

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра автоматического управления

**А.П. Пашкевич, О.А. Чумаков**

## **ОСНОВЫ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Методическое пособие  
для студентов специальностей  
53 01 03 «Автоматическое управление в технических системах»  
и 53 01 07 «Информационные технологии и управление  
в технических системах»  
дневной формы обучения

Минск 2005

УДК 681.3.06 (075.8)

ББК 32.97 я 73

П 22

Рецензент:

доц. кафедры ИТАС БГУИР  
канд. техн. наук М.П. Ревотюк

**Пашкевич А.П.**

П 22 Основы систем автоматизированного проектирования: Метод. пособие для студ. спец. 53 01 03 «Автоматическое управление в технических системах» и 53 01 07 «Информационные технологии и управление в технических системах» дневной формы обучения / А.П. Пашкевич, О.А. Чумаков. – Мн.: БГУИР, 2005. – 48 с.  
ISBN 985-444-699-9

В методическом пособии рассматриваются принципы автоматизации проектирования, а также вопросы архитектуры и информационного обеспечения САПР. Подробно изложены современные технологии проектирования, включая интегрированные системы CAD/CAM/CAE и концепцию CALS.

УДК 681.3.06 (075.8)

ББК 32.97 я 73

ISBN 985-444-699-9

© Пашкевич А.П., Чумаков О.А., 2005

© БГУИР, 2005

## СОДЕРЖАНИЕ

### Введение

1. Современные технологии проектирования
  - 1.1. Интегрированные системы CAD/CAM/CAE
  - 1.2. Концепция CALS
  - 1.3. Технологии управления производственной информацией
  - 1.4. Классификация САПР
2. Принципы построения систем графического моделирования
  - 2.1. Двухмерные графические системы
  - 2.2. Трехмерные графические системы
  - 2.3. Методы конструирования изделий
3. Графические стандарты
  - 3.1. Форматы графических файлов
  - 3.2. Обмен графической информацией
  - 3.3. Стандартные графические примитивы
4. Системы геометрического моделирования
  - 4.1. Система DUCT
  - 4.2. Система CATIA
  - 4.3. Системы фирмы Autodesk
  - 4.4. Система I-DEAS
  - 4.5. Система Unigraphics

### Литература

## Введение

В настоящее время при изготовлении чертежей и прочей конструкторской документации системы автоматизированного проектирования (САПР) практически полностью вытеснили традиционный способ черчения – кульман. Использование компьютера освобождает конструкторов и технологов от рутинной работы, а также резко повышает производительность труда (по некоторым оценкам в 2–2,5 раза). САПР ориентированы на работу в интерактивном режиме, предоставляя проектировщику оперативный доступ к графической информации, простой и эффективный язык управления ее обработкой с практически неограниченными возможностями контроля результатов. В результате удается автоматизировать самую трудоемкую часть работы (в процессе традиционного проектирования на разработку и оформление чертежей приходится около 70 % от общих трудозатрат конструкторской работы, 15 % – на организацию и ведение архивов и 15 % – собственно на проектирование, включающее в себя разработку конструкции, расчеты, согласования и т.д.).

В данном методическом пособии раскрываются принципы автоматизации проектирования, а также рассматриваются вопросы архитектуры и информационного обеспечения САПР. Подробно изложены современные технологии проектирования, включая интегрированные системы CAD/CAM/CAE и концепцию CALS. Приводятся базовые сведения о принципах построения систем графического моделирования, а также об основных графических стандартах. В заключительном разделе проводится сравнительный анализ наиболее распространенных систем графического моделирования: DUCT, CATIA, AutoCAD, I-DEAS, Unigraphics.

# 1. Современные технологии проектирования

## 1.1. Интегрированные системы CAD/CAM/CAE

Определяющими факторами успеха в промышленном производстве являются уменьшение времени выхода продукции на рынок, повышение ее качества и снижение стоимости. Практическая реализация этих требований обуславливает необходимость модернизации проектно-технологических и производственных процессов как в рамках отдельных предприятий, так и в условиях «расширенного предприятия», объединяющего всех поставщиков, соисполнителей и участников проектирования и производства продукции. В настоящее время наиболее радикальным средством решения задач модернизации является внедрение *интегрированных информационных технологий* на базе использования современных средств вычислительной техники и сетевых решений. К числу наиболее эффективных технологий, дающих весомый выигрыш в короткие сроки, принадлежат системы автоматизированного проектирования, инженерного анализа и технологической подготовки (CAD/CAM/CAE), а также системы управления производственной информацией (PDM).

Первым, наиболее значительным результатом в области разработки программных средств САПР является создание интерактивных графических редакторов (систем автоматизированного черчения CADD – Computer-Aided Design and Drafting). В сущности, все графические редакторы работают одинаково: для них определены элементарные геометрические объекты (примитивы), а также процедуры манипулирования с этими объектами (редактирование). Поэтому в таких редакторах реализованы упрощенные представления о проектировании как о процессе создания геометрических объектов путем манипуляции с набором неких элементарных геометрических объектов – геометрических примитивов. Очевидно, что такие представления недостаточно точно отражают работу инженера-конструктора, не позволяют отличить ее от деятельности чертежника, которая полностью ограничивается рамками изготовления технической документации.

Специализация графических редакторов для САПР привела к появлению целого ряда утилит, одни из которых встраивались в ядро редактора (например утилита образмеривания), а другие предполагалось применять как независимые сервисные программы (утилита параметрического проектирования и пр.). Это, безусловно, улучшило эффективность использования САПР, но ничего не изменило принципиально. В настоящее время развитие программных средств САПР идет в направлении решения довольно небольшого круга проблем, к которым в первую очередь относятся: *эффективность твердотельного моделирования, параметризация, а также ассоциативность и программный интерфейс.*

## 1.2. Концепция CALS

Современное представление о процессе проектирования исходит из его «генетического» единства с процессом производства. С этой точки зрения проектирование является информационной моделью производства, а никак не процессом изготовления технической документации. Следует отметить, что ранее конструкторы не имели инструментов для проверки адекватности указанных процессов, поэтому и появилась специальность технолога, который, по сути дела, осуществляет «переформатирование» описания из форм, адекватных процессу проектирования, в форму, адекватную процессу производства. Но с появлением современных средств вычислительной техники стала возможна непосредственная передача информации от компьютеров к элементам производства, хотя, как правило, необходимость изготовления технической документации сохраняется.

Первые шаги в организации «единого информационного пространства» были предприняты в 80-х годах в оборонном комплексе США, где возникла необходимость в обеспечении оперативного обмена данными между заказчиком, производителем и потребителем вооружений, а также в сокращении бумажного документопотока. Первоначально данная концепция получила обозначение CALS (Computer Aided Logistic Support – компьютерная поддержка поставок) и охватывала в основном фазы производства и эксплуатации. В дальнейшем концепция CALS начала активно применяться в промышленности, строительстве, транспорте и других отраслях экономики, расширяясь и охватывая все этапы «жизненного цикла» продукта – от маркетинга до утилизации.

В настоящий момент CALS понимается как Continuous Acquisition and Life Cycle Support – непрерывная информационная поддержка «жизненного цикла» изделия. По своей сути CALS является глобальной стратегией повышения эффективности бизнес-процессов, выполняемых в ходе «жизненного цикла» изделия, за счет информационной интеграции и преемственности информации, порождаемой на всех этапах «жизненного цикла». Возможность совместного использования информации определяется применением компьютерных сетей и стандартизацией форматов данных, обеспечивающей их корректную интерпретацию. Интегрированная модель продукта и обмен конструкторскими данными между проектировщиком и производителем являются источником информации для расчета потребности в материалах, создания электронных справочников по эксплуатации продукта и т.д.

Решение указанных проблем возможно путем унификации способов представления, интерпретации и использования информации, которые реализованы в стандарте ISO 10303 STEP (Standard for the Exchange of Product). Модель изделия в соответствии с этим стандартом включает: геометрические данные; информацию о конфигурации изделия; данные об изменениях, согласованиях и утверждениях. Он позволяет решать проблему обмена

информацией между подразделениями предприятия, а также участниками кооперации, оснащенными разнородными системами проектирования.

### **1.3. Технологии управления производственной информацией**

В рамках технологии CALS развиваются современные технологии управления производственной информацией, часто называемые PDM-системами (Product Data Management). Они следят за большими, постоянно обновляющимися массивами данных и инженерно-технической информации. В отличие от баз данных, PDM-системы интегрируют информацию любых форматов и типов, поступающую от различных источников, предоставляя ее пользователям в структурированном виде, отражающем особенности современного промышленного производства. Системы PDM отличаются также и от интегрированных систем офисного документооборота, поскольку текстовые документы являются далеко не самыми «нужными» на производстве (куда важнее геометрические модели, данные для функционирования автоматических линий, станков с ЧПУ и т.п.). Системы PDM обобщают такие широко известные технологии, как управление инженерными данными (Engineering Data Management – EDM), управление документами, управление информацией об изделии (Product Information Management – PIM), управление техническими данными (Technical Data Management – TDM), управление технической информацией (Technical Information Management – TIM), управление изображениями и пр.

Любая информация, необходимая на том или ином этапе «жизненного цикла» изделия, может управляться системой PDM, которая предоставляет корректные данные всем пользователям и всем промышленным информационным системам. Наряду с данными PDM управляет и проектом – процессом разработки изделия, контролируя собственно информацию об изделии, о состоянии объектов данных, об утверждении вносимых изменений, осуществляя авторизацию и другие операции, которые влияют на данные об изделии и режимы доступа к ним каждого конкретного пользователя.

Системы PDM играют роль связующего звена между этапом инженерно-конструкторской подготовки нового изделия и системами MRP (Manufacturing Resource Planning) или, другими словами, разного рода АСУ, решающими задачи автоматизации управления финансами, складским хозяйством, снабжением и сбытом, а также техническим обслуживанием. О важности такого рода систем свидетельствует хотя бы такой факт, что только 25 % рабочего времени персонала компании, начиная от проектировщика и кончая руководителем проекта, тратится на собственно творческую работу, а остальное время идет на поиск информации и стыковку потоков данных, поступающих от разных подразделений. Часто оказывается, что проще заново разработать деталь, чем найти информацию, подготовленную некоторое время назад.

Место систем PDM в общей производственной цепочке показано на рис. 1. Они занимают промежуточное положение между системами MRP и системами CAD/CAM/CAE, которые в русскоязычной литературе называют одним термином – интегрированные САПР. В англоязычной литературе под указанными терминами понимают следующее:

CAD (Computer-Aided Design) – общий термин для обозначения всех аспектов проектирования с использованием средств вычислительной техники; обычно охватывает создание геометрических моделей изделия (твердотельных, трехмерных, составных), а также генерацию чертежей изделия и их сопровождений;

CAM (Computer-Aided Manufacturing) – общий термин для обозначения программных систем подготовки информации для станков с ЧПУ; традиционно исходными данными для таких систем были геометрические модели деталей, получаемые из систем CAD;

CAE (Computer-Aided Engineering) – общий термин для обозначения информационного обеспечения автоматизированного анализа проекта (прочностные расчеты, коллизии кинематики и т.п.) или оптимизации производственных возможностей.

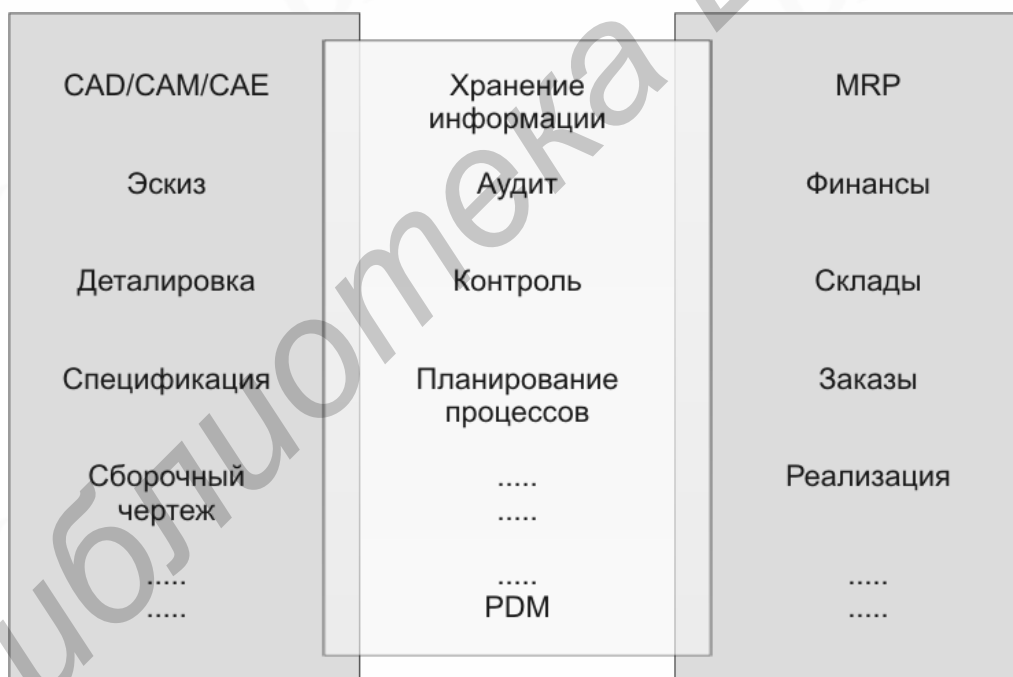


Рис. 1. Взаимосвязь систем автоматизации производственных процессов

Главное направление развития современных САПР – повышение их интеллектуальных функций, т.е. способности «понимать» намерения конструкторов. В простейшем случае в системе запоминается лишь «история» или последовательность шагов, выполняемых проектировщиком. Такие системы удобны при создании библиотек стандартных деталей и элементов, но для более сложных ситуаций требуется более «интеллектуальная» реализация



пользовательского интерфейса. Поэтому в САПР начинает все шире использоваться *объектная технология*, в соответствии с которой САПР должны не работать с файлами, а обрабатывать объекты. Объекты образуют собой «целостности», включающие множественные непротиворечивые представления одной и той же «сущности». Например, деталь может представлять интерес для дизайнера с позиции эстетики формы, для инженера – с позиции вычислительной сложности поверхности, для технолога – с позиции применимости процесса штамповки для ее изготовления. Объект позволяет объединить подобные представления, а это открывает прямой путь к эффективной реализации идей C-технологии, т.е. параллельного проектирования и инжиниринга (concurrent design and engineering).

C-технология (конструкторско-технологическое проектирование) – это принципиально новый, интегрированный подход к проектированию. В ее основе лежит идея совмещенного проектирования изделия, а также процессов его изготовления и сопровождения, координируемых с помощью специально создаваемой для этой цели распределенной информационной среды. Подобная технология позволяет использовать проектные данные, начиная с самых ранних стадий проектирования, одновременно различными группами специалистов. Например, в трех главных конструкторских бюро компании Boeing действуют 220 групп «проектирование-производство», которые координируют параллельные разработки и состоят из специалистов таких разнообразных областей, как конструирование, технология материалов, производство и взаимодействие с клиентами. C-технология обеспечивает устранение известных недостатков последовательного проектирования, в частности, в случае, когда ошибки проекта изделия неожиданно обнаруживаются на последних его стадиях. Кроме того, появляется возможность легко и быстро вносить изменения в проект, причем таким образом, чтобы изменения не вызывали повторного проектирования созданных деталей и узлов. Сегодня «перепроектирование» продолжает оставаться существенной затратной компонентой любой разработки.

В заключение следует обратить внимание на интересные инициативы в области САПР, возникшие в Германии. Они связаны с проблемой роста несовместимости решений, предлагаемых многочисленными производителями информационной техники, включая и CAD/CAM/CAE-системы. Решение этой проблемы стало настолько насущным, что поставлен вопрос о стандартизации систем CAD/CAM/CAE и информационной техники в целом. Концерн Daimler-Benz выступил с предложением под названием «Инициатива по передовой информационной технике», которое поддержали British Aerospace, FIAT, Renault, SAAB, Volkswagen и многие другие компании. Другой проект под названием CAD2000 объединил компании Audi, BMW, Mercedes-Benz, Porsche, Volkswagen. Эти проекты пытаются решить громадную по масштабам и сложности проблему поиска стандартных решений, способных удовлетворить огромное множество прикладных требований от проектирования до

изготовления, а также управления информационными данными и библиотеками стандартных компонентов.

#### 1.4. Классификация САПР

САПР необходимо рассматривать как неразрывную совокупность «пользователи – технические средства – ПО проектирования». Руководствуясь этим принципом, основные классификационные характеристики систем можно разбить на следующие группы:

1. *Общие характеристики*, определяющие взаимодействие САПР как единого целого (назначение и способ организации информационных потоков).

2. *Программные характеристики*, разделяющие системы по отдельным особенностям программных решений (специализация, организация внутренней структуры, функциональное расширение, обмен информацией, способ создания изменяемых прототипов, методы моделирования функций).

3. *Технические характеристики*, определяющие особенности используемых в САПР средств вычислительной техники и периферийного оборудования.

4. *Эргономические характеристики*, оценивающие эффективность взаимодействия пользователя с программно-техническими средствами САПР.

Раскроем данную классификацию более подробно.

1. По назначению САПР можно классифицировать следующим образом:

- машиностроительные САПР – разработка широчайшего спектра изделий: от создания аэрокосмических систем до проектирования кофеварок и кухонных комбайнов;
- САПР изделий микроэлектроники – проектирование принципиальных и монтажных схем, печатных плат, автоматическое размещение элементов изделий, автотрассировка;
- электротехнические САПР – разработка принципиальных схем и схем подключения электротехнического оборудования, его пространственная компоновка, ведение баз данных готовых изделий;
- архитектурные САПР – трехмерное проектирование архитектурно-строительных конструкций, расчет специальных конструкций типа крыш, типовые статические расчеты строительных конструкций, ведение баз данных стандартных элементов, планирование территорий под строительство;
- САПР оборудования промышленных установок и сооружений – создание принципиальных схем установок, пространственная разводка трубопроводов и кабельных трасс, проектирование систем отопления, водоснабжения, канализации, электроснабжения, вентиляции и

кондиционирования, ведение баз данных оборудования, трубопроводной арматуры, готовых электротехнических изделий;

- геоинформационные САПР – оцифровка данных полевой съемки, анализ геодезических сетей, построение цифровой модели рельефа, создание в векторной форме карт и планов, ведение земельного и городского кадастров, электронного картографического архива.

По способу организации информационных потоков различают:

- индивидуальные автоматизированные рабочие места – системы подобного класса создаются на базе отдельных рабочих станций или ПК;
- распределенные одноуровневые системы – системы, объединенные в локальную сеть с несколькими рабочими станциями и/или ПК; функциональные возможности ПО в этом случае больше всего зависят от технических параметров используемых средств вычислительной техники и могут выполнять равноправные проектно-конструкторские функции; базой для создания подобной сети может послужить, например, система Pro/ENGINEER фирмы PTC, имеющая сопоставимые по цене и возможностям функциональные аналоги САПР для рабочих станций и ПК;
- распределенные многоуровневые системы – системы, объединенные в локальную сеть с одной или несколькими рабочими станциями и ПК; функциональные возможности ПО в этом случае отличаются: на высокопроизводительных рабочих станциях устанавливаются мощные и достаточно дорогие САПР, а на ПК – их существенно более дешевые, но несколько сокращенные функциональные аналоги; в этом случае на рабочих станциях осуществляются укрупнение и сборка деталей и узлов, сконструированных на ПК; примером подобной организации работ может служить программный тандем, образованный системами Euclid и Prelude фирмы MATRA Datavision;
- интегрированные многоуровневые системы – системы, предназначенные для проектирования и подготовки производства сложных изделий. Они, как правило, имеют достаточно сложную внутреннюю иерархию информационных потоков; современные высокоуровневые САПР имеют все средства для организации параллельно-агрегатного инжиниринга, позволяющего управлять работой как отдельных исполнителей, выполняющих один проект, так и целых конструкторских отделов, решающих совершенно разные задачи;
- интегрированные системы управления предприятием – системы, управляющие всем комплексом задач функционирования предприятия как единого целого. САПР/АСТПП в этом случае входят как отдельные структурные элементы автоматизированной системы управления предприятием.

2. Программные характеристики классифицируются:  
по специализации программных средств:

- узкоспециализированные утилиты – предназначены для выполнения 1-й локальной функции системы, например, быстрого просмотра файлов моделей и чертежей или для преобразования файлов из формата 1-й системы в формат другой;
- специализированные системы – позволяют автоматизировать комплекс задач, связанных с 1-й достаточно узкой областью проектирования или подготовки производства; в качестве примера можно привести системы гибки листовых деталей, проектирования оснастки для холодной штамповки, подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ, контрольно-измерительных систем и т.д.;
- универсальные системы – позволяют создавать изделия самого широкого профиля; большинство машиностроительных САПР можно отнести именно к универсальным системам;
- комплексные системы – предназначены для решения проблем проектирования и подготовки производства специальных высоко-сложных изделий; например, специализированные судостроительные системы типа Tribon фирмы Kockums Computer Systems или FORAN фирмы Senemag позволяют автоматизировать практически весь цикл проектирования судна: от определения формы корпуса судна, его основных размеров и расположения основных отсеков и помещений до создания рабочих чертежей блоков и секций корпуса, многочисленных трубопроводных систем, кабельных трасс, а также подготовки управляющих программ для тепловой резки;

по способу организации внутренней структуры САПР:

- нерасширяемые системы – используют стандартный набор взаимосвязанных модулей, реализующий все основные функции системы; изменение функциональных возможностей системы требует, как правило, модификации исходного программного кода и перекомпиляции системы; такой подход в основном применялся на первоначальном этапе создания САПР;
- масштабируемые модульные системы – формируемые вокруг базового ядра. Ядро таких систем включает все требуемые базовые средства построения двухмерной и трехмерной графики, средства диалога с пользователем, базу данных графической информации и позволяет компоновать специализированные системы на базе свободно подключаемых модулей, учитывающих специфику работ пользователя (например, модули раскроя листового материала или развертки трубных соединений); большинство современных систем построено именно по этому принципу;

- горизонтально расширяемые системы. Интегрирующим ядром таких систем является диспетчер пользовательской среды, организующий доступ к внешним приложениям и обмен данными с внешними системами; объектно-ориентированная структура данных и стандартизованный их обмен между приложениями позволяют максимально децентрализовать процесс проектирования и упростить подключение специализированных модулей; такой подход, например, успешно реализован в системе Euclid Quantum фирмы MATRA Datavision и в настоящее время считается одним из наиболее перспективных;

по возможности функционального расширения системы пользователем:

- закрытые системы – не имеют средств индивидуальной настройки и возможности расширения системы пользователем;
- системы с настраиваемой системой интерфейса пользователем – обладают возможностью подстройки системы меню, создания диалоговых окон для формирования среды, удобной пользователю;
- системы с пакетной обработкой команд – имеют возможность выполнения последовательности команд САПР, сформированных в текстовом пакетном файле, созданном внешней программой; примером могут служить script-файлы системы AutoCAD фирмы AutoDesk, позволяющие задавать последовательность команд построения графических примитивов с соответствующими им числовыми параметрами;
- системы со встроенным макроязыком и библиотекой функций – обладают средствами для записи макрокоманд или создания новых функций пользователя, позволяющих автоматизировать специфические конструкторские операции; система AutoCAD, например, имеет встроенный язык AutoLISP, а пакет SolidWorks фирмы SolidWorks Corporation снабжен подмножеством языка Basic, аналогичным языку Basic for Application фирмы Microsoft;
- системы с возможностью подключения внешних модулей – позволяют подключать модули пользователя, написанные на языках высокого уровня типа C++, что значительно увеличивает потенциальные возможности расширения системы; большинство современных САПР высокого уровня обладают подобной возможностью;
- инструменты разработчика САПР – дают возможность, используя набор стандартных библиотек функций, создавать свои собственные приложения для САПР или даже собственные САПР; инструменты могут включать как отдельные библиотеки функций типа OpenGL для работы с графическими объектами, так и целые интегрированные объектно-ориентированные инструментальные «производства» типа CAS.CADE фирмы MATRA Datavision.

Современные САПР в том или ином виде включают практически весь набор (за исключением инструментов разработчика) средств индивидуальной настройки и возможности расширения систем пользователем. Они классифицируются следующим образом:

по возможности обмена информацией:

- замкнутые системы – сохраняют данные в своем собственном внутреннем формате и не позволяют обмениваться информацией с другими системами;
- системы с текстовыми файлами обмена информацией – сохраняют и считывают информацию об отдельных геометрических примитивах в виде массивов цифр, разделенных пробелами или запятыми;
- системы со стандартными средствами обмена информацией – позволяют сохранять и считывать информацию о моделях изделий в специальном текстовом или двоичном формате, описывающем все объекты; в качестве примера можно привести файл обмена информацией (Data Exchange Format) DXF системы AutoCAD, ставший стандартом для ПК; наиболее распространенными другими стандартами являются STEP, IGES, CADL, AME и некоторые другие;

по способу создания изменяемых прототипов:

- неизменяемые готовые блоки – вставляются в модель или чертеж в виде готовых элементов, предварительно сохраненных на жестком диске;
- элементы, программно – формируемые во внешних модулях, – создаются специальными программами в виде текстовых пакетных файлов с последовательностью команд построения объекта или стандартных файлов обмена информацией;
- параметрически задаваемые элементы – представляют собой графические объекты, размеры которых связаны между собой в виде взаимозависимых цепочек параметров; изменение какого-либо одного из них или зависимости, определяющей взаимосвязь нескольких параметров, приводит к соответствующему пересчету по всей зависимой цепочке размеров и соответствующему изменению геометрии модифицируемого объекта;
- адаптивно изменяемые элементы – дают возможность несколько более простой корректировки объектов; простым указанием курсора мыши на модифицируемые элементы геометрии объекта можно изменить форму контуров объекта или задать в диалоговом окне новую величину определяющего параметра;
- комбинированные методы – сочетают адаптивную технологию быстрой корректировки свободных размеров и параметрическую технологию изменения взаимозависимых размеров; это основное направление развития современных САПР;

по методам моделирования функций создаваемых изделий:

- без специальных методов – в этом случае основные параметры конструкций определяются вне системы традиционными методами;
- проверочные расчеты с использованием метода конечных элементов – позволяют проводить широкий комплекс работ по определению основных прочностных характеристик изделия, величин напряжений и деформаций в зависимости от различных схем нагрузки и параметров материала;
- специализированные подсистемы моделирования – дают возможность анализировать поведение весьма специфических материалов в особых условиях: например, исследовать поведение пластмасс в процессе штамповки в термопластавтоматах или прогнозировать возникновение трещин в металле во время сварки с учетом пластических деформаций;

по используемым средствам вычислительной техники:

- персональные компьютеры на базе процессоров Intel Pentium;
- рабочие станции на базе разнообразных архитектур (RISC, SPARC, MIPS, PowerPC, Pentium Pro и т.д.) различных производителей (SUN, Silicon Graphics, Digital, Hewlett-Packard, IBM и др.);
- мини – ЭВМ (DEC VAX, CM);
- мэйнфреймы (IBM 360/370, ЕС);

по способу объединения технических средств:

- автономные рабочие станции;
- многотерминальные ЭВМ;
- одноранговая локальная сеть;
- локальная сеть с выделенным сервером;
- гетерогенная сеть со сложной структурой.

3. По используемым техническим средствам и периферийному оборудованию САПР подразделяются следующим образом:

- САПР минимальной конфигурации – монитор 14 – 15 дюймов, устройства ввода данных и позиционирования курсора (клавиатура, мышь), устройства вывода информации (матричный, струйный или лазерный принтеры формата А4; перьевой или струйный плоттер формата А1), устройства хранения информации (стример для резервного копирования данных);
- технически развитые САПР – один или несколько мониторов от 17 дюймов и выше, устройства ввода данных и позиционирования курсора (клавиатура, мышь); дигитайзер (цифровой планшет) формата А0; сканер формата А1 – А0; устройства вывода информации (струйный или лазерный принтер формата А3 – А4; плоттер формата А1 – А0)

(перьевой рулонный, струйный или лазерный)); устройства хранения информации (магнитооптические и перезаписываемые оптические диски, RAID массивы, стримеры);

4. Эргономические характеристики учитывают способы организации диалога системы с пользователем:

- через командную строку;
- с использованием системы иерархических меню и диалоговых окон с контекстно зависимой помощью: в виде текстовых строк или условных пиктограмм;
- с помощью объектно-ориентированного интерфейса и мультимедийной системы помощи.



## 2. Принципы построения систем графического моделирования

### 2.1. Двухмерные графические системы

Двухмерные графические системы широко применяются при автоматизации чертежных работ. Чертежи любой сложности строятся из базовых графических элементов: точек, прямых, окружностей и других кривых. Каждый из этих элементов задается группой характерных точек, координаты которых могут определяться в абсолютной (мировой) системе координат или относительно предыдущей введенной точки (инкрементный ввод). При этом используют несколько способов задания точек:

- указанием на экране с помощью мыши;
- введением чисел с клавиатуры;
- «привязкой» к некоторому элементу чертежа, в окрестности которого располагается указатель.

Первый способ используют в основном для создания эскизов, а второй и третий – для построения точных изображений. Особенно удобным является третий способ, который позволяет «захватить» ближайший к курсору уже построенный элемент и ввести точные координаты конца или середины отрезка, центра окружности, точки пересечения прямых и т.д.

В средствах двумерной графики обычно имеется несколько способов построения одного и того же элемента. Например, отрезок можно построить по двум точкам либо по начальной точке, длине и углу наклона, а окружность – по центру и радиусу, по трем точкам, по двум точкам и радиусу и т.д. Кроме того, в таких системах имеется ряд средств, автоматизирующих процесс черчения. Рассмотрим их подробнее.

**Автоматическое построение скругления, или фаски.** Для получения скругления, или фаски, необходимо указать мышью на стороны угла и ввести значение радиуса скругления или размер фаски. Отрезки на стыке угла и скругления (фаски) автоматически “срезаются” (рис. 2).

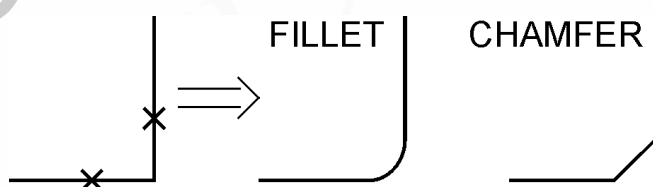


Рис. 2. Автоматическое построение скругления (фаски)

**Автоматическая штриховка и закрашка.** Для получения штриховки надо ввести угол и шаг штриховки, а затем указать мышью на внутреннюю часть области, которую надо заштриховать. Аналогично выполняется и закрашка (рис. 3).

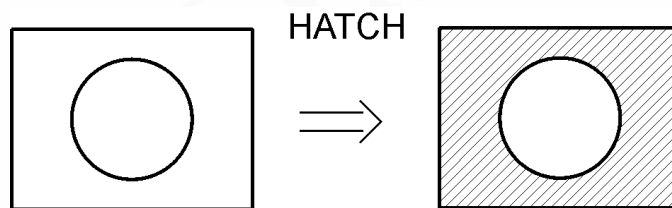


Рис. 3. Автоматическая штриховка

**Автоматическая простановка размеров.** Для простановки размера необходимо указать измеряемые элементы и точку уровня размерной линии. После этого система автоматически вычислит числовое значение размера, выведет его на экране и нарисует выносные и размерные линии (рис. 4).

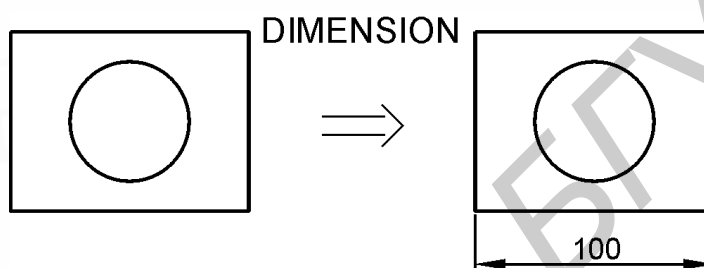


Рис. 4. Автоматическая простановка размеров

На любом этапе выполнения компьютерного чертежа можно удалить и модифицировать графические элементы изображения. Обычно двухмерные САПР позволяют выполнять следующие операции редактирования.

**Отсечение.** Эта процедура позволяет удалить лишние вспомогательные линии на чертеже. Например, после указания мышью секущей прямой и окружности из чертежа удаляется сегмент окружности. Такая же процедура может быть выполнена для любой комбинации графических элементов (рис. 5).

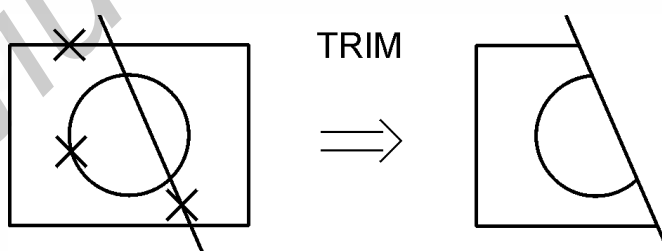


Рис. 5. Отсечение

**«Резиновое» растяжение.** Процедура растяжения позволяет пользователю растягивать или сжимать изображенные на экране формы. Можно, в частности, с помощью мыши переместить любую из вершин ломаной. При этом в процессе редактирования перемещаемая вершина соединяется с соседними при помощи пунктирных («резиновых») линий, и сразу же после отпускания кнопки мыши пунктирные линии заменяются сплошными (рис. 6).

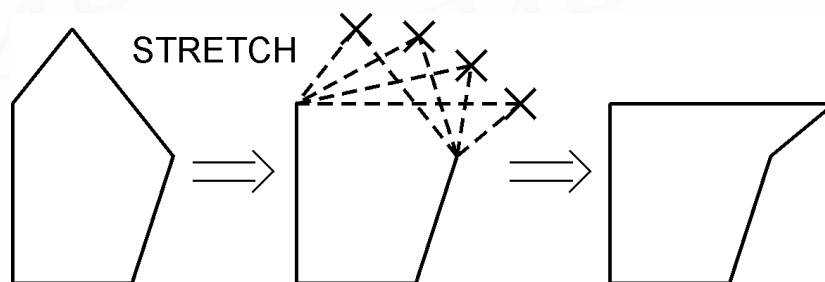


Рис. 6. «Резиновое» растяжение

**Вспомогательная сетка.** Для получения изображения с регулярной структурой удобно использовать сетку, которая не является частью чертежа и предназначена для визуальной координации. В таком режиме осуществляется автоматический «захват» ближайшего узла и от конструктора не требуется очень точного указания точки. В результате можно легко ввести точки с заданным шагом. На печать изображение сетки не выводится (рис. 7).

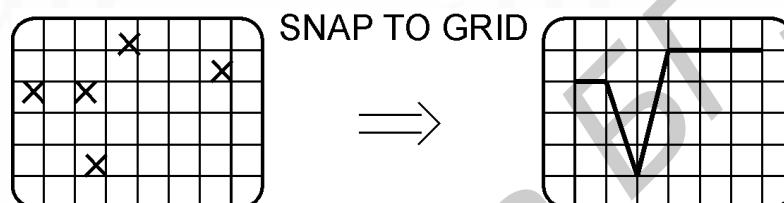


Рис. 7. Привязка к узлам сетки

**Создание сплайнов.** В большинстве двухмерных пакетов имеются средства для автоматической генерации гладких кривых (сплайнов), проходящих через заданные точки. Такие процедуры очень удобны при создании нестандартных геометрических форм и позволяют дополнить автоматизированное черчение элементами автоматизированного проектирования (рис. 8).

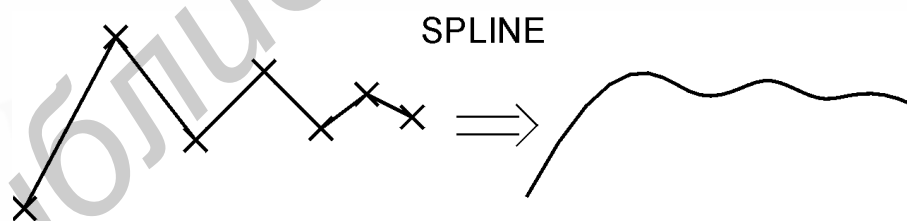


Рис. 8. Построение сплайна

**Увеличение и панорамирование.** Средства увеличения позволяют увеличить или уменьшить любую область чертежа для более детального просмотра или редактирования. Чтобы проанализировать другие элементы чертежа, область просмотра может быть панорамирована (сдвинута) в любом направлении, что позволяет использовать один сборочный чертеж для изделий любого размера и сложности, отказавшись от множества небольших чертежей, как принято в традиционном черчении. При необходимости можно получить твердую копию любой области чертежа (рис. 9).

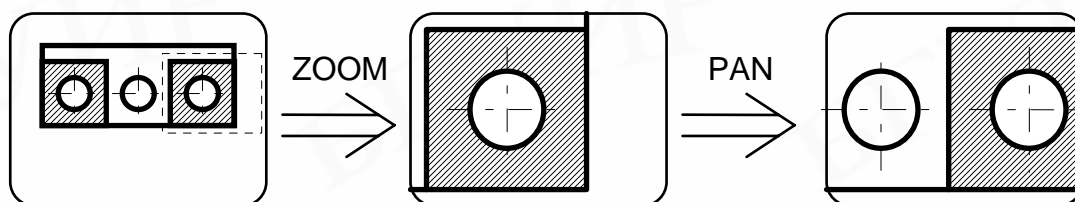


Рис. 9. Увеличение и панорамирование

**Копирование, поворот и перенос.** Любой элемент изображения или группу элементов можно скопировать, переместить и/или повернуть. Для двухмерного поворота достаточно задать положение центра вращения и угол поворота. При переносе обычно вводятся две точки, определяющие вектор смещения. Перенос и поворот, а также копирование широко применяются при вставке в чертеж стандартных элементов, вызываемых из стандартных библиотек (рис. 10).

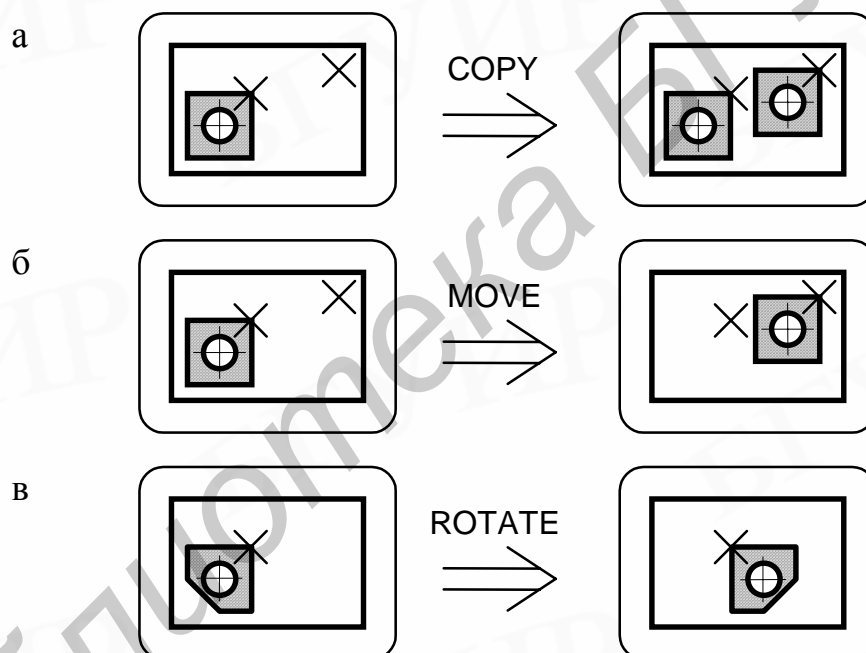


Рис. 10. Копирование (а), параллельный перенос (б) и поворот (в)

**Преобразования.** Кроме поворота и переноса многие графические пакеты имеют и более сложные средства манипулирования изображением: *зеркальное отражение* и *пошаговое размножение*. Используя эти средства, очень удобно строить чертежи регулярных структур. Например, для создания чертежа зубчатой рейки достаточно построить половину профиля одного из зубьев, далее применить операцию зеркального отражения, а затем размножить полученный образ. Можно также провести *масштабирование* изображения (рис. 11).

**Выбор элементов и объединение их в группы.** В большинстве графических пакетов операции редактирования могут выполняться как над отдельным элементом, так и над группой элементов. Например, для сдвига

части чертежа нет необходимости перемещать все элементы по отдельности. Вместо этого достаточно «выбрать» их путем указания на каждый из элементов либо осуществить «окнирование» (выделение на чертеже прямоугольной области, все элементы которой выбираются автоматически). В дальнейшем операции редактирования производятся одновременно над всеми элементами полученного набора. Можно, например, изменить цвет и тип линий всех элементов, произвести масштабирование и т.д.

Иногда удобнее объединить выбранные элементы в группы (блоки). В результате получается составной графический элемент, который при редактировании рассматривается как единое целое. В группы можно объединять и составные элементы, образуя многоуровневые иерархические структуры. При необходимости можно выполнить и обратную операцию – разделить составной элемент на отдельные составляющие.

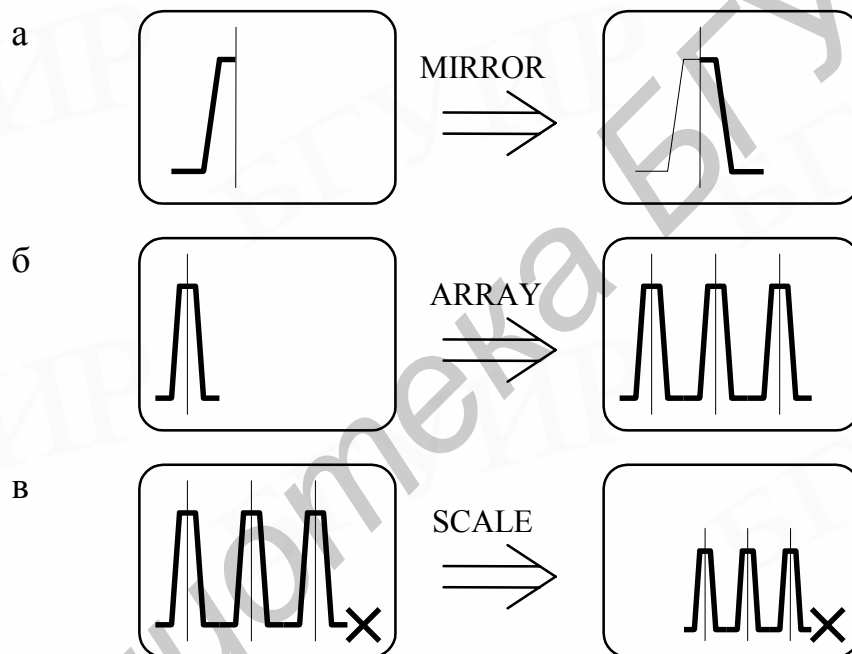


Рис. 11. Преобразования:

а – зеркальное отражение; б – размножение; в – масштабирование

**Расслоение.** Во многих двумерных САПР реализован принцип «расслоения», позволяющий разделить чертеж на несколько частей, наложенных друг на друга. С точки зрения традиционного черчения это эквивалентно созданию нескольких чертежей, каждый из которых выполнен на прозрачной пластине. Причем можно рассматривать каждую пластину по отдельности либо, складывая их, получать совместное изображение. При выполнении чертежей механических конструкций можно, например, разместить все геометрические элементы в одном слое, а все размеры и пояснительные надписи – в другом.

Двухмерные системы позволяют построить упрощенные геометрические модели реальных физических объектов, состоящие из трех независимых проекций (видов). При их использовании модель куба, например, задается 12 двухмерными точками с координатами XY, поэтому при внесении изменений конструктор должен редактировать отдельно каждую из проекций.

## 2.2. Трехмерные графические системы

В трехмерных системах используются точки с тремя координатами, что позволяет автоматически устанавливать проекционные связи. Так, в этом случае куб описывается восемью трехмерными точками XYZ, по которым находятся проекции XY, YZ и XZ. При использовании таких систем обычно начинают с построения трехмерного изображения, а двухмерные виды формируются на последнем этапе, при выводе чертежей. А в некоторых случаях двухмерные чертежи полностью заменяются трехмерной компьютерной моделью, по которой генерируются программы для станков с ЧПУ.

Системы трехмерного моделирования широко применяются в интегрированных САПР/АСТПП. Они часто дополняются средствами автоматического анализа физических характеристик (вычисление массы, центра масс, моментов и тензоров инерции и др.), а также модулями, обеспечивающими оценку прочности и технологичности. Использование трехмерных систем в настоящее время уже не сдерживается стоимостью программных средств и оборудования.

Методы трехмерного моделирования, используемые в САПР, делятся на три группы: каркасное, поверхностное и твердотельное (сплошное) моделирование (рис. 12).

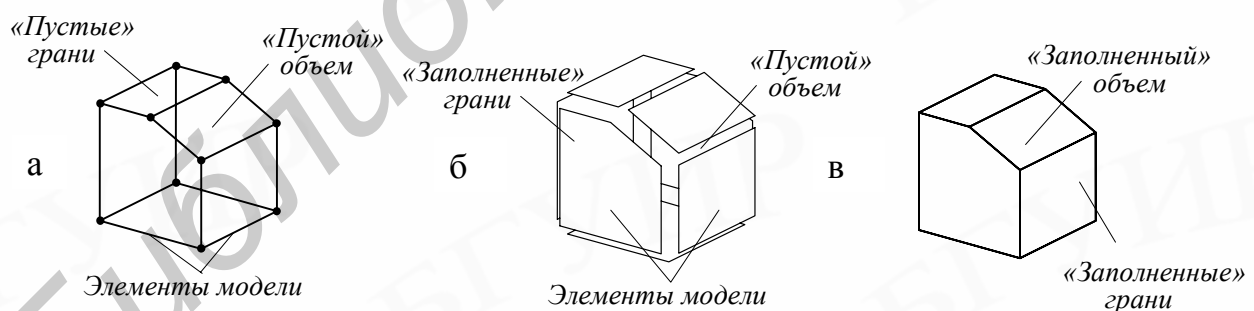


Рис. 12. Геометрические модели трехмерных объектов:

а – каркасная (Wire-frame); б – поверхностная (Surface); в – твердотельная (Solid)

**Каркасное моделирование** (рис. 1.12, а). Модель каркасного типа полностью описывается в терминах точек и линий. Ее главным достоинством являются простота и невысокие требования к компьютерной памяти, а недостатки связаны с отсутствием информации о гранях, заключенных между

линиями, и с невозможностью различить внешнюю (незаполненную) и внутреннюю (заполненную) области. Наиболее широко каркасное моделирование применяется при имитации несложного пространственного движения инструмента (например при фрезеровании по трем осям).

При использовании каркасных моделей в САПР необходимо учитывать следующие ограничения:

- *неоднозначность* – отсутствие возможности однозначно оценить ориентацию и видимость граней, что не позволяет различать виды сверху и снизу, а также автоматизировать удаление скрытых линий;
- *приближенное представление криволинейных граней* – невозможность точно описать криволинейные поверхности (цилиндры, конусы и др.), которые реально не имеют ребер; иногда для таких поверхностей вводят фиктивные ребра, располагаемые через регулярные интервалы (рис. 13);
- *невозможность обнаружить столкновения* – отсутствие информации о поверхностях, ограничивающих форму, не позволяет обнаружить столкновения между объектами, что важно при моделировании роботов, проектировании планов размещения оборудования и т.д.;
- *погрешности оценки физических характеристик* – возможность некорректного вычисления массы, центра тяжести, момента инерции и т.д., обусловленная недостатком информации об ограничивающих поверхностях;
- *отсутствие средств «затенения» поверхностей* – у модели, состоящей только из ребер, невозможно произвести закраску поверхностей различными цветами.

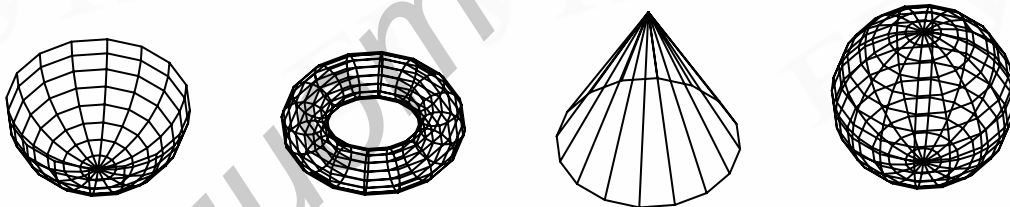


Рис. 13. Приближенное представление криволинейных поверхностей в каркасных моделях (вводятся фиктивные ребра)

**Поверхностное моделирование** (рис. 12, б). Модель поверхностного типа задается в терминах точек, линий и поверхностей. В отличие от каркасной модели она обеспечивает:

- точное представление *криволинейных граней*;
- автоматическое распознавание граней и их *закраску*;
- автоматическое удаление *невидимых линий* (рис. 14);
- распознавание *особых линий на гранях* (отверстий и т.д.);
- обнаружение столкновений между объектами.

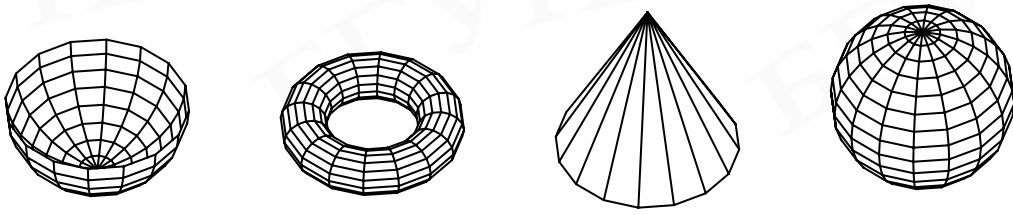


Рис. 14. Удаление невидимых линий при поверхностном моделировании

Метод поверхностного моделирования наиболее эффективен при проектировании и изготовлении сложных криволинейных поверхностей (корпусов автомобилей и др.). При этом можно использовать:

*базовые геометрические поверхности* (плоскости, цилиндры, кубы, результат перемещения образующей кривой в заданном направлении и т.д. – рис. 15, а);

*поверхности вращения* (результат вращения линии вокруг оси – рис. 15, б);

*пересечения и сопряжения поверхностей;*

*аналитические поверхности* (задаются математическим уравнением);

• *скульптурные поверхности или поверхности “свободных форм”*, которые не могут быть описаны одним математическим уравнением, а задаются при помощи методов сплайн-интерполяции образующих кривых (корпуса автомобилей, фюзеляжи самолетов, лопадки турбин) – рис. 15, в; 16.

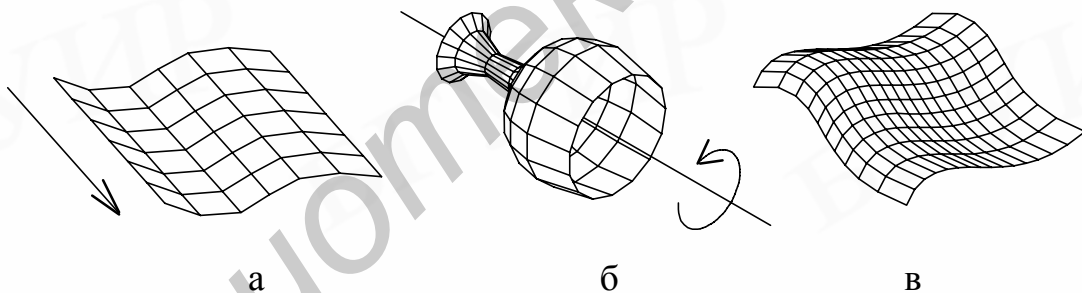


Рис. 15. Поверхностные модели, полученные путем перемещения кривой в заданном направлении (а), вращения кривой (б) и при помощи сплайн-интерполяции (в)

В современных трехмерных системах широко используются *составные поверхности*, составленные из криволинейных четырехугольников, ограниченных гладкими кривыми. Внутренняя область каждого такого участка определяется путем интерполяции. При изображении составных поверхностей на экране создается сетка, натянутая на многогранный каркас.



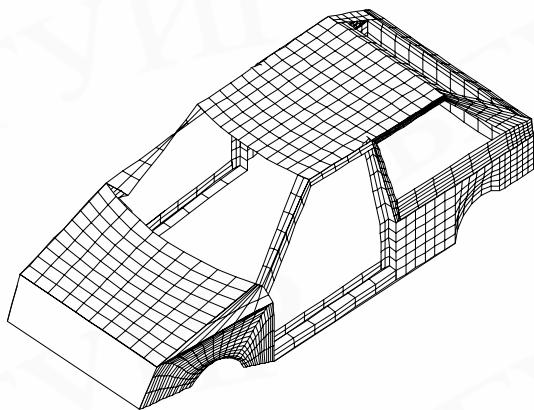


Рис. 16. Поверхностная модель кузова автомобиля

На базе методов поверхностного моделирования построен ряд мощных графических систем, широко применяемых в промышленности. Однако поверхностные модели имеют ряд недостатков, которые могут быть устранены только в рамках твердотельного моделирования. К ним относятся:

- *неоднозначность* при моделировании реальных твердых тел;
- *сложность* процедур удаления невидимых линий и отображения внутренних областей.

**Твердотельное моделирование** (рис. 12, в). Модель твердотельного типа описывает трехмерный объем, который занимает рассматриваемое физическое тело. Внутреннее представление твердотельной геометрической модели выражается его границами (например, гранями, ребрами и вершинами). В этом случае используются данные трех типов: *геометрические* (например, координаты вершин, описанные аналитически, ребра и поверхности, описанные уравнениями); *топологические*, позволяющие с помощью понятий «внутри/вне» определить топологию объекта; *вспомогательные* – например, цвет, степень прозрачности.

В отличие от каркасных и поверхностных твердотельная модель обеспечивает:

- *полное описание заполненного объема* и возможность разграничения внешних и внутренних областей, на основе чего автоматизируется процесс обнаружения столкновений;
- автоматизацию процесса *удаления скрытых линий*;
- автоматизацию процесса *построения разрезов и сечений*, что требуется при создании сборочных чертежей сложных изделий;
- применение *современных методов анализа конструкций* (точное вычисление массы и габаритов, расчет прочности и деформаций методом конечных элементов и т.д.);
- *эффективное управление цветами и источником освещения*, получение тоновых изображений;
- более точное моделирование кинематики и динамики многозвенных механизмов (роботов, станков и т. д.).

Объемные тела, образованные из более простых объектов, называются *составными графическими объектами*. При этом используются логические операции объединения, пересечения, вычитания. Операция сборки составных

графических объектов осуществляется с использованием их представления в виде иерархической структуры в форме *дерева построения* (рис. 19).

Существует целый ряд способов построения твердотельных моделей. Однако в САПР наибольшее распространение получили два из них: метод конструктивного представления (C-Rep) и метод граничного представления (B-Rep). Рассмотрим их подробнее.

*Метод конструктивного представления (C-Rep)* основан на создании моделей из типовых твердотельных примитивов с заданными размерами, ориентацией и точкой привязки. При определении взаимоотношений между соседними примитивами используются булевы операции: «объединение», «разность» и «пересечение». Твердотельные примитивы могут выбираться из библиотеки или генерироваться путем движения произвольной поверхности вдоль некоторой кривой. В результате происходит «захват» (sweeping) части трехмерного пространства, принадлежащей примитиву.

*Метод граничного представления (B-Rep)* также оперирует с примитивами, связанными при помощи булевых операций. При этом модель описывается совокупностью ребер и граней, определяющих граничную поверхность твердого тела. Эти данные дополняются информацией о топологии примитива и особенностях его геометрии. Метод B-Rep более удобен при модификации примитивов, но требует большего объема компьютерной памяти.

Методы твердотельного моделирования, основанные на булевых операциях, особенно удобны при вычислении поверхностных и весовых параметров тел, расчете напряжений, имитации операций механической обработки. В последнем случае операции резания металла (точение, фрезерование, сверление и т. п.) могут быть легко описаны при помощи булевой разности. Естественным приложением булевой алгебры является также анализ столкновений (коллизий), которые обнаруживаются при помощи операции пересечения.

### **2.3. Методы конструирования изделий**

Можно выделить два подхода к конструированию.

Первый подход базируется на двухмерной геометрической модели – графическом изображении (ГИ) и использовании компьютера как электронного кульмана, позволяющего значительно ускорить процесс конструирования и улучшить качество оформления конструкторской документации. Центральное место в этом подходе к конструированию занимает чертеж, который служит средством графического представления изделия, содержащего информацию для решения графических задач, а также для изготовления изделия (рис. 17).

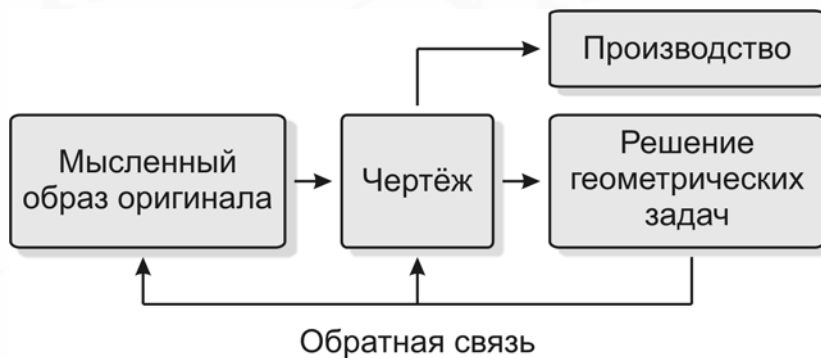


Рис. 17. Схема традиционной технологии конструирования

При таком подходе исходной является следующая постановка вопроса: использование ЭВМ при решении графических задач должно быть рациональным и достаточно эффективным. Это может быть реализовано при решении задачи: созданное на ЭВМ ГИ должно использоваться многократно или в различных вариациях, а формирование текстовых документов происходить автоматически в результате созданных чертежей и схем. Так, с помощью вычислительной техники облегчаются: оформление конструкторских документов, насыщенных изображениями стандартных, типовых, унифицированных составных частей, например электрических и других принципиальных, функциональных схем, печатных плат, модулей, приборов, электронных блоков, стоек, шкафов, пультов и т.д.; модернизация существующих конструкций (частичное изменение, а не создание принципиально нового); разработка текстовых документов (спецификаций, перечней элементов и др.).

В основе второго подхода лежит компьютерная пространственная геометрическая модель изделия (рис. 18), которая является более наглядным способом представления оригинала. При этом чертёж играет вспомогательную роль, а методы его создания основаны на методах компьютерной графики, методах отображения пространственной модели.

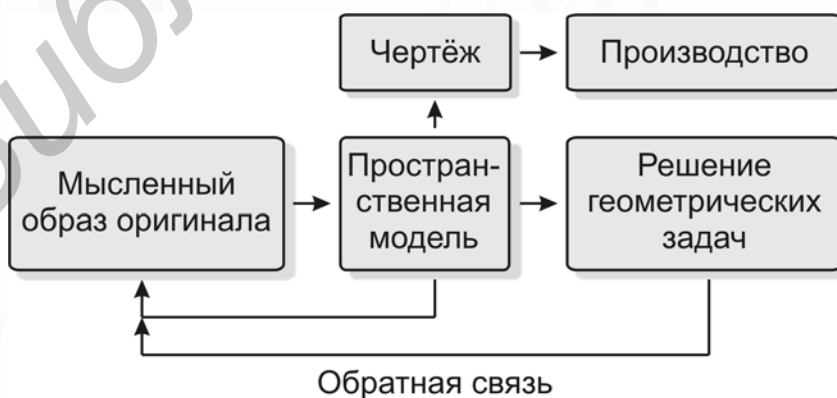


Рис. 18. Схема современной технологии конструирования

Процесс формирования моделей изделий можно разбить на несколько этапов.

На первом этапе (см. рис. 19) реальный объект (в примере – деталь) подвергается абстракции, в результате которой определяется информационная модель.

На втором этапе в информационной модели выделяют уровни структуризации данных и их взаимосвязи, чаще всего с учетом процессов обработки информации. Таким образом, осуществляются уточнение и структурирование информации с логической точки зрения. Существенным моментом в этом представлении является то, что оно должно отражать характеристики не одной детали, а целого класса деталей на различных стадиях проектирования, фиксируемых в технической документации. При формировании информационной модели предполагается использование множества конструктивных элементов для получения деталей произвольной формы, геометрических элементов – точек, контуров, поверхностей, элементарных и сложных объектов, которые обеспечивают обработку геометрической информации для всех процессов автоматизированного проектирования. Таким образом, строится модель данных, которая отражает логическую структуру данных.

На третьем этапе осуществляется процесс преобразования модели данных во внутримашинное представление – формирование модели доступа. Модель доступа (или размещения) ориентирована на физическое размещение данных в памяти ЭВМ, в модели хранения.

Таким образом, на четвертом этапе определяется модель хранения, которая описывает способ организации данных, сформированных в модели доступа, в физической памяти и управления ими. Существуют три способа записи данных на физические носители: последовательный, списковый и прямой. В AutoCAD, например, используется списковый способ записи геометрических данных, что дает возможность пользователю хранить данные на физических носителях независимо от их логической последовательности.

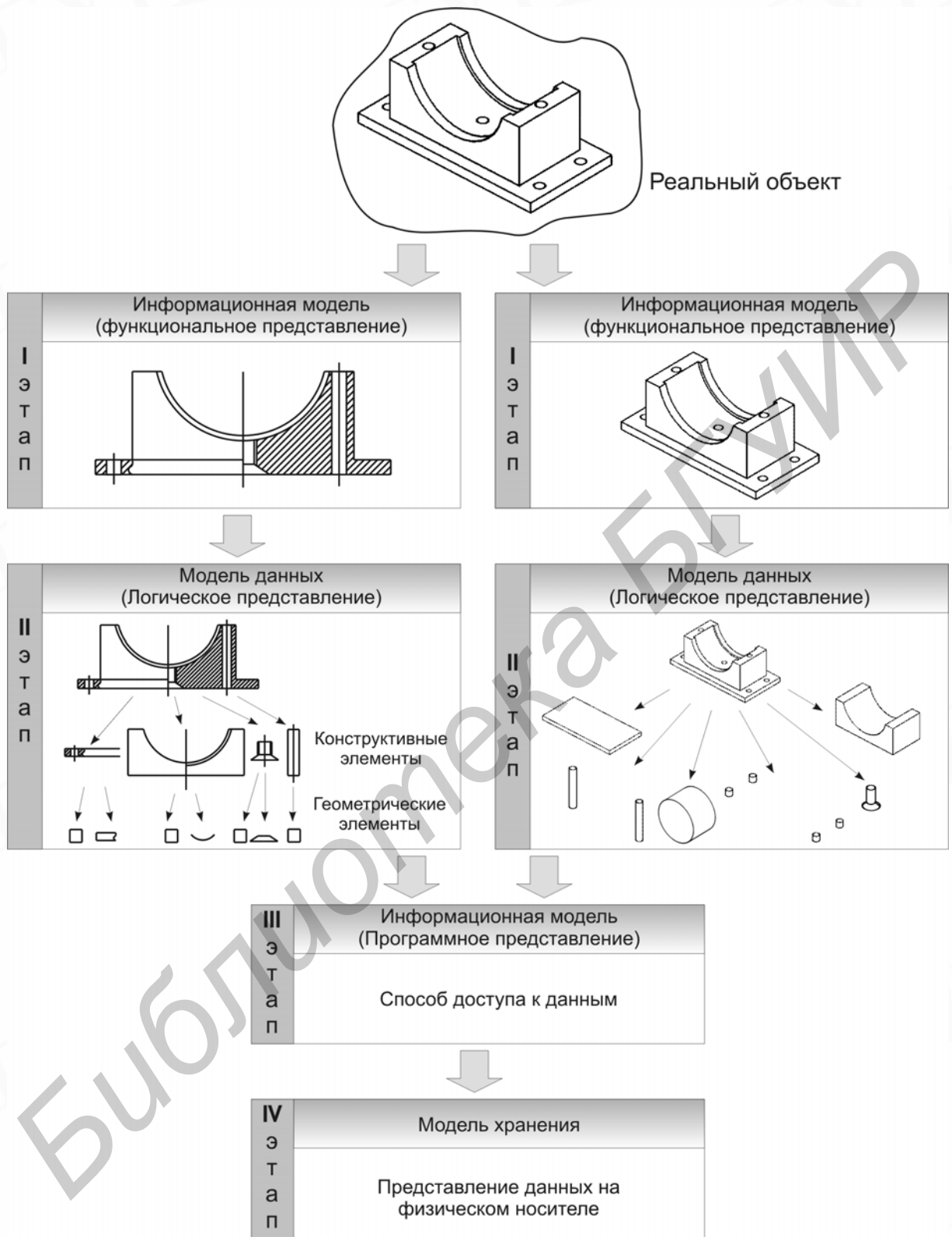


Рис. 19. Преобразование реального объекта во внутримашинное представление

## 3. Графические стандарты

### 3.1. Форматы графических файлов

При автоматизированном проектировании часто возникает необходимость обмениваться графической информацией между различными подсистемами, которые в общем случае могут быть реализованы не только в различной программной среде, но и на различных аппаратных средствах. При этом важно правильно выбрать формат записи данных, который, с одной стороны, должен обеспечивать минимальный размер файлов, а с другой – сохранение точности графической модели изделия. Поэтому рассмотрим подробнее вопросы кодирования графической информации или, сокращенно, графические форматы.

Для записи графической информации используются два принципиально различных формата – растровый и векторный. Первый применяется при обработке изображений, полученных с помощью сканера, а также при редактировании фотоизображений; второй – в системах автоматизированного проектирования и графических пакетах.

Растровый формат описывает изображение как совокупность точек (dots), число которых определяется разрешением, измеряемым в специальных единицах – dpi или dpc (число точек на 1 дюйм или на 1 см соответственно). Для цветных и полутоновых изображений определяется также «глубина цвета» – число двоичных разрядов, отводимых для хранения информации о цвете. Например, для изображений типа *RGB* глубина 24 бита означает, что на каждый основной цвет (красный – *R*, зеленый – *G*, синий – *B*) отводится по 8 бит, поэтому цветовая палитра состоит из  $2^{24} \approx 16$  млн цветов.

Основной недостаток растрового формата – большой объем графического файла. Так, даже для растрового изображения со сравнительно невысоким разрешением  $1024 \times 768$  точек и 256 цветами требуется 768 кб. Поэтому в графических пакетах используются различные алгоритмы сжатия, что затрудняет преобразование растрового формата и создает множество проблем для пользователей.

Векторный формат описывает изображение как совокупность простейших элементов (линия, ломаная, кривая Безье, эллипс, прямоугольник и т.д.), для каждого из которых задаются соответствующие атрибуты: координаты вершин или других характерных точек, толщина и цвет контурной линии, тип и цвет заливки и т. д. Кроме того, задается расположение элементов относительно друг друга (какой из них расположен сверху, а какой – снизу).

Главное достоинство векторных файлов по сравнению с растровыми – меньший размер и удобство редактирования, но при их выводе на экран производится множество математических операций. Поэтому скорость вывода векторных изображений обычно меньше, чем растровых, хотя этот недостаток

довольно эффективно устраняется при помощи специальных процессоров – графических ускорителей.

Существует целый ряд программ, переводящих графические данные из векторного формата в растровый. Но обратная задача (перевод растровых изображений в векторные) является довольно сложной и решается только в наиболее совершенных графических пакетах. Не менее сложные проблемы возникают и при преобразованиях одного векторного формата в другой, так как многие графические пакеты используют уникальные математические модели для элементов изображения. В настоящее время применяют несколько десятков форматов представления графических данных. Рассмотрим наиболее распространенные:

Тип	Название	Предназначение
1	2	3
BMP	Bitmap	Реализует растровый способ представления графических данных и поддерживается практически любым Windows-приложением. Его главная особенность – независимость от типа адаптера и монитора при кодировании цвета. Для сжатия данных используется алгоритм RLE (Run-Length Encoded), но размер файлов довольно большой
CGM	Computer Graphics Metafile	Относится к классу «метафайлов», т.е. обеспечивает кодирование как векторных, так и растровых изображений. Его основное достоинство – независимость от аппаратных и программных средств, что позволяет эффективно осуществлять обмен данными между различными программами и платформами. Но для хранения чертежей и рисунков этот формат практически не применяется
DXF	Drawing eXchange Format	Является векторным и поддерживается практически всеми САПР и графическими пакетами, включая AutoCAD. В нем реализованы многие возможности, отсутствующие в других форматах, например хранение трехмерных объектов. Однако из-за сложности этого формата некоторые приложения позволяют только читать DXF-файлы, но не использовать его при сохранении изображений
EPS	Encapsulated PostScript	Использует как векторный, так и растровый способы записи графических данных. Соответствующий файл представляет собой набор команд, выполняемых интерпретатором языка <i>PostScript</i> при выводе изображения. При этом EPS-файл не зависит ни от операционной системы, ни от аппаратных средств. Однако программы, поддерживающие этот формат, часто не обеспечивают полной совместимости

1	2	3
HPGL	Hewlett-Packard Graphical Language	Относится к классу векторных и является одним из основных для систем автоматизированного проектирования. Он широко используется также при выводе чертежей на плоттеры и принтеры
IGES	Int. Graphical Exchange Standard	Представляет собой набор протоколов для передачи графических данных и вывода их на экран монитора. Первоначально он применялся для поддержки удаленных терминалов, но в настоящее время используется в ряде САД-приложений, оперирующих с трехмерными изображениями
PCX	PC Paintbrush	Относится к классу растровых. Первоначально он использовался в программе Paintbrush, но постепенно получил широкое распространение в других графических редакторах. Его недостатком является зависимость от типа видеоадаптера. В PCX-файлах используется алгоритм сжатия RLE, позволяющий уменьшать размер файла на 40...70 %, если число цветов не превышает 16
PICT	Picture	Формат относится к классу «метафайл», т. е. дает возможность кодировать как векторные, так и растровые изображения. Он ориентирован на платформы типа Macintosh и поддерживается практически любым графическим приложением, реализованным на таких аппаратных средствах. Ввиду своей сложности этот формат редко поддерживается приложениями, работающими на других платформах
TIFF	Tagged Image File Format	Относится к классу растровых и обеспечивает переносимость графических файлов с IBM-совместимых компьютеров на Macintosh и обратно. Существует несколько типов TIFF-файлов: В – черно-белые изображения, G – полутоновые, P – цветные и т.д. Формат TIFF очень удобен, но приводит к очень большим размерам файлов (например, цветное изображение размера А4 при разрешении 300 dpi может занимать около 40 Мб)
WMF	Windows MetaFile	Обеспечивает кодирование как векторных, так и растровых данных и является аналогом формата PICT для оболочки Windows. Он используется при обмене графическими данными между Windows-приложениями, а также поддерживается графическими программами, реализованными на ряде других платформ



### 3.2. Обмен графической информацией

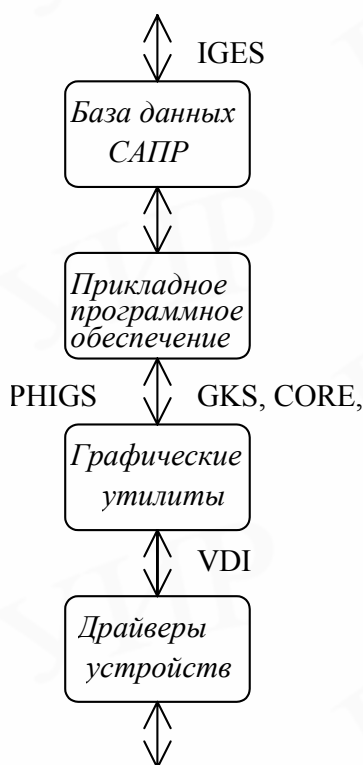


Рис. 20. Графические стандарты, используемые в САПР

При организации обмена графической информацией в компьютерной графике различают несколько уровней графических стандартов (рис. 20). Эти стандарты обеспечивают связь между:

- а) графическими утилитами и устройствами графического вывода;
- б) прикладными программами и графическими утилитами;
- в) различными САПР.

Для обеспечения связи между графическими утилитами и устройствами вывода наиболее часто используется стандарт VDI (Virtual Device Interface – интерфейс виртуального устройства), который в настоящее время переименован в CGI (Computer Graphics Interface – интерфейс компьютерной графики).

Наиболее распространенным стандартом, обеспечивающим связь между прикладными программами и графическими

утилитами, является GKS (Graphical Kernel System – графическая корневая система). Иногда используется и более ранний стандарт CORE, основные функции которого реализованы в GKS. А наиболее совершенным из стандартов этого класса является PHIGS (Programmers Hierarchical Interface for Graphics – программистский иерархический графический интерфейс), описывающий сложные иерархические структуры графических данных, в том числе и трехмерные.

Для обеспечения связи между различными САПР используется ряд стандартов, наиболее распространенным из которых является IGES (стандартный протокол обмена графической информацией). В этом стандарте различные данные классифицируются в терминах сущностей, которые могут принадлежать к одной из трех категорий: геометрии (точки, отрезки, дуги, плоскости и т.п.), аннотации (размеры, осевые линии, стрелки и т.п.), структуры (геометрические группы, макроопределения и т.д.). Чтобы использовать IGES, любая САПР снабжается двумя программами – препроцессором и постпроцессором (рис. 21).

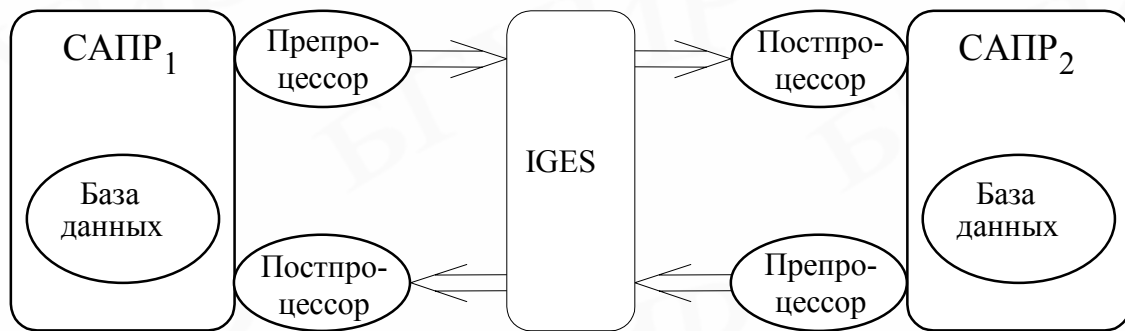


Рис. 21. Связь между двумя различными САПР через формат IGES

### 3.3. Стандартные графические примитивы

Международный стандарт GKS (Graphical Kernel System) принят в 1985 г. и предназначен для обеспечения переносимости и совместимости программных средств машинной графики. Согласно этому стандарту, любое изображение должно строиться из типовых базовых элементов – примитивов вывода (рис. 22). В GKS определено шесть основных *примитивов вывода*: полимаркер, полилиния, текст, заполнение области, массив пикселей, обобщенный примитив вывода.



Рис. 22. Основные графические примитивы вывода GKS

*Полимаркер* используется для указания характерных точек на экране, которые отображаются в виде ярких точек, крестов, квадратов и т.д. *Полилиния* представляет собой набор отрезков прямых (ломаную), соединяющих заданную последовательность точек. *Текст* – это строка символов, располагающаяся в указанной позиции. *Заполнение области* представляет собой многоугольник,

заполненный штриховкой, узором или фоновой окраской. *Массив пикселей* позволяет задать цвет индивидуально для каждой точки некоторой области (пикселя). И наконец, *обобщенный примитив вывода* представляет собой стандартное средство определения более сложных элементов (прямоугольник, эллипс и т.д.), вид и количество которых зависят от специфики конкретных графических пакетов.

С каждым из примитивов в GKS связан набор параметров – атрибутов, определяющих его геометрические и качественные свойства. Для основных примитивов вывода используются следующие атрибуты:

- полимаркер - тип маркера, его цвет и масштаб;
- полилиния - тип, цвет и толщина линии;
- текст - тип шрифта, размеры, цвет и ориентация символов;
- заполнение области - вид штриховки, цвет;
- массив пикселей - цвет пикселей.

GKS позволяет разделить изображение на отдельные сегменты, которые могут обрабатываться и отображаться независимо друг от друга. Предусмотрены также средства для включения одного сегмента в другой. При создании графической модели объекта и его изображения используются три типа систем координат: глобальная, нормализованная приборная и собственно приборная.

Ввод в GKS определяется как связь с одним из пяти допустимых логических устройств ввода:

- локатор - выдает положение в глобальной системе координат;
- значение - выдает значение числа;
- выбор - выдает целое число, определяющее возможные варианты ответа;
- указание - выдает имя сегмента и идентификатор примитива;
- строка - обеспечивает ввод строки символов.

Ввод может происходить в одном из трех режимов: *запрос*, *опрос*, *событие*. Первый из указанных режимов аналогичен операции чтения обычных языков программирования: система ожидает, пока не произошло событие ввода, после чего передает в программу соответствующее значение. При этом в любой момент допустимо наличие только одного запроса на ввод. Вторым режимом применяется для ввода от таких устройств, у которых на выходе постоянно существует какое-либо значение (например, положение указателя мыши). А третий режим используется для ввода от устройств, инициирующих прерывания. Эти прерывания запоминаются в очереди и обрабатываются в соответствии с принятой дисциплиной обслуживания. Появление GKS в качестве первого международного стандарта оказало существенное влияние на развитие машинной графики и ее применение в САПР.

## 4. Системы геометрического моделирования

### 4.1. Система DUCT

Концепция этой системы была разработана в конце 60-х годов на инженерном факультете Кембриджского университета. Ее промышленный вариант распространяется с 1983 г. фирмой DELCAM (Delta Computer-Aided Manufacturing). Система DUCT позволяет конструктору создавать трехмерные каркасные и поверхностные модели объектов, визуализировать их на экране монитора, а также вычислять площадь поверхности, объем, координаты центра тяжести объекта и генерировать сетку конечных элементов для анализа потоков и расчетов на прочность.

При помощи системы DUCT автоматизированы процессы создания литейных форм и штампов, подготовки чертежей изделий и программ для станков с ЧПУ. При этом учитываются припуски на толщину стенок, усадки, зазоры при механической обработке.

Встроенный в DUCT каркасный редактор позволяет быстро и просто задать форму объекта. Поверхности создаются на основе поперечных сечений, определяемых набором точек. Эти сечения могут размещаться и ориентироваться относительно заранее построенной кривой (спина), играющей роль «хребта», вдоль которого вытянута поверхность. Для интерполяции поперечных сечений по заданным точкам используются кривые Безье.

При генерации поверхности, состоящей из отдельных элементов (лоскутов), имеется возможность задавать границы в виде сложных кривых. При этом автоматически обеспечивается гладкость в местах сопряжений лоскутов. Можно выполнить скругление угла, образованного двумя или тремя поверхностями, причем радиус скругления может быть как постоянным, так и переменным. Из набора поверхностей можно создать единый объект в виде оболочки, соединяющей в себе преимущества твердотельного и поверхностного моделирования. При визуализации объекта, используя несколько цветов и различные источники света, генерируется цветное изображение. Если позволяет мощность компьютера, формируются цветные динамические модели.

Ядро системы DUCT составляет реляционная база данных, в которой хранится вся информация о деталях и чертежах. При этом информация может располагаться в любой из объединенных в сеть рабочих станций. Имеется возможность создавать параметрические чертежи. Система также имеет библиотеку типовых деталей и интерфейсы с языками Си и Фортран.

Графический интерфейс пользователя включает в себя набор многоуровневых меню, отображающих на экране списки параметров выбранной команды. Пользователь может также создавать свои собственные

меню и прикладные программы. Для этого в системе имеется специальный командный язык.

Система DUCT предоставляет пользователю широкий набор методов механической обработки. При фрезеровании можно задать форму инструмента или выбрать из библиотеки различные фрезы: шаровую, торцевую либо торцевую со скругленными кромками. При этом осуществляется проверка на минимальный радиус кривизны поверхности. Недоступные области высвечиваются на экране и затем могут быть обработаны инструментом меньшего радиуса. Для этого следует задать направление резания, скорость подачи и скорость вращения шпинделя, припуск для черновой обработки. Траектория движения инструмента генерируется, визуализируется на экране вместе с изображением инструмента и при необходимости корректируется. Система DUCT позволяет осуществлять 2,5-, 3- и 5-координатное фрезерование, токарную обработку и 4-координатную электроэрозионную обработку.

DUCT может функционировать на стандартных рабочих станциях с операционной системой UNIX. Программное обеспечение построено по модульному принципу. К числу основных модулей относятся DUCTmodel, Advanced model, DUCTshade, DUCTnc, DUCTdraft и др. Для передачи данных используются стандарты IGES, VDA-FS и DXF. Имеются также прямые интерфейсы с системами PDGS и CADD5.

## 4.2. Система CATIA

Система CATIA, разработанная французской фирмой Dassault Systemes, появилась на мировом рынке САПР в 1981 г. Первоначально она предназначалась для самолетостроения, но постепенно нашла применение в автомобильной промышленности и других отраслях. В настоящее время система CATIA распространяется фирмой IBM и активно используется такими фирмами, как Boeing, Chrysler, ГАЗ и ВАЗ. Большинство пользователей системы CATIA применяют рабочие станции IBM, но систему можно также установить на мэйнфреймах, UNIX-станциях RISC/6000 и рабочих станциях фирм Hewlett-Packard и Silicon Graphics.

Система имеет программные модули для автоматизированного проектирования в следующих областях:

- конструирование механизмов и узлов (Mechanical Design);
- формообразование поверхностей и дизайна (Shape Design and Styling);
- анализ и моделирование (Analysis and Simulation);
- подготовка производства (Manufacturing);
- инженерные расчеты (Equipment and System Engineering).

Система CATIA обладает одной из самых совершенных методик проектирования поверхностей (модули Surface Design, Advanced Surface Design,

FreeForm Design) и анализа их качества по кривизне, гладкости, непрерывности в областях сопряжения и т.д. При необходимости поверхностные модели могут быть преобразованы в твердотельные. Сложные кривые строятся на базе кривых Безье. Поверхности, которые нельзя описать стандартными типами элементов, могут быть аппроксимированы точками с заданными координатами, по которым строятся бипараметрические полиномиальные функции.

В рамках системы САТІА можно использовать целый ряд приложений, входящих в «архитектуру прикладных программ» (САА – САТІА Application Architecture). Они позволяют выполнить динамический анализ механизмов (САТDADS), моделирование роботизированных комплексов (Robuse), подготовить постпроцессоры и программы для станков с ЧПУ, создать проекты трубопроводов и пневмосистем (3D-Tubing), а также фотореалистические изображения (Visualisation Studio). В результате сотрудничества ІВМ с фирмой BMW создан уникальный модуль проверки собираемости изделия (Fitting Simulation), который моделирует весь процесс сборки изделия с учетом доступности, способов установки и используемой оснастки. Этот же модуль позволяет оценить возможность съема узла для ремонта или обслуживания.

К числу существенных достоинств системы САТІА относятся совершенная схема построения параметрически связанных моделей и возможность постпараметризации. Конструктор может начать построение модели, руководствуясь лишь функциональностью и технологичностью, не занимаясь на первом этапе параметризацией. Далее на любом этапе можно определить параметры и связи между ними, при этом допускается задать лишь наиболее существенные параметры, а остальные оставить по умолчанию. При изменении параметров конструктор может позволить ассоциативно распространить изменения на все объекты либо ограничить изменения некоторой зоной (т.е. определить некоторые параметры как локальные). На любом этапе можно принять решение о разрыве связи. Система САТІА также позволяет рассчитать трехмерные допуски (Functional DIMENSIONING and 3D-Tolerancing), размерные цепи любой сложности и оптимальные допуски, промоделировать поведение механизмов при варьировании размеров деталей.

Новым нетрадиционным средством системы САТІА, не характерным для других САПР, является «проектирование при помощи правил», реализующее, по существу, концепцию конструктивно-технологической базы знаний. Оно позволяет конструктору определить свои собственные правила проектирования и использовать в повседневной работе. Например, при проектировании гидро- и пневмосистем можно определить шаг расстановки крепежа, допустимые и запретные зоны расположения, зоны безопасного расстояния от элементов конструкции, материалы и т.д.

При помощи системы САТІА можно автоматизировать и некоторые процессы управления предприятием (финансами, складским хозяйством, кадрами и т.д.). Для этого используются коммерческие сетевые реляционные

базы данных (Oracle, DB2) и интерфейсы с наиболее распространенными системами управления предприятиями (R3, Triton).

### 4.3. Системы фирмы Autodesk

Наиболее распространенным и известным программным продуктом фирмы Autodesk является пакет AutoCAD, первые версии которого были ориентированы на двухмерное черчение и выпуск конструкторской документации. В процессе совершенствования этот пакет превратился в развитую среду трехмерного моделирования проектов в архитектуре, строительстве, машиностроении, картографии и других отраслях. Последние версии пакета AutoCAD могут выполняться как на персональных компьютерах под управлением DOS, Windows, Windows NT, так и на UNIX-платформах (Silicon Graphics, Hewlett-Packard, Sun SPARC-Station, IBM R/6000). Ядро системы написано на языке C++ и представляет собой объектно-ориентированную среду, являющуюся основой для множества прикладных программ, создаваемых как самой фирмой Autodesk, так и ее партнерами. Их число уже превысило 5000.

Для машиностроения фирмой Autodesk разработан интегрированный пакет Autodesk Mechanical Desktop (AMD), в который входят практически все необходимые инженеру-конструктору средства моделирования геометрических объектов. Он объединяет в себе возможности известных программных продуктов Autodesk:

- AutoCAD – в качестве графической среды;
- AutoCAD Designer – для конструирования деталей и сборочных узлов;
- AutoSurf – для моделирования сложных трехмерных поверхностей с использованием NURBS-геометрии;
- IGES Translator – для обмена файлами с другими системами САПР;
- MCAD – система меню для организации взаимодействия с другими машиностроительными приложениями.

Модуль AutoCAD Designer позволяет автоматизировать процесс создания рабочих чертежей деталей и сборочных единиц и дает возможность пользователю оперировать с привычными конструкторско-технологическими элементами (сопряжение, фаска, отверстие и т. д.). В нем реализован принцип параметрического моделирования, что позволяет довольно гибко вносить изменения на любой стадии проектирования.

Процесс создания трехмерных моделей в AutoCAD Designer происходит в два этапа: сначала задается плоский эскиз детали, а затем ему придается третье измерение. При конструировании сборочной единицы пользователю достаточно задать параметрические связи между существующими объектами, ограничивая число степеней свободы проектируемой механической системы. Для разработанных моделей автоматически генерируются двухмерные

проекции (виды), причем постоянно действует двунаправленная параметрическая связь модель-чертеж. Это позволяет благодаря возможностям параметрического черчения вносить изменения как на самой трехмерной модели, так и на ее двухмерных видах путем корректировки отдельных размеров. В модуле также имеются встроенные функции, обнаруживающие взаимное пересечение деталей в сборочных единицах.

Модуль AutoSurf обеспечивает построение и редактирование формообразующих кривых и сложных поверхностей, построение на их основе новых объектов, создание каркасных (проволочных) моделей, проецирование различных контуров на плоскость или поверхность. В этом модуле реализована NURBS-технология, основанная на наиболее эффективных методах работы с произвольными поверхностями, которые описываются неоднородными рациональными B-сплайнами. Поэтому AutoSurf получил широкое распространение в автомобильной и аэрокосмической промышленности.

IGES-транслятор используется для корректного обмена графическими моделями с другими системами CAD/CAM/CAE. Например, dwg-файлы формата AutoCAD после обработки в AutoSurf могут передаваться в другие системы, осуществляющие расчеты прочности, генерации программ для ЧПУ и т.д.

Как показывает опыт, наибольший эффект при проектировании машиностроительных конструкций может быть достигнут только при совместном использовании модулей AutoCAD Designer и AutoSurf, когда некоторые трудности моделирования поверхностей произвольной формы в AutoCAD Designer устраняются средствами AutoSurf, а проблемы построения проекционных видов в AutoSurf решаются за счет средств AutoCAD Designer. Объединение этих двух программ не только обеспечивает двусторонний обмен данными на основе формата AutoCAD (dwg-файлы), но и позволяет по-новому организовать доступ к основным функциям AMD. В этом пакете выделены четыре основных функциональных модуля:

- 1) параметрического твердотельного моделирования;
- 2) параметрического моделирования сборочных единиц;
- 3) моделирования поверхностей произвольной формы;
- 4) генерирования двухмерных чертежей.

Первые два модуля являются составными частями программы AutoCAD Designer, третий модуль включает основные функции AutoSurf, а четвертый представляет собой универсальный инструмент, применимый как для стандартных трехмерных объектов AutoCAD, так и для комбинаций разнородных трехмерных объектов.

При создании плоского эскиза изделия используются стандартные для AutoCAD команды рисования и редактирования двухмерных объектов. Затем устанавливаются зависимости на горизонтальность, вертикальность, параллельность, перпендикулярность, коллинеарность, концентричность,



проекции, касания, равенство радиусов и координаты X и Y. При этом от конструктора не требуется соблюдения большой точности в отношении размеров, параллельности или перпендикулярности. Поэтому в отличие от стандартных приемов AutoCAD здесь не используются режимы «шаг», «сетка», а также функции объектной привязки. Эскиз создается концептуально.

Далее выполняется профилирование эскиза, в процессе которого на модель накладываются геометрические связи и почти горизонтальные линии становятся строго горизонтальными, почти замкнутые – замкнутыми и т. д. При этом программа выдает сообщение о том, сколько связей или размеров требуется, чтобы однозначно определить профиль.

Для простановки параметрических размеров используется единая команда, которая в зависимости от заданных примитивов автоматически определяет тип размера (линейный, угловой, радиальный и т.д.). Этим размерам соответствуют свои переменные, которые могут использоваться в математических формулах, что обеспечивает формирование изображения детали при помощи таблицы. Если требуется указать размер, зависящий от размера других деталей, используются глобальные переменные.

Геометрия эскиза может быть любой сложности, но в нем должен быть один замкнутый контур. Он используется в дальнейшем при построении третьего измерения или создании так называемой базовой формы одним из следующих способов: выдавливание, вращение, перемещение вдоль двухмерной криволинейной направляющей, сдвиг плоского эскизного контура, а также путем отсечения фрагментов от твердотельных объектов произвольными поверхностями. Далее к базовой форме добавляются стандартные конструкторско-технологические элементы: отверстия (в том числе с зенковкой, разверткой и резьбовые), фаски, сопряжения (галтели) или элементы произвольной формы.

Следует учитывать, что базовая форма представляет собой твердое тело и формообразование в AutoCAD Designer осуществляется при помощи булевых операций над пространственными множествами (объединение, вычитание и пересечение). Например, добавление отверстия к модели сводится к вычитанию объема, а при задании фасок может выполняться как вычитание, так и объединение.

AutoCAD Designer реализует функцию параметризации как на уровне отдельной модели, так и сборочной единицы. Поэтому процесс сборки почти полностью автоматизирован: пользователь должен только задать связи, ограничивающие число степеней подвижности, а программа сама генерирует сборочные чертежи и спецификации. При этом сборочная единица представляется в виде иерархической структуры, в которой строго заданы как взаимосвязи отдельных компонентов, так и последовательность процесса сборки.

Процесс моделирования сборочных единиц в AutoCAD Designer состоит из следующих этапов:

- определение компонентов сборочной единицы;
- вставка компонентов в сборочную единицу;
- наложение и редактирование связей между компонентами;
- сборка компонентов и анализ сборочной единицы;
- создание сборочного чертежа.

Чтобы начать процесс сборки, все компоненты необходимо явно определить как доступные для сборки («материализовать»). Вставка компонентов в рабочее пространство AMD подобна вставке блоков в AutoCAD, причем один и тот же компонент (деталь) может использоваться неоднократно. Детали и подузлы представлены в виде иерархической структуры сборочного узла. Конструктор должен строго придерживаться определенной последовательности сборки, вводя сначала «базовые» компоненты, а затем «присоединяемые» к ним. При этом не требуется внимательно следить за взаимной ориентацией и положением собираемых деталей, так как в дальнейшем они скорректируются автоматически за счет введения параметрических связей. Возможно свободно-координатное расположение деталей, которое задается относительно друг друга по их ребрам, осям или граням, а степени свободы компонентов отображаются графически.

Окончательная сборка изделия осуществляется путем определения связей, от которых зависит взаимное расположение компонентов:

- *Insert* (вставить соосно) – задаются цилиндрические поверхности, которые получают общую ось, расстояние между ними и направление соединения;
- *Mate* (встык) – задаются сопрягаемые поверхности, линии или точки двух компонентов, а также расстояние между ними (отступ);
- *Flush* (заподлицо) – задаются грани двух компонентов, нормали к которым ориентируются параллельно в одном направлении;
- *Angle* (угловая зависимость) – нормали указанных граней пары компонентов ориентируются под заданным углом;
- *Oppose* (под углом в противоположных направлениях) – нормали указанных граней пары компонентов ориентируются в противоположных направлениях под заданным углом.

После задания типа связи необходимо указать компоненты, к которым применяется данная связь; затем компоненты перестраиваются на экране автоматически с учетом введенных связей, имитируя процесс сборки.

После сборки изделия производится расчет массоинерционных характеристик, площади поверхности, массы и объема деталей и сборочных узлов, моментов инерции и анализ взаимодействия деталей в сборочных узлах.

При генерации сборочных чертежей пользователь может задать любую совокупность проекционных видов и разрезов сборочной единицы, позволяющих уяснить взаимное расположение компонентов. При этом устанавливается двунаправленная ассоциативная связь между моделью и ее чертежом, автоматически удаляются штриховые и невидимые линии, наносятся размеры и выноски. Кроме того, возможно построение изометрических проекций в так называемом разобранном виде (*exploded view*), что удобно при подготовке руководств по сборке и эксплуатации. В AMD имеются также средства простановки номеров позиций на сборочных чертежах и автоматического заполнения спецификаций, форма которых определяется пользователем. Спецификация, соответствующая стандартам ANSI, ISO, DIN, JIS и ЕСКД, может размещаться в поле чертежа или выводиться во внешний файл.

Средствами AutoSurf осуществляются моделирование как примитивных поверхностей (конус, шар, цилиндр), так и сложных поверхностей произвольной формы (трубчатых, поверхностей натяжения, изгиба, перехода), а также плавное сопряжение произвольных поверхностей. Во внутреннем формате AutoSurf контуры и оболочки точно описываются математическими уравнениями, однако при выводе на экран поверхности преобразуются в каркасы, что существенно сокращает время регенерации изображения. Кроме того, в AutoSurf каркасы используются как исходные данные при построении поверхностей сложной формы. Имеются функции вычисления площади поверхности и объема. Всего в AutoSurf существуют четыре типа поверхностей:

- 1) элементарные;
- 2) вращения (получаемые перемещением элементов каркаса);
- 3) движения (получаемые натяжением оболочки на каркас);
- 4) производные (получаемые из существующих).

Для их построения можно использовать 16 различных способов, применяя разные типы каркасных элементов: сплайны, полилинии, дуги, окружности, эллипсы, линии с векторами вращения. Но, несмотря на разнообразие методов построения, внутренний формат представления всех без исключения поверхностей основан на одном и том же математическом аппарате – аппарате неоднородных рациональных В-сплайнов (NURBS). Поверхности AutoSurf могут быть представлены на экране либо в тонированном виде, либо в виде каркаса, который является лишь вспомогательным средством отображения. Для тонирования трехмерных моделей и создания фотореалистических изображений в стандартную поставку пакета AutoCAD включен модуль AutoVision.

Программный пакет Autodesk WorkCenter предназначен для управления процессом создания проекта и автоматизации ведения технической документации. Он имеет архитектуру «клиент-сервер» и позволяет работать в локальной сети рабочим группам любой численности.

Возможности пакета включают: многопользовательский доступ к документации, выбор оптимальной структуры; использование файлов центрального хранилища; «управление» версиями документов в течение их «активной» жизни; электронное уведомление; рассылку и утверждение документации; управление потоком необходимой информации. Он также позволяет в процессе проектирования и просмотра документации вносить в нее изменения, дополнения, замечания и указания. Предусмотрен просмотр файлов более чем 100 форматов, в том числе файлов текстовой и графической информации, файлов электронных таблиц, файлов баз данных и систем автоматизированного проектирования.

Autodesk WorkCenter полностью интегрирован со средой AutoCAD for Windows и совместим с программным пакетом AutoCAD\* LT. Система Autodesk WorkCenter может быть использована для обработки электронной документации практически всех типов.

При проектировании металлических конструкций могут использоваться и другие программные продукты фирмы Autodesk: AutoCAD LT – пакет для двухмерного проектирования; Autodesk View и Autodesk VQ – системы просмотра файлов, подготовленных с помощью AutoCAD и ADE; Autodesk Mechanical Library – библиотека трехмерных конструктивных элементов и твердотельных моделей для пакета AutoCAD Designer.

#### **4.4. Система I-DEAS**

Торговая марка I-DEAS объединяет целый ряд программных продуктов, которые можно рассматривать как интегрированный комплекс CAD/CAM/CAE. Эти программные средства созданы фирмой SDRC (Structural Dynamics Research Corporation) и предназначены для автоматизации разработки металлических конструкций в аэрокосмической, автомобильной и других отраслях промышленности. Отличительными особенностями I-DEAS являются возможность распределения пользовательских лицензий по неоднородным локальным сетям, которые содержат рабочие станции разных производителей (HP, IBM, SUN и др.), а также наличие встроенных средств конечно-элементного моделирования, оптимизации и автоматизации испытаний.

Типовой набор модулей I-DEAS для решения задач проектирования металлоконструкций (Product Design Package) включает в себя следующие модули:

- I-DEAS Master Modeler – базовый модуль трехмерного моделирования (проволочного, поверхностного, твердотельного);
- I-DEAS Master Surfacing – модуль трехмерного моделирования деталей со сложными «скульптурными» поверхностями;
- I-DEAS Master Assembly – модуль для трехмерного моделирования сборочных узлов и простейших механизмов;

- I-DEAS Drafting – модуль создания чертежей изделия;
- I-DEAS Data Translation – модуль преобразования форматов графических данных.

При помощи модуля I-DEAS Master Modeler создается твердотельная геометрическая модель, которая используется в качестве исходной в большинстве других задач (при прочностном анализе, черчении, подготовке программ для ЧПУ и т.д.). В нем реализованы NURBS-геометрия, а также «параллельная ассоциативность», поддерживающая групповую работу нескольких конструкторов. Кроме того, «история» процесса проектирования запоминается в виде дерева, любую ветвь которого можно редактировать.

Модуль I-DEAS Master Surfacing позволяет создавать модели деталей со сложными «скульптурными» поверхностями. При этом предполагается, что первичный эскиз подготовлен при помощи модуля I-DEAS Master Modeler, в котором реализованы NURBS-геометрия с двойной точностью, а также моделирование при помощи кривых Безье высокого порядка. Для контроля гладкости полученной поверхности используются специальные средства визуализации, выявляющие участки с резкими изломами.

Модуль I-DEAS Master Assembly позволяет создавать трехмерные модели сборочных узлов, состоящих из большого числа мелких элементов, каждый из которых также может быть сборочным узлом. При вставке элемента в механизм конструктору не требуется точного позиционирования, достаточно лишь задать связи между элементами, по которым далее находится точное взаимное расположение деталей. Для созданной сборки можно автоматически сформировать спецификацию, а для группы сборок – построить таблицы входимости, содержащие списки сборочных узлов, в которые входят заданные детали. Кроме того, имеются функции анализа собираемости созданного узла и оценки допусков при помощи I-DEAS Tolerance Analysis. Модель простейшего механизма также можно построить с помощью модуля Master Assembly, но при создании моделей сложных пространственных механизмов применяется специальный модуль I-DEAS Mechanism Design, который также позволяет провести полный динамический анализ (вычислить силы, моменты, перемещения, скорости, ускорения и т. д.).

Модуль I-DEAS Drafting предназначен для получения чертежей изделия, созданного в модулях I-DEAS Master Modeler, I-DEAS Master Surfacing, I-DEAS Master Assembly, либо применяется как самостоятельная система двухмерного черчения. Для взаимодействия с пользователем I-DEAS Drafting использует «Динамический навигатор» – специальное средство, поддерживающее как однопользовательскую, так и многопользовательскую работу. По геометрии главной модели (мастер-модели) легко создаются проекции, сечения, разрезы, проставляются размеры. Чертежи взаимосвязаны с главной моделью в обоих направлениях, т.е. изменение любого размера на чертеже сразу же отражается в мастер-модели и наоборот. В процессе черчения также автоматически создается

спецификация, которая обновляется динамически при изменении числа объектов, их атрибутов и т.д.

I-DEAS Data Translation представляет собой набор модулей для чтения и записи графических файлов в форматах IGES, STEP, VDA-FS, DXF, а также для обмена данными с пакетами Pro/ENGINEER, CATIA, CAD AM, CADD5 и др.

#### 4.5. Система Unigraphics

Система Unigraphics фирмы EDS широко распространена в аэрокосмической и автомобильной промышленности, а также в машиностроении. Ее отличительными особенностями являются наличие средств гибридного трехмерного моделирования, ассоциативной базы данных, развитых средств моделирования сборочных узлов и создания чертежей. В состав системы Unigraphics входит несколько десятков модулей, основными из которых являются:

- UG/Gateway – поддерживает интерфейс системы с пользователем и взаимодействие между ее отдельными компонентами;

- UG/Solid Modeling – базовый модуль трехмерного гибридного моделирования (проволочного, поверхностного, твердотельного и их модификаций);

- UG/Features Modeling – позволяет редактировать и параметрически задавать стандартные элементы изделий, такие, как отверстия, щели, выступы, прокладки, стержни, трубы, желоба и т. д.;

- UG/Freeform Modeling – модуль трехмерного моделирования сложных «скульптурных» поверхностей;

- UG/User-Defined Features – позволяет представлять произвольные группы деталей в виде одного параметризованного стандартного объекта, который может использоваться всеми конструкторами;

- UG/Drafting – модуль автоматизированного черчения, поддерживающий все основные промышленные стандарты (ANSI, ISO, DIN, JIS) и включающий в себя средства формирования ортогональных и изометрических проекций, разрезов, сечений и т.д.;

- UG/Assembly Modeling – позволяет создавать ассоциативные параметрические модели сложных сборочных узлов в режиме групповой работы конструкторов;

- UG/Mechanisms – модуль проектирования и моделирования двухмерных и трехмерных механических систем непосредственно в среде пакета Unigraphics, позволяющий осуществить полный кинематический анализ, оценить зазоры между элементами, выявить столкновения, вычислить силы, моменты и т. д.

Кроме этого, в состав Unigraphics входит целый ряд модулей для подготовки автоматизированного производства, базовыми из которых являются UG/CAM Base и UG/Postprocessor. Имеются также модули, ориентированные на

конкретные технологические процессы: UG/MF-Flowcheck – для литья; UG/Lathe – для токарных работ; UG/Planar Milling, UG/Fixed-Axis Milling, UG/Variable-Axis Milling – для фрезерования; UG/Sheet Metal Design, UG/Sheet Metal Fabrication, UG/Sheet Metal Nesting – для изготовления изделий из листового металла. Используя средства пакета Unigraphics, можно создавать фотореалистические изображения разрабатываемых изделий (UG/Photo) и их трехмерные прототипы (UG/Rapid Prototyping).

## Литература

1. Введение в теорию интегрированных САПР гибких технологий и производств / Ю.М. Соломенцев, В.А. Исаченко, В.Я. Польшкалин и др.; Под ред. Ю.М.Соломенцева и др. – М.: Машиностроение, 1992. – 592 с.
2. Хокс Б. Автоматизированное проектирование и производство. – М.: Мир, 1991. – 196 с.
3. Геометрическое моделирование и машинная графика в САПР: Учебник для студентов вузов по специальности. «Системы автоматизированного проектирования» / В.Е. Михайленко, В.Н. Кислокий, А.А. Лященко и др. – Киев: Выща шк., 1991. – 373 с.
4. Норенков И.П., Маничев В.В. Основы теории и проектирования САПР. – М.: Высш. шк., 1990. – 335 с.
5. Кречко Ю.А., Полищук В.В. Автокад: Курс практической работы. – М.: Диалог-МИФИ, 1996. – 256 с.
6. Кречко Ю.А., Полищук В.В. Автокад 13: новые возможности: В 2 ч. – М.: Диалог-МИФИ, 1996. – 288 с.
7. AutoCAD 14: Русская и англоязычная версии / Э.Т. Романычева, Т.М. Сидорова, С.Ю. Сидоров. – М.: ДМК, 1997. – 446 с.
8. Рон Хауз. Использование AutoCAD2000: Учеб. пособие: Пер. с англ. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2000. – 832 с.
9. Смалюк А.Ф., Маккарчук Д.В., Кальник И.В. AutoCAD2000. – Мн.: Кузьма, 2000. – 160 с.
10. Кудрявцев Е.М. Mechanical Desktop Power Pack. Основы работы в системе. – М.: ДМК Пресс, 2001. – 544 с.
11. Форматы графических файлов / Сост. А.С.Климов. – Киев: НИПФ «ДиаСофт Лтд.», 1995. – 479 с.
12. Черников Е. Графические форматы // Computer Week – Moscow, 1995. № 33. С.44-46.

Учебное издание

**Пашкевич** Анатолий Павлович,  
**Чумаков** Олег Анатольевич

## **ОСНОВЫ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Методическое пособие  
для студентов специальностей  
53 01 03 «Автоматическое управление в технических системах»  
и 53 01 07 «Информационные технологии и управление  
в технических системах»  
дневной формы обучения

Редактор Н.А. Бебель  
Корректор Н.В. Гриневич

---

Подписано в печать  
Гарнитура «Таймс».  
Уч.-изд. л. 2,5.

Формат 60x84 1/16.  
Печать ризографическая.  
Тираж 200 экз.

Бумага офсетная.  
Усл. печ. л.  
Заказ.

---

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»  
Лицензия на осуществление издательской деятельности №02330/0056964 от 01.04.2004.  
Лицензия на осуществление полиграфической деятельности №02330/0133108 от 30.04.2004.  
220013, Минск, П. Бровки, 6



Библиотека БГУИР