



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Белорусский национальный
технический университет**

Кафедра «Автомобили»

ТВЕРДОТЕЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

**Методические указания
к лабораторным работам (практикум)**

Часть 1

**Минск
БНТУ
2014**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Автомобили»

ТВЕРДОТЕЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
АВТОМОБИЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Методические указания
к лабораторным работам (практикум)
для студентов специальности 1-37 01 02
«Автомобилестроение (по направлениям)»

В 3 частях

Часть 1

Минск
БНТУ
2014

УДК 629.33.02–047.58:004(076.5)(075.8)

ББК 39.33я7

Т26

С о с т а в и т е л и :

Д. В. Вихренко, Д. В. Третьяк, Г. А. Дыко

Р е ц е н з е н т ы :

А. С. Гурский, А. И. Рахлей

Т26 **Твердотельное** моделирование автомобильных конструкций : методические указания к лабораторным работам (практикум) для студентов специальности 1-37 01 02 «Автомобилестроение (по направлениям)» : в 3 ч. / сост. : Д. В. Вихренко, Д. В. Третьяк, Г. А. Дыко. – Минск : БНТУ, 2014. – Ч. 1. – 59 с.
ISBN 978-985-550-063-7 (Ч. 1).

Методические указания предназначены студентам специальности 1-37 01 02 «Автомобилестроение (по направлениям)» для выполнения лабораторных работ на этапе изучения дисциплин, связанных с автоматизированным проектированием узлов и механизмов автомобиля.

Приводятся основные принципы и команды для моделирования твердого тела в системе САПР UNIGRAPHICS NX, подробное описание и алгоритмы работы команд модуля Modeling, справочные материалы.

УДК 629.33.02–047.58:004(076.5)(075.8)

ББК 39.33я7

ISBN 978-985-550-063-7 (Ч. 1)
ISBN 978-985-550-064-4

© Белорусский национальный
технический университет, 2014

ВВЕДЕНИЕ

Твердотельное моделирование является одной из важнейших областей знаний, необходимой для работы в системах САПР. Для успешного освоения трехмерного моделирования необходимо обладать знанием вычислительной техники, начертательной геометрии, черчения и систем САПР низшего уровня (типа AutoCAD).

Без использования трехмерных компьютерных моделей немислима работа промышленных предприятий, производящих сложные наукоемкие изделия. По виртуальной модели изделия определяются его массово-инерционные, прочностные и иные характеристики, контролируется взаимное расположение деталей, моделируются все виды обработки на станках с ЧПУ, по фотореалистичным изображениям отрабатывается внешний вид, выпускается документация. Системы САПР высшего уровня, к которым относится UNIGRAPHICS, обеспечивают интеграцию всего цикла создания изделия от проектирования, подготовки к производству до изготовления. Они позволяют конструировать детали с учетом особенностей материала (пластмасса, металлический лист); проводить динамический анализ сборки с имитацией сборочных приспособлений и инструмента; проектировать оснастку с моделированием процессов изготовления (процессы штамповки, литья, гибки). Это исключает брак в оснастке и делает ненужным изготовление натуральных макетов, то есть значительно уменьшаются затраты и время на подготовку к производству изделия. Программы математического анализа таких САПР включают прочностной, кинематический и динамический анализ. Моделирование механообработки позволяет оценить качество деталей с точки зрения их деформации. Кроме того, обеспечивается управление проектами на базе электронного документооборота.

Геометрическое моделирование в UNIGRAPHICS дает конструктору возможность быстро выполнить как концептуальный проект, так и детальное проектирование. Используется подход, основанный на типовых элементах формы, типовых операциях, эскизах, дающий возможность создать и интерактивно редактировать сложную твердотельную модель. Твердотельное моделирование дает конструктору метод моделирования, который интуитивно легче и понятнее, чем традиционное проволочное и поверхностное моделирование.

Лабораторная работа № 1

СОЗДАНИЕ ТВЕРДОГО ТЕЛА НА ОСНОВЕ ЭСКИЗА

Существуют два метода построения твердого тела:

1. Перемещение (протягивание) эскиза или любых кривых. Во время перемещения кривые образуют объем, моделируя твердое тело.

2. Создание примитивных элементов формы и их объединение, вычитание или пересечение и последующее добавление деталей.

Первый метод позволяет сразу получить сложную геометрию. Он особенно удобен, если используется эскиз, дает удобные средства контроля над геометрией твердого тела. Редактирование тела осуществляется изменением либо параметров самой функции переноса, либо эскиза.

Используя метод типовых элементов и операций, можно легко создать сложное твердое тело, имеющее отверстия, карманы, пазы и другие типовые элементы. После создания геометрии есть возможность прямого редактирования любого из использованных элементов. Например, можно изменить диаметр и глубину ранее заданного отверстия.

Стратегия, которая используется для создания и редактирования модели, зависит от ее сложности. Как правило, используется несколько различных методов. Например, начинают с эскиза, который задает основную форму профиля детали. Затем, используя операцию вращения или переноса, создают основную геометрию детали. Окончательно добавляются такие элементы формы, как фаски, отверстия, пазы и т. д.

Создание эскиза

Эскиз (Sketch) – это специальный набор функций, который дает возможность задать плоский контур кривых, управляемых размерами. Эскиз начинает создаваться с приблизитель-

ного определения контура кривых. Затем задаются ограничения, которые точно определяют форму эскиза. Каждая кривая в контуре считается объектом, принадлежащим эскизу. Изменение геометрии эскиза автоматически отражается на геометрии построенного на его базе твердого тела.

Для создания нового эскиза необходимо выполнить команду **Insert** → **Sketch** [**Вставить** → **Эскиз**], задать плоскость или плоскую грань тела для размещения на ней эскиза.

Порядок создания геометрии эскиза

После активизации эскиза создается контур кривых, приблизительно соответствующий требуемой форме детали.

Контур задается линиями по командам палитры **Sketch Curve** [**Кривая эскиза**] или из меню **Insert** [**Вставить**]. Здесь можно использовать следующие типы кривых: прямую **Line**, дугу **Arc**, окружность **Circle**, скругление **Fillet**, прямоугольник **Rectangle**, сплайн **Spline** и др. Кроме этого, для построения непрерывной цепочки, состоящей из прямых линий и дуг, имеет смысл использовать команду **Profile** [**Профиль**].

Для редактирования построенных линий используются операции из меню **Edit** [**Изменить**]: **Quick Trim** [**Быстрая обрезка**] – удаляется сегмент выбранной линии до ближайшего пересечения, **Quick Extend** [**Быстрое расширение**] – выбранная линия продлевается до ближайшего пересечения, **Make Corner** [**Сделать угол**] – две выбранные линии либо продлеваются до пересечения, либо обрезаются после пересечения, а также **Edit Curve** [**Изменить кривые**] – набор команд, с помощью которых можно изменять задающие точки, радиус скругления и др.

При создании линий на них могут накладываться автоматические ограничения согласно установкам **Preferences** → **Sketch** [**Настройки** → **Эскиз**] (например, по умолчанию, если линия отклоняется от вертикали или горизонтали менее чем на 3°, она автоматически становится вертикальной или горизонтальной). Кроме того, при построении линии при движе-

нии мыши по экрану при создании первой точки система показывает ее координаты, а при создании второй точки система в интерактивном режиме показывает возможные ограничения, а также длину и угол наклона строящейся линии.

Однако для точного задания положения линий в эскизе служат размерные и геометрические ограничения. При наложении ограничений система изображает степени свободы точек эскиза в виде желтых стрелок. По мере задания ограничений степени свободы исчезают. Полностью однозначно заданный эскиз не имеет степеней свободы.

Размерные ограничения **Insert** → **Dimensios** определяют такие параметры, как длины прямой, размеры радиусов и т. д., или такие соотношения между геометрическими элементами, как расстояние, угол между прямыми (табл. 1.1). На размерные ограничения можно смотреть как на размеры на чертеже.

Таблица 1.1

Опции задания размерных ограничений

Опция	Иконка	Описание
1	2	3
Inferred [Наслед.]		В этой опции выбирается геометрический объект на эскизе, а система сама выбирает тип размера, который необходимо использовать
Horizontal [Горизонтальный]		Горизонтальный размер – параллельно оси <i>X</i> эскиза
Vertical [Вертикальный]		Вертикальный размер – параллельно оси <i>Y</i> эскиза
Parallel [Параллельный]		Расстояние между двумя точками
Perpendicular [Перпендикулярный]		Расстояние от точки до прямой, вычисленное по перпендикуляру до прямой

Окончание табл. 1.1

1	2	3
Diameter [Диаметр]		Диаметр окружности
Radius [Радиус]		Радиус дуги для любой дуги окружности на эскизе
Angular [Угловой]		Угловой размер между парой прямых эскиза. Угол измеряется в направлении против часовой стрелки от первой прямой ко второй
Perimeter [Периметр]		Длина периметра для группы линий эскиза – прямых и дуг окружности (этот размер не изображается в графическом окне)

После выбора типа размера и объекта (объектов) на экране появляется изображение размерной выноски со значением размера. После задания мышью расположения выноски появляется диалоговое поле, в котором можно присвоить новое имя и задать новое значение размера. При необходимости можно открыть полное окно **Dimensions [Размеры]**, нажав в графическом поле на иконку **Sketch Dimension Dialog [Меню размеров эскиза]**. Здесь можно дополнительно проследить изменение эскиза при изменении текущего размера бегунком, а также изменить высоту текста размера **Text Height [Высота текста]**, изменить положение размерного текста, удалить размер, выделив его в окне или на экране **Remove Highlighted [Удалить подсвеченный]**.

Может сложиться ситуация, когда заданы избыточные размеры. В этом случае их цвет изменяется на желтый и лишний размер можно конвертировать в справочный (неактивный, который будет изображаться на экране, но изменить напрямую


его нельзя) с помощью команды **Convert To/From Reference [Преобразовать в/из ссылочного]**.

Геометрические ограничения **Constraints [Ограничения]** дают возможность задать условия, которым должны удовлетворять отдельные элементы эскиза или соотношения между элементами эскизами. При расчете эскиза геометрические ограничения учитываются наравне с размерными.




При выборе объекта (объектов) эскиза система изображает палитру с иконками ограничений, которые могут быть применены в данный момент (табл. 1.2). Для задания ограничения надо выбрать его иконку. Возможно, после этого система попросит указать дополнительную геометрию, необходимую для применения ограничения.

Таблица 1.2

Опции задания размерных ограничений

Ограничение	Иконка	Описание
1	2	3
Fix [Фиксированный]		<p>Это ограничение задает условие постоянного значения параметров, смысл которого зависит от типа выбранного объекта:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Точка – фиксированное положение точки; - Отрезок прямой – фиксированный угол наклона; - Конечные точки кривых – фиксированное положение точки; - Центр окружности, эллипса – фиксированное положение центра; - Дуга окружности – фиксированное значение радиуса и положения центра окружности; - Дуга эллипса – фиксированное значение радиусов и положения центра эллипса; - Контрольные точки слайна – фиксированное значение контрольных точек. <p>Правильный выбор объекта в момент фиксации сильно влияет на систему ограничений, наложенных на эскиз</p>

Окончание табл. 1.2

1	2	3
Coincident [Совпадающие]		Две и более точки имеют одинаковые координаты
Concentric [Концентрические]		Две и более окружности имеют один центр
Collinear [Коллинеарные]		Две и более прямые лежат на одной бесконечной прямой
Point on Curve [Точка на кривой]		Выбранная точка лежит на указанной кривой
Midpoint [Средняя точка]		Средняя точка для отрезка прямой и дуги окружности. Кривая должна быть выбрана не за конечные точки
Horizontal [Горизонтальный]		Горизонтальная прямая
Vertical [Вертикальный]		Вертикальная прямая
Parallel [Параллельный]		Две или более параллельных прямых или эллипсов
Perpendicular [Перпендикулярный]		Две прямые или два эллипса, перпендикулярные друг другу
Tangent [Касательно]		Две касательные кривые
Equal Length [Равная длина]		Прямые одинаковой длины
Equal Radius [Равный радиус]		Окружности одинакового радиуса
Constant Length [Постоянная длина]		Прямая постоянной длины
Constant Angle [Постоянный угол]		Прямая постоянного наклона
Mirror [Зеркальная симметрия]		Два объекта являются зеркальным отражением друг друга

Для просмотра наложенных ограничений можно воспользоваться командой **Show All Constraints** [**Показать все ограничения**].

Для просмотра и удаления наложенных ограничений можно воспользоваться командой **Show/Remove Constrain** [**Показать/удалить ограничения**]. В то время как открыто это окно, при приближении курсора мыши к линиям эскиза в графическом окне возле них появляются символы ограничений, помогающие сориентироваться в наложенных ограничениях.

*Функция **Mirror Curve** [Зеркальная кривая]*

Функция зеркального отражения, доступная из меню **Insert** [**Вставить**], используется в случае, если контур имеет ось симметрии. Для этого надо выбрать линию, которая будет использоваться в качестве оси симметрии **Mirror Centerline** [**Ось симметрии**] и линии контура для симметрии **Curve to Mirror** [**Кривая для зеркала**]. После нажатия кнопки **OK** или **Apply** [**Принять**] выбранный контур отобразится относительно линии симметрии, а сама линия станет неактивной – она не будет участвовать в построении тела на основе эскиза.

*Функция **Alternate Solution** [Альтернативное решение]*

Эта команда из меню **Tools** → **Constraints** [**Инструменты** → **Ограничения**] дает возможность переключиться на другое «альтернативное» решение эскиза, которое не противоречит наложенной схеме размерных и геометрических ограничений. Например, условие касательности двух окружностей выполняется как в случае нахождения одной окружности внутри другой, так и снаружи. То же относится к образмериванию паза либо выступа относительно одной базы (рис. 1.1).

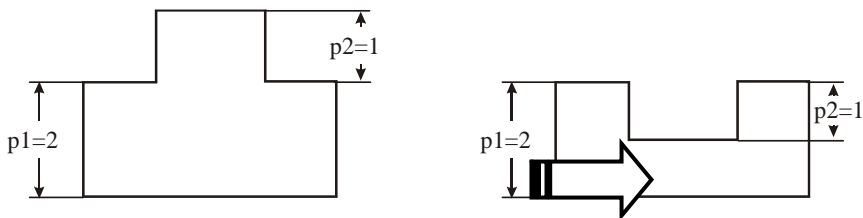


Рис. 1.1. Пример работы команды **Alternate Solution**
[Альтернативное решение]

Функция Animate Dimension [Анимация размера]

Команда **Animate Dimension** из меню **Tools → Constraints [Инструменты → Ограничения]** позволяет оценить динамическое изменение выбранного размера в заданном диапазоне – от нижнего значения **Lower Limit** до верхнего **Upper Limit**. Вместе с размером меняется и связанная с ним геометрия эскиза. После завершения функции эскиз возвращается к исходным размерам.

Функция Convert To/From Reference [Преобразовать в/из ссылочного]

После выбора функции из меню **Tools → Constraints [Инструменты → Ограничения]** система выводит диалоговое окно для переключения статуса кривых и размеров эскиза. Можно превратить активную кривую в ссылочную или превратить активный размер в размер для справки.

Ссылочная кривая – это кривая, которая изображается вместе с эскизом и рассчитывается как и другие кривые. Она изображается серой пунктирной линией. Ее отличие состоит в том, что она не выбирается в качестве кривых контура для построения твердого тела.

Для преобразования кривой (размера) в ссылочную кривую (справочный размер) и обратно необходимо:

– выбрать тип **Reference** [Ссылка] для преобразования кривой в ссылочную или **Active** [Активный] для обратного преобразования;

– выбрать нужные кривые и размеры;

– нажать кнопку **OK** или **Apply** [Принять].

Функция Offset Projected Curves [Смещение выделенных кривых]

С помощью команды **Offset Projected Curves** из меню **Edit** [Изменить] можно построить эквидистанту для кривых эскиза, полученных добавлением ребер тела и другой ассоциативной геометрии. При изменении базовой кривой эквидистанта будет также автоматически обновляться. Опции и параметры диалога подобны команде **Insert → Curve from Curves → Offset** [Вставить → Операции с кривыми → Смещение]. В простейшем случае достаточно задать расстояние **Distance**. Направление построения эквидистанты показывается вектором и изменяется командой **Reverse Direction** [Сменить направление].

Управление эскизом

К командам управления эскизом относятся команды позиционирования эскиза и добавления в него геометрии.

Функции позиционирования

Команды меню **Tools → Positioning Dimensions** [Инструменты → Размеры позиционирования] позволяют **создать (Create)**, **изменить (Edit)**, **удалить (Delete)** либо **переопределить (Redefine)** позиционный размер, который позволяет определить положение эскиза относительно других частей твердого тела заданием размеров до ребер, координатных плоскостей, граней и координатных осей. После выбора команды создания система выводит стандартное диалоговое окно позиционирования с возможными способами определения позиционных размеров.

Функция Reattach [Переприсоединить]

С помощью этой команды из меню **Tools [Инструменты]** можно изменить привязку эскиза – задать новую грань тела или плоскость для размещения эскиза и горизонтальное или вертикальное направление.

Эскиз можно привязать только к той грани, которая по дереву построения создана раньше самого эскиза.

Функции добавления кривых к эскизу

В меню **Insert [Вставить]** есть команды добавления кривых к эскизу. Командой **Existing Curves [Существующие кривые]** можно добавить кривые и точки к активному эскизу, лежащие в той же плоскости, что и эскиз. При добавлении система не накладывает на них никаких геометрических ограничений и не убирает возможные разрывы между эскизом и добавленной геометрией. Для наложения ограничений можно воспользоваться командой автоматического создания ограничений **Automatic Constraint Creation [Автосоздание ограничений]**. Если кривые получены в результате операции, сохраняющей ассоциативную связь со своими исходными элементами (проекции, эквидистанты, сплайны по законам), то они не могут быть добавлены в эскиз. Для добавления таких кривых в эскиз необходимо воспользоваться командой **Project [Кривая проекции]**.

Этой командой можно добавлять в эскиз ребра, кривые с другого эскиза и кривые, которые являются результатом выполнения ассоциативных операций построения.

Цепочки, выделенные из ассоциативных кривых, содержат ассоциативную связь с основной геометрией. Если основные кривые изменяются, то цепочка кривых, добавленных к эскизу, тоже изменяется. Если основные кривые подавлены, цепочка кривых остается видимой на эскизе.

Если выбрана поверхность, ее ребра автоматически включаются в эскиз. При любом изменении грани, в том числе и

при изменении ее топологии (тип и число ребер на грани), кривые на эскизе будут автоматически обновляться.

Эскиз не может содержать позиционные размеры и ассоциативные добавленные объекты одновременно. Если в эскизе уже есть что-либо одно, то добавление другого вызывает сообщение об ошибке. Позиционные размеры можно удалить с помощью команды удаления позиционных размеров.

Функция Edit Defining String [Изменить заданную цепочку]

Функция **Edit Defining String** дает возможность добавить или удалить кривые из цепочки кривых, которая определена, например, в качестве контура или направляющей для операций построения твердого тела.

После выбора этой команды система переключается в режим добавления или исключения кривых из задающей цепочки. Для добавления кривой ее надо выбрать с помощью левой кнопки мыши **MB1**. Для удаления кривой ее надо выбрать с помощью левой кнопки с одновременным нажатием клавиши верхнего регистра **Shift + MB1**.

В окне **Edit String [Изменить цепочку]** расположен список имен операций, при построении которых использовался эскиз. Надо выбрать операцию, для которой изменяется контур. После выбора операции система подсвечивает тот контур, который использовался для ее определения.

Если для изменения доступен как контур, так и направляющая, то необходимо указать соответствующую опцию в поле **String Type [Тип цепочки] – сечение Section или направляющая Guide**.

Для завершения работы с эскизом надо выбрать команду **Task → Finish Sketch [Задача → Закончить эскиз]** либо одноименную иконку на панели инструментов.

Для редактирования объектов эскиза необходимо воспользоваться командой **Edit → Sketch [Изменить → Эскиз]** и указать эскиз для редактирования либо дважды указать его мышью.

Получение твердого тела

Твердое тело может быть построено переносом либо вращением задающего контура. Задающим контуром может быть как эскиз, так и отдельная кривая или цепочка кривых или грань тела.


Существуют три типа так называемых протягиваемых тел: тело вытягивания (**Extruded Body**), тело вращения (**Revolved Body**) и создание вдоль заданной направляющей (**Sweep along Guide**). Команды построения таких тел находятся в меню **Insert** → **Design Feature** [**Вставить** → **Элементы проектирования**].

Для каждого выбранного контура строится одно типовое тело. В зависимости от опции, установленной в настройке **Preference** → **Modeling** [**Настройки** → **Моделирование**], строится либо объемное тело **Solid Body**, либо листовое тело **Sheet Body**.

Ассоциативность между создаваемым телом и геометрией, использованной при его создании, состоит в том, что:

- тело ассоциативно связано с задающей кривой, любое изменение задающей кривой автоматически изменяет и тело;
- если направление переноса задано ссылкой на ребро тела или координатную ось, изменение последних приведет к изменению направления заметания;
- если в качестве ограничений перемещения выбраны грани тела или координатные плоскости, изменение приведет к изменению границ построения заметаемого тела.

Extrude [**Вытягивание**]

Функция **Extrude** [**Вытягивание**]  дает возможность построить тело как результат плоскопараллельного переноса задающего контура в произвольном направлении на ненулевую дистанцию.

Для контура можно выбирать:

- грань тела – будут выбраны все его ребра;
- листовое тело – будут выбраны все его ребра;

- ребра твердого тела;
- отдельные кривые или цепочку кривых;
- эскиз.

Можно использовать разомкнутую или замкнутую кривую. При использовании открытой цепочки результатом построения будет **Листовое тело [Sheet Body]**. При использовании замкнутой цепочки результатом построения будет **Твердое тело [Solid Body]**.

При использовании в качестве задающей кривой эскиза следующие его модификации автоматически отражаются на теле, построенном на его основе. Если эскиз имеет несколько однозначных контуров, то система строит тело для каждого из них.

Когда в качестве контура используются пересекающиеся кривые или кривые и ребра, опция **Stop at Intersection [Остановка по пересечению]** в палитре выбора позволяет задать замкнутую область в виде контура для переноса.

При вызове команды **Extrude [Вытягивание]** открывается соответствующее диалоговое окно, в котором задаются необходимые параметры.

Так, в поле **Direction [Направление]** задается необходимое направление вытягивания. По умолчанию вектор вытягивания перпендикулярен плоскости задающей кривой. Если выбран неплоский задающий контур, то система не может выбрать направление по умолчанию. Если выбранный контур замкнутый, вектор изображен в центре сечения. Если выбранный контур открытый, то вектор изображен в начальной точке первой кривой контура. Если геометрический объект выбирается в качестве ссылки для направления переноса, то его изменение приведет к изменению построенного тела переноса.

В поле **Limits [Ограничения]** задаются значения дистанций, измеряемые от плоскости задающей кривой в направлении переноса. Начальное и конечное расстояние переноса определяет длину тела. Система создает тело плоскопараллельным переносом задающего контура от начального до конечного расстояния.

Расстояния измеряются от плоскости базовой кривой в направлении переноса. Значение расстояния **0** означает, что начало тела совпадает с плоскостью задающей кривой. Например, значение **Start = 0 End = 1** означает, что тело вытягивания строится от плоскости задающей кривой и имеет конечное значение расстояния **1**. Для обоих расстояний система создает математические выражения.

В качестве границ создаваемого тела переноса также могут выступать другие объекты. Для их задания в соответствующем окне поля **Limits (Start или End)** надо выбрать один из элементов списка:

– **Значение [Value]** – тело строится по указанному расстоянию;

Следующий [Next] – тело строится до ближайшего ограничивающего элемента (грани);

Выбрано [Selected] – тело строится до указанного мышью ограничивающего элемента (грани);

Расширено [Extended] – тело строится до указанного мышью ограничивающего элемента (грани). Если этот элемент недостаточен по размеру, он «расширяется»;

Через все [Through All] – тело вытягивания вычитается из нескольких тел, имеющих в модели. Этот метод исключает необходимость многократного построения тела вытягивания для выполнения операции над несколькими телами.

В поле **Offset [Смещение]** задаются значения смещений от задаваемой кривой, позволяющие создать тело определенной толщины (рис. 1.2). Для этого контур должен быть компланарным. При задании параметров система показывает пунктирной стрелкой положительное направление построения смещения.

В поле **Taper [Угол наклона]** задается отклонение боковых граней. Положительный угол наклона вызывает отклонение грани, направленное внутрь тела построения. Отрицательный угол наклона вызывает отклонение грани, направленное во внешнюю сторону от тела построения. Наклоняться могут

только плоские, цилиндрические и конические грани, имеющие ось вращения, совпадающую с направлением, от которого измеряется **наклон Taper**. Если в качестве геометрии выбрана окружность, которая создает отверстие в теле, то отверстие будет иметь наклон в направлении, противоположном по сравнению с внешними гранями тела.

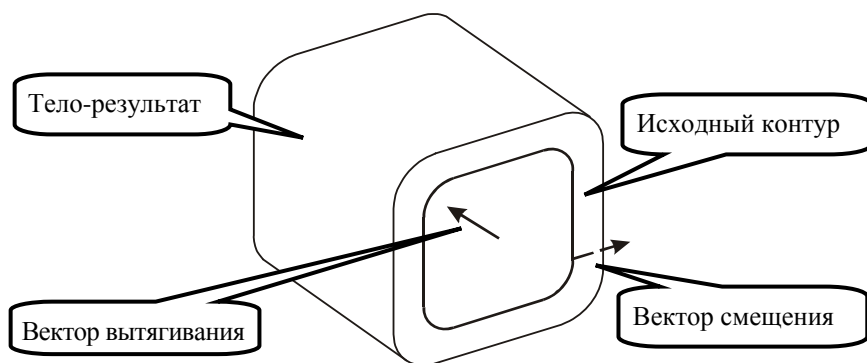



Рис. 1.2. Пример задания опций **Offset** [Смещение]

В поле **Boolean** [Булевы] указывается требуемая булева операция: **Create** [Создать], **Unite** [Объединение], **Subtract** [Вычитание] или **Intersect** [Пересечение].

Revolve [Вращение]

Команда **Revolve** [Вращение]  строит тело путем вращения задающей кривой вокруг заданной оси. Можно построить как полное тело вращения, так и выполнить поворот на заданный угол.

При вызове команды **Insert** → **Design Feature** → **Revolve** [Вставить → Элементы проектирования → Вращение] открывается соответствующее диалоговое окно и система переходит в режим интуитивного построения – при выборе объектов на экране система изображает возможное тело – результат

построения, при этом она принимает во внимание все указанные геометрические элементы.

Эта команда строит тело вращением задающей кривой вокруг заданной оси, то есть в отличие от команды **Extrude** [Вытягивание] здесь задается не вектор вытягивания, а ось вращения **Axis**. Можно построить как полное тело вращения, так и выполнить поворот на заданный угол.

Поля **Limits**, **Offset** и **Boolean** аналогичны таковым в команде построения тела вытягивания **Extrude**.

Тело вращения занимает пространство между начальным и конечным углами поворота, оно не может превышать 360°, углы измеряются от плоскости задающего контура. Смещения от задаваемой кривой позволяют создать тело определенной толщины.

Лабораторная работа № 2

СОЗДАНИЕ ТВЕРДОГО ТЕЛА НА ОСНОВЕ ПРИМИТИВОВ

Другой метод создания твердого тела – это создание примитивных элементов формы и их объединение, вычитание или пересечение и последующее добавление деталей. Используя метод типовых элементов и операций, можно легко создать сложное твердое тело, имеющее отверстия, карманы, пазы и другие типовые элементы. После создания геометрии есть возможность прямого редактирования любого из использованных элементов. Например, можно изменить диаметр и глубину ранее заданного отверстия.

Примитивы

Примитивы – это простые аналитические формы твердого тела: блок (Block), цилиндр (Cylinder), конус (Cone), сфера (Sphere).


После задания параметров построения примитива система запрашивает о булевой операции, которую надо выполнить с новым телом по отношению к существующему телу. К булевым операциям относятся операции объединения **Unite**, вычитания **Subtract** и пересечения **Intersect**. Для создания тела без применения булевой операции используется команда **Create [Создать]**. При выполнении булевых операций надо помнить:

- что если тело добавляется к существующему телу, оба тела должны иметь по крайней мере поверхности контакта;
- если тело вычитается (пересекается) из существующего тела, оба тела должны иметь общий объем;
- если новое тело не имеет контактов с другими телами, то единственно возможной операцией является операция создания нового тела.

Ориентация примитива связана с ориентацией рабочей системы координат, а положение задается привязкой с помощью функций **Point Subfunction [Конструктор точек]**.

Все команды построения примитивов находятся в меню **Insert → Design Feature [Вставить → Элементы проектирования]**.

Block [Блок]




Блок-параллелепипед  задается одним из трех способов, описанных ниже, а ориентация в пространстве определяется ориентацией рабочей системы координат WCS – ребра параллельны осям WCS.

Для построения блока необходимо:

- выбрать один из способов построения (табл. 2.1);
- задать необходимые параметры;
- при необходимости задать булеву операцию Boolean Operation;
- задать одну либо две точки (в зависимости от выбранного способа построения) и задать тело для выбранной булевой операции.

Таблица 2.1

Способы построения блока

Иконка	Наименование	Описание
	Origin, Edge Lengths	Начало, длина ребер – задание размеров вдоль осей WCS и точки привязки
	Two Points, Height	Две точки на диагонали основания, высота (по оси Z + WCS). Первая точка задает плоскость, параллельную плоскости XY, в которой лежит основание параллелепипеда. Если вторая заданная точка не лежит в этой плоскости, то она проецируется на нее
	Two Diagonal Points	Две диагональные точки. Система определяет длины сторон по разложению вектора от первой точки ко второй по координатным осям рабочей системы координат WCS

Cylinder [Цилиндр]



Цилиндр  создается после задания его размеров, ориентации и положения двумя способами (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Способы построения цилиндра

Способ	Описание
Axis, Diameter, Height [Ось, Диаметр, Высота]	Этот способ позволяет построить цилиндр, задав его ось (вектор и точку вставки), диаметр и высоту
Height, Arc [Высота и дуга]	Эта опция позволяет создать цилиндр, задав высоту и указав окружность, лежащую в его основании. Построенный цилиндр не ассоциирован с окружностью, лежащей в его основании

Cone [Конус]

Конус  создается после задания его размеров, ориентации и положения различными способами (рис. 2.1).

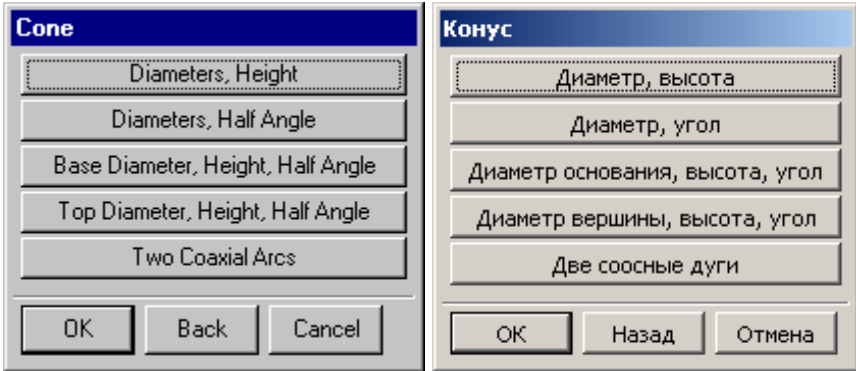


Рис. 2.1. Способы построения конуса

Направление конуса (то есть центральная ось) определяется с помощью функции задания вектора *Vector Subfunction*. Привязка основания конуса задается функцией задания точки *Point Subfunction*.

При построении конуса **По двум дугам [Two Coaxial Arcs]** (рис. 2.2) необходимо указать две окружности, лежащие в параллельных плоскостях. Указанные дуги окружностей не обязательно будут полными. Основание конуса совпадает с первой выбранной окружностью. Высота конуса – расстояние между плоскостями. Диаметр вершины равен диаметру второй выбранной окружности. Если окружности не имеют общей оси, то вторая из них перемещается до совмещения осей. Построенный конус не ассоциирован с выбранными окружностями.

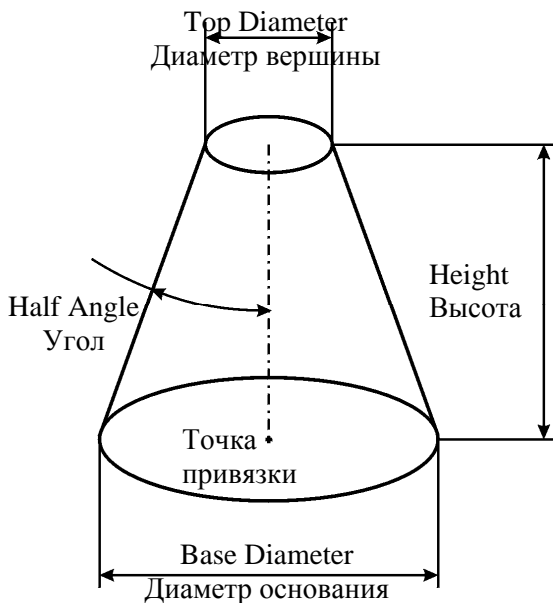



Рис. 2.2. Параметры построения конуса

Sphere [Сфера]

При построении сферы  можно выбрать между заданием диаметра и центра или образующей окружности (без ассоциативной связи), рис. 2.3.

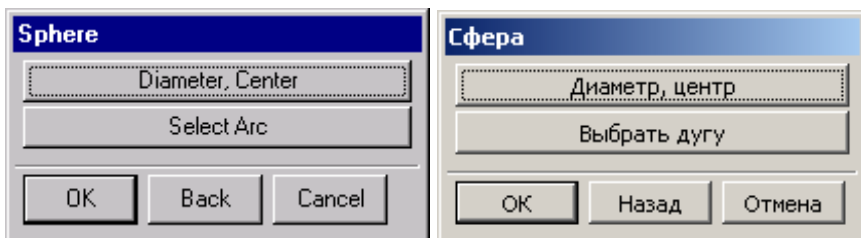


Рис. 2.3. Способы построения сферы

Типовые элементы формы, команды построения которых расположены в меню **Insert → Design Feature [Вставить → Элементы проектирования]**, используются для добавления деталей к существующему телу. Эти детали обычно имеют вполне определенную форму (отверстия **Hole**, пазы **Slot**, проточки **Groove**, карманы **Pocket**, бобышки **Boss** и выступы **Pad**). Все построенные элементы полностью ассоциативны с телом, на котором они построены.

Типовые элементы формы

Для того чтобы построить любой базовый элемент формы, необходимо:

- выбрать грань тела, с которой элемент будет ассоциирован;
- если это сквозной элемент (отверстие или паз), указать грань тела, на которой элемент «выскочит» наружу (необходимо установить статус **Насквозь [Thru]**);
- указать, если необходимо, горизонтальное направление, ассоциированное с элементом;
- ввести параметры, определяющие размер элемента;
- задать размеры, определяющие точное положение элемента на грани.

Для построения типового элемента формы на неплоской грани нужно воспользоваться вспомогательной плоскостью.










При построении некоторых типовых элементов на существующем теле (например, паза, выступа, бобышки и т. д.) необходимо указать ориентацию и привязку к основному телу с помощью меню позиционирования, появляющегося сразу после создания элемента, где расположены иконки соответствующих типов размеров (табл. 2.3).

Положение типового элемента задается относительно геометрии твердого тела, существующих кривых, координатной плоскости и координатных осей при помощи этих размерных ограничений – позиционных размеров. Размеры ассоциированы с геометрией твердого тела. Если на теле переместить или

удалить геометрические объекты, к которым привязан размер, то размеры также перенесутся или удалятся.

Таблица 2.3

Виды позиционных размеров

Наименование в английской версии	Наименование в русской версии	Иконка
Horizontal	Горизонтальный размер	
Vertical	Вертикальный размер	
Parallel	Параллельный (расстояние)	
Perpendicular	Перпендикулярный (расстояние до прямой)	
Parallel at a Distance	Параллельно на дистанции	
Angular	Угловой размер	
Point onto Point	Точка к точке	
Point onto Line	Точка на прямой	
Line onto Line	Прямая на прямой	

Для того чтобы построить позиционный размер, необходимо:

- выбрать тип позиционного размера;

- указать геометрию, связанную с размером, – сначала на базовом исходном объекте (кривой, плоскостью и т. д.) **Target Body**, затем на позиционируемом **Tool Body** (при позиционировании бобышки и отверстия система автоматически привязывает позиционный размер к центру окружности), для некоторых типов размеров можно выбрать цилиндрическую или коническую грань, выполнив команду **Identify Solid Face [Идентифицировать грань тела]**;

- ввести значение размера;
- выбрать команду **OK** для окончательного размещения элемента на грани.


Если выбрать горизонтальный и вертикальный размер, то система запросит геометрию, которая определит горизонтальное (вертикальное) направление на плоской грани. Для задания направления можно выбрать ребро, ссылочную ось, плоскую грань тела и ссылочную плоскость. Если выбрана плоскость, то горизонтальное (вертикальное) направление есть прямая пересечения выбранной плоскости и плоскости позиционирования элемента. Если система определит, что никакая геометрия не может быть выбрана как горизонтальная (вертикальная) ссылка, то она примет направление по умолчанию. Если удаляется элемент, геометрия которого использовалась для задания горизонтальной ссылки, горизонтальная ссылка пропадет.

Для полной привязки элемента необходимо, как правило, несколько ограничений. Полезно задавать такие размеры, которые следует контролировать в первую очередь либо значение которых должно сохраняться при редактировании базового размера.

Когда размер привязывается к ребру, система устанавливает связь между ребром и размером. Если позже построить скругление на этом ребре, система сохранит привязку размера к исходному ребру. Если создать скругление, затем удалить его и ребро, на котором находится подавленное скругление, использовать для задания позиционного размера, то при восстановлении скругления система выдаст предупреждение, что ребро, на котором задан позиционный размер, исчезает. Для сохранения размера необходимо отказаться от восстановления скругления, изменить порядок построения, воспользовавшись командой **Edit → Feature → Reorder [Изменить → Элементы → Изменить порядок построения]** так, чтобы позиционный размер предшествовал построению скругления, и только после этого восстановить скругление.

Паз, проточка, прямоугольный выступ и прямоугольный карман могут быть позиционированы по их осевой линии либо ребрам. Осевая линия таких элементов появляется только при выполнении функции задания позиционных размеров или их изменении. Для проточки осевая линия изображается в виде окружности, расположенной посередине между боковыми гранями проточки. Диаметр осевой линии равен диаметру проточки. Все остальные элементы имеют две прямые осевые линии: горизонтальную и вертикальную. Для задания размера относительно осевой линии сначала надо указать ребро на теле и затем осевую линию. Вместо ребра можно указать существующую кривую.


Hole [Отверстие]

Команда **Hole [Отверстие]**  удаляет материал из тела в форме нескольких стандартных отверстий: простое отверстие (**Simple**), отверстие с цековкой (**Counterbore**) и отверстие сзенковкой (**Countersink**).

Для построения надо выбрать тип отверстия, указать **Грань размещения [Placement Face]**, если надо построить сквозное отверстие, указать грань выхода отверстия **Thru Face [Сквозная грань]** и задать параметры (рис. 2.4).

После нажатия на кнопку **ОК** или **Apply [Принять]** система выводит меню позиционирования, позволяющее задать точное положение отверстия на грани. Если не задавать позиционных размеров, отверстие будет расположено в точке указания грани размещения.

Boss [Бобышка]

Команда **Boss [Бобышка]**  дает возможность создать на грани выступ цилиндрической или конической формы. Задаваемые параметры приведены на рис. 2.5.

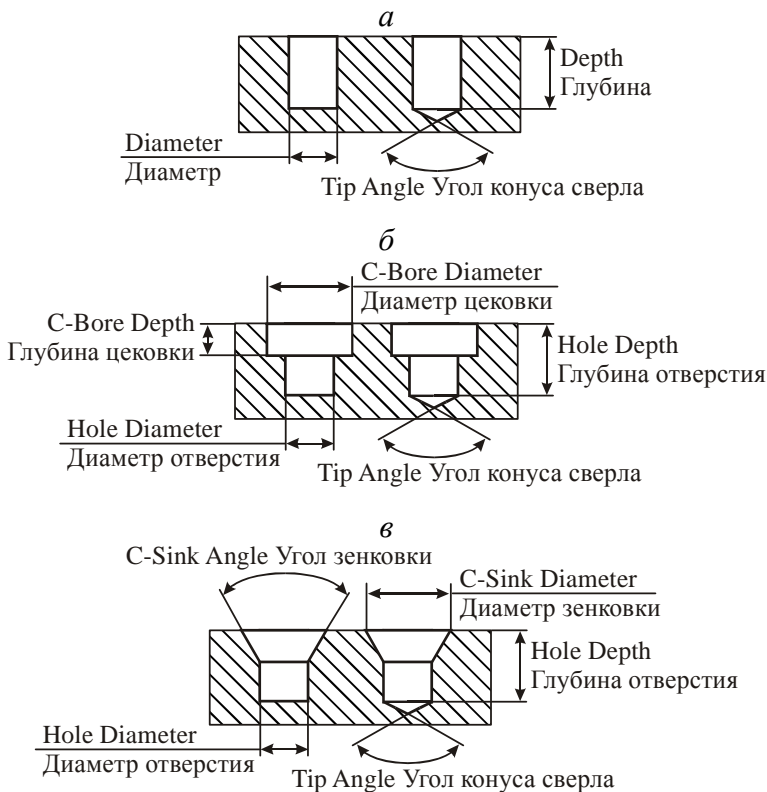


Рис. 2.4. Параметры построения отверстия:
a – простое отверстие; *б* – отверстие с цековкой; *в* – отверстие с зенковкой

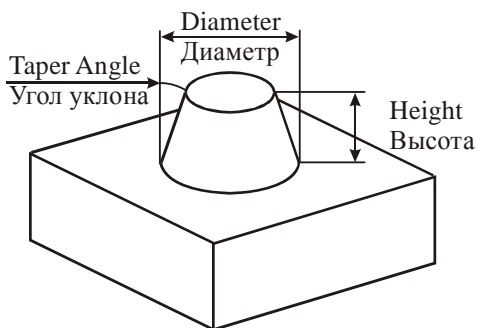



Рис. 2.5. Параметры построения бобышки

Pocket [Карман]

Команда **Pocket [Карман]**  используется для создания карманов (выемок) на теле (рис. 2.6).

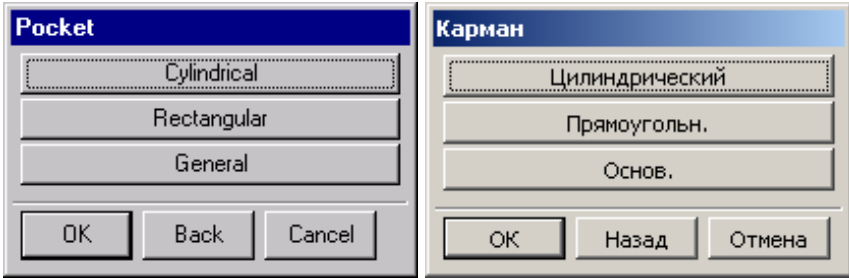


Рис. 2.6. Типы карманов

После выбора типа кармана надо указать грань размещения и задать его параметры (рис. 2.7, 2.8).

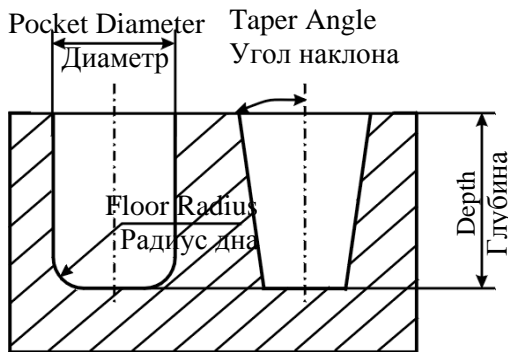


Рис. 2.7. Параметры цилиндрического кармана

Радиус скругления дна должен быть меньше, чем глубина, и меньше, чем половина диаметра кармана. Радиус боковых ребер должен быть больше или равен радиусу дна.

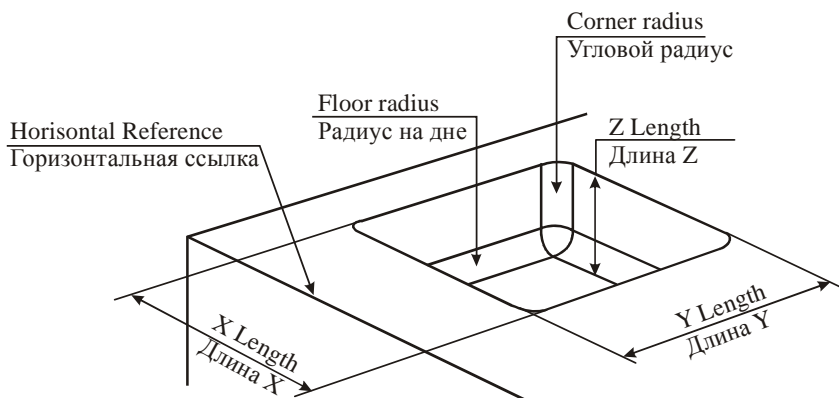


Рис. 2.8. Параметры прямоугольного кармана

Тип кармана **General [Общий]** используется, когда невозможно применить более простые цилиндрический и прямоугольный карманы, при этом:

- гранью, на которой размещается карман, может быть любая грань тела, а не обязательно плоскость;
- дно кармана, в свою очередь, также может быть определено произвольной поверхностью;
- контур кармана на грани размещения и на дне определяется двумя независимыми произвольными цепочками замкнутых кривых.

Основной обобщенный карман надо строить в следующем порядке:

- указать поверхность (грань) **Размещения кармана [Placement Face]**; ею может быть одна или несколько граней твердого тела;
- задать **Контур основания [Placement Outline]** – цепочка кривых, которая определяет форму кармана на верхней грани размещения. Если контур не лежит на грани, то его надо спроецировать на нее по нормали или вдоль фиксированного вектора с помощью команды **Placement Outline Projection Vector [Вектор проецирования для контура размещения]**. После выбора первой кривой система подсвечивает ее и задает на-

правление контура. Можно изменить направление на обратное **Reverse [Реверс]**. Направление контура имеет значение, если выбрано определение наклона по закону или отдельно задается контур на поверхности и на дне кармана. Эти контуры должны иметь одинаковое направление;

– при необходимости задать поверхность, определяющую дно кармана **Floor Face [Нижняя грань]**; если поверхность дна не выбрана, то она может определяться как эквидистанта от поверхности размещения (надо задать значение **Смещения [Offset]**) либо плоскопараллельным переносом (надо задать значение **Перемещения [Translation]**) плоскости размещения. Если дно кармана задается плоскопараллельным переносом, то надо задать **Вектор переноса для грани дна [Floor Face Translation Vector]**;

– при необходимости задать **Контур дна кармана [Floor Outline]**; если контур не лежит на поверхности дна, то его надо спроецировать на поверхность по нормали или вдоль фиксированного вектора с помощью команды **Floor Outline Projection Vector [Вектор проецирования для контура дна]**. После выбора первой кривой система подсвечивает ее и задает направление контура, которое можно изменить на обратное **Reverse [Реверс]**. Оба контура должны иметь одинаковое направление;

– если задаются оба контура и выбран **Метод выравнивания по точкам [Outline Alignment Points]**, то надо задать **Точки выравнивания на контуре основания [Placement Alignment Points]** и **На контуре дна [Floor Alignment Points]**;

– при необходимости – задать радиусы скругления между стенками кармана и гранью размещения **Placement Radius [Радиус основания]**, между стенками кармана и его дном **Floor Radius [Радиус дна]**, в углах контура **Corner Radius [Радиус угла]**, а также **Угол наклона кармана [Taper Angle]** и законы их изменения;

– при необходимости построения кармана на другом теле, отличном от грани размещения, выбрать **Target Body [Тело построения]**;

- при необходимости – отключить опцию **Attach Pocket** [**Присоединить карман**]. В этом случае система не присоединит карман к телу;
- нажать кнопку **Apply** [**Принять**].

Pad [Выступ]

Команда **Pad [Выступ]**  создает на грани выступ (рис. 2.9, 2.10).

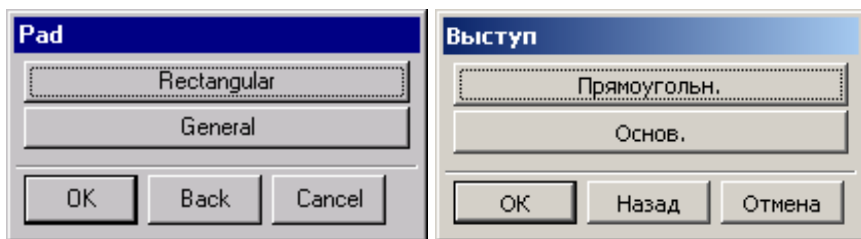


Рис. 2.9. Типы выступов

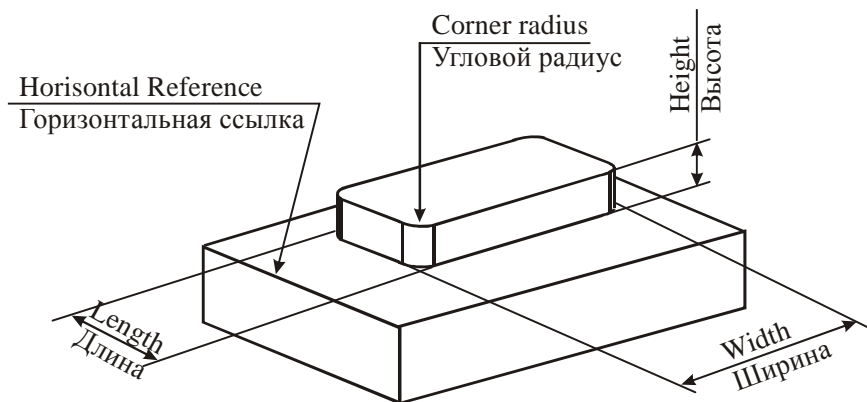



Рис. 2.10. Параметры прямоугольного выступа

Тип выступа **General [Общий]** используется в тех же случаях, что и карман аналогичного типа, когда невозможно

применить более простые цилиндрический и прямоугольный карманы. Порядок построения общего выступа такой же, как и общего кармана, с той разницей, что в отличие от кармана в этом случае материал добавляется к телу.

Slot [Паз]

Паз  удаляет материал из тела в форме продольных вырезов с закругленными концами либо проходящими насквозь от грани до грани.

Варианты создаваемых пазов отличаются формой поперечного сечения (рис. 2.11).

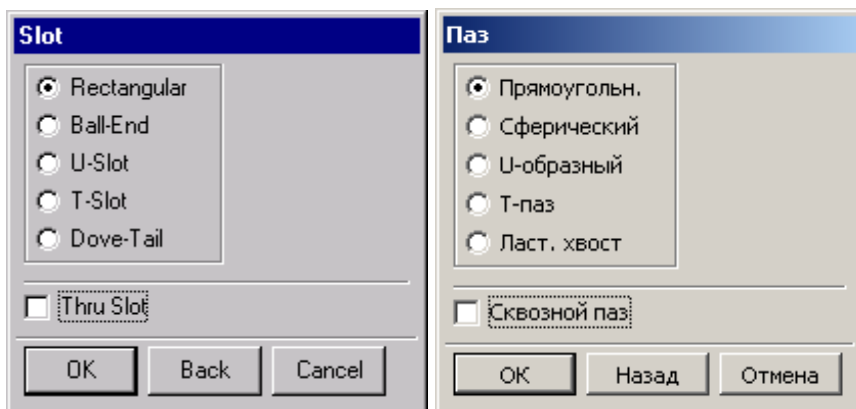
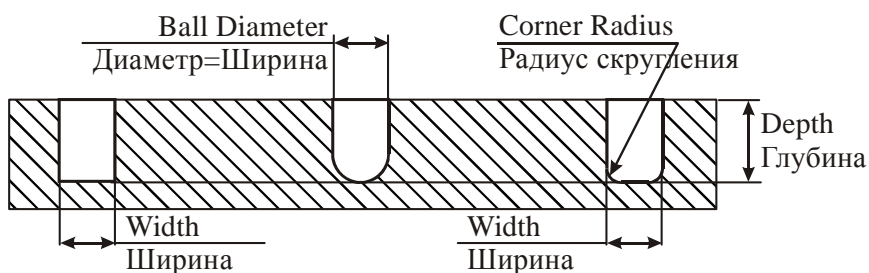


Рис. 2.11. Типы пазов

Если выбрана опция **Thru [Сквозной паз]**, то система запросит указать две грани, на которых паз выходит наружу.

Для задания паза необходимо указать плоскую **Грань размещения [Placement Face]**, задать **Горизонтальную ссылку [Horizontal Reference]**, вдоль которой будет располагаться паз, параметры паза – **Длину [Length]** – и параметры поперечного сечения (рис. 2.12).

Прямоугольный Полусферический U-образный



T-образный Ласточкин хвост

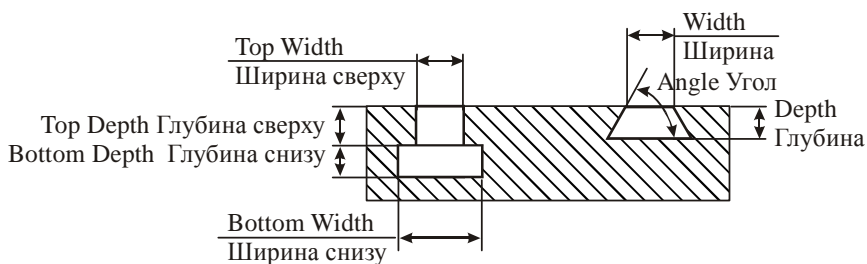



Рис. 2.12. Параметры пазов

Groove [Проточка]

Команда **Groove [Проточка]**  создает проточку на цилиндрической грани тела. Типы проточек различаются формой поперечного сечения (рис. 2.13, 2.14).

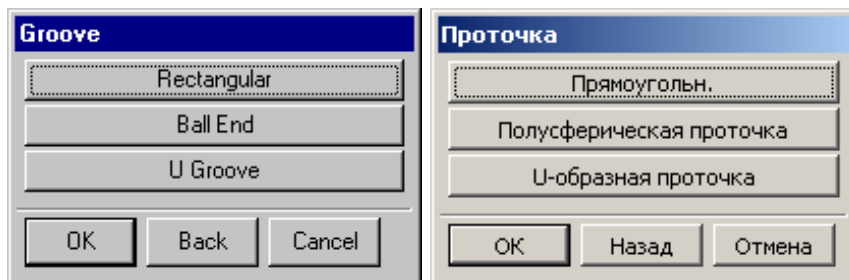


Рис. 2.13. Типы проточек

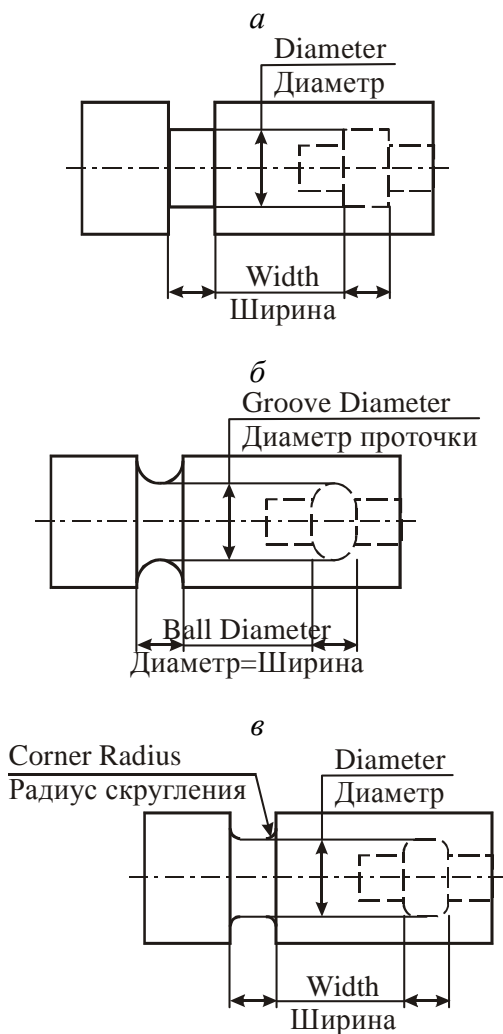


Рис. 2.14. Параметры проточки:
a – Rectangular [Прямоугольная проточка]; *б* – Ball-End [Полусферическая проточка]; *в* – U-Groove [U-образная проточка]

Проточка может быть построена только на цилиндрических и конических гранях. Система использует ось выбранной гра-

ни как ось вращения для построения проточки. Проточка автоматически ассоциируется с выбранной гранью. Можно построить как внешнюю, так и внутреннюю проточку.


Профиль проточки будет симметричен относительно плоскости, перпендикулярной оси вращения и проходящей через точку, в которой была указана грань.

Во время размещения проточки единственный размер, который можно задать, – положение элемента вдоль оси вращения. Поэтому после задания размеров проточки меню позиционирования не выводится. Вместо этого система сразу просит указать ребро на базовом теле, относительно которого задается размер до проточки.

Для построения проточки необходимо:

- выбрать тип сечения проточки;
- указать цилиндрическую или коническую грань;
- ввести параметры сечения проточки. Новое тело изображается в форме диска, который будет вычитаться из основного тела;
- для задания положения проточки на цилиндрической грани указать ребро на базовом теле;
- указать ребро на проточке или осевую линию;
- ввести нужное значение позиционного размера.

Thread [Резьба]

Команда **Thread [Резьба]**  создает символическую или точную резьбу на внешней или внутренней цилиндрической поверхности (рис. 2.15).

Символическая резьба [**Symbolic**] изображается в виде пунктирной окружности вокруг цилиндрической грани, на которой она должна быть на реальной детали.

Точная резьба [**Detailed**] полностью создает твердотельную геометрическую модель резьбы. Она полностью ассоциативна с геометрией твердого тела.

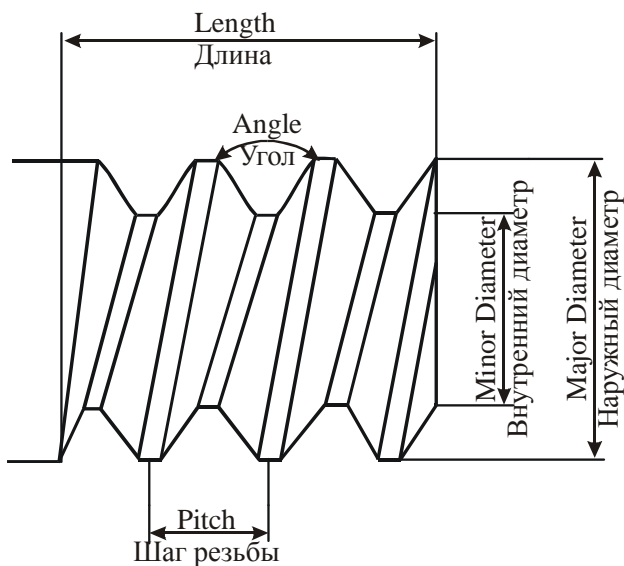


Рис. 2.15. Параметры резьбы

Точная резьба выглядит более реалистично, чем символическая. Однако ее расчет требует больше времени, так как приводит к созданию очень сложной геометрической модели. Преимущество символической резьбы заключается в скорости расчета и отображения и настройке на стандартную таблицу параметров, поэтому рекомендуется использовать символическую резьбу, за исключением тех случаев, когда нужна точная геометрия.

Для того чтобы построить резьбу, необходимо:

- выбрать тип резьбы – **Символическая [Symbolic]** или **Точная [Detailed]**;
- при построении символической резьбы выбрать **метод** изготовления резьбы [**Method**] и **форму** [**Form**]. Этот параметр будет определять, какую таблицу будет использовать система для определения параметров резьбы по умолчанию;
- выбрать цилиндрическую грань;

– при построении символической резьбы задать **Количество заходов** резьбы [**Number of Starts**]; выбрать опцию **Tapered** [**Наклонная**], если необходима коническая резьба; выбрать опцию **Full Thread** [**Полная резьба**], если резьба идет по всей длине цилиндрической грани. Если выбранный элемент является членом массива элементов, то надо указать, строить ли резьбу для остальных элементов массива **Include Instance** [**Включить массивы**];

– определить направление резьбы **Right Hand** [**Правосторонняя резьба**] или **Left Hand** [**Левосторонняя резьба**];


– при необходимости можно переопределить плоскую грань начала резьбы, выполнив команду **Select Start** [**Выбрать начало**];

– выбрать команду **OK** или **Apply** [**Принять**] для построения резьбы.

Типовые операции построения

Операции построения используются для изменения формы уже построенного тела и его элементов. Команды операций построения находятся в подменю **Insert** → **Detail Feature** [**Вставить** → **Конструктивный элемент**].

Edge Blend [*Скругление ребра*]

Команда **Edge Blend** [**Скругление ребра**]  позволяет скруглять ребра листовых и твердых тел постоянным и переменным радиусом.

Ограничения и рекомендации:

– нельзя скруглить ребро между двумя плавно сопряженными гранями;

– ребро, ограниченное в точке касания, может быть скруглено;

– два противоположных ребра четырехгранного угла могут быть скруглены, если выполнять операцию скругления по очереди: сначала для одного ребра, а затем для другого;

– не может быть скруглено ребро, содержащее вырожденные точки поверхности, например, вершина тела, похожего на конус;

– радиус скругления должен соответствовать геометрии грани. Например, должно быть возможным построение поверхности, эквидистантной скругляемой грани, с величиной эквидистанты, равной радиусу скругления;

– само скругляемое ребро не может иметь кривизну больше, чем радиус скругления;

– эквидистантные поверхности, построенные для обеих скругляемых граней, должны пересекаться друг с другом;

– эквидистантные поверхности не должны самопересекаться;

– если грани тела имеют кривизну больше радиуса скругления, то такое построение невозможно;

– желательно применить скругление одновременно ко всем скругляемым ребрам.

При вызове команды **Insert → Detail Feature → Edge Blend [Вставить → Конструктивный элемент → Скругление ребра]** открывается соответствующее диалоговое окно и система переходит в режим интуитивного построения: при выборе объектов на экране система изображает возможное тело – результат построения, система принимает во внимание все указанные геометрические элементы.

В простейшем случае достаточно задать **Radius 1 [Радиус 1]** в поле **Edge to Blend [Ребро для скругления]**. При необходимости можно задать переменный радиус скругления в поле **Variable Radius Point [Точки переменного радиуса]**, для чего надо указать точки переменного радиуса и собственно значение радиуса в этих точках **V Radius**.

При скруглении трех ребер, сходящихся в одной точке, можно задать такое скругление, при котором на гранях не об-

разуется углов (рис. 2.16). Для этого в поле **Corner Setback** [Задержка в угле] надо указать угол схождения ребер и задать **Расстояния отката** [Setback Distance D_0 , D_1 , D_2].

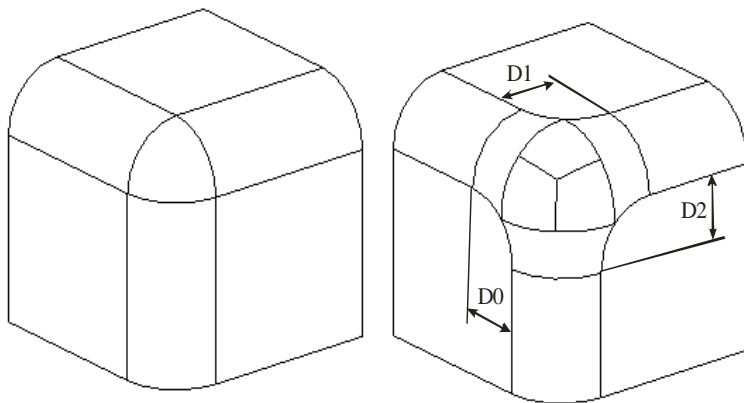


Рис. 2.16. Параметры скругления при схождении в одной точке

При необходимости можно задать скругление не всего ребра, а только его части в поле **Stop Short of Corner** [Досрочная остановка в угле]: указываются точка, до которой не должно доходить скругление, и расстояние до нее в процентах.

Если заданных параметров достаточно для построения скругления, можно нажать кнопку **ОК**.

Опции перекрытия [Overflow Resolutions] используются тогда, когда скругление вступает в контакт с элементами геометрии тела, не являющимися гранями, которые образуют скругляемое ребро.

По умолчанию система автоматически определяет необходимый тип скругления. Однако если система применяет не тот тип, который нужен в данной ситуации, можно принудительно отключить ненужные опции. Например, на рис. 2.17 приведены варианты разрешения перекрытий при сопряжении куба с цилиндром.

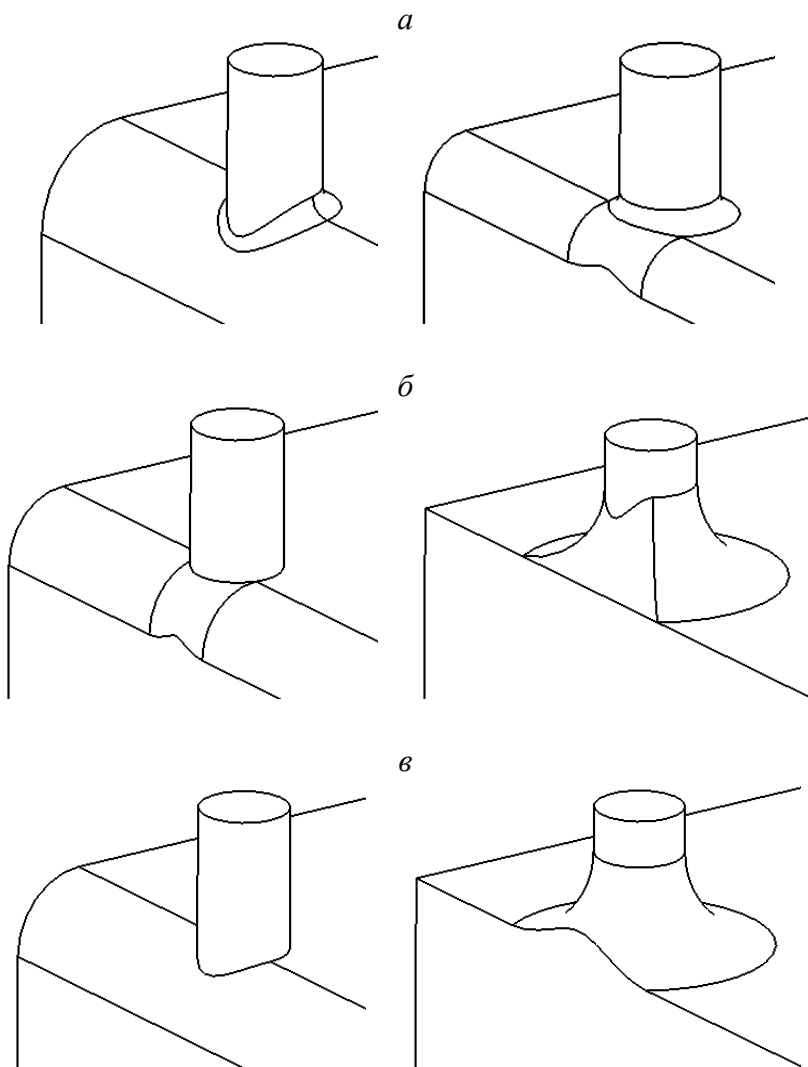



Рис. 2.17. Опции перекрытия:
a – включено **Прокатывание по гладким ребрам [Roll over Smooth Edges]**;
б – включена **Обкатка по ребрам**; *в* – включено **Сохранить скругление и переместить острые ребра [Maintain Blend And Move Sharp Edges Edges]**

Face Blend [Скругление граней]

Команда **Face Blend [Скругление граней]**  используется для построения поверхности скругления между двумя наборами граней с опцией обрезки и присоединения скругленных граней.

Скругление может быть создано между двумя наборами поверхностей на объемном или листовом теле; скругляемые поверхности не обязательно имеют общее ребро, они могут принадлежать как одному, так и разным телам. Скругляемые поверхности могут быть автоматически обрезаны и объединены со скруглением в одно общее тело. Скругление может иметь постоянный или переменный радиус. Радиус скругления может определяться по заданной кривой касания скругления и скругляемой поверхности. Можно явно указывать ребро, по которому должен скользить шар в момент построения скругления.

Скругление граней может быть двух типов:

1. Прокатывание шара [Rolling Bell] – создается поверхность, как это получилось бы при прокатывании шара, который имеет постоянный контакт с каждым из наборов граней.

2. Сечение создания [Swept Section] – поверхность скругления выполняется перемещением сечения вдоль опорной кривой. Плоскость сечения скругления всегда перпендикулярна опорной кривой. Этот тип скругления используется, когда форма скругляемых граней не позволяет выполнить скругление шаром (рис. 2.18).

Для построения скругления необходимо:

– выбрать **тип скругления Type** в диалоговом окне: **Rolling Ball [Прокатывание шара]** или **Swept Section [Сечение создания]**;

– указать поверхности для **первого набора граней [Select Face Chain 1]**. Система изображает вектор нормали. Он должен быть направлен внутрь предполагаемого скругления. В про-

тивном случае надо выполнить команду изменения направления нормали **Reverse Direction** [Сменить направление];

– указать поверхности для второго набора **Select Face Chain 2**. Выполнить, если необходимо, команду изменения направления нормали **Reverse Direction** [Сменить направление];

– задать параметры в поле **Blend Cross Section** [Сечение скругления]: форму **Shape** – в простейшем случае **Circular** [Окружность], Метод задания радиуса [Radius Method] – постоянный [Constant], Управляемый по закону [Law Controlled], Ограничение касательности [Tangency Constraint], собственно значение радиуса; при использовании сечения образования здесь же задается **Опорная кривая** [Spine Curve];

– при необходимости задать **Ограничения и геометрические ограничения** в одноименном поле [Constraining and Limiting Geometry]: задать **Совпадающее ребро** [Coincident Edge] так, что скругление будет проходить по указанным ребрам с одной стороны и касательное грани – с другой (рис. 2.19); задать **Касательную кривую** [Tangent Curve] так, что скругление на соответствующем наборе граней будет проходить по указанной кривой (рис. 2.20);

– нажать кнопку **ОК** или **APPLY** [Принять].

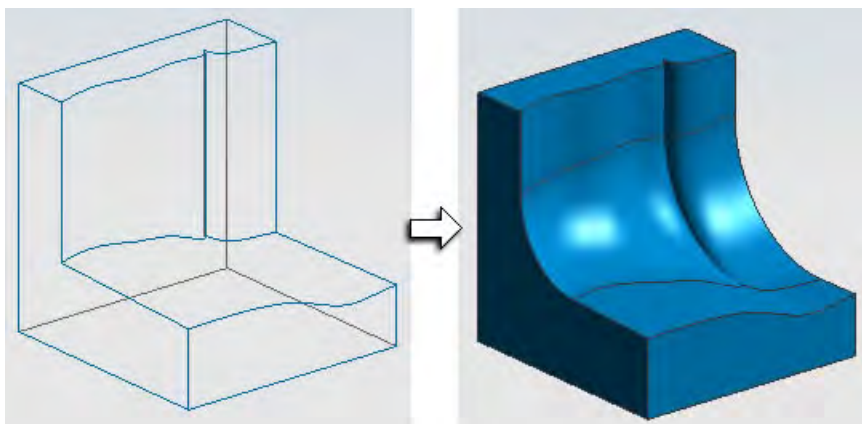


Рис. 2.18. Построение скругления типа **Swept Section** [Сечение создания]

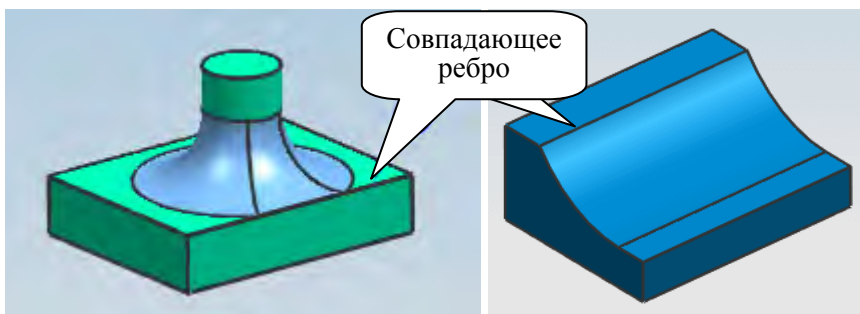


Рис. 2.19. Использование Совпадающего ребра [Coincident Edge]

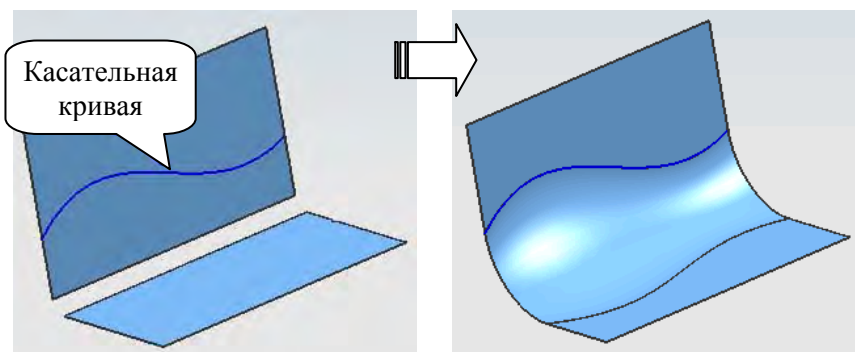



Рис. 2.20. Использование Касательной кривой [Tangent Curve]

Chamfer [Фаска]


Команда **Chamfer [Фаска]**  создает фаску на ребре твердого тела (табл. 2.4). Фаска похожа на функцию скругления. Она может либо добавлять, либо удалять материал из тела.

Способы построения фаски

Способ	Наименование	Описание
Symmetric	Симметричный	Простая симметричная фаска, имеющая одинаковое смещение для обеих граней
Asymmetric	Несимметричный	Несимметричная фаска, имеющая разное значение смещения для каждой из граней
Offset and Angle	Смещение и угол	Фаска задается значением смещения и угла. Угол измеряется от второй грани

В простом случае построения фаски **Symmetric [Симметричный]** расстояние измеряется от ребра грани. Если строится несимметричная фаска **Asymmetric**, то можно изменить фаску на обратную, выполнив команду **Reverse Direction [Сменить направление]**.

Draft [Уклон]

Команда **Draft [Уклон]**  позволяет придать наклон одной или нескольким граням тела. Угол наклона измеряется относительно заданного вектора.

Для построения наклона надо выполнить следующие шаги:

- задать **Тип** построения наклонов **Type**;
- выбрать грани для наклонов или задать ребра, от которых строится наклон, в зависимости от типа построения наклонов;
- определить **Направление уклонов [Draw Direction]**. По умолчанию используется направление Z+;
- задать положение нейтральной плоскости **Stationary Plane [Стационарная плоскость]** – плоскости, которая остается неизменной при построении наклонов граней. Она не задается при построении наклона от заданных ребер;

– задать значение угла наклона для граней **Angle** [Угол].
Если строится наклон от заданных ребер, то можно задать переменное значение наклонов вдоль выбранных ребер;

– если задается наклон для элемента массива, то можно задать наклон и для всего массива, включив опцию **Draft All Instances** [Наклонить все элементы массива];

– нажать кнопку **ОК** или **Apply** [Принять].

Примеры построения уклонов приведены на рис. 2.21–2.24.

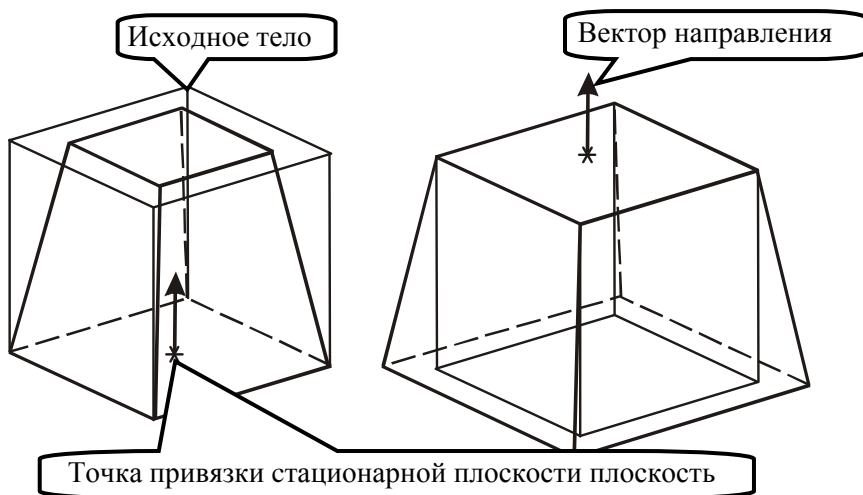


Рис. 2.21. Тип уклона – **From Plane** [От плоскости]

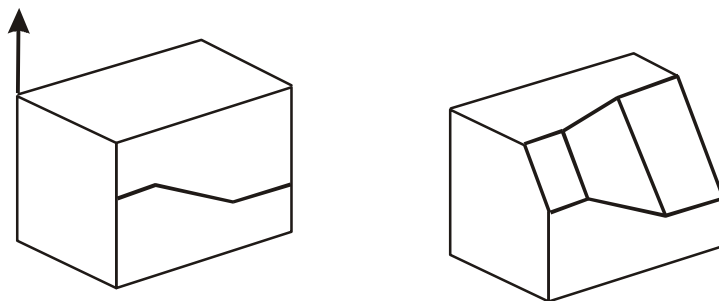


Рис. 2.22. Тип уклона – **From Edges** [От ребер]

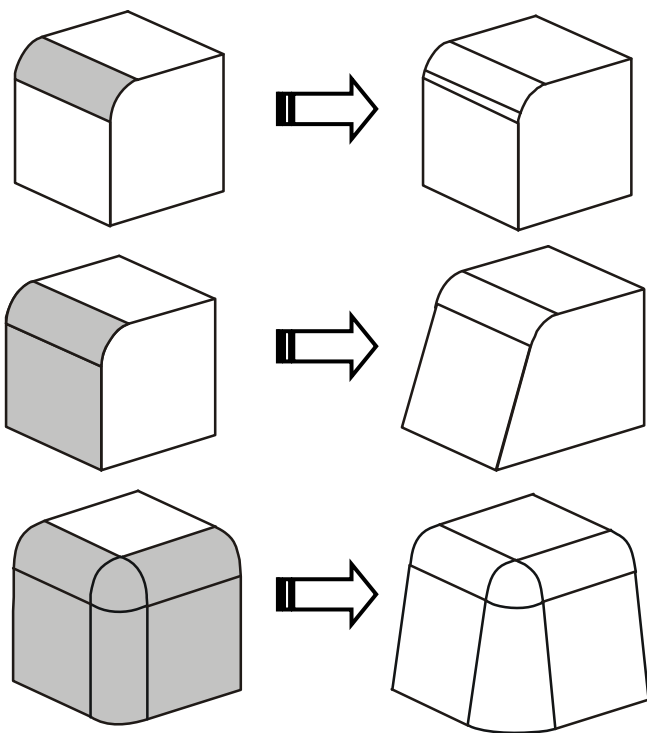


Рис. 2.23. Тип уклона – **Tangent to Faces** [Касательно к граням]

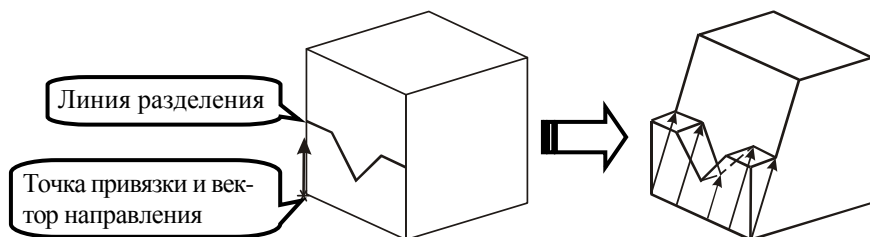



Рис. 2.24. Тип уклона – **To Parting Edges** [По ребрам разъема]

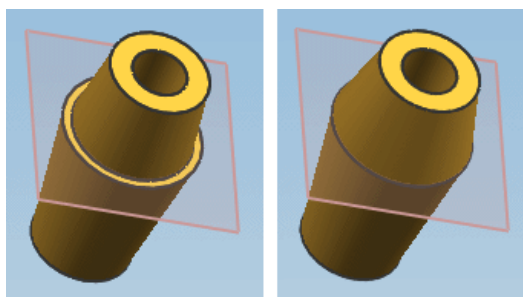
Draft Body [Уклон тела]

Команда **Draft Body [Уклон тела]**  используется для задания наклона боковых граней детали на обеих сторонах от поверхности разделения.

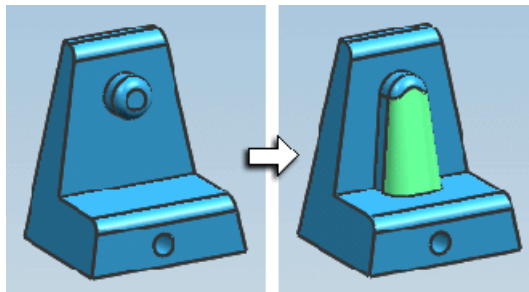
Эту команду можно использовать при необходимости согласования наклоненных граней на **Поверхности разделения [Parting Object]**. Требование **Согласования ребер [Match Faces at Parting Object]** приводит к тому, что некоторые грани будут иметь угол наклона, отличный от заданного угла.

За исключением согласования граней объекта разделения, команды **Draft [Уклон]** и **Draft Body [Уклон тела]** приводят к одинаковым результатам.

Ниже приведены типовые примеры использования рассматриваемой операции, рис. 2.25.




Построенный уклон с несогласованными (слева) и согласованными (справа) гранями. Материал добавляется к телу, но никогда не удаляется с грани.



Наклон для необрабатываемой области строит односторонний наклон и заполняет материалом области, которые не могут быть выполнены.

Рис. 2.25. Примеры использования команды **Draft Body [Уклон тела]**:
а – обычный уклон тела; б – уклон для необработанных поверхностей

Shell [Оболочка]

Команда **Shell [Оболочка]**  удаляет из сплошного твердого тела внутренний объем и оставляет стенки заданной толщины.

Доступ к команде осуществляется из меню **Insert → Offset/Scale [Вставить → Смещение/масштаб]**.

Существуют два типа операции оболочки:

1. **Remove Faces, Then Shell [Удалить грани, затем Оболочка]**. Для этого типа задаются удаляемые грани, для остальных граней задается значение толщины стенок, которое может быть разным для разных граней тела. Для построения такого тела необходимо:

- выбрать одну или несколько **Удаляемых граней [Pierced Face to Pierce]**, через которые происходит выемка материала из объема детали;

- задать значение **толщины стенок [Thickness]**;

- при необходимости выбрать одну или несколько граней и задать для них **Альтернативное значение толщины [Alternate Thickness]**;

- нажать кнопку **ОК** или **Apply [Принять]**.

2. Для того чтобы построить тонкостенную оболочку для всего тела целиком (тип **Shell All Faces [Оболочка для всех граней]**), необходимо:

- выбрать **Тело** для построения **[Body to Shell]**;

- задать значение **Толщины** для всего тела **[Thickness]**;

- при необходимости выбрать одну или несколько граней и задать для них **Альтернативное значение толщины [Alternate Thickness]**;

- нажать кнопку **ОК** или **Apply [Принять]**.

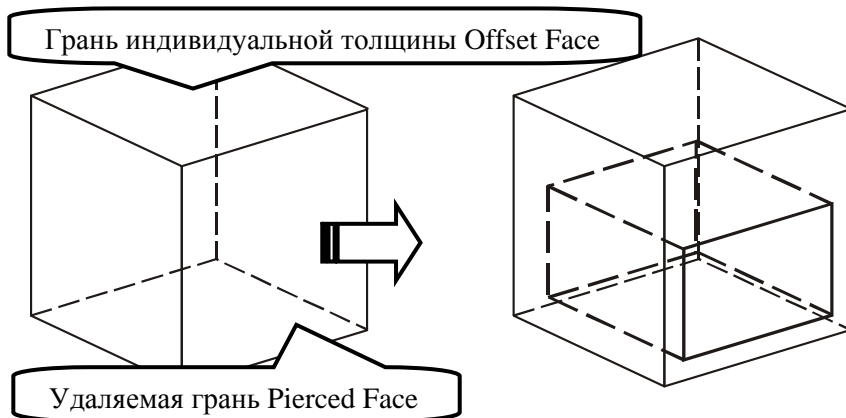


Рис. 2.26. Пример получения оболочки

Ассоциативное копирование элементов

В меню **Insert** → **Associative Copy** [**Вставить** → **Ассоциативная копия**] находятся команды создания массивов – ассоциативного копирования элементов построения. Использование массивов позволяет:


- быстро создать набор одинаковых элементов и добавить их к геометрии тела;
- быстро изменять геометрию всего массива элементов, редактируя один его элемент;
- массив элементов можно редактировать командой **Edit** → **Feature** → **Parameters** [**Изменить** → **Элементы** → **Параметры**]. После выбора элемента массива надо выбрать, что редактировать;
- **Feature Dialogue** [**Диалог элемента**] – редактирование геометрии элементов массива; изменение параметра приводит к изменению геометрии всех элементов массива;

– **Instance Array Dialogue [Диалог задания массива элементов]** – редактирование параметров «размножения» массива. Для кругового массива можно изменить число элементов, угол между ними, радиус окружности кругового массива. Для прямоугольного массива можно изменить число элементов в каждом из направлений и расстояние между ними.

Для перемещения массива можно использовать команду **Edit → Feature → Move [Изменить → Элементы → Переместить]**. Если выбранный для перемещения элемент – член массива, то перемещается весь массив элементов.

Для того чтобы удалить весь массив элементов? надо использовать команду **Edit → Feature → Delete [Изменить → Элементы → Удалить]**. При удалении всего массива базовый элемент, используемый для создания массива, не удаляется.

Instance [Массив элементов]

Команда **Instance [Массив элементов]**  дает возможность построить упорядоченный массив геометрических элементов тела.

Нельзя делать массивы элементов из скруглений, тонкостенных тел, фасок и наклонов граней, эквидистант поверхностей, координатных поверхностей, обрезанных листовых тел, массивов типовых элементов, операций наклона граней.

Если создаются скругление или фаска на элементе массива, то используются опции **Blend All Instance [Скругление для всего массива]** или **Chamfer all instances [Построить фаску для всего массива]** для управления заданием скругления и фаски на массиве.

Для построения массива надо сначала выбрать тип массива. После выбора объектов для размножения надо ввести параметры массива, табл. 2.5.


Типы массивов и задаваемые параметры

Тип массива	Описание
Rectangular Array [Прямоугольный массив]	Массив строится копированием элементов с заданным шагом вдоль осей X и Y рабочей системы координат WCS
Circular Array [Круговой массив]	Массив копий, размноженных по кругу. Задается ось вращения, точка привязки оси, количество копий и угловой шаг между копиями
Pattern Face [Грань шаблона]	Создается набор копий граней на теле. Такой способ работает проще и быстрее, чем остальные методы создания массива, а главное, не требует, чтобы массив состоял из определенных элементов построения, то есть можно использовать любые грани, в том числе созданные на основе поверхностей свободной формы

Для создания массива граней **Pattern Face** необходимо:

- выбрать тип массива: **Rectangular [Прямоугольный]**, **Circular [Круговой]**, **Mirror [Отражение]**;
- выбрать одну или несколько граней, служащих образцом для копирования **Seed Face [Центральная грань]**;
- при необходимости указать грань, задающую **Границу [Boundary]** для копируемых элементов;
- для прямоугольного массива надо задать направление осей X и Y, **Количество [Number]** элементов и **Смещение [Offset]** вдоль соответствующих осей;
- для кругового массива надо задать центральную ось, **Количество [Number]** элементов и **Угол [Angle]** между ними;
- для зеркального массива надо задать **Плоскую ссылку [Planar Reference]** как плоскость симметрии;
- нажать кнопку **ОК** или **Apply [Принять]**.


Mirror Feature [Отражение элемента]

Команда **Mirror Feature [Отражение элемента]**  дает возможность построить симметричную модель зеркальным отражением выбранных элементов относительно координатной плоскости или плоской грани.

Для задания зеркальной копии всего тела лучше использовать команду **Mirror Body [Зеркальное тело]**. Настоящая команда, в свою очередь, позволяет сделать симметричные копии нескольких элементов построения в одном теле. Полученный элемент построения называется **MIRROR_SET**. Во время его редактирования можно переопределить плоскость симметрии, добавить или убрать элементы для зеркального копирования.

При работе команды выбранные элементы копируются относительно плоскости симметрии и образуют новое отдельное тело, состоящее из одного элемента, объединяющего все скопированные элементы **FEATURE_SET**. При необходимости построенное тело можно объединить с исходным.

Mirror Body [Зеркальное тело]

Команда **Mirror Body [Зеркальное тело]**  используется для построения зеркальной копии целого тела относительно координатной плоскости.

Этой командой можно создать тело, являющееся зеркальной копией существующего тела относительно координатной плоскости. Полученное в результате тело не имеет собственных параметров, но полностью ассоциативно с базовым телом. Само тело называется **Mirror**, то есть элемент построения, полученный командой зеркального отражения.

Ассоциативная связь зеркальной копии и базового тела определяется следующими правилами:

– если изменения параметров привели к изменению базового тела, эти изменения отразятся на его зеркальной копии;

– если изменить параметры координатной плоскости, используемой для зеркального отражения, то это отразится на зеркальной копии;


– если удалить оригинал, то удаляется и его зеркальная копия;

– если перемещать оригинал, то перемещается и копия.

Можно добавлять собственные элементы построения на копию, объединять оригинал и копию, воспользовавшись командой **Unite [Объединение]**, и получить симметричное тело.

Для того чтобы построить зеркальное отражение, необходимо выбрать тело и указать плоскость.

Instance geometry [Массив геометрии]

Команда **Instance geometry [Массив геометрии]**  используется для создания копий объектов. Можно копировать тела, грани, ребра, кривые, точки, координатные плоскости и координатные оси. Можно создать копии, расположенные зеркально, в виде линейного и кругового массива, по нерегулярным шаблонам, а также вдоль сечения с непрерывной касательной.

Это очень мощный инструмент для многократного копирования геометрии или координатных элементов с сохранением ассоциативности между членами массива и исходным объектом. Там, где шаблон ассоциативен, изменение базового элемента приведет к изменению положения массива.

Массив геометрии может быть пяти типов:

– **From/To [Из/в]** – построение массива копированием объектов из точки или системы координат в другую точку или системы координат;

– **Mirror [Зеркало]** – построение массива зеркальным отображением относительно плоскости симметрии;

– **Translate [Перемещение]** – построение массива копированием объектов в заданном направлении;

– **Rotate [Вращение]** – построение массива копированием объектов вращением вокруг заданной точки, можно добавить смещения между копиями вращения;

– **Along Path [Вдоль пути]** – построение массива копированием объектов вдоль заданной траектории, можно добавить дополнительные угол смещения вращения для каждого элемента массива.

На рис. 2.27 приведен пример массива, полученного рассматриваемой командой.

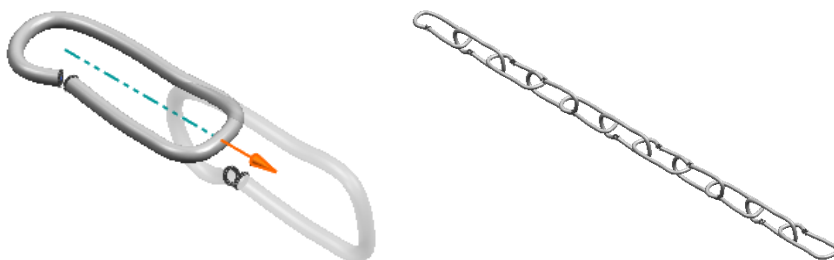



Рис. 2.27. Массив геометрии (тип – вращение)


Булевы операции

Булевы операции позволяют комбинировать существующие объемные тела или листовые тела. Операции комбинирования находятся в меню **Insert → Combine Bodies [Комбинированные тела]**. Собственно, к булевым операциям относятся **Объединение [Unite]**, **Вычитание [Subtract]** и **Пересечение [Intersect]**.


Unite [Объединение]

Команда **Unite [Объединение]**  выполняет объединение двух тел. Можно объединять два объемных тела или два листовых тела. Нельзя объединять объемное и листовое тело.


Subtract [Вычитание]

Команда **Subtract [Вычитание]**  дает возможность вычесть объемное тело из объемного тела и объемное тело из листового тела.

Intersect [Пересечение]

Команда **Intersect [Пересечение]**  дает возможность построить пересечение двух тел. Можно пересечь объемное тело с объемным телом, листовое тело с листовым телом, объемное тело с листовым телом, но не наоборот.


Sew [Соединение]

Команда **Sew [Соединение]**  дает возможность соединить два или более листовых тела в одно.

Если соединяемые тела образуют полный объем, то получается объемное твердое тело. Если – нет, то получается листовое тело.

Параметр точности, задаваемый командой **Preference → Modelling**, определяет максимально возможное расхождение между ребрами поверхностей при сшивании.

Patch Body [Заплатка]

Команда **Patch Body [Заплатка]**  позволяет изменять листовое или объемное тело, заменяя часть его граней на грани поверхности, которая называется заплаткой. Можно также использовать «заплатку» из листового тела на другом листовом теле.

Заплатка полезна в тех случаях, когда:

- небольшие зазоры между телами, используемыми в булевой операции, могут привести к невозможности выполнения команд **Обрезка тела [Trim Body]** и **Разделение тела [Split Body]**;
- необходимо применить к модели скругление, построенное вручную;
- необходимо построить отверстие, которое имеет сложную форму, и т. п.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО МОДЕЛИРОВАНИЮ

1. Необходимо помнить об указании единиц измерения при создании нового файла.

2. Начиная моделирование, надо установить требуемую точность построения. При моделировании твердых тел достаточно 0,01 мм, поверхностей и кривых сложной формы 0,001 мм. Большая точность ведет к замедлению работы системы.

3. Желательно избегать команд, которые приводят к потере параметризации.

4. Начинать создание модели следует с основной части. Моделировать детали простыми средствами, затем, добавляя типовые элементы и операции, получить требуемую форму.

5. Такие операции, как фаски, скругления и т. д., моделировать в последнюю очередь, причем сначала моделируются фаски с большим радиусом, затем – с меньшим при их наложении друг на друга.

6. Для лучшего контроля за параметризацией модель желательно строить добавлением типовых элементов формы, а не примитивов.

7. При моделировании твердых тел желательно избегать, если возможно, операций с кривыми и поверхностями, так как они затрудняют параметрическое редактирование модели.

8. При построении деталей из листового металла лучше пользоваться командами работы с листовым металлом.

9. При построении симметричной детали либо ее копии желательно пользоваться командами типа **Instance [Массив]**, а не **Transform [Преобразование]**.

10. Объекты разного типа (линии, эскизы, твердые тела и т. д.) желательно располагать на разных слоях (то же относится и к смысловому расположению объектов).

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Лабораторная работа № 1. СОЗДАНИЕ ТВЕРДОГО ТЕЛА НА ОСНОВЕ ЭСКИЗА	4
Создание эскиза	4
Получение твердого тела	15
Лабораторная работа № 2. СОЗДАНИЕ ТВЕРДОГО ТЕЛА НА ОСНОВЕ ПРИМИТИВОВ	19
Примитивы	19
Типовые элементы формы	24
Типовые операции построения.....	38
Ассоциативное копирование элементов.....	50
Булевы операции.....	55
РЕКОМЕНДАЦИИ ПО МОДЕЛИРОВАНИЮ	57

Учебное издание

**ТВЕРДОТЕЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
АВТОМОБИЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Методические указания
к лабораторным работам (практикум)
для студентов специальности 1-37 01 02
«Автомобилестроение (по направлениям)»

В 3 частях

Часть 1

Составители:

ВИХРЕНКО Дмитрий Вячеславович
ТРЕТЬЯК Дмитрий Владимирович
ДЫКО Геннадий Александрович

Редактор *Т. Н. Микулик*
Компьютерная верстка *Н. А. Школьниковой*

Подписано в печать 14.03.2014. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 3,43. Уч.-изд. л. 2,68. Тираж 200. Заказ 1239.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.