображением деталей выполнить построение трехмерных моделей деталей в *SolidWorks*.
2. В соответствии с заданием преподавателя перестроить один из элементов детали.
3. Изменить оптические свойства деталей и способ отображения модели по заданию преподавателя.
4. Выполнить **Разрез** моделей деталей с целью отображения их внутреннего устройства.

ПОСТРОЕНИЕ ПЛОСКИХ ЭСКИЗОВ В *SOLIDWORKS*

Цель работы – изучение методов построения плоских объектов эскиза, способов задания размеров и определения взаимосвязей объектов в системе автоматизированного проектирования *SolidWorks*.

Методические указания

Элементы SolidWorks основываются на построении двумерных эскизов. Эскиз состоит из некоторого числа простейших геометрических объектов: отрезков, сплайнов, дуг и т.п., соединенных между собой. Построение эскизов основано на применении различного рода инструментов рисования, создания взаимосвязей и задания размеров.

Определение плоскости для построения эскиза

При создании новой детали или сборки трем основным плоскостям проекции в начертательной геометрии: **горизонтальной**, **вертикальной** и **профильной** в *SolidWorks* определяются три соответствующих плоскости: **Спереди**, **Сверху**, **Справа** (рис. 2.1). Ориентация направления плоскостей выполняется по команде **Стандартные Вид**. Если выбран параметр **Спереди** в окне ориентация, то направление взгляда пользователя на экран будет перпендикулярно виду **Спереди**.

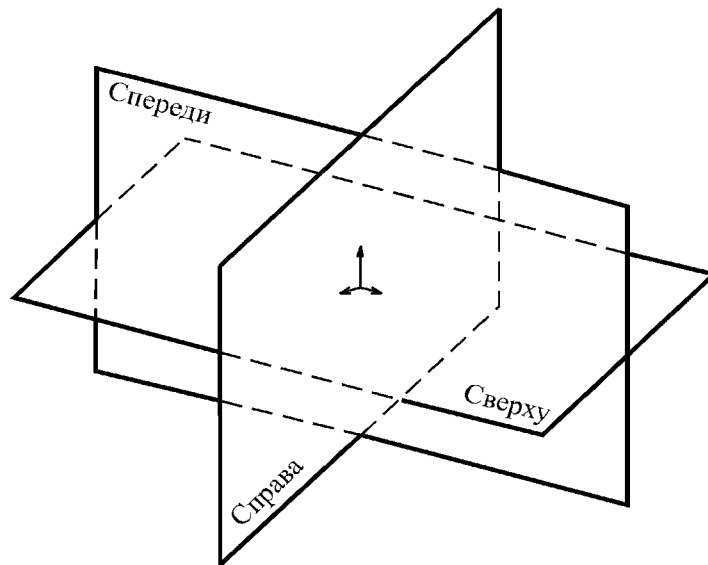



Рис. 2.1. Основные плоскости *SolidWorks*:
Спереди, Сверху, Справа

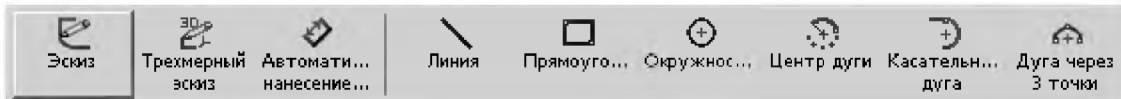
Плоский эскиз можно создавать:

- на любой плоскости по умолчанию (**Спереди**, **Сверху** или **Справа**);
- созданной инструментами **Справочной геометрии** плоскости;
- плоской грани твердотельного объекта.

В *SolidWorks* существует возможность создавать трехмерные эскизы. Графические объекты (трехмерные линии, сплайны, точки) в таких эскизах располагаются в трехмерном пространстве и не связаны с определенными плоскостями эскизов.

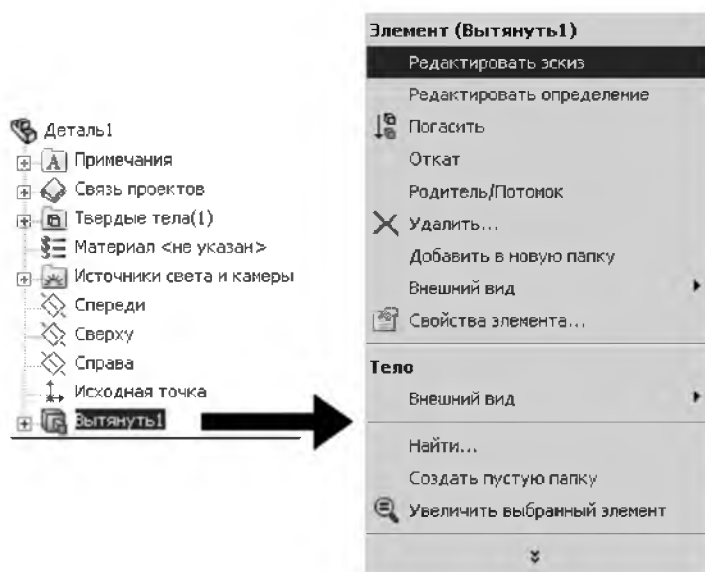
Работа в режиме редактирования эскиза

Для построения двухмерного эскиза следует выполнить команду верхнего меню **Вставка >> Эскиз** либо нажать кнопку  **Эскиз** на панели инструментов **Эскиз**:

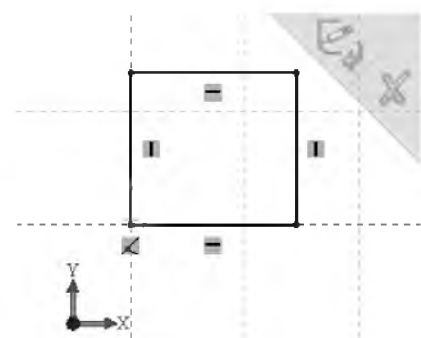


Плоскость для построения эскиза может быть выбрана как до, так и после активации команды.

Для перехода в режим редактирования уже существующего эскиза следует выделить в **Дереве конструирования** необходимый объект, запустить всплывающее меню (нажатием правой кнопки мыши), вызвать команду **Редактировать эскиз** (рис. 2.2, а).



а)



б)

Рис. 2.2. Переход в режим редактирования эскиза

Основным признаком режима редактирования эскиза является характерный знак в окне **Угол для выбора** графической области построения (см. рис. 2.2, б).

Для выхода из режима редактирования эскиза следует выполнить одну из команд (рис. 2.3): **Выход из эскиза**, **Перестроить** либо **Отмена** (без сохранения изменений) в окне **Угол для выбора**.

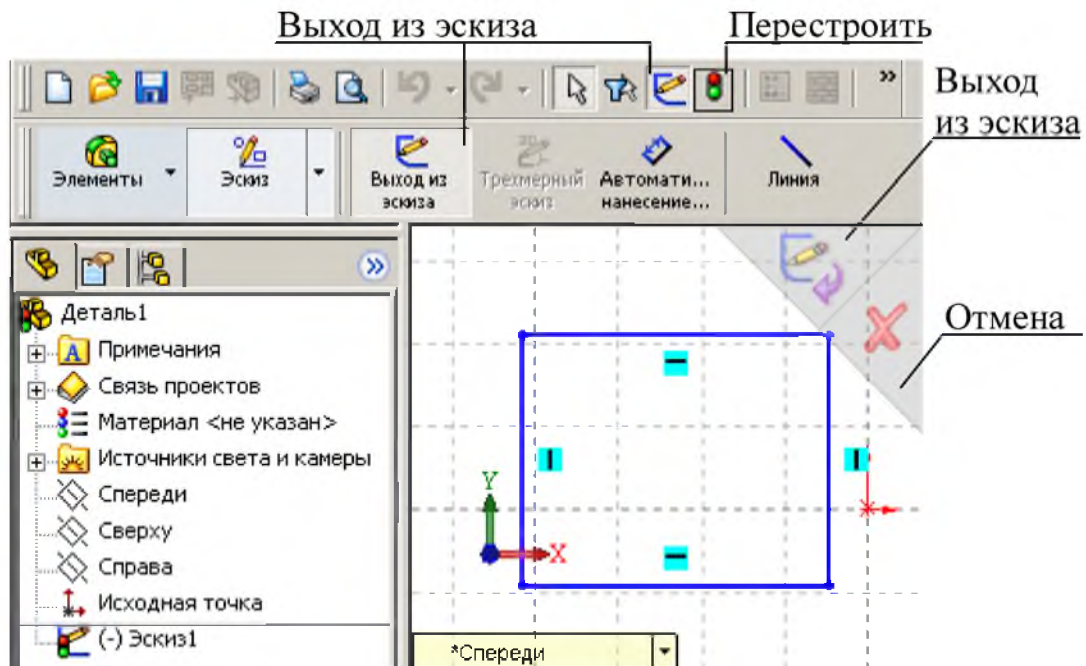


Рис. 2.3. Команды выхода из режима редактирования эскиза

Элементы формирования

При построении плоских объектов эскиза (линий, дуг, многоугольников и т.п.) используются так называемые **Элементы формирования**: линии формирования, указатели, привязки эскиза и взаимосвязи. **Элементы формирования** динамически показывают, как элементы эскиза влияют друг на друга.

Линии формирования – это пунктирные линии, которые появляются по мере создания эскиза. Когда указатель приближается к подсвечиваемым меткам (вершинам, средним точкам и т.п.), линии формирования используются в качестве ориентира в зависимости от существующих объектов эскиза (рис. 2.4).

При построении объектов **Вид указателя** меняется в зависимости от выбранного инструмента рисования (дуга, окружность, линия), а также в случае, если указатель находится на геометрической взаи-

мосвязи (пересечения, точки) либо на размере. Если при построении указатель отображает взаимосвязь, она автоматически добавляется к объекту.

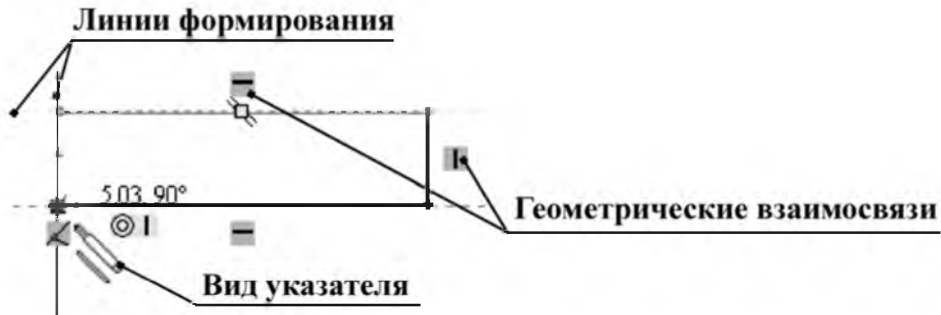


Рис. 2.4. Элементы формирования объектов эскиза

Привязки эскиза существуют по умолчанию. Во время рисования отображаются значки привязок эскизов.

Кроме **Привязок** эскиза можно отобразить значки, которые представляют **Взаимосвязи** между объектами эскиза. Во время рисования объектов отображают значки, представляющие **Привязки** эскиза, как только объект эскиза построен, отобразятся **Взаимосвязи**.

Объекты построения плоского эскиза

Объекты построения эскиза расположены на панели инструментов **Эскиз** либо могут быть активированы через верхнее меню по команде **Инструменты >> Объекты эскиза**. Все свойства объектов делятся на три группы: тип (линия, дуга, окружность, эллипс), взаимосвязи (горизонтальность, вертикальность) и геометрические параметры (координаты, длина, угол, диаметр). Свойства отображаются в **Менеджере свойств** при построении объектов.


К основным плоским объектам, используемым при построении эскизов, в *SolidWorks* относятся:

- линии;
- прямоугольники;
- окружности;
- дуги;
- многоугольники;
- сложные кривые и фигуры (эллипсы, параболы, сплайны и др.).

Существуют два режима рисования плоских объектов в эскизах:

1. Режим «нажать-перетащить» – прорисовка объекта начинается при нажатии на первую точку и последующем ее перетаскивании, не отпуская кнопки мыши, и заканчивается, когда кнопку отпускают.

2. Режим «нажать-нажать» – прорисовка объекта начинается и заканчивается при нажатии кнопки мыши, прорисовывается объект перемещением между двумя этими нажатиями.

Наиболее универсальным и часто используемым элементом для рисования плоских объектов в *SolidWorks* является **Линия**. При использовании объекта **Линия** в режиме «нажать-нажать» создается цепочка сегментов – ломаная линия. Завершить построение линии возможно через всплывающее меню, активизировав команду  **Выбрать**, либо нажав клавишу *Esc* на клавиатуре.

Дополнительно в *SolidWorks* реализована возможность перехода от прямой ломаной линии к касательной дуге без выбора соответствующего инструмента. Для этого необходимо, начиная рисовать новый сегмент ломаной линии от конечной точки предыдущего отрезка, отвести указатель мыши в сторону, затем снова вернуться в конечную точку. При дальнейшем построении формируется динамическая касательная дуга (рис. 2.5). Автоматический переход от **Линии** к **Касательной дуге** выполняется также при нажатии на клавиатуре латинской *A*.



Рис. 2.5. Автоматический переход от линии к касательной дуге

Для построения дуги в *SolidWorks* может быть использован один из трех инструментов:

1. **Центр дуги** – необходимо задать координаты центра и одной из крайних точек, а затем зафиксировать угол дуги (третья точка) (рис. 2.6, а).

2. **Касательная дуга** – команда может применяться для конечной точки существующего объекта (рис. 2.6, б). После ее выполнения между объектами автоматически устанавливается взаимосвязь **Касательность**.

3. **Дуга через три точки** – требует указания двух крайних точек дуги, а путем перемещения третьей устанавливается значение радиуса (рис. 2.6, в).

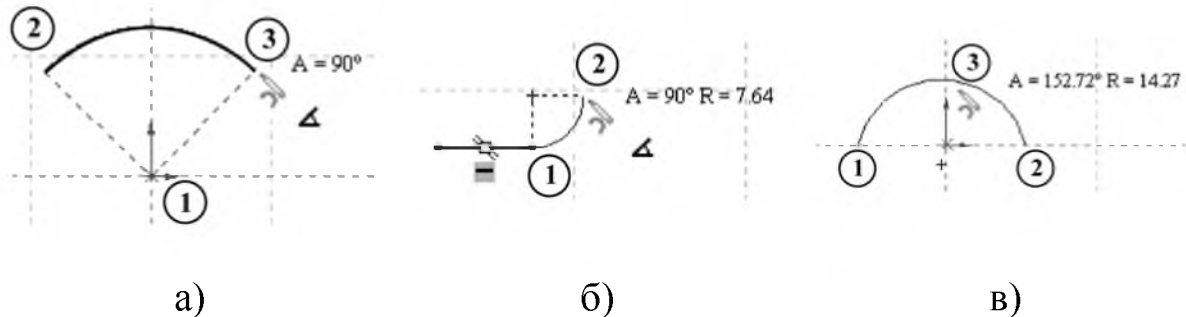


Рис. 2.6. Методы построения дуг

Для большого числа практических задач требуется построить плавную кривую линию, проходящую через заданные точки. Для этих целей используются сплайны.

В *SolidWorks* сплайны являются основным инструментом построения сложной геометрии эскизов и применяются при разработке дизайн-проектов оригинальных корпусов. Также сплайны могут быть использованы как «аппроксимирующая кривая» в инженерных задачах, где траектория изменения геометрии задается по определенному математическому закону.

В *SolidWorks* используется «С-сплайн», кривизна которого контролируется разбросом контрольных точек. Управлять формой сплайна можно тремя способами:

- перемещением узла (рис. 2.7, а);
- изменяя **Радиальное направление касательной** – угол наклона относительно координатной оси (рис. 2.7, б);
- изменяя **Величину касательной** – радиус кривизны в выбранной точке (рис. 2.7, в).

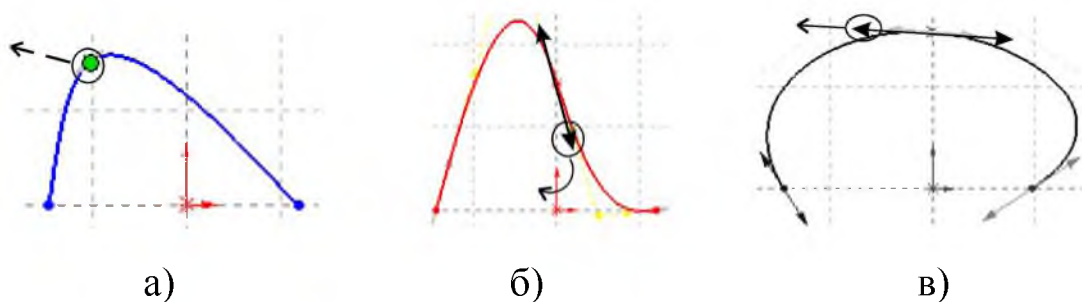


Рис. 2.7. Способы управления формой сплайна

Построение окружностей, прямоугольников, многоугольников в эскизах соответствует большинству графических САПР для работы с двумерной векторной графикой (*AutoCad*, *KOMPAS*). Подробное описание правил построения и работы с объектами эскиза содержится в [1], а также в справочной системе *SolidWorks*.

Нанесение размеров в двумерном эскизе

Геометрические объекты, построенные в эскизе, должны быть определены в пространстве. В конечном итоге должны быть заданы координаты точек соответствующих объектов (линий, дуг, окружностей). В режиме **Эскиза** положение объектов описывается математически за счет нанесения управляющих размеров либо за счет наложения ограничений на расположение объектов.

Каждому управляющему размеру в *SolidWorks* соответствует отдельная переменная. Определив объекту эскиза необходимый набор параметров, все построенные элементы (линии, дуги, окружности, сплайны) могут быть представлены в виде системы уравнений. Программа автоматически перестраивает объект в соответствии с заданным значением управляющего размера (все изменения отображаются в графической области).

С помощью инструмента **Автоматическое нанесение размеров** на панели инструментов **Эскиз** можно нанести размеры для объектов эскиза. Для выполнения команды требуется изначально выделить один или два объекта (линии, точки, дуги, окружности) и определить положение размерной линии (рис. 2.8). Если линии расположены не параллельно, система самостоятельно определит угловой размер. Аналогично определяются диаметральный и радиальный размеры.

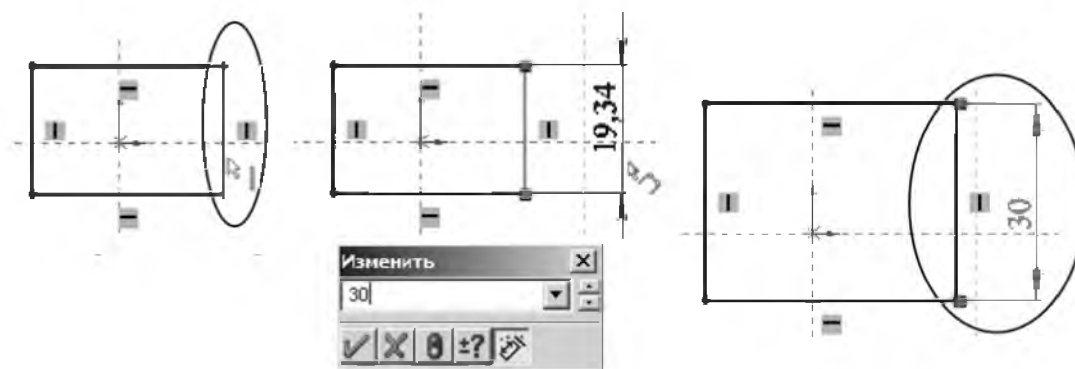


Рис. 2.8. Простановка размеров объектов на плоском эскизе

Размер может быть установлен как относительно существующего объекта эскиза, включая **Исходную точку** и вспомогательные осевые линии, так и относительно уже построенных трехмерных элементов и их эскизов.

После того как выбраны объекты и установлено месторасположение размерной линии появится диалоговое окно **Изменить**. Введя новое значение в этом диалоговом окне, можно изменить размер (см. рис. 2.8).

Следует отметить, что размерные линии управляющих размеров, нанесенные на эскизах, не являются обязательными размерными линиями будущего чертежа, хотя могут быть туда перенесены автоматически. Простановка размеров в **Эскизе** является параметризацией геометрических объектов, в то время как размеры на чертежах устанавливаются в соответствии с требованиями стандартов единой системы конструкторской документации (ЕСКД).

Взаимосвязи

Взаимосвязи представляют собой ограничения на расположения плоских объектов эскиза. Основной целью добавления взаимосвязей является уменьшение числа управляющих размеров. На рис. 2.9 показаны два варианта определения квадрата в эскизе, центр которого совпадает с **Исходной точкой** эскиза.

В первом случае (рис. 2.9, а) было выполнено построение объекта **Прямоугольник** с последующим заданием необходимых размеров, включая размеры от сторон до **Исходной точки** (всего четыре размера).

Во втором случае (рис. 2.9, б) кроме прямоугольника была построена его диагональ с помощью вспомогательной **Осевой** линии. Добавлено две взаимосвязи: **Равенство** смежных сторон прямоугольника и **Средняя точка** для диагонали прямоугольника и **Исходной точки**. Для полного определения квадрата достаточно задать один размер – длину стороны.

Для добавления взаимосвязи следует активизировать команду **Добавить взаимосвязь** на панели инструментов **Эскиз** либо сразу выбрать необходимый объект или объекты эскиза (выбор нескольких объектов выполняется, удерживая клавишу *Ctrl* на клавиатуре). Система самостоятельно определяет допустимые взаимосвязи для выбранных объектов и предлагает выбрать одну из них. В окне **Менед-**

жер свойств следует нажать соответствующую пиктограмму (**Совпадение**, **Горизонтальный**, **Зафиксированный** и т.п.).

Заданное относительное положение объектов не может быть изменено до тех пор, пока взаимосвязи не будут удалены.

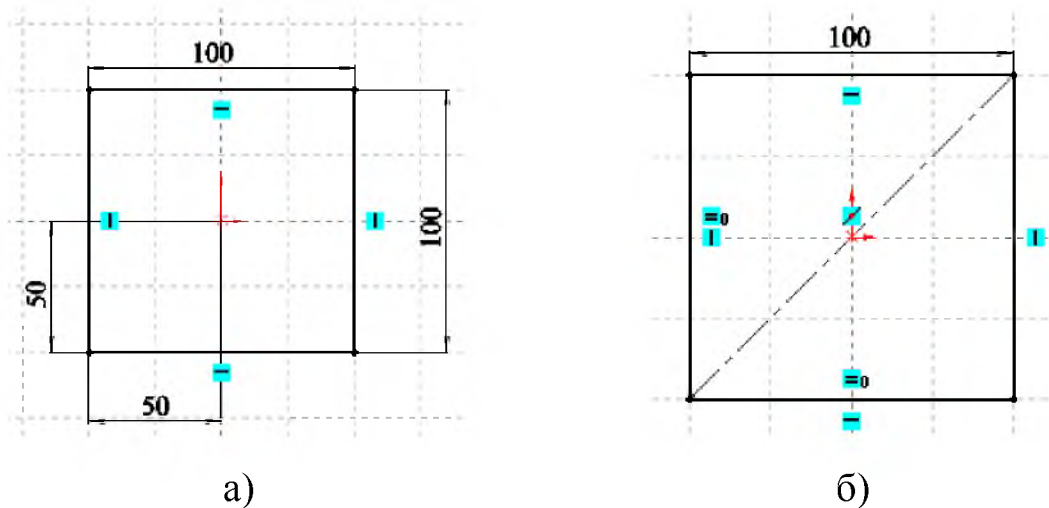


Рис. 2.9. Способы определения квадрата в эскизе

Для удаления взаимосвязей необходимо выделить объект (линию или точку) и в списке **Существующие взаимосвязи** менеджера свойств (рис 2.10) удалить соответствующую взаимосвязь (клавишей *Delete* на клавиатуре).

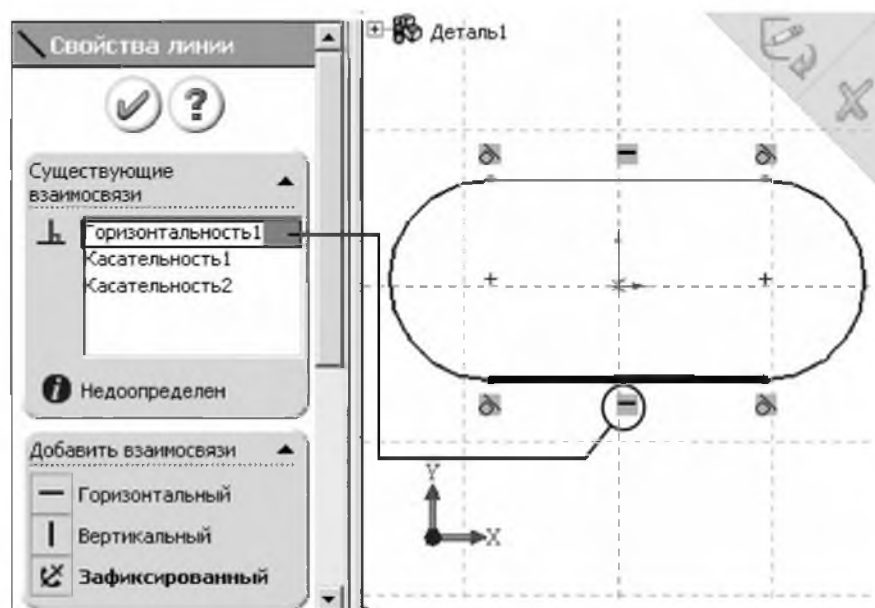


Рис. 2.10. Отображение существующих взаимосвязей объекта эскиза

Большое количество взаимосвязей значительно затрудняет процесс исправление ошибок, так как для этого необходимо удалять лишние взаимосвязи. Чтобы не загромождать нарисованные объекты значками взаимосвязей, их рекомендуется отключить (верхнее меню **Вид >> Взаимосвязи эскиза**). Удалять взаимосвязи в этом случае возможно через команду **Инструменты >> Взаимосвязи >> Отобразить/удалить**.

Статус эскиза

Эскиз может находиться в одном из трех состояний:

1. **Полностью определенный** – все линии и кривые в эскизе, а также их расположение однозначно описываются размерами и (или) взаимосвязями. Цвет объектов эскиза – черный, в **Дереве построения** такой эскиз отображается без каких-либо значков.

2. **Переопределенный** – размеры или взаимосвязи находятся в противоречии либо дублируют друг друга. В переопределенном эскизе графические объекты, для которых не было найдено решение, имеют красный цвет, объекты, находящиеся в конфликте друг с другом, – желтый. В **Дереве построения** такой эскиз отображается со значком «+».

3. **Недоопределенный** – не определены некоторые размеры или взаимосвязи, их можно изменять. Цвет объектов эскиза – синий. В **Дереве построения** такой эскиз отображается со значком «-».

Создавать трехмерные объекты без ошибок возможно как для полностью определенных эскизов, так и для эскизов, которые недоопределены. В последнем случае это дает больше возможностей по моделированию объектов, размеры и форма которых заранее неизвестны. Однако на стадии завершения проектирования рекомендуется эскизы полностью определить (любые изменения в эскизах с полностью заданными параметрами будут предсказуемыми).

На рис. 2.11 показан пример полностью определенного эскиза с постановкой размеров и заданием необходимых взаимосвязей.

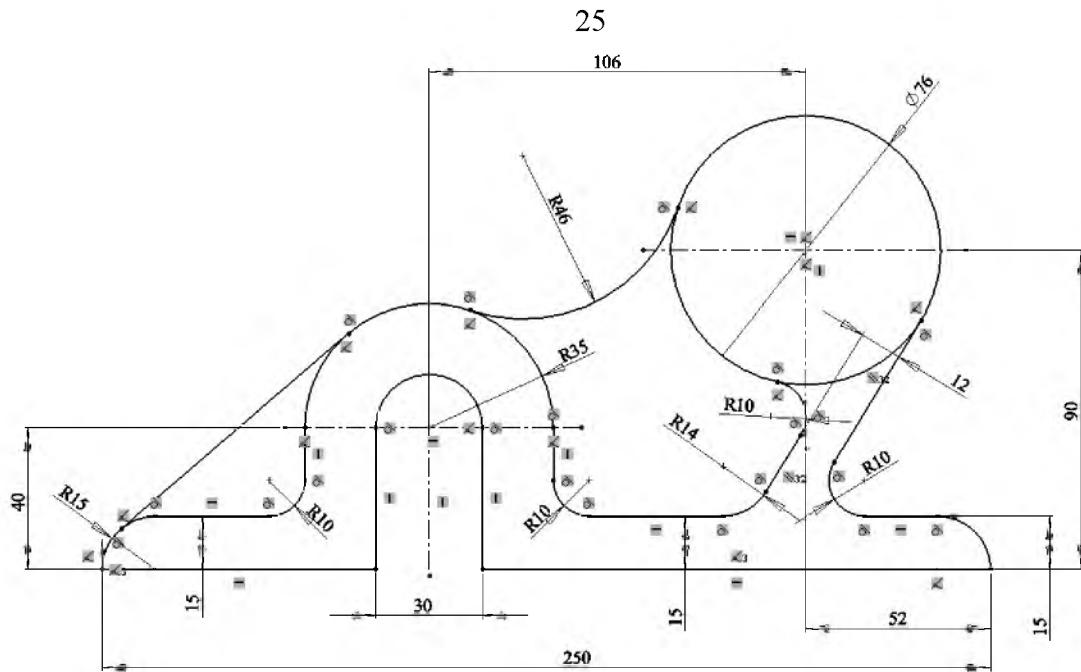


Рис. 2.11. Полностью определенный эскиз

Лабораторное задание

1. В соответствии с выданным преподавателем изображением плоского объекта выполнить построение полностью определенного эскиза в *SolidWorks*.
2. Определить объекты эскиза минимально возможным количеством размеров, используя взаимосвязи (за исключением взаимосвязи **Зафиксировать**).
3. В соответствии с предложенной преподавателем последовательностью выполнить построение трехмерной детали. Эскизы элементов необходимо построить из базового эскиза и существующих элементов методами преобразования и смещения объектов.
4. Отредактировать предложенный преподавателем эскиз, удалив соответствующие взаимосвязи, добавить новые управляющие размеры.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ПОСТРОЕНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЕТАЛЕЙ

Цель работы – изучение основных методов построения трехмерных моделей деталей в системе автоматизированного проектирования *SolidWorks*.

Методические указания

Деталью в SolidWorks называется трехмерный объект, состоящий из некоторого количества элементов. Элементы – это отдельные геометрические формы, в сочетании образующие деталь. Основные формообразующие элементы – бобышки и вырезы строятся на базе плоских эскизов. Другие элементы – оболочки, скругления, фаски преобразуют уже существующую 3D модель.

Основные способы создания твердотельных элементов

В общем случае трехмерная твердотельная модель детали в *SolidWorks* состоит из множества «сконструированных» элементов, или элементарных объемов.

Наиболее общими способами описания трехмерных объектов являются табличные способы, в которых ограничивающая объем формообразующая поверхность определяется массивом точек с известными координатами. Такой способ используется в универсальных форматах файлов для хранения информации о трехмерных объектах.

Для построения объемов более удобным является аналитический способ: формообразующие поверхности являются результатом движения направляющих отрезков вдоль одного или нескольких образующих.

К основным типам элементов в *SolidWorks* относятся:

1. Вытягивание (движение по прямой линии);
2. Вращение (движение по окружности);
3. По траектории (движение вдоль произвольной кривой);
4. По сечениям (движение нескольких произвольных образующих вдоль нескольких произвольных направляющих).

В соответствии с этими типами могут быть выполнены бобышки или основания (выступающие части детали) и вырезы (рис. 3.1).



Рис. 3.1. Методы создания твердотельной модели в *SolidWorks*

К дополнительным элементам (скругления, фаски, оболочки и др.) относятся наиболее часто используемые варианты, или частные случаи основных элементов.

Кроме того, для создания элементов твердотельной геометрии могут использоваться массивы элементов – линейные и круговые, а также зеркальные копии элементов.

Дополнительно в *SolidWorks* реализованы операции по преобразованию трехмерной геометрии детали: **Деформация**, **Масштабирование**, **Гибкие** и другие. Эти операции выполняются с одним элементом и заменяют процесс создания сложной геометрии. Другим дополнительным типом операций являются булевы операции. Они выполняются с двумя и более элементами и необходимы для объединения элементов в единый объект методами логического вычитания или сложения твердых тел.

Твердотельные модели в *SolidWorks* можно создавать одним из указанных способов. Конечный результат не будет зависеть от выбранного способа, однако для лучшего понимания и удобства редактирования рекомендуется выполнять модель аналогично технологи-

ческому процессу ее изготовления. Если обработку вала предусматривается вести с помощью токарных операций, то и модель следует получать методами вращения контура.

Вытянутые объекты

Операцию **Вытягивания** можно представить как процесс перемещения нарисованного в **Эскизе** контура вдоль некоторого отрезка (вследствие перемещения окружности будет получен цилиндр).

Чтобы активизировать операцию, необходимо выполнить команду на панели инструментов **Вытянутая Бобышка/Основание** (для создания основания) либо **Вытянутый Вырез** (для создания выреза в построенном твердом теле).

При построении элемента методом **Вытягивания** в менеджере свойств отображаются три составляющие в виде трех панелей (рис. 3.2):

- начальное условие для создания элемента (панель «От»);
- граничные условия;
- модификации команды.

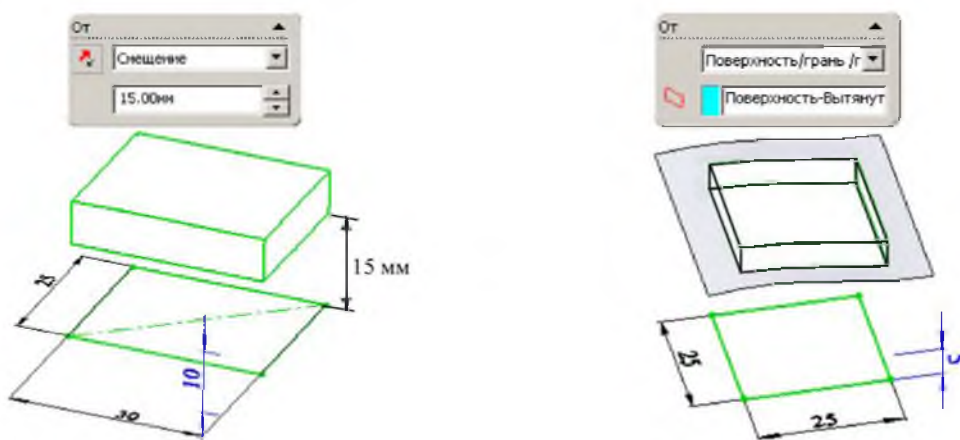


Рис. 3.2. Примеры начальных условий операции **Вытягивания**

Комбинации этих составляющих приводят к тому, что для одного и того же эскиза будут построены различные варианты конструкций твердого тела.

В качестве начального условия для создания элемента могут быть заданы:

- плоскость эскиза;
- поверхность, грань, плоскость или вершина *3D* модели;
- смещение.

В первом случае твердое тело будет построено от плоскости, на которой находится эскиз, во втором – от выбранного геометрического элемента, а в третьем – от условной поверхности, смещенной параллельно плоскости эскиза на заданное расстояние. При выборе в качестве начального условия поверхностей, граней или плоскостей контур элемента **Вытянутая бобышка/основание** должен полностью находиться в их пределах.

Граничные условия служат для определения границ вытянутого элемента. Если представить, что операция вытягивания выполняется путем перемещения эскиза вдоль направленного отрезка, то роль его первой точки будут выполнять начальные условия, а второй – граничные. Всего имеется восемь условий, которые в качестве исходной информации должны принимать либо численные значения размеров, либо геометрические объекты:

1. **На заданное расстояние** – определяет границу вытянутого элемента путем явного указания глубины вытягивания (значение можно задавать в численном виде или перетаскиванием мышкой стрелки-направления вытягивания на предварительном виде (рис. 3.3)).

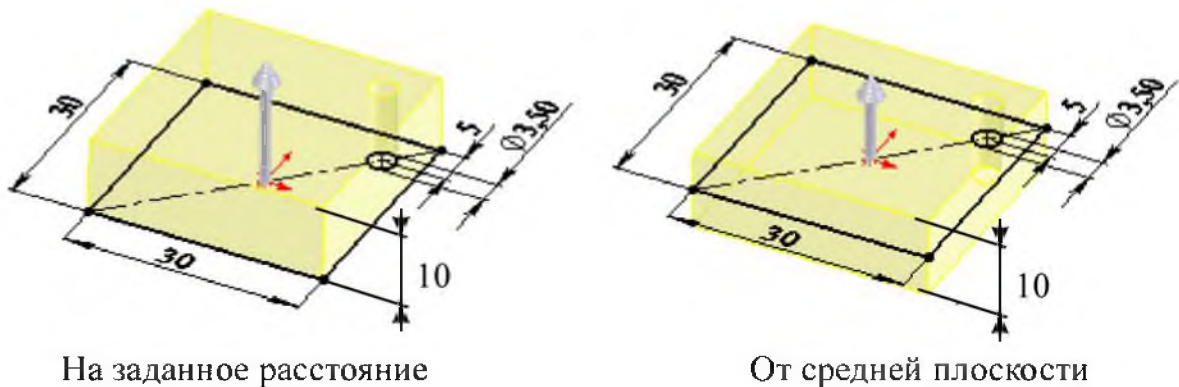


Рис. 3.3. Примеры граничных условий операции **Вытягивания**

2. **Через все** – эскиз вытягивается через всю существующую геометрию.

3. **До следующей** – вытягивается элемент от плоскости эскиза до следующей поверхности, заслоняющей весь профиль (следующая поверхность должна принадлежать родительской детали).


4. **До вершины** – эскиз вытягивается до расположенной параллельно плоскости, проходящей через заданную вершину.

5. **До поверхности** – элемент заполняет область от плоскости эскиза до выбранной поверхности.

6. **На расстоянии от поверхности** – элемент заполняет область от плоскости эскиза до поверхности, эквидистантной выбранной.

7. **До тела** – строится элемент от плоскости эскиза до заданного тела (используется в многотельных деталях, сборках, литейных формах).

8. **От средней поверхности** – элемент создается путем вытягивания эскиза на равную глубину в обоих направлениях от плоскости построения эскиза (см. рис. 3.3).

Ограничивать вытяжку можно только в одном направлении. Так как эскиз относительно плоскости построения разрешается вытягивать в двух взаимно противоположных направлениях, воспользуемся двумя панелями инструментов **Направление 1** и **Направление 2**. Изменить направление вытягивания на противоположное можно, щелкнув на кнопке  **Реверс направления**, расположенной слева от раскрывающегося списка.

Основными модификациями команды **Вытянуть** являются:

Создание многотельных деталей. Если флажок **Результат слияния** снять, то базовый элемент и вытягиваемый, эскиз которого построен на одной из поверхностей базового, будут представлять собой разные твердые тела (нечто вроде сборки, помещенной в файл детали).

Направление вытяжки. По умолчанию *SolidWorks* выполняет вытяжку контура элемента перпендикулярно плоскости эскиза, однако можно указать произвольный угол наклона вектора вытяжки с помощью двухмерного или трехмерного эскиза.

Угол уклона при вытягивании эскиза. При наличии уклона результирующий элемент будет иметь сужение или расширение (вместо цилиндра получается конус, параллелепипеда – пирамида и т.д.). Для выполнения модификации достаточно нажать кнопку **Включить/Выключить уклон**, задать угол и направление сужения (внутри/наружу).

Тонкостенный элемент. Тонкостенные вытянутые элементы можно создавать на основе как замкнутых, так и незамкнутых эскизов. Эта операция требует указания направления смещения эскиза (внутри или наружу) для создания полости внутри элемента, а также величины смещения в каждом направлении. Метод определения тол-

щины задается в раскрывающемся списке **Тип**: в одном направлении (используется для добавления толщины с одной стороны эскиза); от средней поверхности (равная толщина в обоих направлениях); в двух направлениях (разная толщина с двух сторон от эскиза).


Торцевая пробка. Отображается только в случае создания тонкостенного элемента, эскиз которого является замкнутым контуром. Если этот флажок установлен, то на двух концах вытянутого тонкостенного элемента создаются грани с заданной толщиной (устанавливается в соответствующем счетчике).

Выбранные контуры. Позволяет использовать неполный эскиз для создания вытяжки элементов.

Повернутые элементы

Повернутые элементы добавляют или удаляют материал путем поворота одного или нескольких профилей вокруг осевой линии. Можно создавать **Повернутые бобышки/основания**, **Повернутые вырезы** или **Повернутые поверхности**. Повернутый элемент может быть твердотельным элементом, тонкостенным элементом или поверхностью.

При создании тел вращения существует несколько ограничений: – в эскизе должна присутствовать минимум одна линия со свойством **вспомогательная геометрия** – ось вращения; – контур не может пересекать осевую линию или касаться ее в изолированной точке; – контур должен быть замкнутым (иначе будет создана тонкостенная деталь).

Инструмент **Повернутая бобышка/основание**  предоставляет три возможных варианта построения модели: **Элемент вращения**, **Тонкостенный элемент** и элемент, построенный на основе замкнутых **выбранных контуров** эскиза (рис. 3.4).

Эскиз повернутого элемента может состоять из одного или нескольких замкнутых контуров, осей вращения, построенных осевой вспомогательной линией. Если в эскизе несколько осей, то ось, вокруг которой будет поворачиваться контур, необходимо указать при построении твердотельного элемента (при нажатии левой кнопки мы-

ши). При построении элемента обязательно должны быть указаны направление и угол поворота (рис. 3.4).

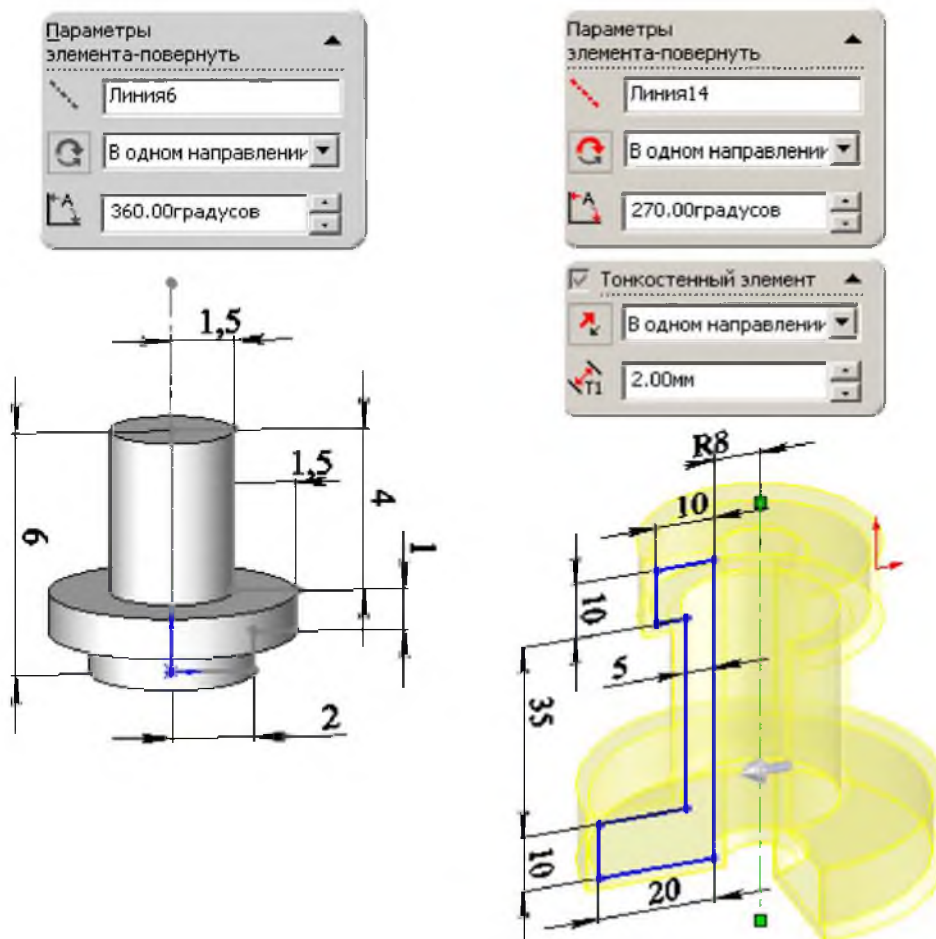


Рис. 3.4. Основные параметры операции вращения в *SolidWorks*

Тонкостенный элемент вращения применяется в основном для создания оболочковых форм. Для тонкостенного элемента дополнительно требуется указание направления и численного значения толщины (для этого варианта не обязательно наличие замкнутого контура).


Вариант построения тела вращения на основе **Выбранных контуров** применяется в случае, когда контур вращения удастся задать только в виде комбинации отдельных сложных фигур.

При выборе способа построения твердого тела методом вращения необходимо учитывать степень сложности профиля эскиза. Изначально сложность эскиза для элементов, полученных вращением, будет выше.

В общем случае, чем сложнее эскиз, тем меньшее количество конструктивных элементов понадобится для построения детали, более рационально будут использованы ресурсы компьютера. Однако раз-

работчику проще контролировать процесс построения модели, если эскизы будут максимально упрощены (в эскизах не содержатся мелкие конструкционные элементы: скругления и фаски).

Элемент по траектории

При использовании элемента **По траектории**  создаются основание, бобышка, вырез или поверхность путем перемещения контура (профиля) по направляющей (маршруту). В отличие от элементов **Вытянутая бобышка/основания** и **Повернутая бобышка/основания** для построения элемента **По траектории** необходимо выполнить два **Эскиза**: один эскиз с изображением профиля, второй – с изображением маршрута движения.

Основные правила построения элемента **По траектории**:

1. Профиль должен быть замкнутым для основания или бобышки по траектории, для элемента поверхности по траектории профиль может быть замкнутым или разомкнутым.
2. В качестве направления может выступать разомкнутая кривая или замкнутая.
3. Направление может быть множеством из нарисованных кривых, содержащихся в одном эскизе, кривой или множеством кромок модели.
4. Начальная точка направления маршрута должна лежать на плоскости профиля.

На рис 3.5 показан пример построения трехмерной модели заготовки для изготовления ручки электронного блока методом **Вытянутой Бобышки/Основания по Траектории**. Эскизы профиля и направления построены на взаимно перпендикулярных плоскостях **Спереди** и **Сверху** соответственно.

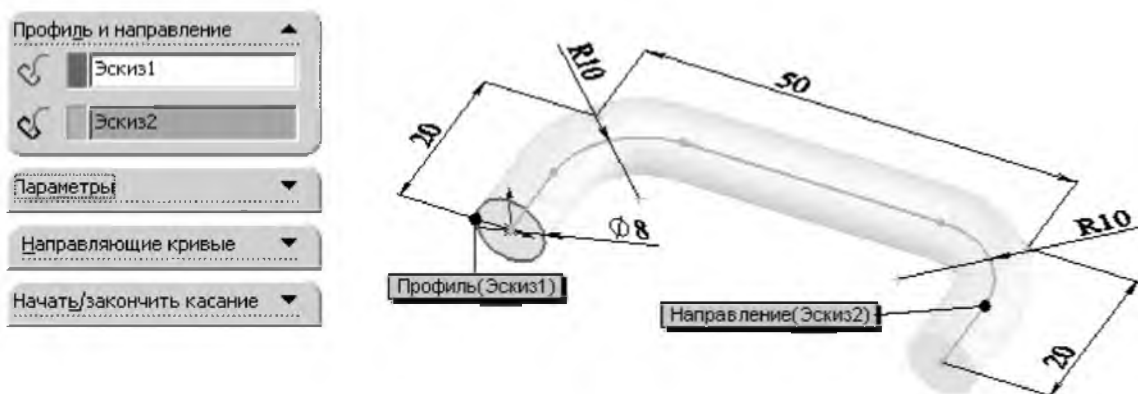



Рис. 3.5. Построение элемента **По траектории**

Содержание вкладок **Параметры** и **Начать**, закончить касание элемента **По траектории** используется для создания сложной геометрии модели. Опция **Направляющие кривые** используется для определения линий, направляющих профиль, когда он вытягивается вдоль маршрута. Пример использования направляющих кривых – создание элемента с изменяющимся профилем.

Полное описание этих составляющих содержится в [1], а также в справочной системе *SolidWorks*.

Элемент по сечениям

Команда **По сечениям**  создает элемент путем построения переходов между профилями (рис. 3.6). Элемент по сечениям может быть основанием, бобышкой, вырезом или поверхностью. Для конструирования такого элемента необходимо не менее двух сечений.

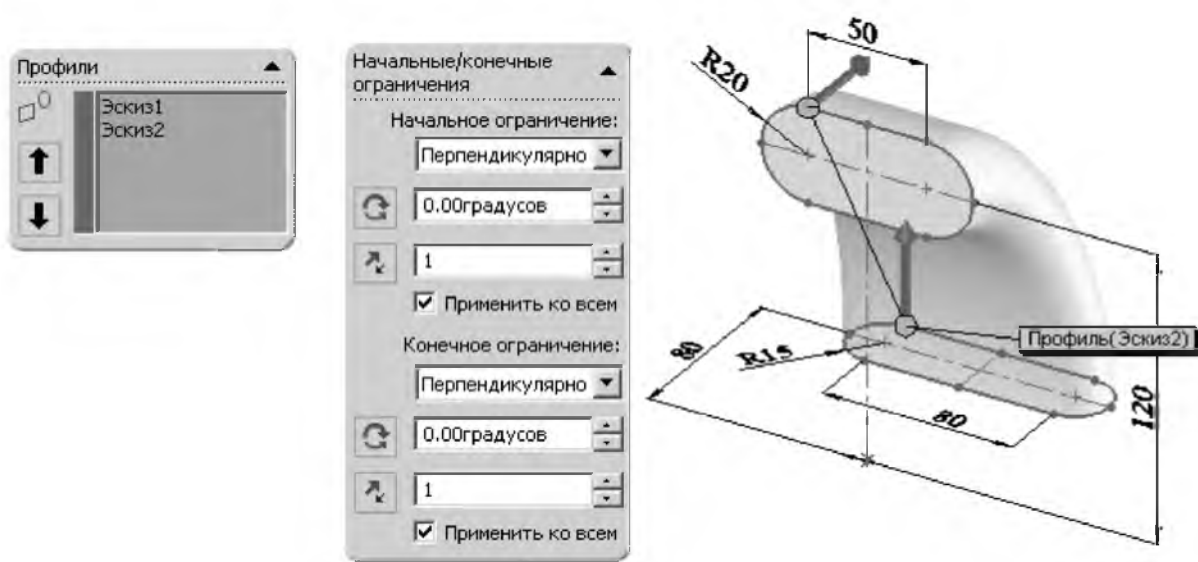




Рис. 3.6. Построение элемента **По сечениям** с использованием начальных и конечных ограничений

В окне **Профили** необходимо указать контуры, которые используются для создания элемента по сечениям. В качестве профиля можно применять:

- плоские эскизы на плоскостях трехмерного пространства;
- грани (не обязательно плоские) ранее построенной модели либо грани, созданные линиями разъема, плоскими профилями или поверхностями;

- кромки существующих элементов;
- точки эскиза (в качестве крайних профилей).

Для твердотельного элемента **Бобышка/основание по сечениям** крайние профили обязательно должны быть гранями модели, плоскими эскизами либо точками.

Элементы по сечениям строятся на основе порядка выбора профиля. Изменение порядка выполняется при помощи кнопок  и .

Обязательной составляющей элемента **По сечениям** является **Направляющая кривая**. Даже если **Направляющая кривая** не была построена заранее в отдельном эскизе, ее роль выполняет виртуальная линия, которая образуется в процессе выбора сечений и отображается в графической области. Управлять виртуальной направляющей возможно перемещением ее конечных точек (см. рис. 3.6).

Для точного построения трехмерной геометрии методом **По сечениям** использование **Направляющих кривых** является обязательным. Основными требованиями к направляющей кривой являются:

- направляющая должна лежать в плоскости, которая пересекает плоскости сечения;
- направляющая должна пересекать профили;
- в качестве направляющей можно использовать линии ранее созданных объектов.

Элементы **По сечениям** являются наиболее сложным для построения из всех четырех аналитических способов построения трехмерной геометрии в *SolidWorks*. Полное описание параметров элемента **По сечениям** содержится в [1] и в справочной системе *SolidWorks*.

Элементы **По сечениям** могут быть использованы при разработке оригинальных корпусов и лицевых панелей электронных приборов со сложным дизайном, а также для создания элементов с геометрией, изменяющейся по определенным заданным законам.

Справочная геометрия

Для использования ряда инструментов работы с трехмерными моделями необходимо применять дополнительные элементы построения: оси, плоскости, точки, не относящиеся ни к одному элементу или эскизу модели.

Для построения подобных объектов в *SolidWorks* используются инструменты **Справочной геометрии**: Плоскость, Ось, Система координат, Точка, Ссылка на сопряжение (рис. 3.7).

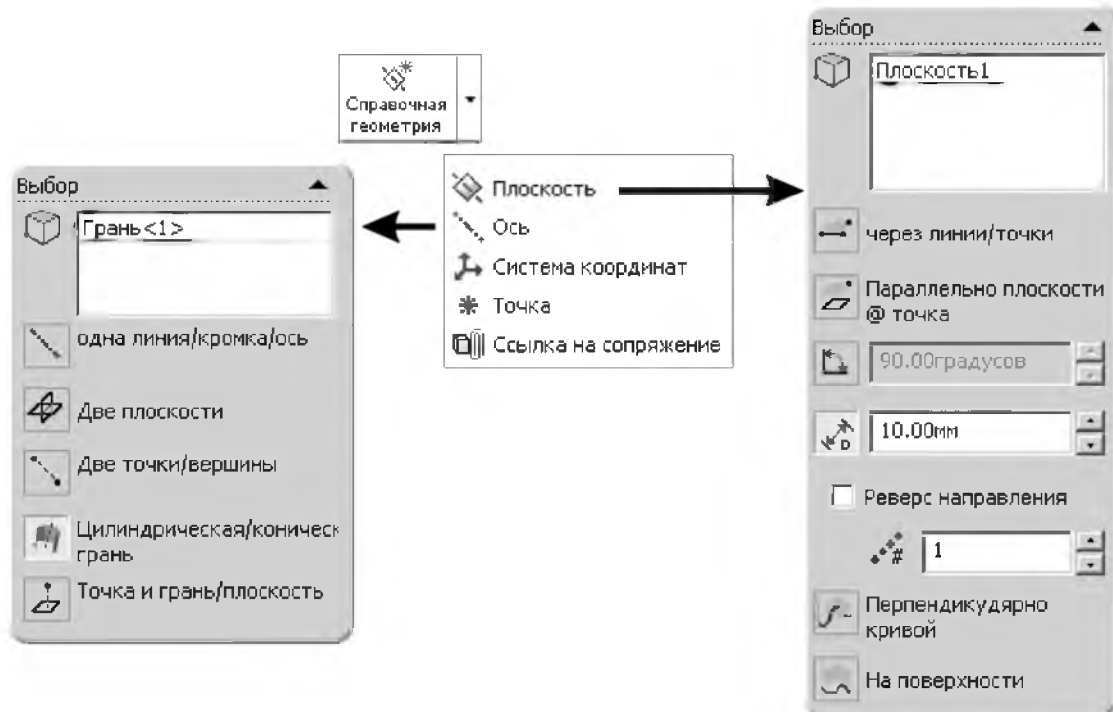


Рис. 3.7. Элементы **Справочной геометрии** *SolidWorks*


Наиболее часто при создании твердотельной трехмерной модели используются инструменты **Плоскость** и **Ось**. Дополнительные **Плоскости** применяются в элементах по траектории и по сечениям. **Оси** необходимы для создания круговых массивов элементов. Все созданные **Справочной геометрией** объекты будут отображаться как в **Графической области**, так и в **Дереве построения**.

Для инструментов **Плоскость** и **Ось** в окне группы **Выбор** необходимо указать способ создания справочной плоскости (при нажатии соответствующей пиктограммы) и выбрать в графической области объекты, на базе которых плоскость будет построена. В качестве объектов могут выступать ранее созданные плоскости, линии, точки, элементы эскизов, кривые и поверхности (см. рис. 3.7).

Инструменты создания фасок и скруглений

Фаски и скругления относятся к мелким конструкционным элементам деталей. В общем случае результатом работы соответствующей

щих инструментов **Фаска** и **Скругление** является изменение формы кромок трехмерной модели.

Инструмент **Фаска**  создает скос на выбранных кромках, гранях или вершине. Окно свойств содержит параметры выбора объектов (кромки, вершины или грани), а также задание типа определения фаски и необходимые размеры (рис. 3.8). Наиболее часто используемым типом является определение расстояния и угла фаски (отображается на чертежах по ЕСКД).

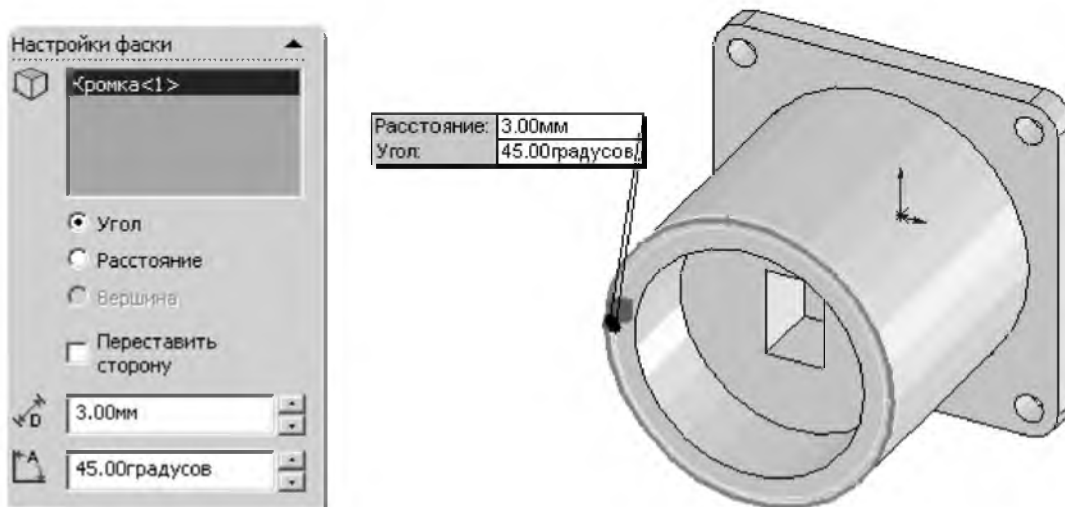



Рис. 3.8. Инструмент создания фаски в *SolidWorks*

Инструмент **Скругление**  создает скругленную внутреннюю или внешнюю грань на детали. Можно скруглить все кромки грани, выбранные множества граней, выбранные кромки или петли.

Общие правила при создании скруглений:

- большие скругления следует строить раньше малых;
- необходимые уклоны в трехмерной модели (литейные детали) следует выполнять перед скруглениями;
- мелкие скругления выполнять в самую последнюю очередь;
- необходимо использовать единую операцию **Скругление** с одинаковым радиусом для нескольких кромок.

С точки зрения разработчика добавление скруглений способствует эстетической привлекательности изделия. Скругления также предупреждают появление нежелательных концентраций напряжения и позволяют избежать острых граней.


Скругления переменного радиуса являются одним из методов создания сложной геометрии детали.

Инструменты создания массивов твердотельных элементов

В общем случае любой массив основан на **исходном элементе**.

Процесс проектирования с использованием массивов компонентов состоит из двух этапов:

1. Создается базовая часть детали.
2. Тело копируется с помощью соответствующего инструмента с целью получения оставшейся геометрии.

Наиболее простой формой создания трехмерного массива является **Зеркальное отражение** .

Для зеркального копирования требуется выделить плоскость симметрии (любая плоскость или грань модели), а также копируемые элементы, грани либо твердые тела (рис. 3.9).

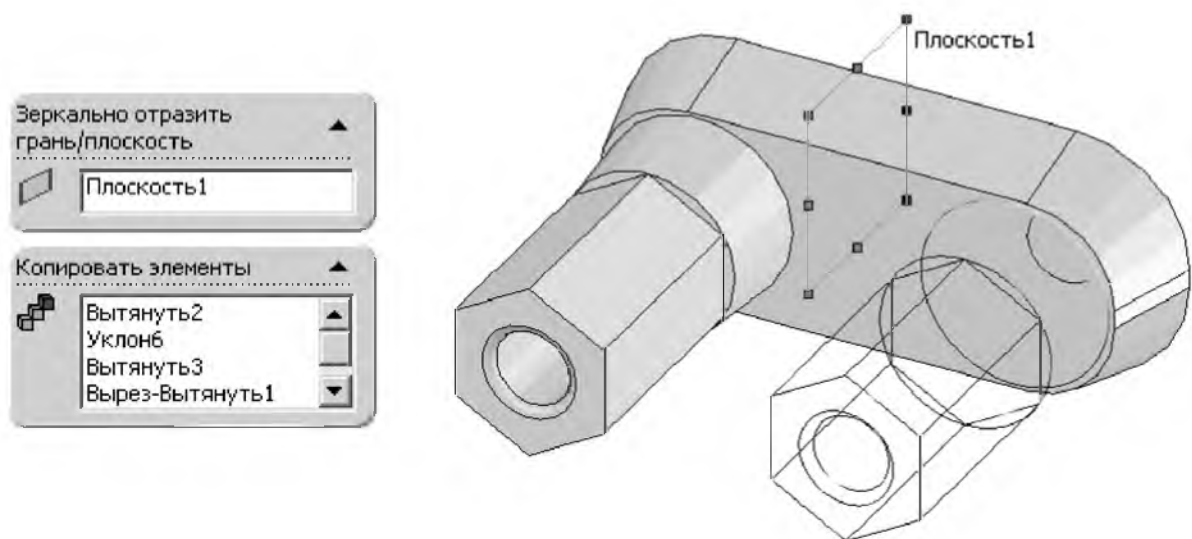




Рис. 3.9. Реализация инструмента **Зеркальное отражение**

Для инструмента **Линейный массив**  следует выбрать элементы, затем указать направление (любая прямая линия, принадлежащая трехмерному объекту или эскизу), линейный интервал и общее число повторений.

Для **Кругового массива**  необходимо выбрать элементы, кромку или ось в качестве центра вращения. Параметры массива определяются общим числом повторений и угловым интервалом между экземплярами (рис. 3.10).

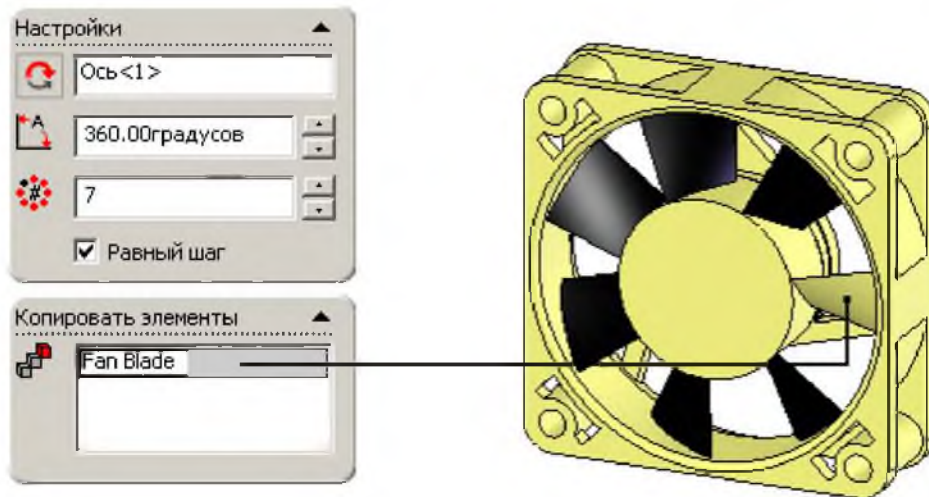



Рис. 3.10. Инструмент **Круговой массив**

Оболочки

Команда **Оболочка** используется для создания тонкостенных элементов. При этом выбранные грани остаются открытыми, тонкостенные элементы создаются на остальных гранях. Если на модели не выбрана никакая грань, можно создать оболочку твердотельной детали, тем самым создав замкнутую **полую модель**.

Инструмент **Оболочка**  требует для ввода две группы исходных данных:

1. **Настройки** – указывается толщина стенок модели по умолчанию для всех поверхностей, а также грани, которые будут удалены с целью создания незамкнутой полой модели.

2. **Настройки – разная толщина** – указываются поверхности, толщина стенок которых должна отличаться от принятой по умолчанию.

В некоторых моделях построить оболочку не удастся по причине конфликтов геометрии: указанное значение толщины оболочки превышает минимальное значение радиуса кривизны поверхности. В этом случае необходимо исправить модель или изменить значение толщины оболочки. В *SolidWorks* существует инструмент диагностики подобных ошибок: верхнее меню **Инструменты>>Проверить** (рис. 3.11).

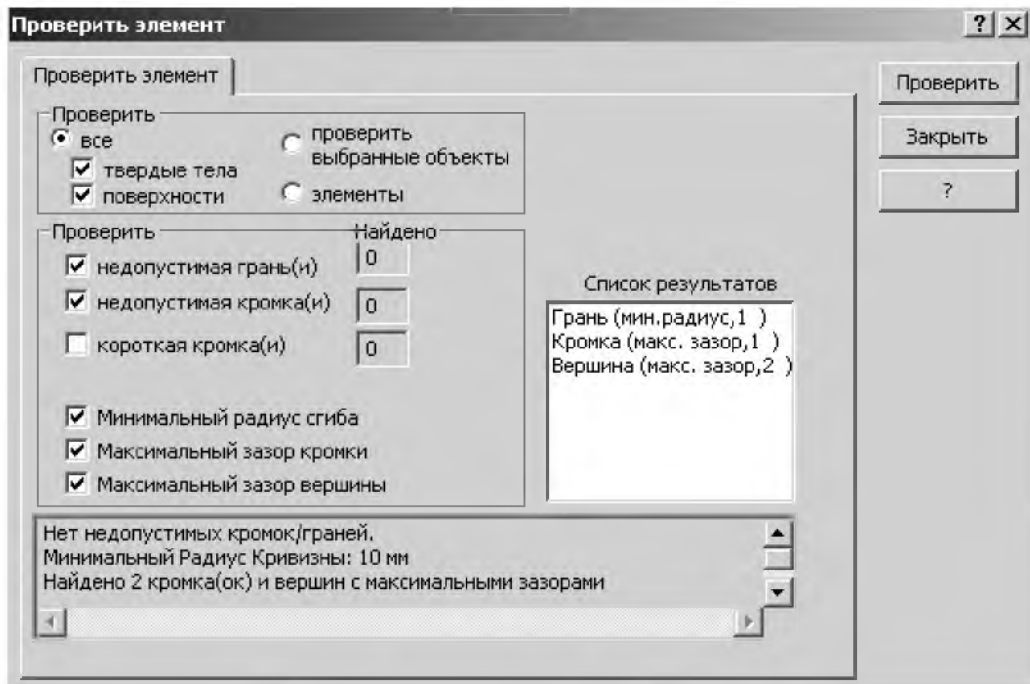


Рис. 3.11. Диагностика ошибок трехмерной модели

Правила построения трехмерных моделей деталей

При проектировании электронных средств к деталям *SolidWorks*, требующим построения трехмерной параметрической модели, могут быть отнесены:

- оригинальные детали изделий;
- типовые покупные изделия (электрорадиоэлементы, корпуса, крепежные детали);
- стандартные изделия (крепеж).

Несмотря на то что общей библиотеки трехмерных моделей типовых и стандартных изделий не существует, часть из них промоделирована. Подобная работа проводится на предприятиях, занимающихся разработкой электронной аппаратуры, в учебных заведениях, ведущих подготовку в области трехмерных САПР, а также при поддержке сервиса компании *SolidWorks* (*Web-ресурс www.3DContentCentral.com*). В общем случае разработчик электронной аппаратуры должен быть готовым строить модели любых изделий, в том числе и типовых.

Процесс построения трехмерных моделей деталей следует начинать с наиболее крупных конструктивных элементов, постепенно удаляя материал либо добавляя более мелкие элементы. Разработку

составляющих конструкции, которые не принимают участия в создании других элементов (например, фаски, скругления, крепежные отверстия и т.п.), необходимо перенести на последние этапы моделирования. Если изделие имеет одну или несколько плоскостей симметрии, более целесообразно (и менее трудоемко) смоделировать лишь часть конструкции, а остальное получить методом зеркального отображения.

Лабораторное задание

1. Выполнить рассмотренные примеры создания твердотельных моделей деталей.
2. В соответствии с выданным преподавателем заданием построить трехмерную модель детали в *SolidWorks*. При построении учитывать вопросы выбора начальной базовой плоскости, симметрии детали, возможности создания массивов компонентов.
3. Добавить указанные элементы в трехмерную модель с использованием четырех базовых методов построения объемной геометрии.

ПОСТРОЕНИЕ СБОРОК В *SOLIDWORKS*

Цель работы – изучение методов компоновки сборок, построения сопряжений сборок в системе автоматизированного проектирования *SolidWorks*.

Методические указания

Сборкой называется документ, в котором детали и другие сборки сопряжены друг с другом в единую конструкцию. Сборку можно создавать, используя проектирование «снизу вверх», проектирование «сверху вниз» или комбинацию этих двух методов.

Общие правила построения сборок

Файл сборки в *SolidWorks* (расширение *.*SLDASM*) не содержит в себе описание геометрии деталей. Без полного комплекта составляющих деталей, сборок (узлов), типовых библиотечных элементов файл сборки является пустым объектом. Добавление компонента в сборку создает связь между ними. Изменения в компоненте сборки автоматически отражаются на сборке.

В общем случае сборочное изделие представляет собой многоуровневую древовидную структуру. Файл сборки, как и реальное изделие, может включать не только отдельные детали, а также и другие сборки (узлы). Уровень вложенности при этом не ограничен. Сборка изделия в *SolidWorks* выполняется в соответствии с принципом технологической декомпозиции: составляющие изделие узлы могут собираться обособленно от других элементов конструкции.

Реальный производственный процесс состоит из трех этапов:

1. Установка базовой детали или сборочной единицы.
2. Выбор и предварительная ориентация присоединяемой детали (сборочной единицы) относительно базовой.
3. Выполнение сопряжений, соединение.

Общий принцип создания сборочной модели по методу «**снизу вверх**» полностью соответствует указанному процессу сборки. Предварительно необходимо построить трехмерные модели деталей, а затем объединить их в единую конструкцию путем наложения ограничений на пространственное положение объектов.

При проектировании «сверху вниз» трехмерные модели деталей разрабатываются в контексте одной сборки на основе геометрических элементов других деталей. В соответствии с данным методом первоначально создаваемая сборка является исходной информацией для выполнения последующей детализации.

Комплексное использование обоих методов позволяет вести разработку отдельных элементов конструкции (деталей, сборочных единиц) в контексте уже созданной сборки (состоящей из готовых компонентов). При таком подходе значительно облегчается задание привязок элементов друг к другу и обеспечивается параметрическая связь между ними. Если размеры или положение одной из деталей изменяются, то все связанные с ней элементы модели будут также автоматически скорректированы.

Размещение компонентов в сборке

Предварительно необходимо создать проект сборки в *SolidWorks*: меню **Файл >> Новый >> Сборка**.

Основным способом размещения детали или узла в сборке является использование команды **Вставить компоненты**, расположенной на панели инструментов **Сборки**. После добавления к новому проекту первая деталь (сборка) автоматически приобретёт свойство **Зафиксированный** (отображается значком «ф» в **Дереве конструирования**). Для правильной ориентации компонентов в сборке по крайней мере один из ее компонентов должен быть зафиксирован – относительно него будут располагаться остальные компоненты сборки (рис. 4.1).

Чтобы зафиксировать или освободить компонент сборки, следует, выбрав компонент в графической области или в **Дереве конструирования** (*FeatureManager*), в контекстном меню (при нажатии правой кнопки мыши) активизировать команду **Зафиксировать** или **Освободить**.

Также для компонентов в **Дереве конструирования** могут использоваться следующие префиксы: (–) недоопределен; (+) переопределен; (?) не решен. Отсутствие префикса означает, что положение компонента полностью определено.

Дерево конструирования (*FeatureManager*) кроме традиционных элементов (наименования сборки, папки **Примечание**, начальных плоскостей и **Исходной точки**) для сборок отображает следующие объекты:

- Компоненты сборки (узлы, отдельные детали, библиотечные элементы);
- Папку **Сопряжения**;
- Элементы сборки (вырезы или отверстия) и массивы компонентов.

Любой компонент можно развернуть или свернуть, чтобы просмотреть его подробное описание, нажав на знак рядом с именем компонента.

В сборке можно использовать один и тот же компонент несколько раз. При каждом добавлении в сборку компонента число $\langle n \rangle$ в окончании его имени в **Дереве конструирования** увеличивается на единицу.

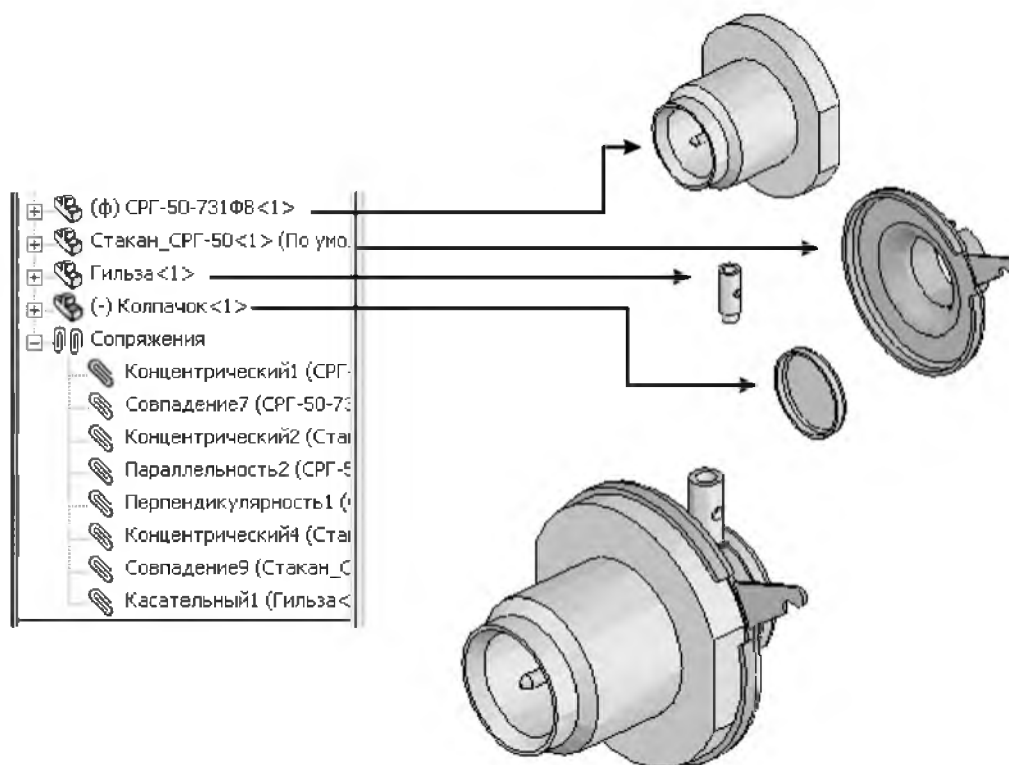





Рис. 4.1. Пример компоновки сборки розетки СРГ-50-731ФВ

Для задания положения объекта в трехмерном пространстве реализованы команды **Переместить компонент**  и **Вращать компонент** , которые располагаются на панели задач **Сборки**. Изменение положения для выбранного объекта производится при нажатии и удерживании левой кнопки мыши. Более простым и удобным способом свободного перемещения и вращения является способ с исполь-

зованием манипулятора мыши: при «перетаскивании» мыши, удерживая левую кнопку, выполняется перемещение компонента, удерживая правую кнопку мыши – вращение компонента. Компоненты в сборке будут перемещаться или вращаться только в пределах степеней свободы, определенных сопряжениями (зафиксированные и полностью определенные объекты изменять своего положения не могут).

Сопряжения

После размещения деталей и узлов в сборке необходимо задать сопряжения между ними – геометрические взаимосвязи между компонентами сборки. При добавлении сопряжений следует определить допустимые направления линейного или вращательного движения компонентов. Последовательность, в которой добавляются сопряжения в группу, значения не имеет, все сопряжения решаются одновременно.

Для создания сопряжений необходимо активизировать команду **Условия сопряжения**  на панели инструментов **Сборки**, выбрать сопрягаемые поверхности деталей, указать тип сопряжения (рис. 4.2).

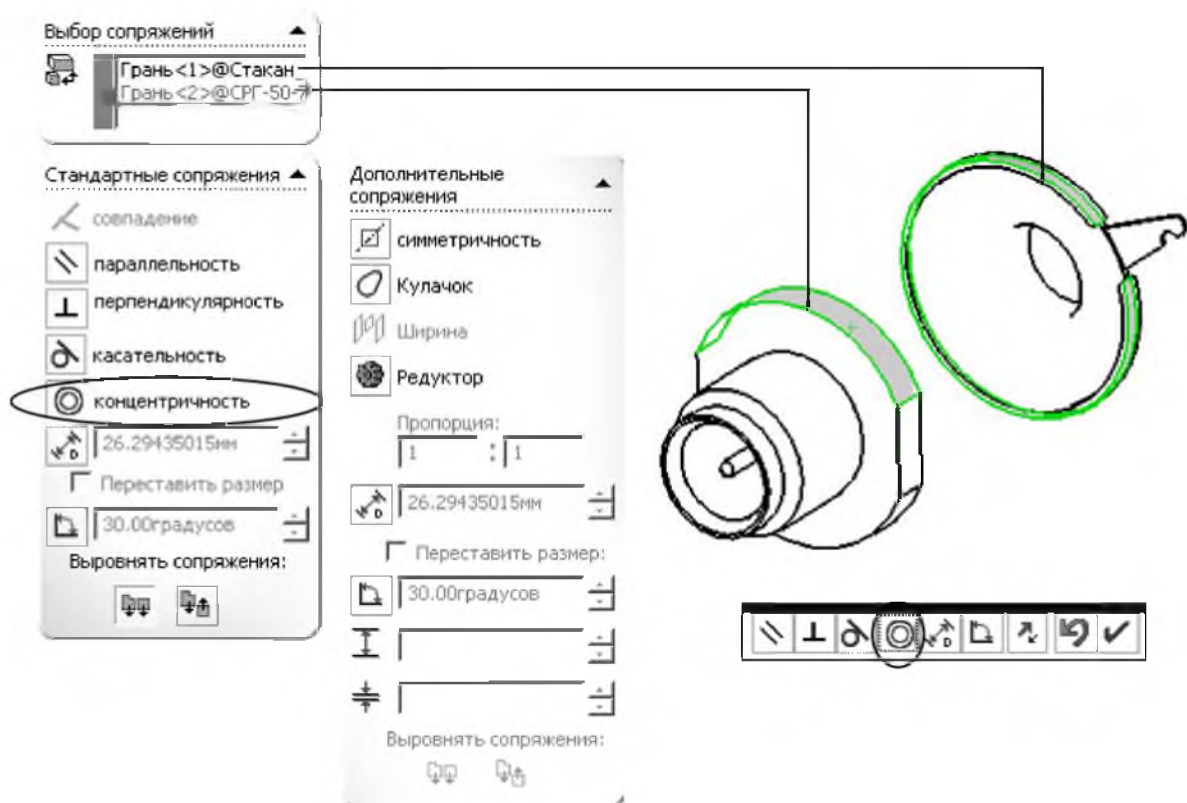


Рис. 4.2. Пример задания сопряжения

Системой поддерживаются следующие типы сопряжений.

Совпадение – выбранные грани, плоскости и кромки (в комбинации друг с другом или с одной вершиной) разделяют одну и ту же бесконечную линию.

Параллельность – выбранные элементы одинаково направлены и находятся на постоянном расстоянии.

Перпендикулярность – выбранные элементы располагаются под углом 90° друг к другу.

Касательность – выбранные элементы касаются (как минимум один элемент должен быть цилиндрическим, коническим или сферическим).

Концентричность – выбранные элементы разделяют центральную точку.

Расстояние – выбранные элементы расположены на указанном расстоянии.

Угол – выбранные элементы расположены под заданным углом.

Если в списке **Выбор сопряжений** присутствуют по крайней мере два наименования, то ниже во вкладке **Стандартные сопряжения** система автоматически предложит наиболее подходящие сопряжения для данного набора выделенных компонентов (см. рис. 4.2), а на экране появится панель инструментов, дублирующая эти элементы управления.

Стандартные сопряжения применимы только для стандартных поверхностей (плоскость, цилиндр, конус и т.п.), а для более сложных требуется выравнивание относительно вспомогательной геометрии.

Все заданные сопряжения сборки указываются в **Дереве сопряжения** в разделе **Сопряжения**. Наименование каждого сопряжения включает имена участвующих в нем компонентов, например:

Концентрический1 (СРГ-50-731ФВ<1>, Стакан_СРГ-50<1>).

Упрощение сборок


В реальности сборки могут состоять из большого числа компонентов. При этом программа тратит значительные ресурсы на поддержание трехмерной геометрии. Как следствие происходит замедление работы и замедление проектирования в целом. Упростить сложную сборку возможно переключением видимости и изменени-

ем состояния погашения компонентов, есть три возможных состояния компонентов:

1. **Решен** – компонент целиком загружен в память, является полностью функциональным и доступным.

2. **Погашен** – компонент не загружается в память и не является частью сборки (не отображается в графической области, сопряжения компонента также погашены). При этом компонент не удаляется из **Дерева построения**.

3. **Сокращенный** – в память загружается некоторая часть данных о модели. Оставшиеся данные загружаются по мере необходимости. При этом компонент полностью доступен, все сопряжения, массовые характеристики сохраняются.

Чтобы изменить состояние погашения компонентов следует в **Дереве конструирования** или в графической области правой кнопкой мыши выбрать нужный компонент и открыть вкладку **Свойства компонента**. Другой способ – активация инструмента **Изменить состояния погашения**  для выбранного компонента на панели инструментов **Сборки**.

Режим большой сборки – это комплект параметров системы, которые улучшают эффективность сборок. Режим большой сборки можно включить в любое время. Кроме того, можно установить пороговое значение количества компонентов, при достижении которого режим большой сборки будет включаться автоматически.

Интерференция и конфликты между компонентами

Одна из составляющих отработки изделия на технологичность – его проверка на собираемость: физические тела при их перемещении не могут иметь области пересечения. При использовании свойства **Стандартное перетаскивание** не учитывается интерференция объектов (возможна ситуация наложения объектов друг на друга). Для решения подобной задачи в *SolidWorks* реализованы два параметра в режиме перемещения и вращения компонентов (рис. 4.3, а).

1. **Определение конфликтов**. Наиболее часто используемая функция данного параметра – ограничение движения выбранного объекта при первом касании с другими элементами сборки (если ус-

тановлен флажок **Остановить при конфликте**). Этот параметр полезен при проверке возможности установки детали в сборку.

2. **Физическая динамика** – позволяет увидеть реалистичное движение компонентов сборки. Все детали отождествляются с абсолютно упругими телами и при попытке смещения/поворота одного из них выполняется попытка повторить кинематику движений всего механизма, описанную множеством сопряжений (т.е. происходит перемещение или вращение всей цепочки затрагиваемых компонентов в пределах допустимых степеней свободы). Проверка наличия конфликтов может выполняться с интервалом 0,02 ... 20 мм (в единицах измерения модели), поэтому если установить максимальную чувствительность, процесс пересчета модели займет значительное время.

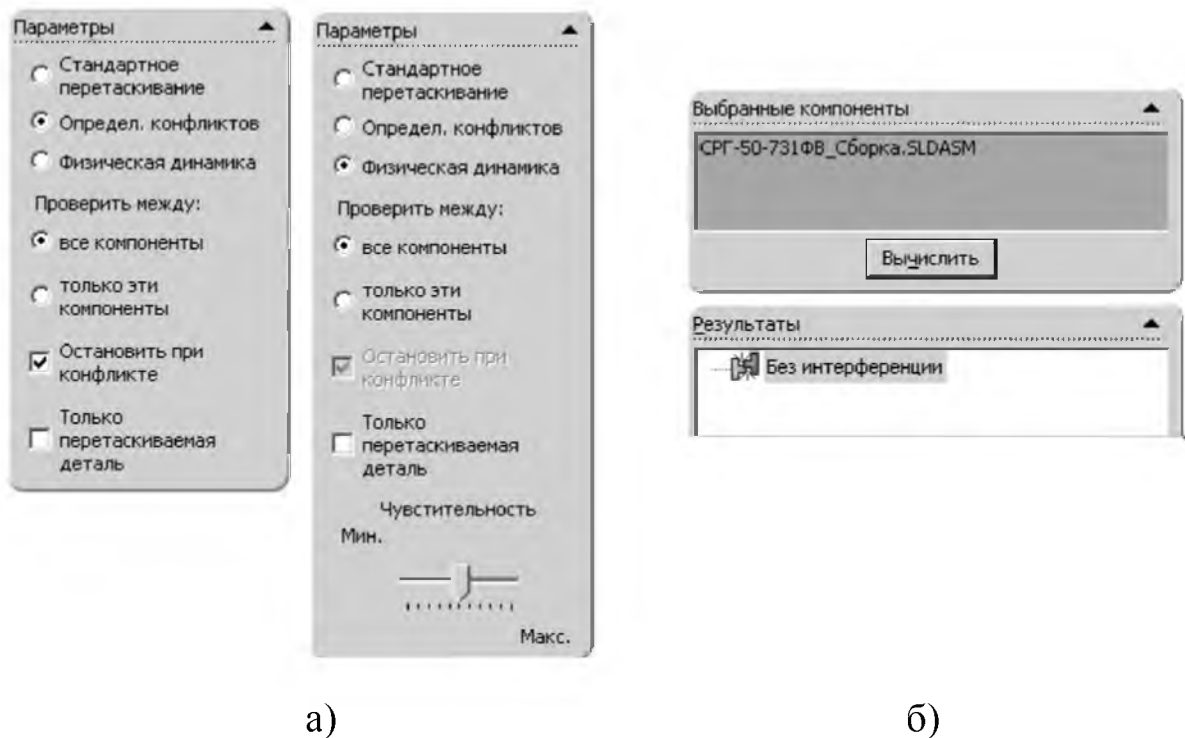



Рис. 4.3. Инструменты определения конфликтов и интерференции

В сложной сборке иногда трудно зрительно определить, где компоненты пересекаются друг с другом. С помощью инструмента **Проверки интерференции**  можно определить и отобразить интерференцию между компонентами. После выбора параметров и настройки следует нажать кнопку вычислить.


Обнаруженные интерференции перечислены в окне **Результаты**. Объем интерференции отображается справа от каждого списка. В

простейшем случае пользователь имеет возможность выбрать соответствующую интерференцию, при этом в графической области она будет выделена красным цветом.

Вид с разнесенными частями

Для визуального анализа взаимосвязи компонентов сборки необходимо отделить их друг от друга. Вид сборки с разнесенными частями является вспомогательным и не позволяет добавлять сопряжения в сборку.

Виды с разнесенными частями создаются путем выбора и перетаскивания деталей в графической области.

Разнесенный вид сборки хранится вместе с конфигурацией сборки (третья вкладка **Дерева построения**). Чтобы создать разнесенный вид, необходимо активизировать команду **Вид с разнесенными частями** . В окне **Настройка** следует выбрать один или несколько компонентов, которые требуется внести в соответствующий шаг разнесения. В области **Направление разнесения** задается ось системы координат, в направлении которой выполняется разнесение (любой отрезок прямой линии, включая кромки и элементы эскизов). В области **Расстояние разнесения** указывается величина разнесения компонента. При необходимости направление разнесения компонента возможно поменять на противоположное – кнопка **Реверс направления** (рис. 4.4).

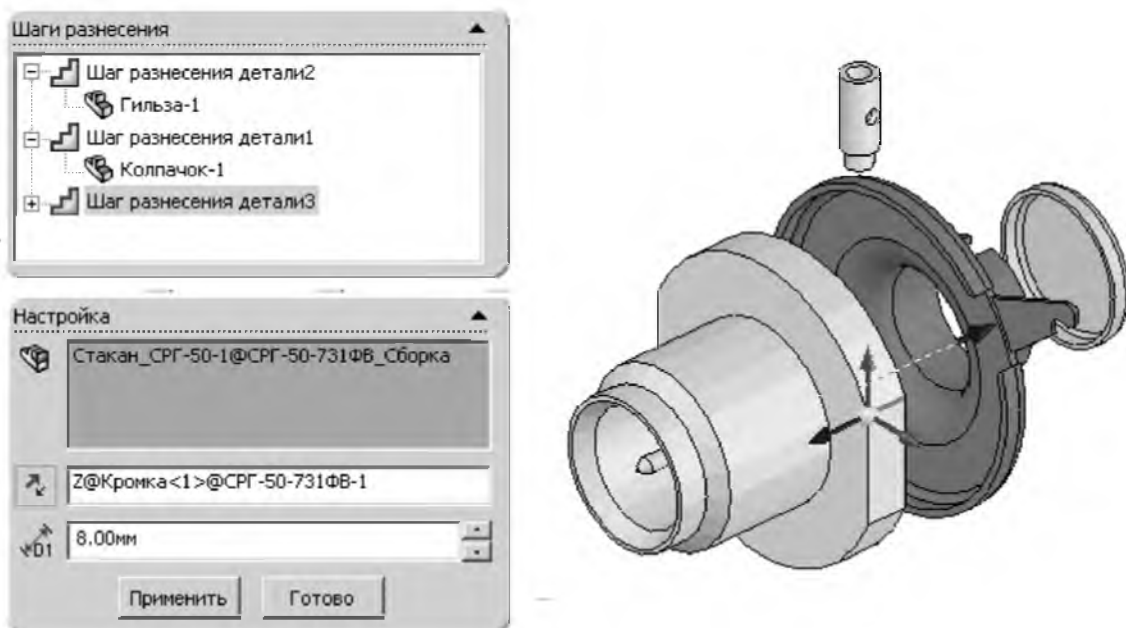


Рис. 4.4. Создание вида с разнесенными частями

Лабораторное задание

1. Выполнить построение трехмерной модели сборки розетки соединителя СРГ-50-731ФВ на основе предложенных трехмерных моделей деталей.

2. На основе выданной преподавателем трехмерной модели узла сборки печатной платы подобрать типовой корпус для монтажа блока. Построить трехмерную модель блока. Выполнить проверку интерференции, оценить собираемость конструкции инструментами *SolidWorks*.

3. Построить вид с разнесенными частями для разработанной модели блока электронной аппаратуры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложенный в лабораторных работах материал охватывает малую часть инструментов системы автоматизированного проектирования *SolidWorks*. Система включает полный цикл моделирования: от представления трехмерных моделей деталей и сборок, оформления двумерных чертежей до расчета механических характеристик методами численного моделирования и создания реалистичных изображений.

Расширение возможностей проектирования требует использования дополнительных инструментов и модулей *SolidWorks*. Вторая часть методических указаний будет направлена на изучение методов, связанных с особенностями проектирования изделий электронных средств.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дударева, Н.Ю. *SolidWorks 2007* / Н.Ю. Дударева, С.А. Загайко. – СПб. : БХВ-Петербург, 2007. – 1328 с. – ISBN 978-5-9775-0048-7.
2. Прохоренко, В.П. *SolidWorks 2005* : Практик. рук. – М. : Бином-Пресс, 2006. – 640 с. – ISBN 5-9518-0126-5.
3. URL : [http // www.solidworks.ru](http://www.solidworks.ru) (дата обращения 16.03.09).
4. URL : [http // www.3dcontentcentral.com](http://www.3dcontentcentral.com) (дата обращения 16.03.09).
5. 192.168.12.1 / Учебные материалы / Варакин / Практикум по САПР / *SolidWorks* (дата обращения 16.03.09).

Примечание. Позиция 5 списка – ссылка на ресурс URL ВлГУ.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
Лабораторная работа № 1. ИЗУЧЕНИЕ ОБЩИХ ПРИНЦИПОВ ТРЕХМЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ В САПР <i>SOLIDWORKS</i>	4
Лабораторная работа № 2. ПОСТРОЕНИЕ ПЛОСКИХ ЭСКИЗОВ В <i>SOLIDWORKS</i>	15
Лабораторная работа № 3. ПОСТРОЕНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЕТАЛЕЙ.....	26
Лабораторная работа № 4. ПОСТРОЕНИЕ СБОРОК В <i>SOLIDWORKS</i>	42
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	50
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	50