

2. ОБЪЕКТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ. ОСНОВЫ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Геометрическая модель спроектированного или проектируемого изделия занимает первостепенное место в САПР или PLM(CAD/CAE/CAM/PDM), поскольку она необходима практически при всех действиях, начиная от инженерного анализа и конструктивных увязок, до разработки рабочей конструкторской документации, технологической подготовки производства и разработки управляющих программ для станков с ЧПУ.

Начало геометрического моделирования было положено в работах Кунса, Безье и Кастельжо (1960–1970 гг.) и развивалось позднее при разработке алгоритмов машинной графики. Геометрическая модель изделия является машинным представлением его формы и размеров и может формироваться как результат вычислений (коды ЭВМ) или визуализации в двумерном или трехмерном виде.

Двумерные модели широко используются и до сих пор (при формировании конструкторской документации), поскольку они существенно дешевле и вполне устраивают целый ряд промышленных организаций. Однако, работая со сложными образцами техники, приходится создавать макеты изделия, или, как сейчас говорят, заниматься прототипированием (RP-Rapid Prototyping).

Трехмерная модель, создавая виртуальное представление изделия во всех трех измерениях, позволяет упростить восприятие его сложной конфигурации и решать с ее использованием инженерные, конструктивные и технологические задачи. Выделяют три основных типа трехмерных моделей: каркасные или «проволочные» модели, поверхностные модели, объемные, или модели сплошных тел.

Каркасные модели содержат в себе только координаты вершин и их связи, т.е. соединяющие их ребра (рис. 2.1, а).

Поверхностная модель представляет собой совокупность поверхностей. При этом возможны различные виды базовых поверхностей (плоскости, линейчатые поверхности, поверхности вращения) и различные математические модели их аппроксимации (методы Кунца, Безье, В-сплайны).

Объемная модель представляет собой сплошное тело, ограниченное различными поверхностями, и содержит логически связан-

ную информацию, благодаря введению понятия о материале (рис. 2.1,б).

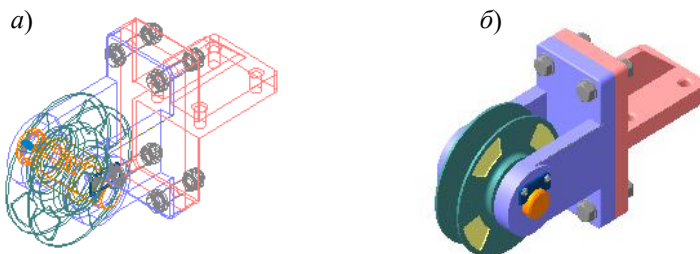


Рис. 2.1. Типы трехмерных моделей: а– каркасная, б– объемная

Целью геометрического моделирования является формирование объекта, максимально приближенного к реальному образцу, а следовательно, удовлетворяющего целому ряду требований, связанных как с его функциональными характеристиками, так и с возможностью изготовить его на реальном оборудовании. Считается, что модель тем лучше, чем больше она учитывает ограничения, связанные с реальным объектом, его изготовлением и эксплуатацией. В этом отношении объемная модель выгодно отличается от других, поскольку в ней в наилучшей степени могут быть удовлетворены следующие свойства: *однородность* (тело должно быть заполнено внутри), *конечность* (тело должно занимать конечную часть пространства) и *жесткость* (тело должно сохранять свою форму независимо от положения и ориентации). Кроме этого, геометрическая модель должна быть наделена и еще двумя важными свойствами: *компактностью представления* (определяется количеством информации, необходимой для ее представления; не является независимым от способа обработки информации и для эффективности ряда алгоритмов иногда полезна определенная избыточность информации) и *открытостью для различных применений* (модель должна быть пригодна для использования в различных алгоритмах и применениях; свойство чрезвычайно важно, поскольку оно определяет применимость геометрической модели для различных функций).

Использование объемной модели накладывает ряд требований на программную среду, в которой осуществляется моделирование. К ним относятся: согласованность операций (любая операция, выполняемая над телами, должна приводить к образованию сплош-

ных тел, если иное не оговорено пользователем), возможность описания (каждое тело должно быть представимо в машинном виде) и непротиворечивость информации (точка пространства может принадлежать не более чем одному телу).

2.1. Типы математических ядер геометрического моделирования

Ядро геометрического моделирования является сердцем любой системы моделирования. Геометрическое ядро – это библиотека основных математических функций, которая определяет и хранит 3D-формы, ожидая команды конструктора. Архитектура ядра должна гарантировать максимальную интеграцию между CAD-приложением и низкоуровневыми компонентами ядра, обеспечивая большую гибкость приложения, устойчивость к ошибкам и быстродействие.

Разработчику конечного приложения геометрическое ядро позволяет улучшить функциональные возможности проекта, создать 3D-модель на основе существующей 2D-информации, снизить затраты, повысить надежность и сократить сроки разработки.

Типы математических ядер геометрического моделирования приведены в таблице

3D-ядро	Область применения	Программный продукт	Разработчик ПО
ACIS (Spatial/Dassault Systems)	CAD, CAM, CAPP	ADEM	Группа компаний ADEM, Россия-Израиль-Германия
	AEC, MCAD	Bricscad	Bricsys NV, Бельгия
		TurboCAD	IMSI/design, США
	CAD	CADopia	CADopia Inc., США
		Creo Elements/Direct Modeling (CoCreate)	Parametric Technology, США
		KeyCreator	Kubotek USA Inc., Япония-США
		progeCAD	progeCAD Srl Uninominale, Италия

3D-ядро	Область применения	Программный продукт	Разработчик ПО
ACIS (Spatial/Dassault Systems)	CAD	Shark LT	Encore, США
		ViaCAD 2D/3D	Encore, США
		ZWCAD	ZWCAD Software, Китай
		Alibre Design	3D Systems, США
		SpaceClaim	SpaceClaim Corp., США
	CAD/CAM	Mastercam	CNC Software, США
		Radan	Planit, Великобритания
	CAE	AMPSolid	AMPS Technologies, США
	CAM	Cimatron	Cimatron Limited, Израиль
		SmartCAM	SmartCAMcnc
Parasolid (UGS)	CAD/CAM/CAE	NX	Siemens PLM Software, Германия
	CAD	Solid Edge	Siemens PLM Software, Германия
		SolidWorks	Dassault Systemes, Франция
		T-FLEX	Топ Системы, Россия
	CAE	Adams	MSC Software, США
		Autodesk Moldflow	Autodesk, США
		Patran	MSC Software, США
		STAR-CCM+	CD-adapco, Великобритания-США
	CAD/CAM	PowerSHAPE	Delcam plc, Великобритания
		TopSolid	Missler Software, Франция
	CAM	ESPRIT	DP Technology Corp., США

3D-ядро	Область применения	Программный продукт	Разработчик ПО
Parasolid (UGS) Собственное (ASM), совместимое с ACIS	AEC	MicroStation	Bentley Systems, США
	AEC	Vectorworks	Nemetschek, Германия
	CAD, AEC, GIS	AutoCAD	Autodesk, США
	CAD	Autodesk Inventor	Autodesk, США
	AEC/BIM	Autodesk Revit Architecture	Autodesk, США
ACIS в комбинации с собственным ядром	CAD	bonzai3d	AutoDesSys, США
		form-Z	AutoDesSys, США
ACIS и Parasolid	CAD	IRONCAD	IronCAD LLC, США
	CAE	ANSYS	ANSYS Inc., США
CGM (DS)	CAD/CAM/CAE, AEC	CATIA	Dassault Systemes, Inc.
Open CASCADE Technology (Matra Datavision)	CAD, AEC	4MCAD IntelliCAD	4M S.A., Греция
Parasolid и Open CASCADE Technology	CAE	ADINA Modeler	ADINA R&D Inc., США
GRANITE (PTC)	CAD	Creo (Pro/Engineer)	Parametric Technology, США
Parasolid и GRANITE	CAD/CAM	GibbsCAM	Cimatron, Израиль
	CAM	Edgecam	Planit Software, Великобритания
SOLIDS++ (Integrity Ware)	CAD	Moment of Inspiration	Triple Squid Software Design, США
		Power NURBS	Ideate Inc., США
SOLIDS++ (отдельные модули)	CAD	Rhinoceros	Robert McNeel and Associates, США
SMLib (Solid Modeling Solutions)	AEC/BIM	Allplan	Nemetschek AG, Германия
C3D	CAD, AEC	КОМПАС-3D и прил	АСКОН, Россия
Собственное ядро	CAD	ThinkDesign	Versata, США
	AEC/BIM	StruCad	AceCad Software, Великобритания

Различают лицензируемые геометрические ядра, геометрические ядра, доступные в исходном коде, собственные, или частные ядра геометрического моделирования.

Лицензируемые ядра геометрического моделирования разработаны и поддерживаются одной компанией, которая лицензирует их другим компаниям для их CAD-систем. Например, ядро Parasolid, разработано UGS. Оно используется в Unigraphics и Solid Edge и лицензировано другим компаниям, включая CADMAX Corp. (True Solid/Master) и SolidWorks Corp. (SolidWorks). Лицензированные ядра обеспечивают прямую совместимость (через форматы обмена, такие как SAT и X_T) между CAD-системами, которые их лицензировали.

ACIS – объектно-ориентированная C++ геометрическая библиотека, которая состоит из более чем 35 DLL-файлов и включает каркасные структуры, поверхности и твердотельное моделирование. Она предоставляет разработчикам программ богатый выбор геометрических операций для конструирования и манипулирования сложными моделями а также полный набор булевых операций. Математический интерфейс Laws Symbolic и основанная на NURBS деформация позволяют интегрировать поверхностное и твердотельное моделирование. Ядро ACIS осуществляет вывод в формат файлов SAT, который любая поддерживающая ACIS программа может читать напрямую.

Более совершенным её вариантом является ACIS 6.3. Она содержит более 50 компонентов, включая смешивание, локальные операции, точные скрытые линии, пространственное изменение масштаба, продвинутые средства работы с поверхностями, ячеистую топологию и VISMAN (Visualization Manager).

Parasolid – это самое быстрое ядро, доступное для лицензирования. Она обеспечивает технологию для твердотельного моделирования, обобщенного ячеистого моделирования, интегрированные поверхности свободной формы и листовое моделирование. На этом ядре разработано много CAD/ CAM/CAE-систем высокого и среднего уровня: SolidWorks, Delmia, Pro/DESKTOP, FEMAP. Parasolid поддерживает SMP (многопроцессорное аппаратное обеспечение), что позволяет увеличить производительность. Parasolid включает более 600 объектно-ориентированных функций для приложений под управлением Windows NT, UNIX и LINUX. Это ядро используется более чем в 230 программных продуктах. Parasolid

используют в своих программных продуктах Bentley Systems, Visionary Design Systems, CADKEY, ANSYS, Mechanical Dynamics, и MSC.Software. В дополнении к формату обмена XT Parasolid позволяет трансляцию и восстановление данных из других систем моделирования с помощью технологии Tolerant Modeling. Последние версии Parasolid сфокусированы на расширении экстремального моделирования в наиболее технически сложных областях.

Особое место занимает отечественная разработка – геометрическое ядро C3D (Аскон). В нём объединены три важных модуля:

C3D Modeler – геометрический моделировщик, предоставляющий набор возможностей для твердотельного и гибридного моделирования, эскизирования и 2D черчения;

C3D Solver – решатель геометрических ограничений, позволяющих накладывать вариационные зависимости на 2D- и 3D-элементы геометрической модели;

C3D Converter – конвертер данных, обеспечивающий чтение/запись геометрической модели в основные форматы обмена информации.

C3D Modeler обеспечивает моделирование объемных тел, листовых тел, поверхностей, триангуляцию геометрической модели, вычисление инерционных характеристик модели, анализ столкновений элементов модели, построение плоских проекций, разрезов и сечений модели. C3D Solver обеспечивает ввод и диагностику ограничений при создании сборочных единиц и кинематическом анализе, C3D Converter – работу с форматами: STEP (чтение/запись), Parasolid (чтение/запись), ACIS (чтение/запись), IGES (чтение/запись), STL (запись) и VRML(запись).

Геометрические ядра, доступные в исходном коде, подобны лицензированным ядрам. Они также разрабатываются и поддерживаются одной компанией и затем лицензируются другим компаниям для использования в CAD-приложениях. Отличие стоит в том, что разработчики создают исходный код ядра, что позволяет пользователям ядра его модифицировать.

Open CASCADE (Matra Datavision) представляет Visual C++ проекты, которые позволяют пользователям компилировать код Open CASCADE на их платформах. Форматы экспорта данных доступны для STL, VRML и HPGL2, а модель Open CASCADE Application Framework обеспечивает быструю разработку приложений 3D моделирования. Кроме того, принцип распространения

исходного кода позволил большему числу пользователей Open CASCADE участвовать в разработке этого продукта, предоставляя свой код, который также публикуется на сайте <http://www.opencascade.org/>, что дает большие возможности по обогащению этого программного продукта.

SMLib (Solid Modeling Solutions) – набор основанных на NURBS геометрических и топологических библиотек. Включает обширный набор NURBS-функций криволинейного и поверхностного моделирования, а также оптимизированный код для быстрого измерения расстояния между объектами. Существуют возможности, основанные на топологии сеточной генерации для двумерных сот, расширенное заполнение и затенение, смещение оболочки и возможности множественного объединения. SMLib распространяется в форме исходного кода без авторских отчислений, что является чрезвычайно притягательным.

Частные ядра геометрического моделирования разрабатываются и поддерживаются разработчиками CAD-систем для использования исключительно в своих приложениях. Преимуществом частных ядер является более глубокая интеграция с интерфейсом CAD-приложения.

2.2. Образование геометрических форм (совокупности поверхностей) изделий

При формировании объектов могут быть использованы различные способы. Наибольший интерес представляет кинематический способ формирования объектов, поскольку он в пользовательском отношении (имеются в виду программные системы, например Компас-График) является наиболее распространенным. Среди операций формообразования следует выделить операции выдавливания и вращения, кинематическую операцию по заданной линии, кинематическую операцию по сечениям.

Операция выдавливания. Основой операции является эскиз элемента выдавливания. К нему в ряде систем предъявляются определенные требования. Обычно эскиз элемента формируется на плоскости в геометрическом редакторе, часто в параметризованном виде, с последующим назначением необходимых размеров. Далее используется операция выдавливания (рис. 2.2) с указанием направления и глубины выдавливания (рис. 2.3). Если выбрано

выдавливание в двух направлениях, то глубину выдавливания следует вводить дважды (для прямого и обратного направлений). Если плоскость эскиза выбрана в качестве средней плоскости, то введенное значение глубины выдавливания считается общим (в каждую сторону откладывается его половина)

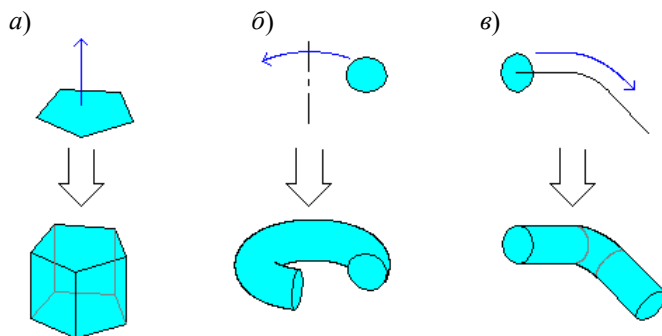


Рис. 2.2. Образование объемных элементов: а– призмы, б– тора, в– кинематического элемента

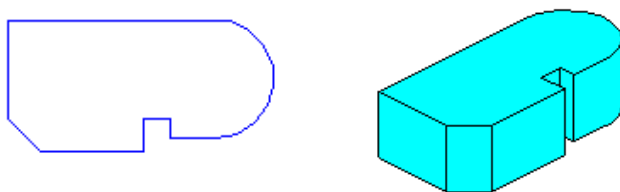


Рис. 2.3. Эскиз и получившееся в результате выдавливания основание

Если включена опция *Уклон* и введен *угол уклона*, то при перемещении в направлении выдавливания эскиз будет увеличиваться. Если активизирована опцию *Уклон внутрь*, то эскиз будет уменьшаться, в направлении выдавливания (рис. 2.4).

Если выдавливание производится в двух направлениях, то для каждого из них можно ввести угол и направление уклона (перед вводом нужно активизировать строку *Прямое* или *Обратное* опции *Текущего направления*) (рис. 2.5).

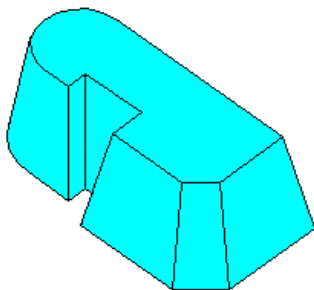


Рис. 2.4. Результат операции выдавливания с введением уклона

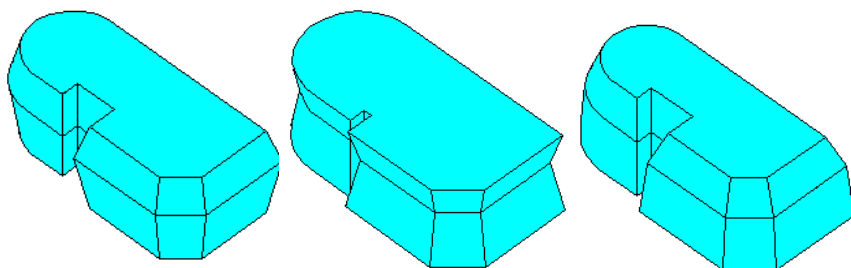


Рис. 2.5. Построение основания в двух направлениях с разными углами и направлениями уклона

Если необходимо создать тонкостенное тело (рис. 2.6), поверхность которого представляет собой след движения контура эскиза, то следует активизировать вкладку *Параметры тонкой стенки*, включить опцию *Толщина* и указать направление добавления материала, введя значение толщины стенки. Если выбрано создание тонкой стенки в двух направлениях, то толщину следует ввести дважды, для прямого и обратного направлений. Если поверхность тела выбрана в качестве средней плоскости тонкой стенки, то введенное значение толщины считается общим (в каждую сторону откладывается его половина).

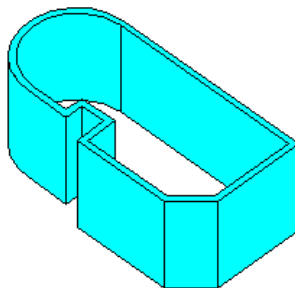


Рис. 2.6. Тонкостенный элемент выдавливания

Операция вращения . Основанием для формообразования поверхности вращения является эскиз сечения вращения и ось вращения (рис. 2.7). При обращении к операции необходимо указать направление вращения и угол вращения. Если выбрано вращение в двух направлениях, то угол вращения требуется ввести дважды (для прямого и обратного направлений). Если плоскость эскиза выбрана в качестве средней плоскости тела вращения, то введенное значение угла вращения считается общим (в каждую сторону откладывается его половина).

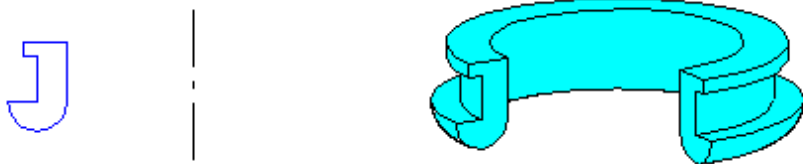


Рис. 2.7. Эскиз для операции вращения и полученное тело вращения

Процедура **Кинематическая операция по заданной линии** . Позволяет создавать основание детали, представляющее результат перемещения эскиза-сечения вдоль эскиза-траектории (рис. 2.8).

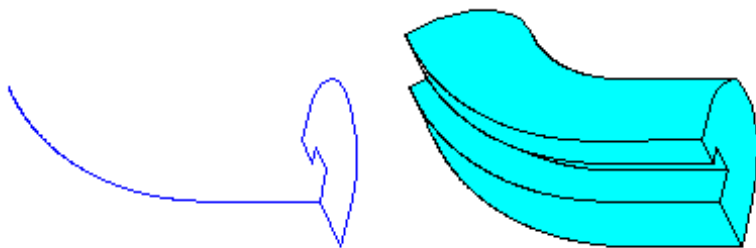


Рис. 2.8. Взаимное положение сечения и траектории в пространстве и получившийся кинематический элемент

Если траектория замкнута, то она должна пересекать плоскость эскиза-сечения, если траектория разомкнута, то один из ее концов должен лежать в плоскости эскиза-сечения. Для выбора

сечения создаваемого элемента необходимо включить опцию *Сечение* диалога и указать нужный эскиз (это можно сделать в окне детали или дереве построения). Название выбранного эскиза появится в диалоге под опцией *Сечение*. Для выбора траектории движения сечения необходимо включить опцию *Траектория* диалога и указать эскиз траектории (или несколько эскизов). Если указывается несколько эскизов, то они должны быть незамкнутыми и последовательно соединяться, образуя непрерывную траекторию.

Можно указать способ ориентации сечения в пространстве на протяжении его перемещения вдоль траектории (рис. 2.9). Для этого используется опция *Движение образующей* с одним из возможных вариантов: *Параллельно самому себе*, *Сохранит угол наклона* и *Ортогонально траектории*. При выборе движения сечения параллельно самому себе сечение перемещается так, что в любой точке элемента его плоскость параллельна плоскости эскиза, содержащего сечение. При выборе *сечения ортогонально траектории* сечение перемещается так, чтобы в любой точке элемента плоскости сечения была перпендикулярна траектории. При выборе сечения с сохранением угла наклона сечение перемещается так, чтобы в любой точке элемента угол между плоскостью сечения и траекторией был постоянным и равным углу между плоскостью эскиза – сечения и траекторией в начальной точке.

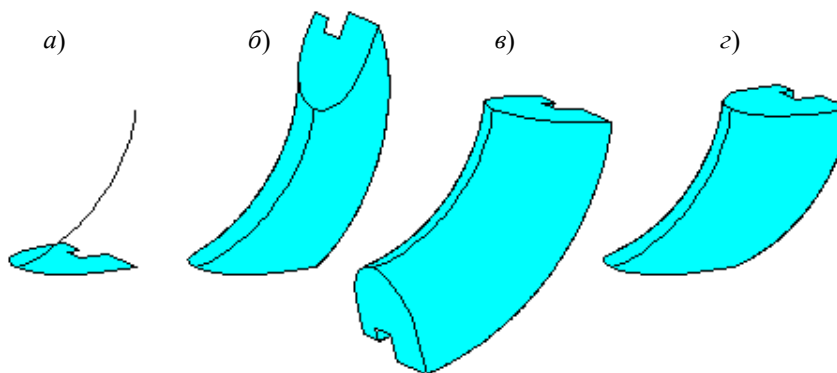


Рис. 2.9. Кинематический элемент: а– эскизы сечения и траектории, б– перемещение сечения с сохранением угла наклона, в– перемещение сечения ортогонально траектории, г– перемещение сечения параллельно самому себе

Если необходимо создать тонкостенное тело, поверхность которого представляет собой след движения контура эскиза, необходимо активизировать вкладку *Параметры тонкой стенки*, включить опцию *Толщина* и указать направление добавления материала, ввести значение толщины стенки (рис. 2.10). Если выбрано создание тонкой стенки в двух направлениях, толщину требуется ввести дважды (для прямого и обратного направлений). Если поверхность тела выбрана в качестве средней плоскости тонкой стенки, введенное значение толщины считается общим (в каждую сторону откладывается его половина). Если контур в эскизе сечения не замкнут, может быть построен только тонкостенный элемент.

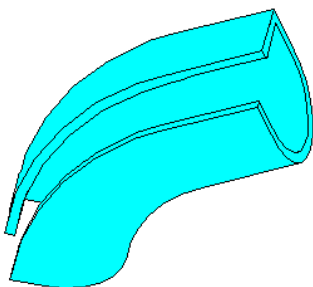


Рис. 2.10. Кинематический элемент с параметрами тонкой стенки

Процедура **Кинематическая операция по сечениям** позволяет создать основание детали, указав несколько его сечений, изображенных в разных эскизах. Если необходимо, можно указать направляющую – контур, задающий направление построения элемента по сечениям (рис. 2.11).

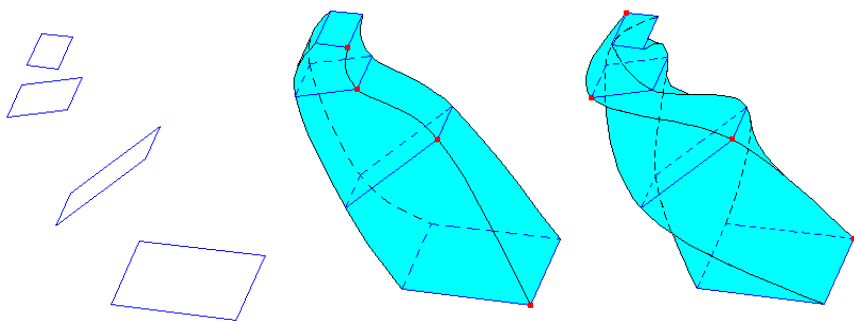


Рис. 2.11. Взаимное положение сечений в пространстве и элементы, построенные по этим сечениям

Команда доступна, если в детали существуют хотя бы два эскиза, не задействованных в других операциях. После вызова команды на экране появляется диалог, в котором можно установить параметры операции по сечениям.

Чтобы выбрать сечения создаваемого элемента, необходимо включить опцию *Сечения* диалога и указать нужные эскизы в том порядке, в котором они следуют в элементе. Названия выбранных эскизов появятся в диалоге под опцией *Сечения*. Для выбора направляющей включить опцию *Направляющая* диалога и указать контур, задающий направление построения элемента по сечениям.

Сечения и направляющую можно указывать, выбирая соответствующие эскизы в *Дереве построения* или мышью по графическим объектам в этих сечениях. Если эскизы указаны ошибочно (например, в неверном порядке), можно произвести повторное указание, не выходя из команды. По умолчанию в диалоге включена опция *Автоматическая генерация пути*. При автоматической генерации система автоматически определяет, какие точки сечений соединять при построении элемента. Если это опция отключена, происходит последовательное соединение эскизов по точкам, ближайшим к точкам их указания. Если эскизы указываются в *Дереве построения* детали, срабатывает алгоритм автоматической генерации пути.

Рекомендуется указывать сечения в окне детали в точках (вершинах), которые должны последовательно соединяться.

Если топология сечений сильно различается (например, в одном из них – треугольник, а в другом – пятиугольник), результат построения может не соответствовать ожидаемому (может произойти “скручивание” элемента или появляются дополнительные ребра).

Включение опции *Замкнуть* означает, что требуется соединить сечения, которые были указаны первым и последним, т.е. создать замкнутый элемент.

Если необходимо создать тонкостенное тело, поверхность которого совпадает с поверхностью элемента по сечениям, необходимо активизировать вкладку *Параметры тонкой стенки*, включить опцию *Толщина* и указать направление добавления материала, введя значение толщины стенки. Если выбрано создание тонкой стенки в двух направлениях, толщину требуется ввести дважды (для прямого и обратного направлений). Если поверхность тела выбрана в качестве средней плоскости тонкой стенки, введенное значение толщины считается общим (в каждую сторону откладывается его половина). Если контуры в эскизах сечений не замкнуты, может быть построен только тонкостенный элемент.

2.3. Редактирование геометрических форм (вспомогательные геометрические операции)

Общепринятым порядком моделирования твердого тела является последовательное выполнение булевых операций (объединения, вычитания и пересечения) над объемными элементами (сферами, призмами, цилиндрами, конусами, пирамидами и т.д.). Пример выполнения таких операций показан на рис. 2.12.

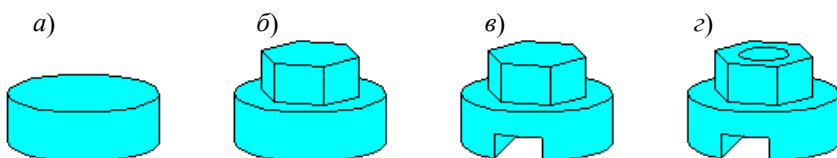


Рис. 2.12. Булевы операции над объемными элементами: а–цилиндр, б– объединение цилиндра и призмы, в– вычитание призмы, г– вычитание цилиндра

После создания основной части детали можно прибавить (приклеить) к ней или вычесть из нее следующие формообразующие элементы четырех типов: элементы выдавливания, элементы вращения, кинематические элементы, элементы по сечениям.

Основные правила построения этих элементов аналогичны правилам построения основной части детали соответствующей формы. На рис. 2.13 показан результат приклеивания к основанию детали бобышки и четырех лапок и вычитание двух пазов и четырех отверстий.

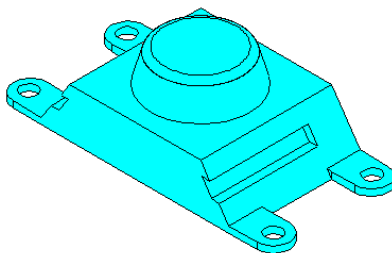


Рис. 2.13. Бобышка и лапки приклеены к основанию детали, пазы и отверстия вырезаны

При вводе параметров операции вырезания или приклеивания доступно несколько больше опций, чем при построении основания. Дополнительные опции позволяют упростить задание параметров элементов, а также связать их друг с другом. Например, при создании сквозного отверстия можно не рассчитывать его длину, а указать, что оно должно быть построено

через всю деталь, а при создании бобышки указать, что она должна быть построена до определенной поверхности.

Типовые операции редактирования – построение скруглений фасок, уклонов, ребер жесткости, отверстий (простых, с цековкой, с зенковкой) и ряда других элементов.

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

Скругления могут быть следующих типов: скругление с постоянным радиусом, скругления с несколькими радиусами, скругления углов, уменьшенные скругления, скругления переменного радиуса и скругления с гладкой стыковкой граней (рис. 2.14).

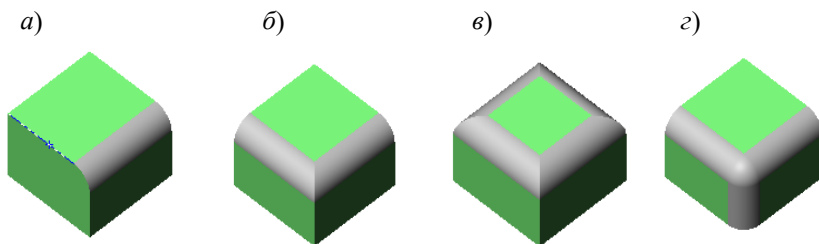


Рис. 2.14. Скругление граней: а– с одним скруглением, б– с двумя скруглениями без распространения вдоль линии перехода, в– скругление всех граней без распространения вдоль линии перехода, з– скругление с распространением вдоль линии перехода

При выполнении скруглений можно выбирать один из следующих параметров в зависимости от условий геометрии (выпуклости скругляемых кромок и смежных кромок и т.д.). Если нужно оставить кромку, то будет поддерживаться целостность смежных линейных кромок. Однако поверхность скругления разбивается на отдельные поверхности, и во многих случаях верхняя кромка скругления может иметь уклон (рис. 2.15, а) Если нужно оставить поверхность, то используется смежная поверхность для смягчения скругления. В результате кромка скругления получается слитной и гладкой, а смежная кромка разрушается (рис. 2.15, б).

Скругления со скругленными углами позволяют контролировать переход между кромками по углам. Готовое скругление сочетается с примыкающими кромками, что устраняет или сглаживает острый стык там, где соединяются две кромки (рис. 2.16).

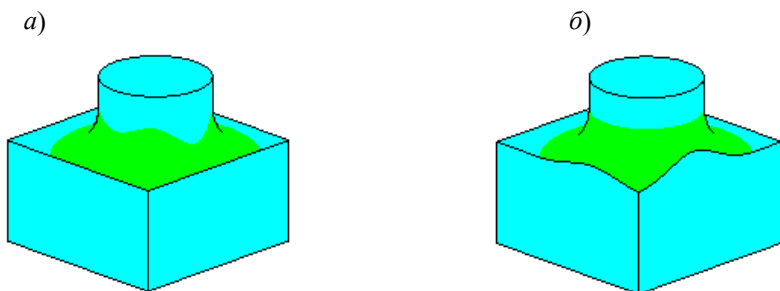


Рис. 2.15. Скругление с условием оставить кромку (а), оставить поверхность (б)

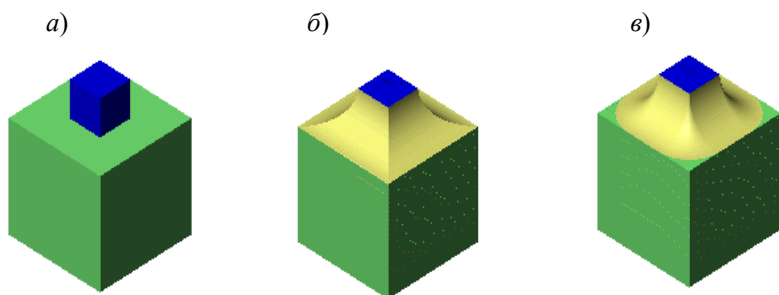


Рис. 2.16. Переход между различными поверхностями: а– исходные поверхности для скругления, б– скругление без углов, в– скругление с углами

Можно выполнить скругление с гладкой стыковкой граней с использованием линии разреза (рис. 2.17). Вместо использования кромки в качестве линии сопряжения используется линия разреза (рис. 2.17а).

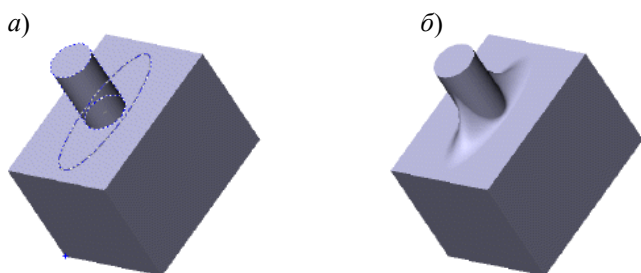


Рис. 2.17. Сопряжение цилиндра с отсеком плоскости: а– исходные поверхности для скругления и линия разреза, б– скругление с гладкой стыковкой

При выполнении скругления можно выбрать разные значения радиусов (рис. 2.18), опираясь на инструментальные средства системы.

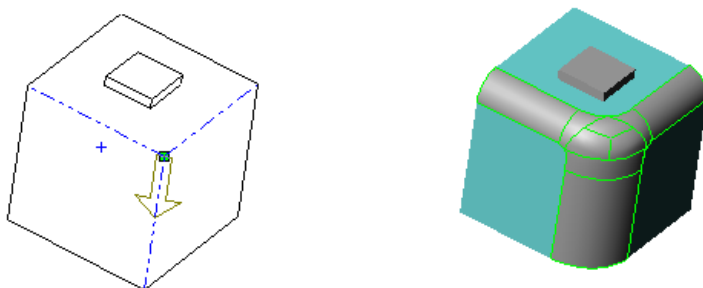


Рис. 2.18. Скругление с разными радиусами

Фаска, являясь геометрическим элементом редактирования модели, создает скос на выбранных гранях, поверхностях и вершинах. Может формироваться по разным условиям: угол-расстояние, расстояние-расстояние, равное расстояние (рис. 2.19).

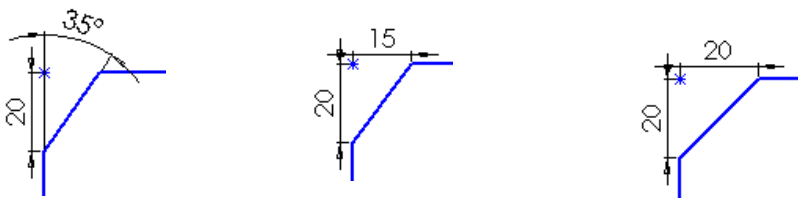


Рис. 2.19. Фаска, сформированная по трем разным условиям

Уклон заостряет выбранные грани или поверхности модели под заданным углом. Можно добавить уклон в существующую деталь (рис. 2.20) или создать его во время вытяжки элемента. Уклон может выполняться относительно указанной (базовой) плоскости (рис. 2.20), базовой линии уклона (рис. 2.21) и с изломом.

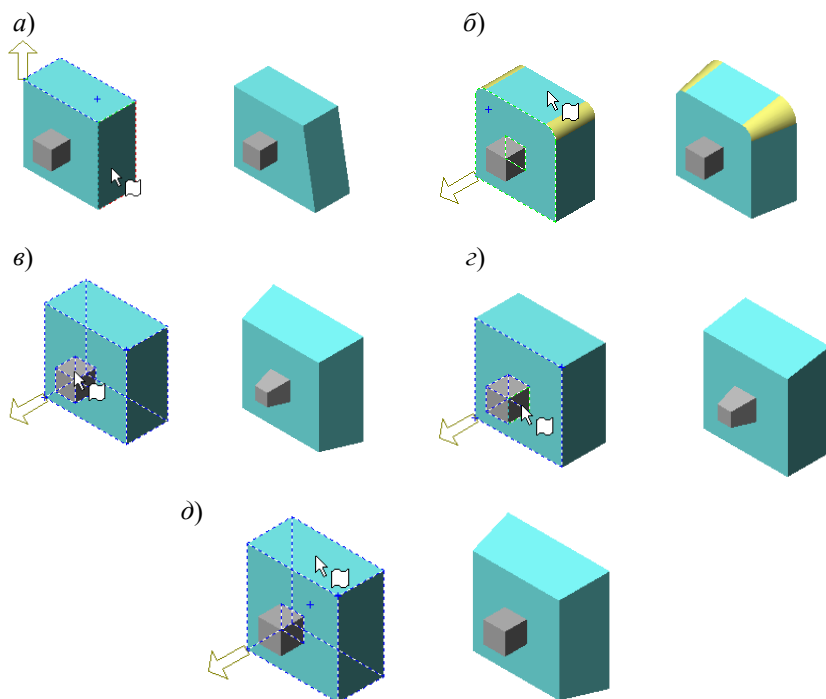


Рис. 2.20. Формирование уклона между различными поверхностями: *а*– уклон выполняется только на выбранной грани, *б*– уклон распространяется на грани, прилегающие к выбранной, *в*– уклон распространяется на все грани, ближайшие к базовой плоскости, и вытесняются из нее, *г*– уклон выполняется на всех гранях, вытесненных из базовой плоскости (внутренние грани), *д* – уклон выполняется на всех гранях, ближайших к базовой плоскости (наружные грани)

Базовая линия уклона позволяет выполнить уклон расположенных вокруг нее поверхностей. Для того чтобы выполнить уклон с разделяющей линией, нужно сначала разделить грани, для которых выполняется уклон, вставив линию разреза модели указать направление формирования уклона, т.е., с какой стороны от базовой линии уклона удаляется материал (см. рис. 2.21). Базовая линия может быть неплоской, т.е. в этом случае уклон будет с изломом (рис. 2.22).

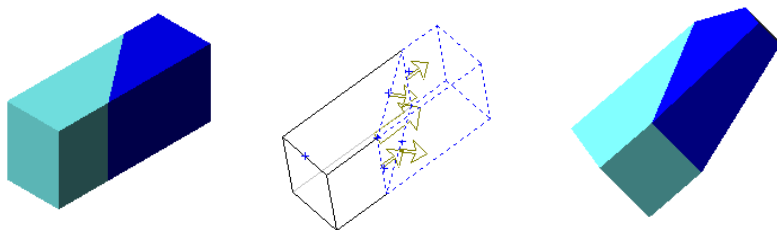


Рис. 2.21. Формирование уклона относительно базовой линии

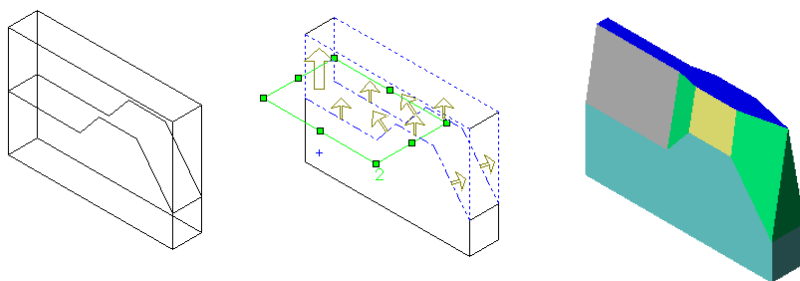


Рис. 2.22. Формирование уклона с изломом

Ребро создается с помощью одного или нескольких замкнутых или незамкнутых эскизов. Основанием для создания ребра жесткости может быть плоскость (рис. 2.23) или несколько элементов (рис. 2.24).

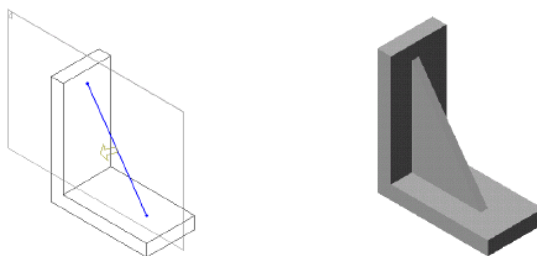


Рис. 2.23. Ребро жесткости, построенное по плоскости и контуру

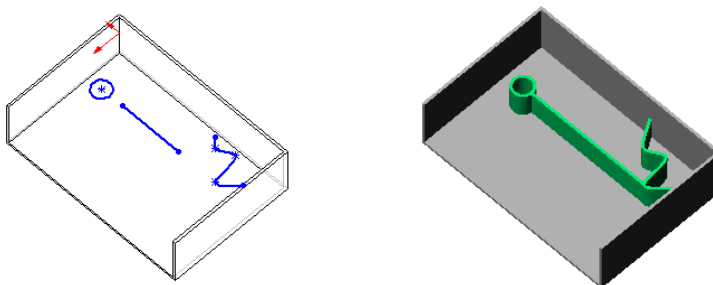


Рис. 2.24. Ребра жесткости построенные по нескольким элементам

Ориентация ребра может быть различной в зависимости от условий его формирования (рис. 2.25).

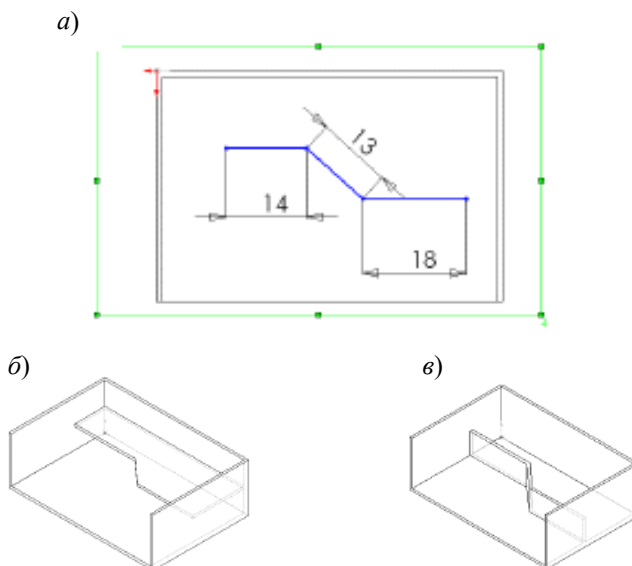


Рис. 2.25. Построение ребра жесткости по эскизу и его ориентации:
a– эскиз для ребра; *б*– ребро, построенное параллельно плоскости эскиза; *в*– ребро, построенное перпендикулярно плоскости эскиза

Для формирования ребра жесткости по контуру и с уклоном необходимо выделить контур и задать углы наклона, согласно ссылкам инструментальной системы ведущей построения (рис. 2.26).

Отверстия, которые встраиваются в геометрическую модель, могут быть различными по своей геометрии (простыми, с цековкой, с зенковкой и т.д.) и с различными граничными условиями (рис. 2.27).

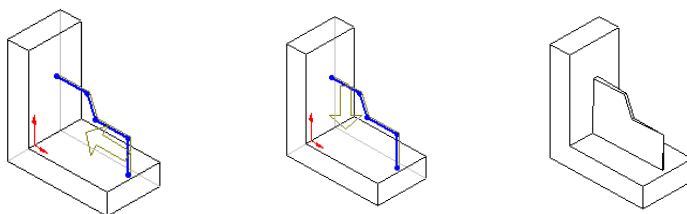


Рис. 2.26. Построение ребра жесткости по контуру и нескольким углам уклона

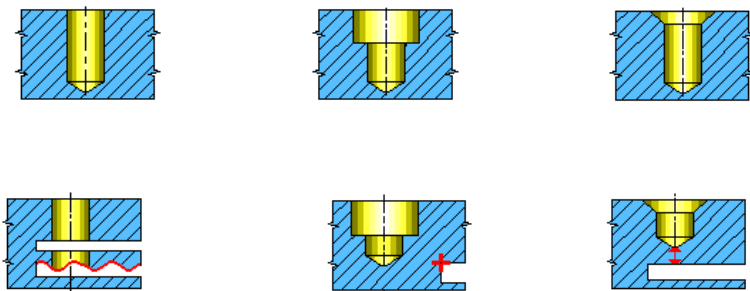


Рис. 2.27. Построение отверстий: простого, с цековкой и зенковкой: *а*– на заданную глубину; *б*– до поверхности, до указанного уровня, на расстоянии до указанной поверхности

Приведенные примеры не исчерпывают всю практику редактирования пространственных форм, тем более что многие операции редактирования базируются на плоской геометрии, т.е. редактировании плоских элементов, входящих в состав пространственной модели. Кроме того, как правило, существуют развитые редак-

торские функции, позволяющие изменять качественные и количественные характеристики включенных в пространственную модель элементов.

Также следует иметь ввиду, что при редактировании элемента модели (элемента вращения, кинематического элемента, как основания детали, так и приклеенного/вырезанного элемента) можно изменить значения количественных и качественных параметров, которые определяли этот элемент при его создании, но нельзя изменить тип элемента и тип выполненной после его создания булевой операции. Например, элемент вращения нельзя превратить в кинематический элемент, вырезанный элемент – в приклеенный, кинематический элемент – в элемент по сечениям, а приклеенный – в вырезанный.

После вызова команды редактирования элемента на экране появляется тот же диалог, который использовался при создании этого элемента. При редактировании фаски или скругления можно изменить значения количественных и качественных параметров, которые определяли эту фаску (или скругление) при ее создании, и назначить другие исходные ребра, но нельзя изменить тип элемента. Например, фаску нельзя превратить в скругление и наоборот. Все эти особенности относятся ко всем другим геометрическим элементам модели (детали).

Изменения сечения, траектории и параметров оперативно отражаются в окне детали в виде фантома элемента с новыми характеристиками. Редактирование детали в любой момент возможно изменением параметров любого ее элемента (эскиза, операции, вспомогательной оси или плоскости). После задания новых значений параметров деталь перестраивается в соответствии с ними. При этом сохраняются все существующие в ней связи. Например, пользователь изменяет глубину операции выдавливания и редактирует ее эскиз; в результате другой эскиз, построенный на торце образованного этой операцией тела, все равно остается на этом торце, а не «повисает» в пространстве на своем прежнем месте.

При редактировании сборки возможно изменение любого ее компонента (редактирование параметров элементов деталей, изменение состава подборок), перемещение компонентов (сдвиг или поворот), а также редактирование сопряжений – отношений между компонентами сборки.

Редактирование сборки может стать причиной нарушения существующих в ней параметрических связей и ограничений. Для их восстановления сборку следует перестроить. При перестраивании компоненты сборки перемещаются и/или перестраиваются так, чтобы их форма, параметры и положение соответствовали положению опорных объектов и не противоречили наложенным на них ограничениям. Например, приклеенный к детали формообразующий элемент был выдавлен до грани другой детали, входящей в сборку. Затем первую деталь переместили так, что расстояние от плоскости эскиза приклеенного элемента до ограничивающего его объекта изменилось. Сразу после перемещения форма детали не меняется. Кроме того, вспомогательные объекты, базировавшиеся на этой детали, остаются на своих прежних местах. Все это нарушает имеющиеся в модели связи. Перестраивание модели придает перемещенной детали нужную форму (приклеенный элемент «дотягивается до своей грани») и перемещает вспомогательные объекты так, чтобы их положение соответствовало новому положению базовых объектов.

При редактировании сопряжений система автоматически проверяет, возможно ли наложение указанной связи. Новое сопряжение создается лишь в том случае, если оно не противоречит уже имеющимся.

Следует особо подчеркнуть, что после редактирования объекта, занимающего любое место в иерархии построений, не требуется заново задавать последовательность построения подчиненных элементов и их параметры. Вся эта информация хранится в модели и не разрушается при редактировании отдельных ее частей. Форму и размеры элемента определяют не только форма и размеры контура в соответствующем эскизе, но и параметры формообразующей операции (например, глубина выдавливания или угол поворота контура в эскизе). Некоторые элементы (например, вспомогательные плоскости и оси) вообще не имеют эскизов и полностью определяются параметрами, заданными в команде их построения.

Чтобы изменить эти параметры, необходимо выделить элемент (в *Дереве построения* или в окне модели). Вызвать из контекстного меню команду *Редактировать элемент* и с помощью *Указателя окончания* построения модели исключить элементы модели из расчета, удалить их, а также использовать его для изменения порядка построения модели.

Это свойство *Указателя окончания построений*, а также то, что исключенные из расчета элементы не отображаются на экране и не могут использоваться при построениях, удобно использовать для изменения последовательности построения модели. Например, для редактирования детали, полученной с помощью операции зеркального копирования, следует вносить изменения в ту ее половину, которая являлась оригиналом, располагая их до операции копирования. Однако, во-первых, обе половины детали выглядят совершенно одинаково, во-вторых, при редактировании можно случайно использовать элементы той половины детали, которая получена копированием, что неизбежно приведет к ошибке. В таких случаях целесообразно переместить *Указатель окончания построения* так, чтобы операция зеркального копирования и все последующие были исключены из расчета. На экране остается только оригинальная половина детали, которую можно отредактировать по своему усмотрению. После включения в расчет операции копирования вторая половина детали также будет содержать внесенные изменения.

Существует и целый ряд других приемов редактирования опирающихся на *Дерево построения* типовые операции.

2.4. Стандартные геометрические решения

В любой графической системе существует стандартный набор геометрических элементов, геометрических форм и конструктивных элементов (унифицированных, стандартных), которые представляют собой базу данных предметной области проектирования. Развитостью этой базы данных в том числе и отличаются совершенные системы. Прежде всего, это стандартные (в математическом отношении) геометрические формы (рис. 2.28): параллелепипед, сфера, цилиндр, конус, клин, тор, 3D-поверхности и ряд других.

Однако практика моделирования показала, что по отношению к реальным конструкциям эти формы являются геометрическими примитивами и на самом деле целесообразно использовать библиотечные элементы, соответствующие предметной области проектирования. Обычно такие библиотеки нарабатываются самим конструктором в процессе профессиональной деятельности или же выполняются по заказу предприятия или отрасли сторонними организациями.

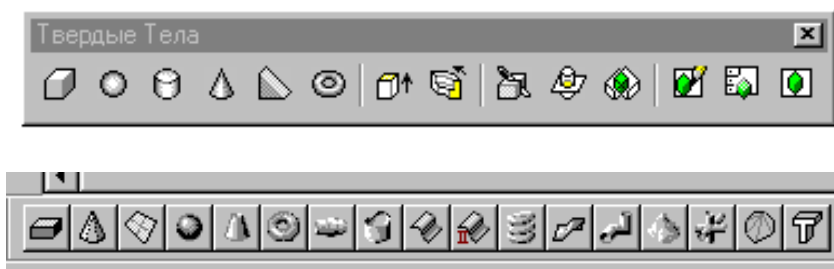


Рис. 2.28. Набор геометрических форм, используемый в пользовательском меню большинства систем геометрического моделирования

Хорошим примером является набор профессиональных библиотек для системы Компас-3D. Навигация по большому количеству библиотек и справочников осуществляется с помощью специально разработанных программ – менеджеров библиотек (рис. 2.29), позволяющих быстро получить необходимую информацию. Сведения, содержащиеся в библиотеках, представлены в параметризованном виде, что позволяет легко изменять геометрические характеристики моделей при их использовании в процессе конструирования, или же получать изображения нормализованных изделий. На рис. 2.30 представлены фрагменты библиотек трех мерных моделей различных по своему функциональному назначению элементов конструкций, а на рис. 2.31 и 2.32 – фрагменты библиотек стандартных изделий разного профиля и библиотек фрагментов конструкций под стандартные элементы.

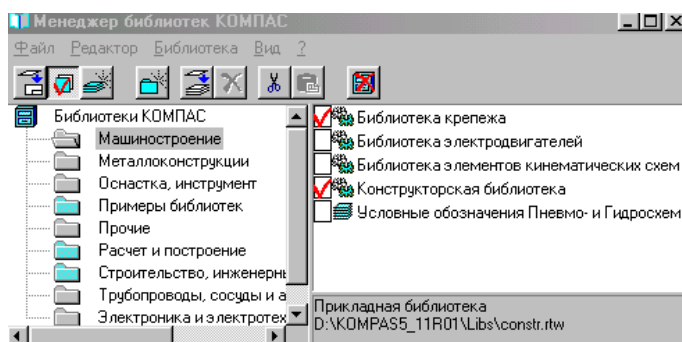


Рис. 2.29. Менеджер библиотек системы Компас-3D

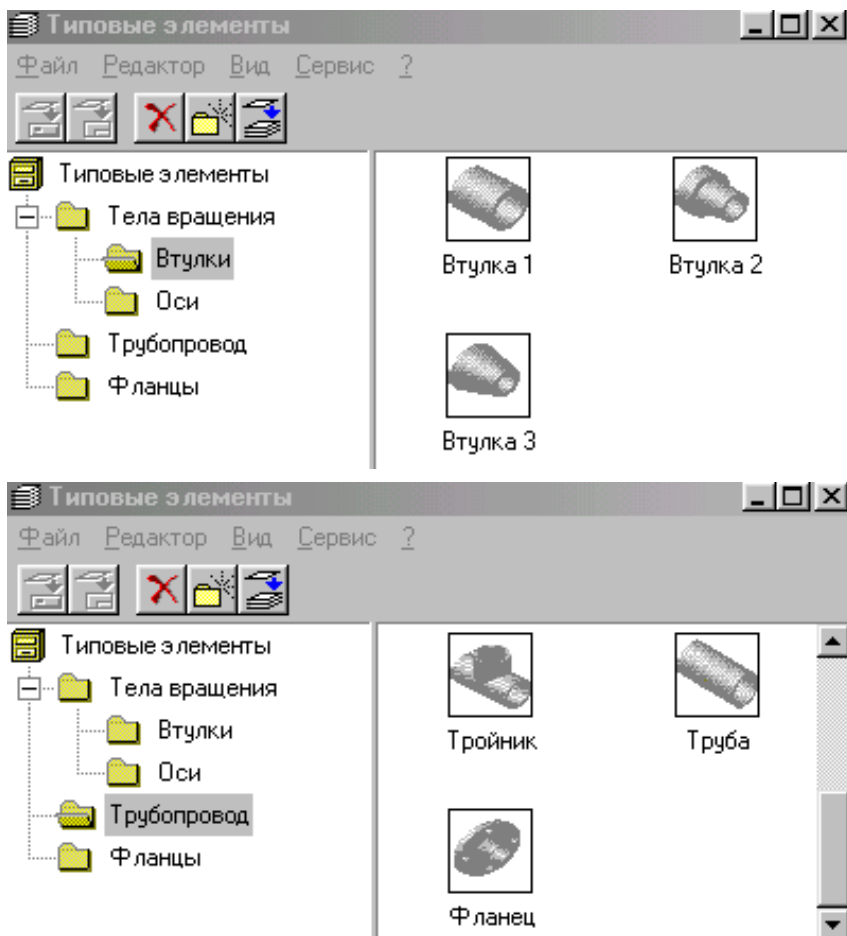


Рис. 2.30. Фрагменты библиотеки трехмерных моделей технических конструкций

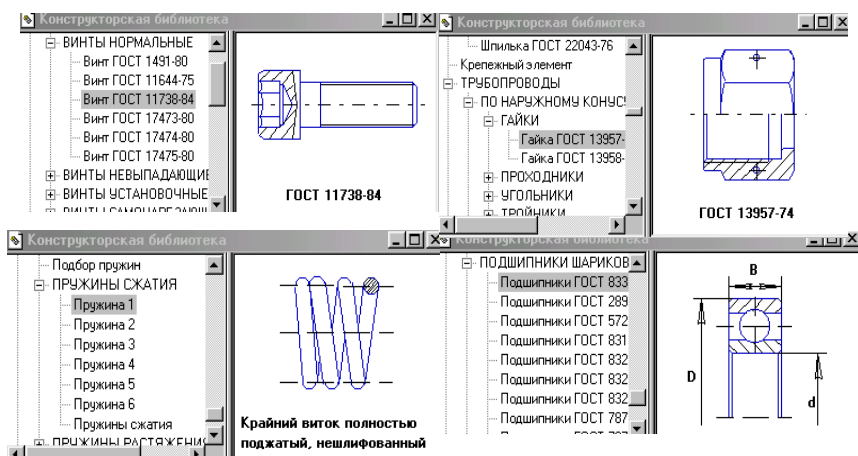


Рис. 2.31. Фрагменты библиотек на стандартные изделия

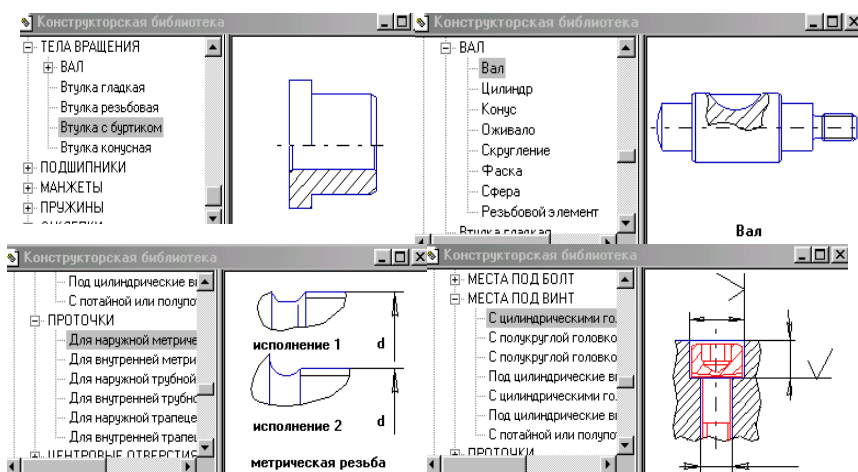


Рис. 2.32. Фрагменты библиотек элементов конструкций под стандартные изделия