

«Потенциальные возможности компьютерной графики грандиозны, ограничения же зависят только от нашей фантазии. И чем она богаче, тем полнее раскрываются возможности компьютерной графики»

*Ликлайдер*

## **ПРЕДИСЛОВИЕ**

Рыночный успех предприятия определяется конкурентоспособностью его продукции. Необходимо сокращать сроки проектирования и производства изделий и повышать их качество, быстро реагировать на конъюнктуру рынка товаров.

Решение этих задач требует качественного преобразования всех этапов производства. На этапе конструкторско-технологической подготовки такое преобразование обеспечит использование компьютерной графики в САПР современного уровня.

Создание изделий машиностроения невозможно без пространственного моделирования объектов, разработки конструкторско-технологической документации, умения читать техническую документацию и обрабатывать изображения.

Современное проектирование — это достаточно четкая последовательность действий. Одним из основных элементов проектирования было, как и сейчас, воплощение идеи в виде графических представлений (планов, чертежей и др.). Хотя чертежи на бумажных носителях стремительно уходят в прошлое и заменяются электронным описанием.

В отличие от художника или скульптора, инженер, создавая свои произведения, работает в большей степени не с реально существующим объектом, а с его графическими изображениями. И именно эти изображения накладывают определенный отпечаток на получаемый конечный результат.

Творческий подход к созданию и чтению технической документации должен сопровождаться анализом технологичности формы изделия, поиском оптимальной заготовки и наилучшего варианта последовательности всех действий, необходимых для превращения заготовки в готовую деталь. В более полной мере этого можно достичь, основываясь на знаниях, приобретенных при создании конструкторской и технологической документации в режиме диалога с ЭВМ.

Рыночный успех предприятия определяется конкурентоспособностью его продукции. Необходимо сокращать сроки проектирования и производства изделий и повышать качество, быстро реагировать на конъюнктуру рынка товаров.

Решение этих задач требует качественного преобразования всех этапов большинства производств в РФ. На этапе конструкторско-технологической подготовки такое преобразование обеспечит использование компьютерной графики в САПР современного уровня.

Современные САПР:

- работают на любом «железе» и любой операционной системе с любыми доступными средствами ввода (клавиатура, мышь, манипулятор, сенсорный экран, 3D жесты);

- все операции выполняют мгновенно, вне зависимости от сложности и размера модели;

- работают с любыми файлами современных систем CATIA/Solidworks/Creo/NX/Inventor... без какой-либо потери замысла проекта и без каких-либо проблем с допусками/топологией;

- обладают как прямым моделированием, так и мощными средствами автоматизации/параметризации/оптимизации – причем эти две возможности не мешают друг другу, а работают в гармонии.

Компьютерную графику можно определить как науку о математическом и геометрическом моделировании форм и размеров изделий, а также методах их визуализации.

Компьютерная графика, как учебная дисциплина в вузе, возникла сравнительно недавно в связи с интенсивным развитием в последние десятилетия вычислительной техники. Рассматривая вопросы создания, обработки и воспроизведения изображений, она является продолжением современных компьютерных курсов начертательной геометрии и инженерной графики.

Компьютерная графика требует также дополнительных знаний математики (аналитической и дифференциальной геометрии, аффинных преобразований, топологии многообразий и др.), информатики, вычислительной техники, программирования, а также отраслей техники, где она будет использоваться.

Сегодня существенной частью компьютерной графики постепенно становится элемент, который раньше хотя и присутствовал в проектировании, но с графическим представлением имел очень слабую связь, – это моделирование. А в настоящее время графика превращается в средство создания модели.

Инновационная стратегия компьютерной геометрической и графической подготовки студента строится с позиции информационной поддержки всего жизненного цикла (ЖЦ) изделий и инфраструктуры. Необходима полная информатизация, переход к электронному документообороту и внедрение информатизационных систем обучения студентов.

На всех стадиях ЖЦ присутствуют информационные модели, большинство из которых составляют геометрические и графические модели. Большинство сфер материального производства оперирует либо с визуальными образами создаваемого и эксплуатируемого изделия, либо с его математической (в большей мере геометрической) моделью.

Стратегически новым в компьютерно-графической подготовке становится переориентация на трехмерную геометрическую модель (ГМ) – математическое описание структуры изделия или инфраструктуры, полный набор координат и геометрических характеристик их элементов. Электронным воплощением ГМ становится электронная модель или электронный макет (ЭМ) изделия и его составляющих. По существу, ЭМ представляет собой набор данных, однозначно определяющих требуемую форму и размеры изделия. ГМ может быть каркасной, поверхностной или твердотельной. При необходимости 3D модель достаточно просто преобразовать в 2D модель, то есть в чертеж на плоскости. Именно ЭМ играет роль первоисточника для всех этапов ЖЦ изделий и инфраструктуры, хранится в базе данных проекта изделия или инфраструктуры и обеспечивает решение задач проектирования, производства, строительства и эксплуатации.

В основе 3D профессиональных графических пакетов лежит серьезный математический аппарат, реализованный в ядре графической системы. Это математические зависимости, описывающие формирование цифровой модели реальных объектов, их преобразования, а также алгоритмы для просчета освещения трехмерных сцен (областей виртуального пространства, содержащих трехмерные объекты и источники света).

Знания по компьютерной графике реализуются практически во всех дисциплинах специальных циклов.

Вообще трехмерные образы помогают студентам намного легче воспринимать любой сложности материал. Обучение с помощью 3D моделей очень наглядно, позволяет разнообразить формы подачи материала. Графическая информация воспринимается одномоментно, в целом виде, она мобильна, её удобно подвергать изменениям, преобразовывать, использовать.

Однако кардинальным отличием компьютерной графики от других технических дисциплин является тот факт, что её предметная область изменяется чрезвычайно динамично. И даже своевременное реагирование на научно-технические достижения не всегда позволяют обеспечить уровень знаний и навыков выпускника, адекватный потребностям сферы материального производства и коммерческого рынка.

Владение современными информационными технологиями проектирования, знание их возможностей, понимание тенденций их развития, способность эффективно осуществлять геометрическое моделирование и использовать геометрические модели для осуществления других видов деятельности обеспечивают опережающую подготовку научно-технических кадров, обладающих компетенциями мирового уровня.

На современном рынке выпускников вузов существует большой спрос на специалистов по компьютерной графике со стороны производственных предприятий. Сегодня работа с графикой на компьютере все больше становится элементом компьютерной грамотности и скрывается за фразой «Требуется умение работать на ПК» (персональном компьютере) во многих объявлениях о приеме на работу.

Учебное пособие предназначено для обучения бакалавров всех технических специальностей и соответствует по содержанию образовательным программам ФГОС третьего поколения по инженерной и компьютерной графике. Курс лекций дополняется лабораторными занятиями. Содержание учебного пособия дает возможность выбора уровня освоения графических компетенций в зависимости от направления подготовки и с учетом индивидуальных потребностей и возможностей студентов.

## **1. ПОНЯТИЕ ОБ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ. СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ САПР**

### **САПР в машиностроении**

Термин САПР «Система автоматического проектирования» (в английской нотации CAD) появился в конце 50-х годов прошлого века, когда Д.Т. Росс начал работать над одноименным проектом в Массачусетском технологическом институте. Первые CAD-системы появились десять лет спустя.

Термин «САПР для машиностроения» в нашей стране обычно используют в тех случаях, когда речь идет о пакетах программ трех типов:

- автоматизированного проектирования (CAD – Computer Aided Design);
- автоматизированного инженерного анализа (CAE – Computer Aided Engineering);
- автоматизированной подготовки производства (CAM – Computer Aided Manufacturing).

Существуют САПР и для других областей: разработки электронных приборов, металлургии, строительного проектирования и других отраслей промышленности.

Иногда САПР для применения в областях общего машиностроения называют MCAD (Mechanical CAD), а САПР для радиоэлектроники – ECAD (Electronic CAD) или EDA (Electronic Design Automation).

Идея автоматизировать проектирование зародилась почти одновременно с появлением первых коммерческих компьютеров – так, уже в начале 60-х годов XX века ее воплотила компания General Motors в виде первой интерактивной графической CAD-системы для подготовки производства. В 1971 г. создатель этой системы доктор Патрик Хэнретти (Patrick Hanratty) основал компанию Manufacturing and Consulting Services (MCS) и разработал методики, которые составили основу большинства современных САПР. Вскоре также появились и другие подобные системы. В то время все они работали в основном на мэйнфреймах и стоили очень дорого. И поэтому были доступны лишь крупным предприятиям.

Одновременно с CAD-системами стали появляться и первые САМ-пакеты, позволяющие частично автоматизировать процесс производства с помощью программ для станков с ЧПУ, и САЕ-продукты, предназначенные для анализа сложных конструкций.

В 1971 году компания MSC Software выпустила систему структурного анализа Nastran, которая до сих пор занимает ведущее положение на рынке САЕ-систем.

К середине 80-х годов САПР для машиностроения обрели форму, которая существует и сейчас (CAD/CAE/CAM). Появление микропроцессоров положило начало революционным преобразованиям в области аппаратного обеспечения – наступила эра персональных компьютеров (ПК). Но для трехмерного моделирования мощности первых ПК не хватало, поэтому CAD-системы ограничивались двумерными (плоскими) чертежами.

К началу 90-х годов средняя цена рабочего места снизилась до 20 тысяч долларов. САПР становились доступнее. Но в массовый продукт они превратились лишь тогда, когда компания Autodesk разработала свой знаменитый пакет AutoCAD стоимостью всего около тысячи долларов. В то время ПК были 16-разрядными, и их мощности хватало лишь для двумерных построений – черчения и создания эскизов. Однако это не помешало новинке иметь огромный успех у пользователей.

Наиболее бурное развитие САПР происходило в конце 90-х годов. Именно тогда компания Intel выпустила процессор Pentium, а Microsoft – ОС Windows NT. В это же время на поле вышли новые игроки «средней весовой категории».

Они заполнили нишу между дорогими «тяжелыми» продуктами, обладающими множеством функций, и «легкими» программами типа AutoCAD. В результате сложилось существующее и поныне условное деление САПР на три класса: тяжелый, средний и легкий. Такая классификация возникла исторически, и хотя грани между классами постепенно стираются, они продолжают существовать, так как системы по-прежнему различаются и по цене, и по функциональным возможностям. Следует добавить, что в настоящее время, кроме универсальных САПР, также выпускаются и различные специализированные продукты, например для инженерного расчета трубопроводов, анализа литья металлов, проектирования металлоконструкций и множества других конкретных задач.

Широкое распространение получили системы нижнего уровня или, как их иногда называют, электронные кульманы (T-FLEX CAD 2D, AutoCAD 2D, VersaCAD, CADKEY, КОМПАС Lite и др.). Они сокращают время разработки проектов за счет автоматизации выпуска конструкторской и технологической документации, а также подготовки управляющих программ для 2,5-координатного оборудования с ЧПУ «по электронному чертежу». Системы нижнего уровня проще в использовании и дешевле, поэтому на них существует постоянный спрос. Условный ценовой диапазон этих систем составляет до 6000 долларов.

Активное развитие получили системы среднего уровня (T-FLEX CAD 3D, SolidWorks, ADEM, КОМПАС 3D и др.), ориентированные на операционные системы Windows и UNIX. Они позволяют создавать трехмерные параметрические модели деталей и сборок, по которым определяют инерционно-массовые, прочностные и прочие характеристики, контролируют взаимное расположение деталей, моделируют все виды обработки на станках с ЧПУ.

Системы среднего уровня позволяют более полно проработать внешний вид изделия, создать его фотореалистичное изображение, включая управление источником света; динамическое вращение в пространстве. Они обеспечивают управление проектами на базе электронного документооборота. Экономический эффект от использования систем среднего уровня состоит в многократном повышении производительности труда при резком сокращении ошибок и соответственно улучшении качества изделий.

В настоящее время системы среднего уровня очень популярны и поэтому быстро развиваются, приближаясь по своим возможностям к САПР высшего уровня. В некоторых областях промышленности программы средней стоимости успешно конкурируют с самыми дорогими пакетами. Условный ценовой диапазон этих систем составляет от 6000 до 40 000 долларов США.

Одной из важных тенденций современного рынка является приобретение предприятиями САПР высшего уровня, таких как UGS PLM Software (Unigraphics), Pro/Engineer, CATIA, которые предназначены для решения всего комплекса задач, стоящих перед инженерами на всех этапах создания сложных технических изделий (предварительное проектирование, этап инженерного анализа и оптимизации конструкции, изготовление, эксплуатация). Они используются при производстве сложной техники в машиностроении, двигателестроении, авиационной, судостроительной и аэрокосмической промышленности.

Системы высшего уровня позволяют конструировать детали с учетом особенностей материала (пластмасса, металлический лист), производить динамический анализ сборки с имитацией сборочных приспособлений и инструмента, проектировать оснастку с моделированием процессов изготовления (штамповки, литья, гибки), что исключает брак в оснастке и делает ненужным изготовление натурных макетов. Они не ограничивают количество деталей в модели, в то время как системы среднего уровня могут «зависнуть» при демонстрации модели, насчитывающей несколько десятков тысяч деталей.

Системы высшего уровня уменьшают материальные и временные затраты на подготовку производства изделия. Автоматизируются все аспекты технологической подготовки производства, в том числе составление управляющих программ для обработки деталей на станках с ЧПУ. Популярность САПР старшего уровня среди пользователей постоянно растет. На мировом рынке представлены три САПР высшего уровня:

- UGS PLM Software компании Siemens;
- CATIA французской фирмы Dassault Systemes, продвигающей эту САПР совместно с фирмой IBM;
- Creo (Pro/Engineer) от PTC (Parametric Technology Corp.) Inc.



Несмотря на то что системы высшего уровня значительно дороже, чем системы низшего и среднего уровней, на них приходится значительная часть объема рынка в денежном выражении. Эти системы стоят свыше 40 000 долларов. Например, лицензия на САПР CATIA стоит около 50 000 долларов.

Системы высшего уровня все шире применяются и на российском рынке.

Некоторые пакеты систем высшего уровня могут работать в связке с пакетами среднего уровня. Конструкторы могут разрабатывать детали или сборочные узлы в разных системах. В этом случае после корректировки размеров детали в более дешевой системе она автоматически изменится в сборке, созданной в более дорогой системе. Аналогично можно спроектировать деталь в одной системе, а создать программу ее обработки на станке с ЧПУ в другой.

В настоящее время развитие систем автоматического проектирования идет двумя путями – эволюционным и революционным. В свое время революционный переворот произвели первые САПР для ПК и системы среднего класса. Сейчас рынок развивается эволюционно: расширяются функциональные возможности продуктов, повышается производительность, упрощается использование. Но, возможно, вскоре нас ждет очередная революция. Многие аналитики считают, что это произойдет, когда поставщики САПР начнут использовать для хранения инженерных данных (чертежей, трехмерных моделей, списков материалов и т.д.) не файловые структуры, а стандартные базы данных SQL-типа. В результате инженерная информация станет структурированной и управлять ею будет гораздо проще, чем в настоящее время.

Подобная интеграция является неотъемлемой чертой новых систем. Технология поддержки инженерной деятельности на всех этапах жизненного цикла изделий получила название CALS (Computer Aided Lifecycle System). В основу CALS-технологии положен ряд стандартов: STEP (Standard for Exchange of Product model data), SGML (Standard Generalized Markup Language), EDIFACT (Electronic Data Interchange For Administration, Commerce, Transport) и др. Стандарт STEP позволяет описать весь жизненный цикл изделия, включая технологию изготовления и контроль качества продукции.

Стандарт SGML – устанавливает способы унифицированного оформления документов определенного назначения – отчетов, каталогов, бюллетеней и т. п., а стандарт EDIFACT – способы обмена подобными документами.

Одна из наиболее известных реализаций CALS-технологии разработана фирмой Computervision. Эта технология названа EPD (Electronic Product Definition) и ориентирована на поддержку процессов проектирования и эксплуатации изделий машиностроения.

В CALS-системах на всех этапах жизненного цикла изделий используется документация, полученная на этапе проектирования. Поэтому естественно, что составы подсистем в CALS и комплексных САПР в значительной мере совпадают.

Технологию EPD реализуют следующие составляющие:

- CAD – система автоматизированного проектирования;
- CAM – система автоматизированной технологической подготовки производства (АСТПП);
- CAE – система моделирования и расчетов;
- CAPE – (Concurrent Art-to-Product Environment) система поддержки параллельного проектирования;
- PDM – система управления проектными данными;
- 3D Viewer – система трехмерной визуализации;
- CADD – система документирования;
- CASE – система разработки и сопровождения программного обеспечения;
- методики обследования и анализа функционирования предприятий.

Кроме собственно CALS-систем, дальнейшее развитие САПР, по мнению многих разработчиков, должно идти по пути создания вычислительных систем, которые более «лояльны» к пользователю, легко тиражируются и обладают свойством саморазвития.

### **Составные части и базовые подсистемы САПР**

Составными функциональными частями САПР являются следующие виды обеспечения этих систем:

- техническое;

- математическое;
- программное;
- информационное;
- лингвистическое;
- организационное;
- методическое.

Система автоматизации конструкторской документации (АКД) выполняет ввод, хранение, обработку и вывод графической информации в виде конструкторских документов, т.е. для реализации системы необходимы: документы, регламентирующие работу системы АКД; исходная информация для формирования информационной базы; информационная база, содержащая модели геометрии объекта (ГО), геометрии изделия (ГИ), элементы оформления чертежа по ГОСТ ЕСКД; технические и программные средства создания ГО и ГИ и их вывода; интерфейс пользователя в виде диалога с компьютером.

Типичная схема системы АКД приведена на рис. 1.1.

По **характеру базовой подсистемы** различают следующие разновидности САПР:

- **САПР на базе подсистемы машинной графики и геометрического моделирования.** Эти САПР ориентированы на приложения, где основной процедурой проектирования является конструирование, т.е. определение пространственных форм и взаимного расположения объектов. Поэтому к этой группе систем относится большинство графических ядер САПР в области машиностроения;

- **САПР на базе СУБД.** Они ориентированы на приложения, в которых при сравнительно несложных математических расчетах перерабатывается большой объем данных. Такие САПР преимущественно встречаются в технико-экономических приложениях, например при проектировании бизнес-планов, но имеют место также при проектировании объектов, подобных щитам управления в системах автоматики;

- **САПР на базе конкретного прикладного пакета.** Фактически это автономно используемые программно-методические комплексы, например, имитационного моделирования производственных процессов, расчета прочности по методу конечных элементов, синтеза и анализа систем автоматического управления и т.п.

Часто такие САПР относятся к системам САЕ. Примерами могут служить: пакеты ANSIS, программы логического проектирования на базе языка VHDL, математические пакеты типа MathCAD;

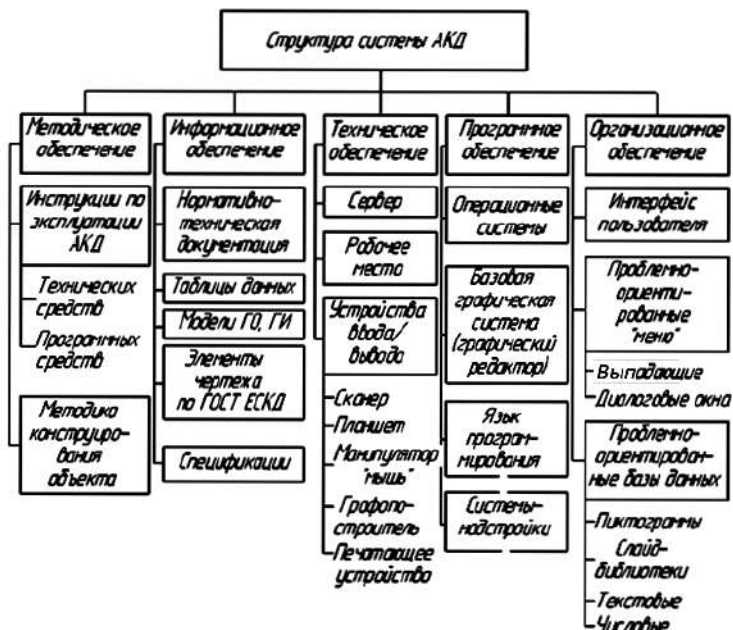


Рис. 1.1. Схема системы АКД

• **Комплексные (интегрированные) САПР**, состоящие из совокупности подсистем предыдущих видов. Характерными примерами комплексных САПР являются CAD/CAM/CAE-системы в машиностроении. Для управления столь сложными системами применяют специализированные системные среды.

### Составные части процесса проектирования

Процесс проектирования расчленяется на стадии, этапы, проектные процедуры и операции. Стадии:

- предпроектные исследования;
- техническое задание;
- эскизный проект;
- технический проект;
- рабочий проект;
- испытание;
- внедрение в производство.

Этап проектирования — часть процесса проектирования, включающая в себя формирование всех требующихся описаний объекта, относящихся к одному или нескольким иерархическим уровням и аспектам.

Составные части этапа проектирования называют проектными процедурами. Проектная процедура — это часть этапа, которая заканчивается получением проектного решения. Более мелкие составные части процесса проектирования, входящие в состав проектных процедур, называются проектными операциями. Например, для проектной процедуры оформления чертежа изделия проектной операцией может быть вычерчивание типового графического изображения зубчатого венца и т.п.

### **Нисходящее и восходящее проектирование**

Если решение задач более высоких иерархических уровней предшествует решению задач более низких иерархических уровней, то проектирование называют нисходящим, в противном случае — восходящим.

При нисходящем проектировании система разрабатывается в условиях, когда ее элементы еще не определены и, следовательно, сведения об их возможностях и свойствах носят предположительный характер. При восходящем проектировании элементы проектируются раньше и, следовательно, требования к системе имеют предположительный характер.

На практике, как правило, сочетают оба указанных вида проектирования.

Например, восходящее проектирование имеет место на всех уровнях, на которых используются унифицированные элементы, на остальных используется нисходящее проектирование.

## Средства двумерного черчения

В настоящее время в РФ с помощью 2D пакетов все еще создается большинство конструкторских чертежей изделий в ортогональных проекциях и электрических схем.

Относительными ограничениями на 2D системы САПР являются следующие:

- системы 2D моделирования распознают геометрические формы, определенные точками, кривыми или прямыми только на плоскости;
- не обладая способностью обрабатывать 3D формы, 2D инструменты не дают возможности автоматически генерировать дополнительные виды. Произвольный вид компонента система может выполнить, но лишь как отдельную форму, которая будет рассматриваться вне связи с другими изображениями видов.

Основное назначение САПР, включающих обработку 2D информации, – изготовление чертежей с помощью ЭВМ.

В зависимости от принципа обработки геометрических элементов различают варианты системы и генерирующие системы. Сегодня используются системы, построенные на базе комбинации обоих принципов.

Предпосылкой создания и применения проекта логического проектирования, реализующего метод принципиального проектирования, является наличие принципиального решения, включающего идентифицирующие, классифицирующие, текущие данные и пространственные описывающие конструкции (логическое сочетание формы и размеров). С решением проектно-логического проектирования принципиальное решение, создающее общее представление об изделии, превращается в решение с конкретным значением данных о конкретном изделии.

Область применения – отдельные детали, комплектующие функциональные узлы, готовые изделия.

Вариантный метод предполагает, как необходимое условие, описание комплексной детали. Для этого из группы геометрически похожих деталей составляется искусственная комплексная деталь, которой присущи все геометрические признаки деталей группы.

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)