

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Лекция 1. Первое знакомство с САПР

Тирасполь, 2013

Основные понятия САПР

- **Проектирование** (от лат. Projectus, (т.е. брошенный вперёд) – процесс создания проекта, т.е. прототипа, прообраза предлагаемого или возможного объекта.

Проектирование технического объекта связано с созданием, преобразованием и представлением в принятой форме образа этого объекта.

Проектирование начинается с составления задания на проектирование.

Задание представляется в виде технических или иных документов и является **исходным описанием** объекта.

Результат проектирования - это полный комплект документации, который содержит сведения, достаточные для изготовления объекта. Такая документация представляет собой окончательное описание объекта.

Т.о. проектирование – это процесс преобразования исходного описание в окончательное описание объекта.

Процесс преобразования исходного описания в окончательное описание объекта представляет собой совокупность промежуточных описаний или проектных решений.

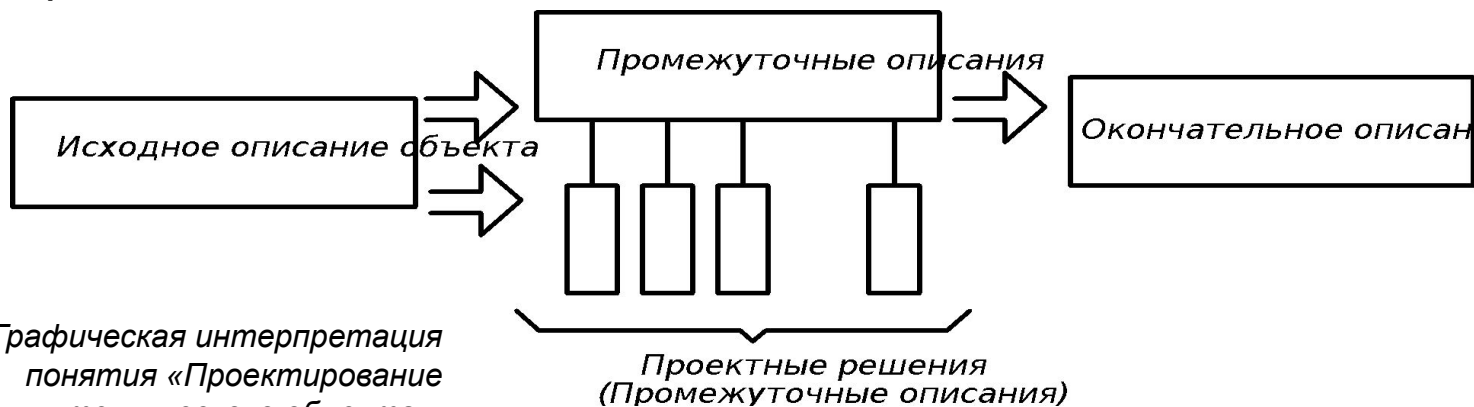


Рис.1 Графическая интерпретация понятия «Проектирование технического объекта».

Аспекты и иерархические уровни проектирования

Аспекты характеризуют ту или иную группу родственных свойств объекта.

Функциональный аспект отражает физические и (или) информационные процессы, протекающие в объекте при его функционировании.

Конструкторский аспект характеризует структуру, расположение в пространстве и форму составных частей объекта, *технологический аспект*—технологичность, возможности и способы изготовления объекта в заданных условиях.

Функциональным называется проектирование, связанное с решением группы задач, относящихся к функциональному аспекту. При функциональном проектировании получают и преобразуют структурные, функциональные и принципиальные схемы. Аналогично выделяют конструкторское и технологическое проектирование.

Внутри каждого аспекта выделяют *иерархические уровни* (уровни абстрагирования). На верхнем иерархическом уровне рассматривается весь сложный объект как совокупность взаимодействующих подсистем. На следующем уровне подсистем они рассматриваются отдельно как системы, состоящие из некоторых составных частей, и имеют большую подробность описаний. Процесс декомпозиции описаний и поблочного их рассмотрения можно продолжить вплоть до получения описаний блоков, состоящих из базовых элементов.

Разделение описаний проектируемых объектов на иерархические уровни по степени подробности отражения свойств объектов составляет сущность *блочного-иерархического подхода к проектированию*. Соответственно группы процедур получения и преобразования описаний выделенных уровней называются иерархическими уровнями проектирования.

Процесс проектирования

Проектирование делится на стадии, этапы и процедуры.

При проектировании сложных объектов выделяют **стадии**:

- научно-исследовательских работ (НИР)
 - опытно-конструкторских работ (ОКР)
 - технического проекта
 - рабочего проекта
 - испытаний опытного образца.

Стадию *НИР* во многих случаях можно разделить на стадии:

- предпроектных исследований
 - технического задания
 - технического предложения.

На этих стадиях последовательно изучаются потребности в получении новых изделий с заданным целевым назначением, исследуются физические, информационные, конструктивные и технологические принципы построения изделий.

Далее исследуются возможности реализации этих принципов, прогнозируются возможные значения характеристик и параметров объектов.

*Результатом **НИР** является формулировка технического задания (ТЗ) на разработку нового объекта.*

На стадии **ОКР** разрабатывается эскизный проект изделия, проверяются, конкретизируются и корректируются принципы и положения, установленные на стадии НИР.

На стадии *технического проекта* принимаются подробные технические решения и прорабатываются все части проекта.

На стадии *рабочего проекта* создается полный комплект конструкторско-технологической документации, достаточный для изготовления объекта.

На стадии *испытаний опытного образца* (или пробной партии при крупносерийном производстве) получают результаты, позволяющие выявить возможные ошибки и недоработки проекта, принимаются меры к их устранению, после чего документация передается на предприятия, выделенные для серийного производства изделий.

Проектирование разделяется также на этапы. Используются при этом следующие понятия. *Проектное решение* — описание объекта или его составной части, достаточное для рассмотрения и принятия заключения об окончании проектирования или путях его продолжения. *Проектная процедура* — часть проектирования, заканчивающаяся получением проектного решения. Примерами проектных процедур служат синтез функциональной схемы устройства, оптимизация параметров функционального узла, трассировка межсоединений на печатной плате и т. п. *Этап проектирования* — это условно выделенная часть проектирования, сводящаяся к выполнению одной или нескольких проектных процедур, объединенных по признаку принадлежности получаемых проектных решений к одному иерархическому уровню и (или) аспекту описаний.

На любой стадии или этапе проектирования можно выявить ошибочность или неоптимальность ранее принятых решений и, следовательно, необходимость или целесообразность их пересмотра. Подобные возвраты характерны для проектирования и обуславливают его *итерационный характер*.

Может быть также выявлена необходимость корректировки ТЗ. Вводят понятия *процедур внешнего и внутреннего проектирования*. К внешнему проектированию относят процедуры формирования или корректировки технического задания, а к внутреннему—процедуры реализации сформированного ТЗ. Тогда можно сказать, что происходит чередование процедур внешнего и внутреннего проектирования, что особенно характерно для ранних стадий (НИР, ОКР).

При этом различают нисходящее (сверху вниз) и восходящее (снизу вверх) проектирование.

При *нисходящем проектировании* задачи высоких иерархических уровней решаются прежде, чем задачи более низких иерархических уровней.

При *восходящем проектировании* последовательность противоположная. Функциональное проектирование сложных систем чаще всего является нисходящим, конструкторское проектирование—восходящим.

Типовые процедуры и маршруты проектирования

Процедуры синтеза и анализа.

Проектные процедуры делятся на процедуры синтеза и анализа.

Процедуры синтеза заключаются в создании описаний проектируемых объектов. В таких описаниях отображаются структура и параметры объекта и соответственно существуют процедуры структурного и параметрического синтеза. Под *структурой* объекта понимают состав его элементов и способы связи элементов друг с другом.

Параметр объекта — величина, характеризующая некоторое свойство объекта или режим его функционирования. Примерами процедур структурного синтеза служат синтез структурной схемы с корректирующими устройствами (структура которой выражается перечнем входящих в нее звеньев и их соединений) или синтез алгоритма (его структура определяется составом и последовательностью операторов). Процедура параметрического синтеза заключается в расчете значений параметров элементов при заданной структуре объекта, например коэффициентов корректирующих устройств.

Процедуры анализа заключаются в исследовании проектируемого объекта или его описания, направленном на получение полезной информации о свойствах объекта. Цель анализа — проверка работоспособности объекта. Часто задача анализа формулируется как задача установления соответствия двух различных описаний одного и того же объекта. При этом одно из описаний считается первичным и его корректность предполагается установленной. Другое описание относится к более подробному уровню иерархии или к другому аспекту, и его правильность нужно установить сопоставлением с первичным описанием. Такое сопоставление называется **верификацией**.

Маршруты проектирования и принципы их построения

Маршрутом проектирования называется последовательность проектных процедур, ведущая к получению требуемых проектных решений.

Основные *принципы построения маршрутов проектирования*:

- расчленение сложной задачи синтеза полного комплекта конструкторско - технологической документации на более простые задачи синтеза промежуточных проектных решений
- чередование процедур синтеза/и верификации
- итерационность проектирования
- усиление тщательности анализа (многовариантность, усложнение моделей) по мере приближения к окончательному проектному решению.

Расчленение сложной задачи синтеза на ряд простых выполняется в соответствии с блочно - иерархическим подходом к проектированию. Расчленение позволяет организовать параллельно-последовательное выполнение проектных процедур коллективом разработчиков.

Чередование процедур синтеза и верификации обусловлено тем, что для большинства задач структурного синтеза отсутствуют методы, обеспечивающие безошибочное получение проектных решений, удовлетворяющих требованиям ТЗ. Это связано с трудностями формализации задач синтеза, поэтому основные решения принимает человек на основе эвристических приемов. При этом невозможно учесть все многообразие качественных и количественных требований и избежать ошибок. Поэтому результаты предложенных при синтезе проектных решений контролируются выполнением верификации.

Итерационность проектирования обусловлена двумя факторами. Во-первых, она вытекает из особенностей блочно-иерархического подхода. Действительно, при нисходящем проектировании на n -м иерархическом уровне можно лишь предположительно судить о свойствах неспроектированных элементов, которые будут разрабатываться на следующем $(n+1)$ -м уровне.

При восходящем проектировании неопределенность связана с требованиями ТЗ, корректность которых может быть установлена только при выполнении процедур самого верхнего иерархического уровня. Поэтому ошибочность или неоптимальность решений, полученных на предыдущих этапах, выявляется в последующем, что требует возврата к предыдущим этапам для перепроектирования. Во-вторых, итерационность связана с чередованием синтеза и верификации, представляющим собой последовательное приближение к приемлемому проектному решению. Очевидно, что на первых итерациях синтезируемые варианты хуже с точки зрения выполнения ТЗ, чем последующие. Поэтому на первых итерациях с помощью довольно приближенных моделей полученные варианты оцениваются быстро и просто. Чем ближе очередной вариант к окончательному решению, тем более точное и всестороннее исследование требуется для его оценки. Следовательно, в процедурах верификации нужно использовать не одну модель объекта, а иерархический ряд моделей, различающихся сложностью и точностью.

Усиление тщательности анализа по мере приближения к окончательному решению выражается также в том, что проверка производится по все большему числу показателей, оговариваемых в ТЗ, зачастую с учетом статистического характера параметров и нестабильности внешних условий.

Подходы к верификации

Существуют два подхода к верификации проектных процедур: аналитический и численный.

Аналитический подход основан на использовании формальных методов доказательства соответствия двух сравниваемых описаний. В настоящее время класс объектов, для которых удастся реализовать аналитический подход, ограничен.

Численный подход основан на математическом моделировании процессов функционирования проектируемых объектов. Моделирование—это исследование объекта путем создания его модели и оперирования ею с целью получения полезной информации об объекте. При математическом моделировании исследуется математическая модель (ММ) объекта.

Типовые проектные процедуры

На рис. 2 представлена одна из возможных классификаций.



Процедуры структурного синтеза по характеру проектируемого объекта делятся на:

- синтез схем (принципиальных, функциональных, структурных, кинематических и др.)
- конструкций (определение геометрических форм, взаимного расположения деталей)
- процессов (технологических, вычислительных и др.)
- документации (чертежей, пояснительных записок, ведомостей и др.).

Основные процедуры параметрического синтеза

- оптимизация номинальных значений параметров элементов
- оптимизация их допусков
- идентификация моделей
- расчеты на основе упрощенных методик.

Рис.2 Классификация проектных процедур

Понятие автоматизированного и неавтоматизированного проектирования

Автоматизированное проектирование – это процесс или совокупность мероприятий, направленных на выполнение проектных решений с помощью ЭВМ. При этом должно быть предусмотрено рациональное распределение функций между человеком (проектировщиком) и ЭВМ.

Другие термины (адекватные, близкие по смыслу):

- ❖ машинное проектирование;
- ❖ компьютерное проектирование;
- ❖ проектирование с помощью средств ВТ.

Неавтоматизированное – проектирование, при котором ЭВМ не используется.

Автоматическое проектирование – это такой вид проектирования, при котором проектирование выполняется с помощью ЭВМ без участия человека, т.е. проектировщик полностью «исключен» из сферы проектирования и не участвует в процессе принятия решений .

Цели автоматизации проектирования

- ✓ повышение качества;
- ✓ снижение материальных затрат;
- ✓ сокращение средств проектирования;
- ✓ уменьшение или ликвидация роста числа проектировщиков и конструкторов;
- ✓ повышение производительности труда проектировщиков.

Объективная необходимость автоматизации проектирования технических объектов

1. На пример проектирования устройств

Распределение времен на выполнение проектных процедур отражает табл.1.

*Таблица. Структура и соотношение временных затрат
на выполнение процедур проектирования*

<i>Проектные процедуры</i>	<i>Время, %</i>	<i>Характер затрат времени</i>
Проектирование / конструирование	15	«Прямые затраты» (проектные работы)
Расчеты	4	
Вычерчивание	33	
Прочие работы	10	
Составление спецификаций	5	«Косвенные затраты»
Контроль чертежей	6	
Поиск повторяющихся деталей	2	
Составление описаний	12	
Нормирование	3	
Поиск аналогов проекта	1	
Переписка	3	
Прочие работы	6	

2. На примере проектирования технологий

Более 80% всех машин изготавливают на заводах с серийным характером производства.

Многовариантность возможных технологических решений, выбор наилучшего (оптимального), большой объем канцелярско – оформительской части работ, подготовка управляющих программ делает технологическое проектирование весьма трудоемким.

Т.о. необходимость автоматизации проектных решений заключается в разрешении противоречия между сокращением сроков на проектирование объектов (в связи с частой сменой объектов производства) и повышением качества проектирования и ограниченными трудовыми ресурсами.

Соотношение автоматизированного и неавтоматизированного проектирования

Граница между автоматизированным и неавтоматизированным способами проектирования не является абсолютно четкой, незыблемой, безусловной.

Понятие САПР

«**САПР** – комплекс средств автоматизированного проектирования, взаимосвязанный с подразделениями проектной организации и выполняющие автоматизированное проектирование». – ГОСТ 22487-77. «Проектирование автоматизированное. Термины и определения»

Состав САПР. Виды обеспечения

Комплекс средств автоматизированного проектирования КСАП включает в себя следующие виды обеспечения:

техническое,
программное,
математическое,
лингвистическое,
информационное,
методическое,
организационное.

Т.о. КСАП – это совокупность различных видов обеспечения, необходимых для выполнения автоматизированного проектирования.

К **объективным** п/с относятся п/с, выполняющие одну или несколько проектных процедур или операций, непосредственно зависящих от конкретного объекта проектирования .

К **инвариантным** п/с, выполняющие унифицированные проектные процедуры.

Техническое обеспечение — совокупность технических (аппаратных) средств, используемых в САПР для переработки, хранения, передачи информации, организации общения человека с ЭВМ, изготовления проектной документации. К техническому обеспечению САПР относят также средства организационной техники, различное измерительное оборудование для получения данных, используемых при проектировании.

Математическое обеспечение — совокупность математических моделей, методов, алгоритмов для решения задач автоматизированного проектирования. Математическое обеспечение реализуется в программном обеспечении САПР.

Программное обеспечение — совокупность программ, представленных в заданной форме, вместе с необходимой программной документацией, предназначенная для использования в САПР.

Лингвистическое обеспечение — совокупность языков, используемых в САПР для представления информации о проектируемых объектах, процессе и средствах проектирования, которой обмениваются люди с ЭВМ и между собой в процессе автоматизированного проектирования.

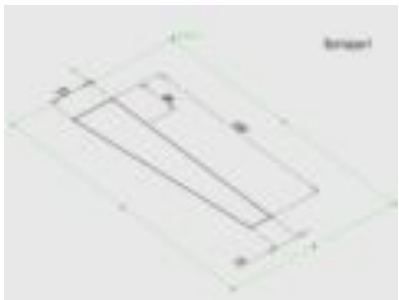
Информационное обеспечение — документы, содержащие описания стандартных проектных процедур, типовых проектных решений, комплектующих изделий, материалов и другие данные, а также файлы и блоки данных с записью указанных документов.

Методическое обеспечение — документы, в которых отражены состав, правила отбора и эксплуатации средств автоматизированного проектирования. Иногда понятие методического обеспечения расширяют, включая в него лингвистическое и математическое обеспечения.

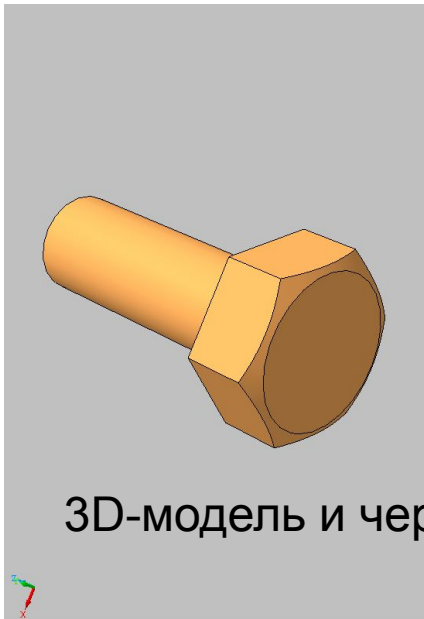
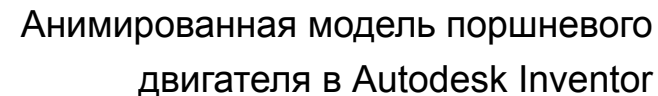
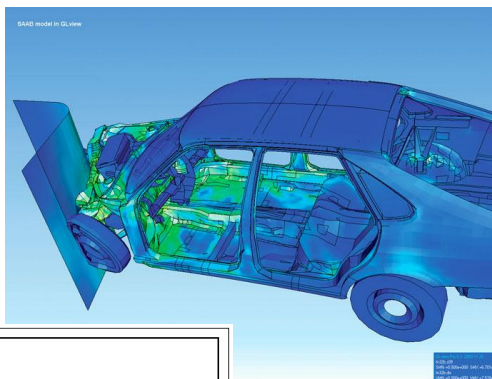
Организационное обеспечение — положения, инструкции, приказы, штатные расписания, квалификационные требования и другие документы, регламентирующие организационную структуру подразделений проектного предприятия и их взаимодействие с комплексом средств автоматизированного проектирования.

ЧТО ТАКОЕ САПР

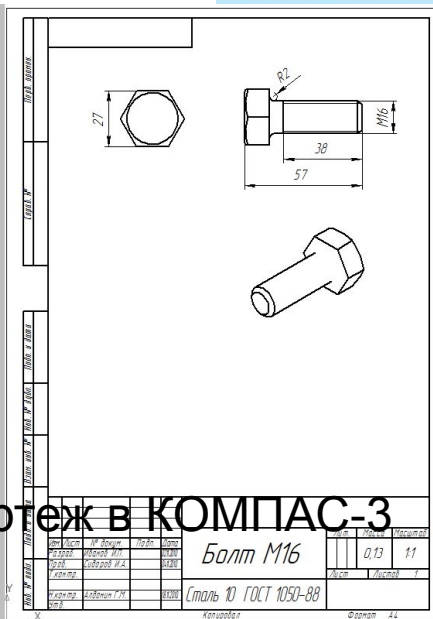
Система автоматизированного проектирования — автоматизированная система, реализующая информационную технологию выполнения функций проектирования; представляет собой организационно-техническую систему, предназначенную для автоматизации процесса проектирования, состоящую из персонала и комплекса технических, программных и других средств автоматизации его деятельности.



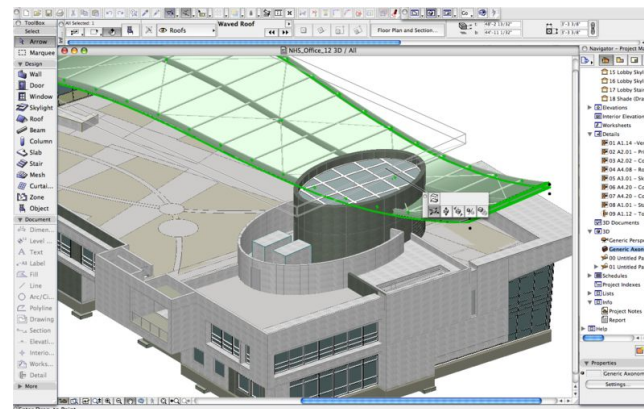
Процесс построения 3D-детали



3D-модель и чертеж в КОМПАС-3



Визуализация результатов моделирования
столкновения, выполненная в [NTNU](#)

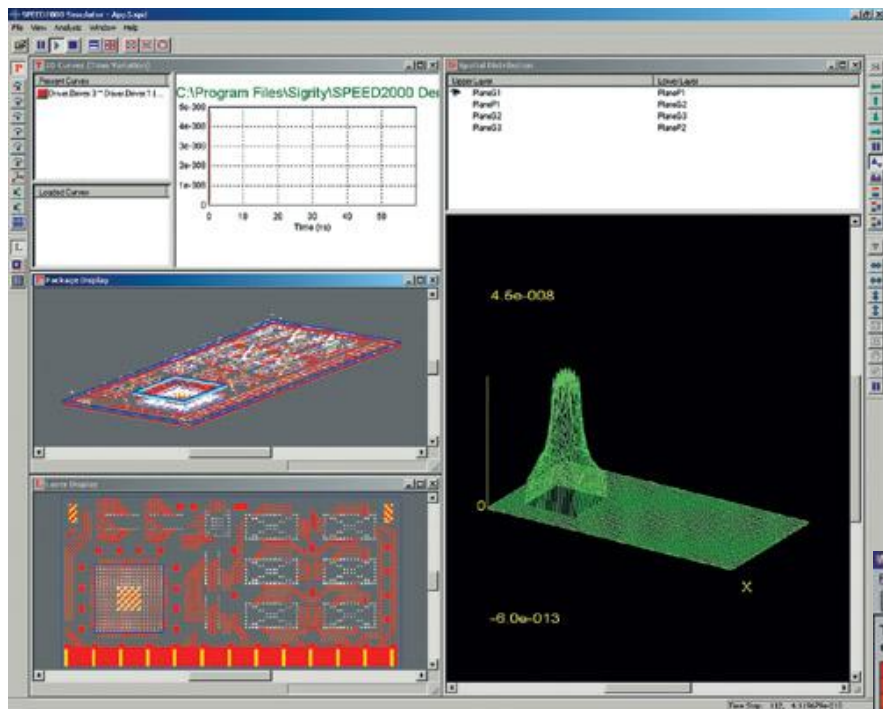


Пример работы над проектом в ArchiCAD

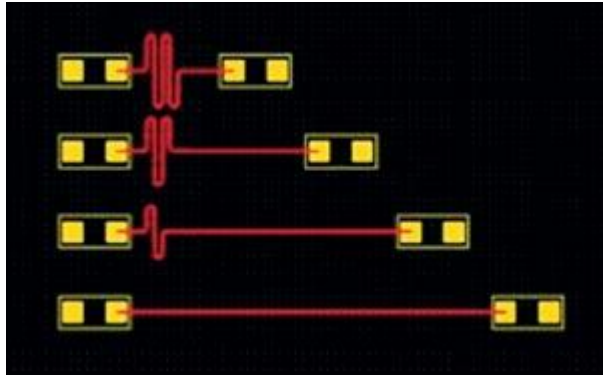
A screenshot of a 3D CAD software interface, likely CATIA V5, displaying a red scooter model. The model is shown in a perspective view, highlighting its rounded, aerodynamic design. The scooter has a black seat, white accents on the body panels, and two round mirrors on the handlebars. The software's user interface includes a top menu bar, a toolbar with various icons, and a left-hand panel showing a hierarchical tree of the model's components. The bottom of the screen features a Windows taskbar with several open applications.

<http://rucadcam.ru/photo>

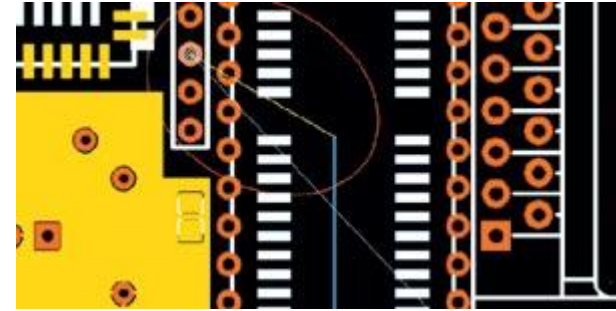
Применение CAD EDA



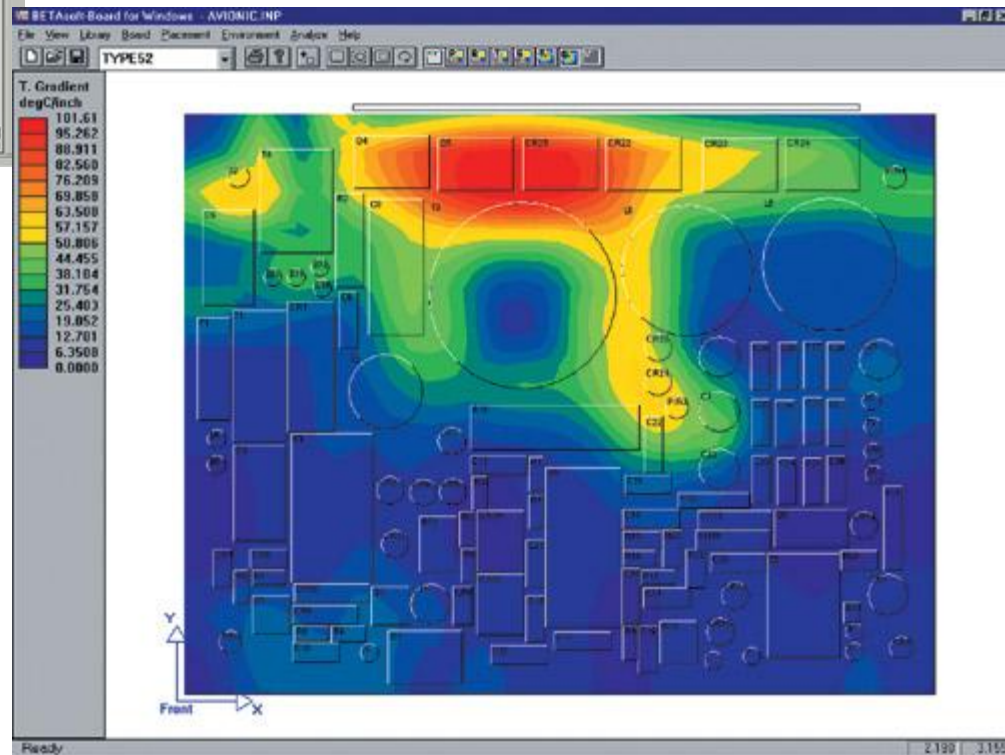
Анализ помех в слое заземления
в пакете Speed 2000



Автоматическое изменение формы проводника
с контролируемой длиной при перемещении
конденсатора в пакете PADS PowerPCB



Анализ наводок в соседних проводниках при
прокладке трассы в пакете Expedition PCB



Тепловой анализ платы в пакете BETASoft-Board

ЦЕЛИ СОЗДАНИЯ И ЗАДАЧИ САПР

Основная цель – повышение эффективности труда, вследствие:

- сокращения трудоёмкости проектирования и планирования;
- сокращения сроков проектирования;
- снижения себестоимости снижения себестоимости проектирования и изготовления, уменьшение затрат на эксплуатацию;
- повышения качества и технико-экономического уровня результатов проектирования;
- сокращения затрат на натурное моделирование и испытания.

Решаемые задачи – автоматизация как можно большей части работ на всех стадиях проектирования и подготовки производства

Достижение целей обеспечивается путем:

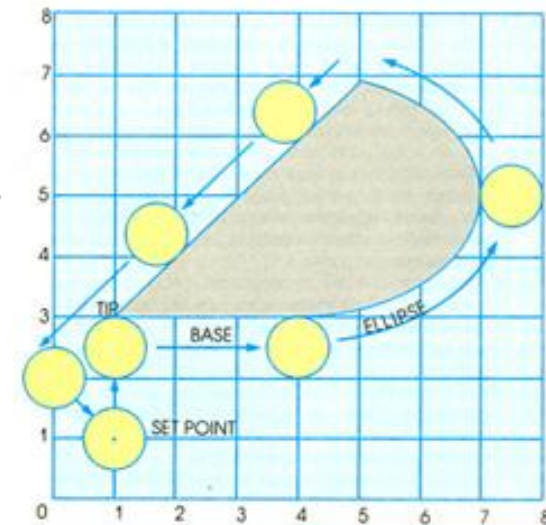
- автоматизации оформления документации;
- информационной поддержки и автоматизации процесса принятия решений;
- использования технологий параллельного проектирования;
- унификации проектных решений и процессов проектирования;
- повторного использования проектных решений, данных и наработок;
- стратегического проектирования;
- замены натуральных испытаний и макетирования математическим моделированием;
- повышения качества управления проектированием;
- применения методов вариантного проектирования и оптимизации.

НЕКОТОРЫЕ ФАКТЫ ИЗ ИСТОРИИ САПР

Термин САПР "Система автоматического проектирования" (в английской нотации CAD) появился в конце пятидесятих годов, когда Д.Т.Росс начал работать над одноименным проектом в Массачусетском технологическом институте (MIT). Первые CAD - системы появились десять лет спустя.

Справка: 20-летний математик и программист- самоучка Росс курировал разработку языка АЕД (AED, от ALGOL Extended for Design Алгол, расширенный для проектирования), предназначенного для написания программ компьютерного проектирования деталей, сборка которых осуществлялась бы в дальнейшем программно-управляемыми станками.

Работая на АРТ, программист начинает с наброска желаемой формы металлической детали на пронумерованной сетке, нарисованной на бумаге: при этом линии, точки и кривые помечаются обычными английскими словами типа BASE (база) и TIP (кончик).



Douglas Taylor (Doug) Ross (1929 - 31 Jan 2007) was an American [computer scientist](#) (1929 - 31 Jan 2007) was an American computer scientist pioneer, and Chairman of [SofTech, Inc.](#) [1] He is most famous for originating the term CAD for [computer-aided design](#) He is most famous for originating the term CAD for computer-aided design, and is consider to be the father of [Automatically Programmed Tools](#)

Старейший из специализированных языков, используемый до сих пор, **АПТ (АРТ, от Automatically Programmed Tool** - автоматически программируемые инструменты). АРТ был разработан по контракту с ВВС США электромеханической лабораторией Массачусетского технологического института (MIT).

<http://chernykh.net/content/view/213/226/>

ОСНОВОПОЛОЖНИКИ САПР

Patrick J. Hanratty



Patrick J. Hanratty's pioneering contributions to CAD/CAM technology date back to 1957 when he developed software for Pronto, the first commercial NC programming language, while working at General Electric. Soon after, he devised a set of standardized machine-readable characters for use on bank checks. In 1961 he moved on to General Motors Research Laboratories where he helped develop DAC, (Design Automated by Computer), the first CAD/CAM system to use interactive graphics. Hanratty's efforts in the project concentrated on the NC and graphics portion of the overall system.

Ivan E. Sutherland

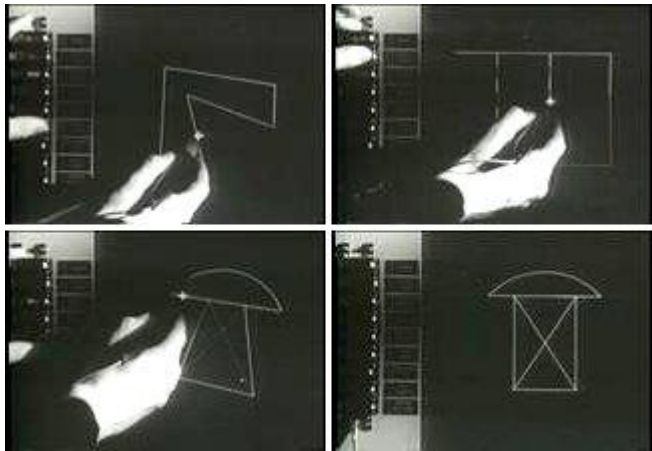


Ivan Sutherland broke new ground in 3D computer modeling and visual simulation, the basis for computer graphics and CAD/CAM. His Ph.D. thesis at the Massachusetts Institute of Technology in 1963, for example, was "Sketchpad: A Man-Machine Graphical Communications System." It let designers use a lightpen to create engineering drawings directly on a CRT. The drawings could also be manipulated, duplicated, and stored. Sketchpad opened the door to graphic computing and included such features as computer memory to store drawn objects, rubber-banding for simpler line construction, the ability to zoom in or out on a display, and techniques for making perfect lines, corners, and joints.

Патрик Ханратти - пионер отрасли CAD/CAM, основатель компании [Manufacturing and Consulting Services](http://www.msc-software.com) (MSC). Несмотря на отсутствие даже образования в колледже, Ханратти в 1954 году успешно начал карьеру программиста в авиационной компании Convair. Затем он перешел в компанию General Electric, где создал свой первый CAM-пакет PRONTO (Programme for Numerical Tooling Operations) а позже - Machine Tool Director (MTD). В 1962 году Ханратти покинул GE и перешел на работу в General Motors, а в 1967 - Astronautics Corporation. После того, как Astronautics Corporation была поглощена McDonnell Douglas в 1970 Ханратти основал собственную компанию Integrated Computer Systems, позже переименованную в MSC. Среди продуктов MSC такие системы как INTERART, ADAM, ANVILL

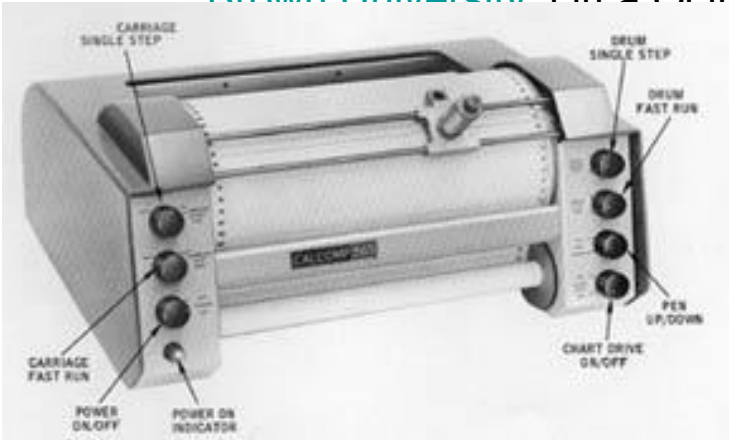
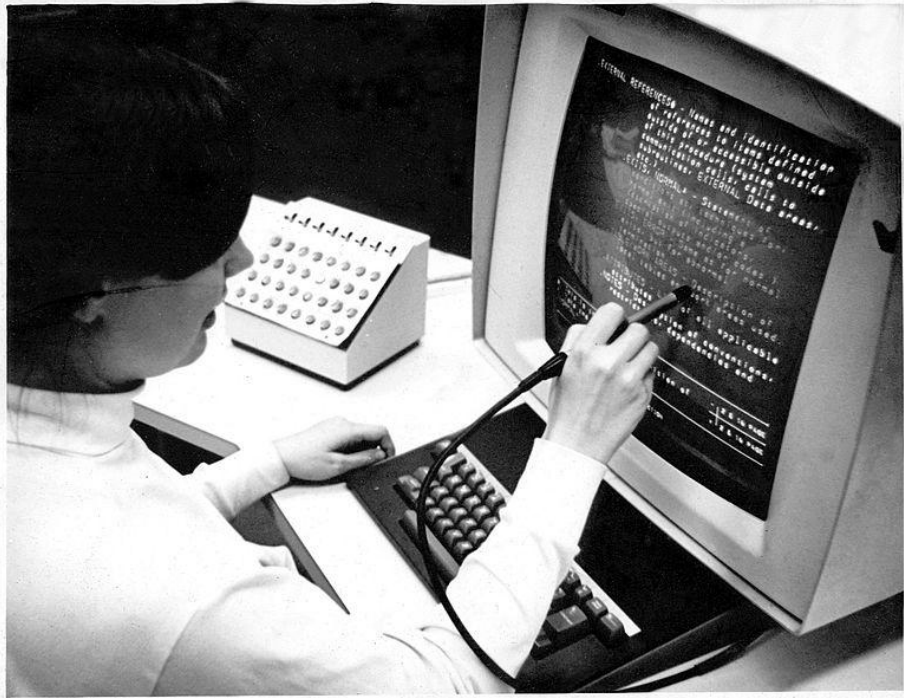
Айвен Сазерленд - пионер компьютерной графики, создал первый интерактивный графический пакет «Sketchpad», прообраз будущих САПР. В 1961, будучи еще студентом МТИ, создал компьютерную программу, названную "Альбомом" (Sketchpad). Она позволяла рисовать простые фигуры на дисплее, сохранять их, а также обращаться к уже готовым прототипам. Ввод информации осуществлялся при помощи светового пера, принцип работы которого достаточно прост. На кончике пера располагалась небольшая фотоэлектрическая ячейка, испускающая поток импульсов. Как только перо оказывалось в видимой области экрана монитора компьютера, специальный уловитель импульсов реагировал на положение пера. Эта реакция отображалась соответствующим образом: на экране возникала линия.

Ivan Sutherland demonstrating Sketchpad, 1963



ПЕРВЫЕ ШАГИ В САПР

Photo of the [Hypertext Editing System](#) Photo of the Hypertext Editing System (HES) console in use at [Brown University](#) circa October 1969



Calcomp 565 drum plotter, 1958



Beginning in 1959, General Motors and IBM embarked on a project to create a unified computer assisted design environment. Originally called "Digital Design", its name was changed to DAC, for Design Augmented by Computer

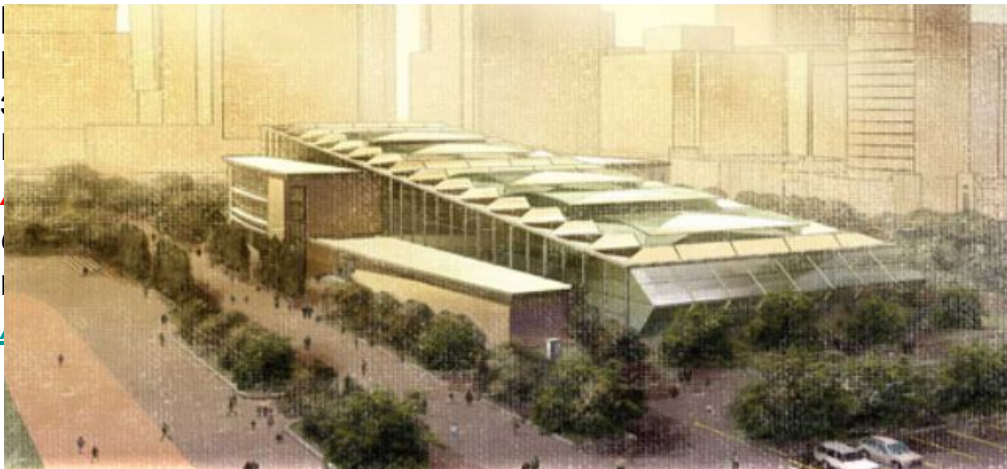
КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕРМИНОВ

По отраслевому назначению различают

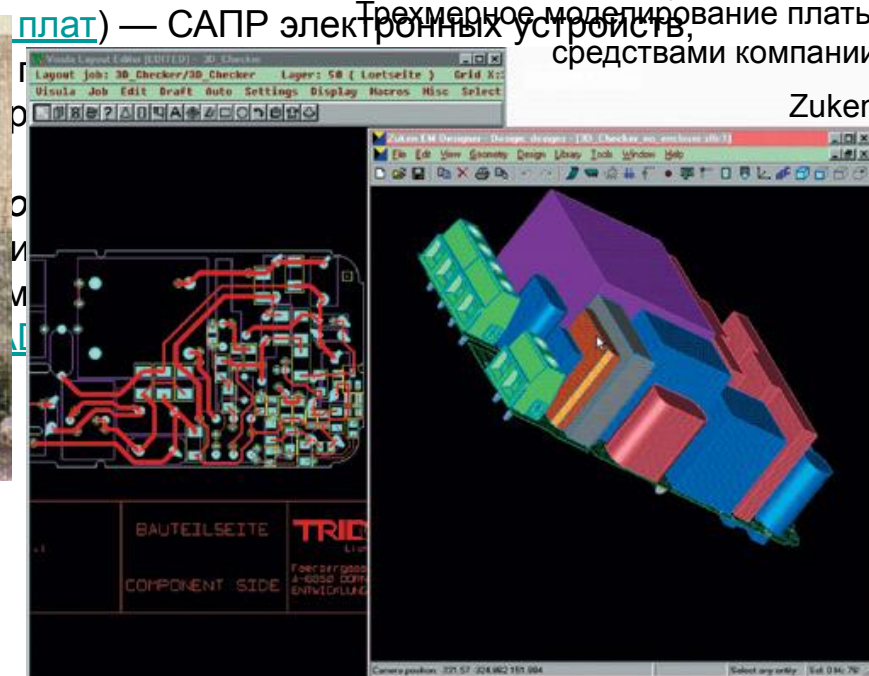
MCAD ([англ. mechanical computer-aided design](#)) — автоматизированное проектирование механических устройств. Это машиностроительные САПР, применяются в автомобилестроение, судостроении, авиакосмической промышленности, производстве товаров народного потребления, включают в себя разработку деталей и сборок (механизмов) с использованием параметрического проектирования на основе конструктивных элементов, технологий поверхностного и объемного моделирования ([SolidWorks](#)) — автоматизированное проектирование механических устройств. Это машиностроительные САПР, применяются в автомобилестроение, судостроении, авиакосмической промышленности, производстве товаров народного потребления, включают в себя разработку деталей и сборок (механизмов) с использованием параметрического проектирования на основе конструктивных элементов, технологий поверхностного и объемного моделирования (SolidWorks, [Autodesk Inventor](#), [КОМПАС](#), [CATIA](#));

EDA ([англ. electronic design automation](#)) или **ECAD** ([англ. electronic computer-aided design](#)) — САПР [электронных устройств](#)) — САПР электронных устройств, [радиоэлектронных средств](#)) — САПР электронных устройств, радиоэлектронных средств, [интегральных схем](#)) — САПР электронных устройств, [трехмерное моделирование платы](#)) — САПР электронных устройств, средствами компании

Zuken



Сделано в Piranesi



КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕРМИНОВ

По **целевому назначению** различают САПР или подсистемы САПР, которые обеспечивают различные аспекты проектирования:

CAD ([англ. computer-aided design/drafting](#)) — средства автоматизированного проектирования, в контексте указанной классификации термин обозначает средства САПР, предназначенные для автоматизации двумерного и/или трехмерного геометрического проектирования, создания конструкторской и/или технологической документации, и САПР общего назначения.

CADD ([англ. computer-aided design and drafting](#)) — проектирование и создание чертежей.

CAGD ([англ. computer-aided geometric design](#)) — геометрическое моделирование.

CAE ([англ. computer-aided engineering](#)) — средства автоматизации инженерных расчётов, анализа и симуляции физических процессов, осуществляют динамическое моделирование, проверку и оптимизацию изделий.

CAA ([англ. computer-aided analysis](#)) — подкласс средств CAE, используемых для компьютерного анализа.

CAM ([англ. computer-aided manufacturing](#)) — средства технологической подготовки производства изделий, обеспечивают автоматизацию программирования и управления оборудования с [ЧПУ](#) или ГАПС (Гибких автоматизированных производственных систем)). Русским аналогом термина является

АСТПП — автоматизированная система технологической подготовки производства.

CAPP ([англ. computer-aided process planning](#)) — средства автоматизации планирования технологических процессов применяемые на стыке систем CAD и CAM.

PDM ([англ. Product Data Management](#) — система управления данными об изделии) — организационно-техническая система, обеспечивающая управление всей информацией об изделии. При этом в качестве изделий могут рассматриваться различные сложные технические объекты (корабли и автомобили, самолёты и ракеты, компьютерные сети и др.). PDM-системы являются неотъемлемой частью [PLM](#)-систем.

PLM ([англ. Product Lifecycle Management](#)) — технология управления [жизненным циклом изделий](#)) — технология управления жизненным циклом изделий. Организационно-техническая система, обеспечивающая управление всей информацией об [изделии](#)) — технология управления жизненным циклом изделий. Организационно-техническая система, обеспечивающая управление всей информацией об изделии и связанных с ним [процессах](#) на протяжении всего его [жизненного цикла](#), начиная с проектирования и производства до снятия с эксплуатации.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА ПО САПР

1. Е. М. Кудрявцев. Компас-3D. Проектирование и расчет механических систем, ДМК Пресс, 2008.
2. Боголюбов С.К. Черчение М.: Машиностроение, 1989.
3. Концевич В. Г. Твёрдотельное моделирование машиностроительных изделий в Autodesk Inventor М.: ДМК Пресс, 2007.
4. Басов К.А. CATIA V5 Геометрическое моделирование М.: ДМК Пресс, 2008.
5. Уваров А. AutoCAD 2007 для конструкторов М.: ДМК Пресс, 2007.
6. Климачева Т. Н. 2D черчение в AutoCad 2007-2010 М.: ДМК Пресс, 2009.
7. А. Герасимов. Новые возможности КОМПАС-3D V13. Самоучитель, С-Пб.:БХВ-Петербург, 2012.
8. В.Большаков, А.Бочков, Алексей Сергеев. 3D-моделирование в AutoCAD, КОМПАС-3D, SolidWorks, Inventor, T-Flex (+ DVD), С-Пб.:Издательский центр "Питер", 2010 г.
9. Ушаков Д.М. Введение в математические основы САПР М.: ДМК Пресс, 2011.
10. Кунву Ли. Основы САПР (CAD,CAM,CAE) С-Пб.:Издательский центр "Питер" , 2004.
11. Алямовский А. А. SolidWorks 2007-2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике С-Пб.: БХВ-Петербург, 2008.
12. Ганенко А. П. Лапсарь М. И. Оформление текстовых и графических материалов. (Требования ЕСКД) М.:Издательский центр "Академия", 2005.

ПОЛЕЗНЫЕ РЕСУРСЫ INTERNET

www.sapr.ru - сайт журнала «САПР и графика»

<http://www.autocad.ru> – сайт «AutoCAD в России»

www.cadmater.ru – сайт журнала «CADmaster»

www.csa.ru/CSA/CADS - сайт лаборатории САПР

www.ruseng.ru - проект «Русские инженеры»

www.ascon.ru – сайт компании АО АСКОН

www.swr.ru – сайт «SolidWorks в России»

www.csoft.ru – сайт компании «Consistent Software»