

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Лекция 1. Первое знакомство с САПР

Тирасполь, 2013

# Основные понятия САПР

• **Проектирование** (от лат. Projectus, (т.е. брошенный вперед) – 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.

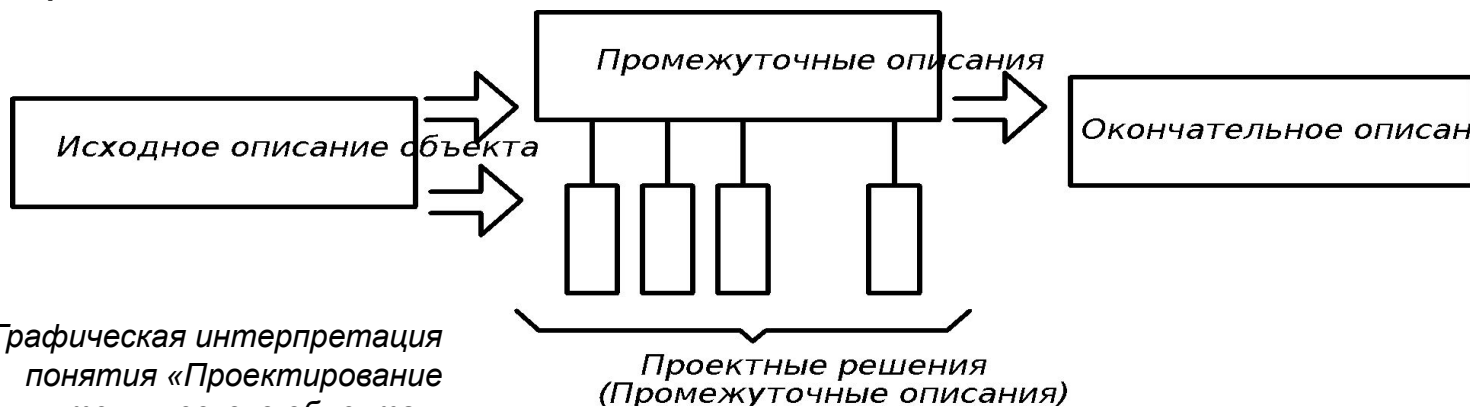


Рис.1 Графическая интерпретация понятия «Проектирование технического объекта».

# 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.

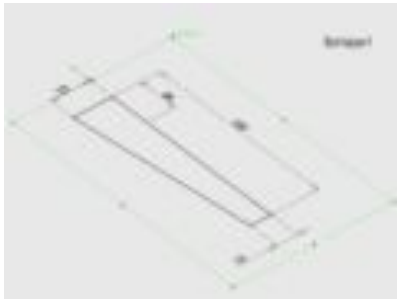
**Методическое обеспечение** — документы, в которых отражены состав, правила отбора и эксплуатации средств автоматизированного проектирования. Иногда понятие методического обеспечения расширяют, включая в него лингвистическое и математическое обеспечения.

**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.

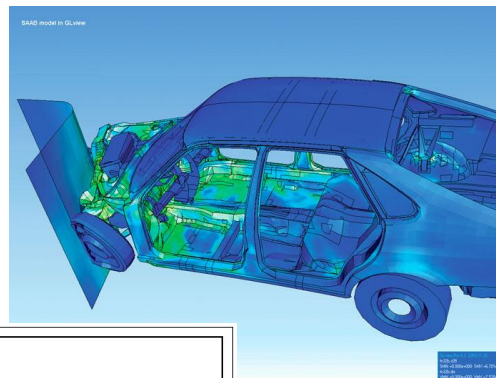


# ЧТО ТАКОЕ САПР

**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.



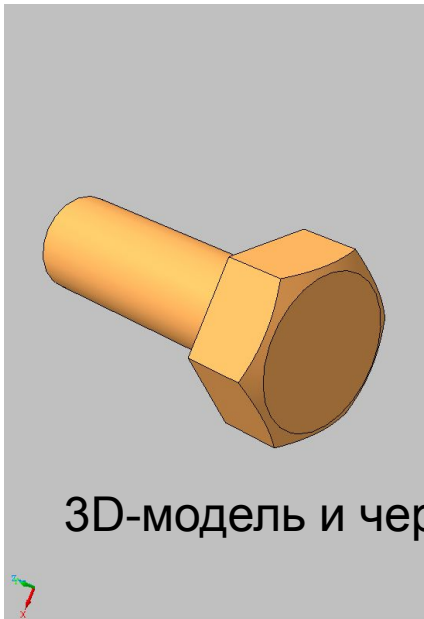
Процесс построения 3D-детали



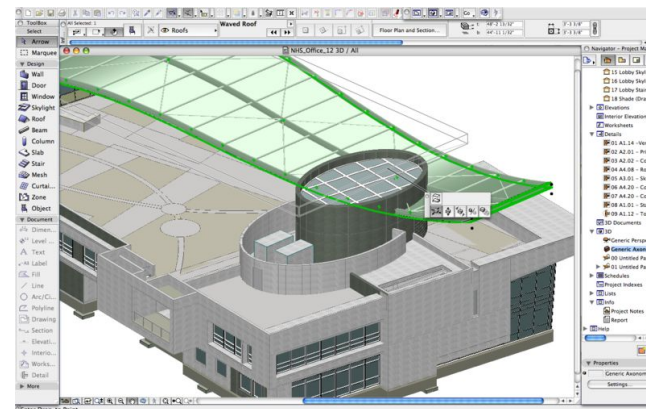
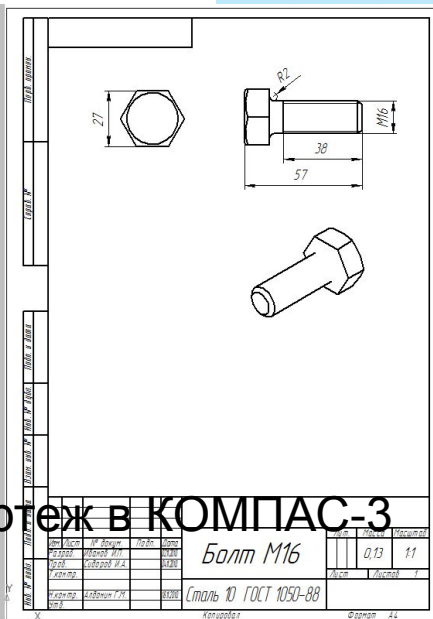
Анимированная модель поршневого двигателя в Autodesk Inventor



Визуализация результатов моделирования столкновения, выполненная в NTNU



3D-модель и чертеж в КОМПАС-3



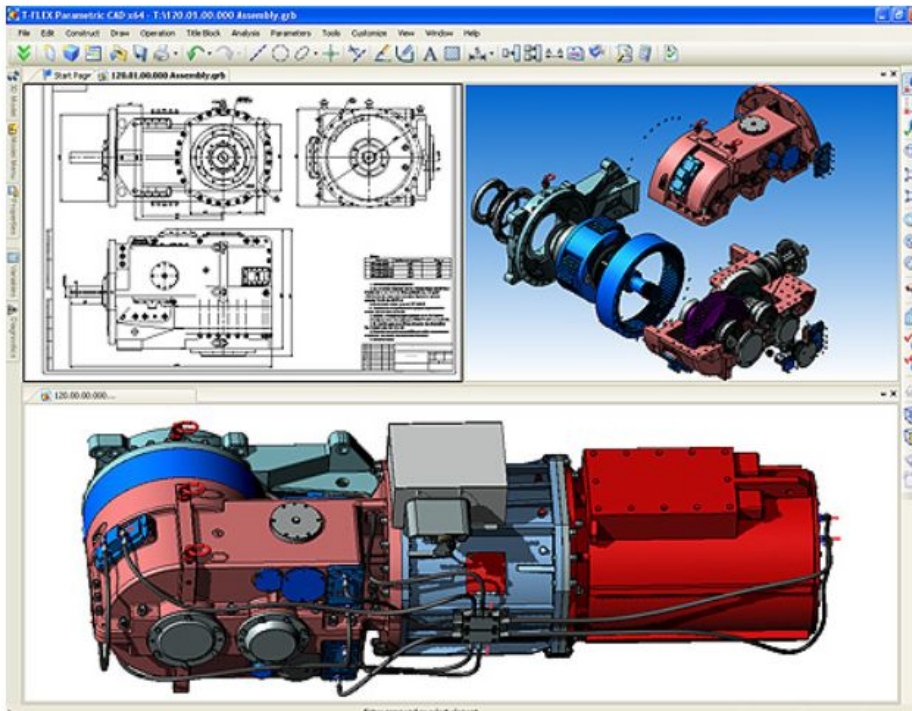
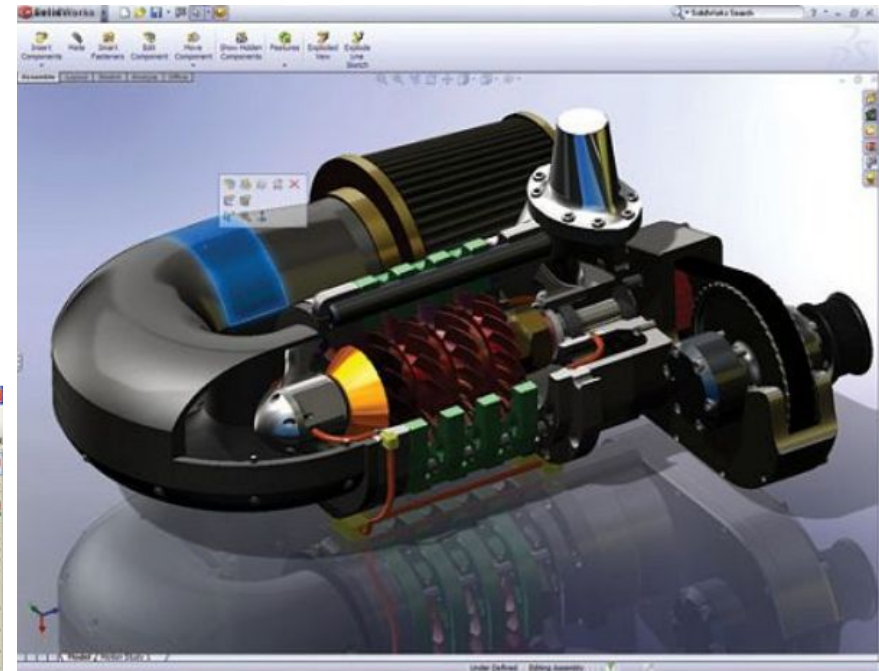
Пример работы над проектом в ArchiCAD



Сделано в Catia



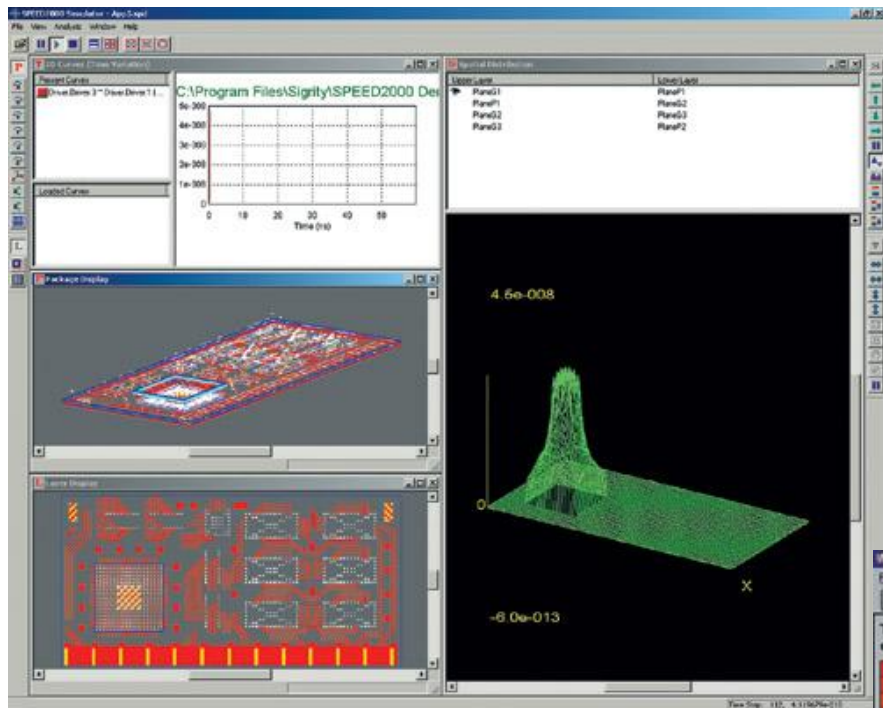
Сделано в SolidWorks



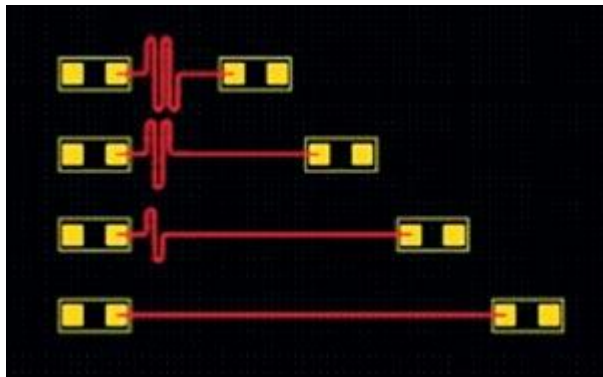
Сделано в T-Flex

<http://rucadcam.ru/photo>

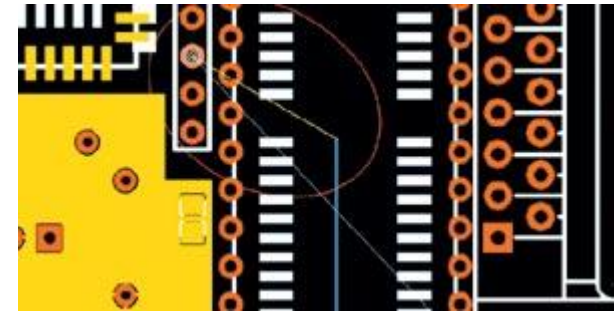
# Применение САД EDA



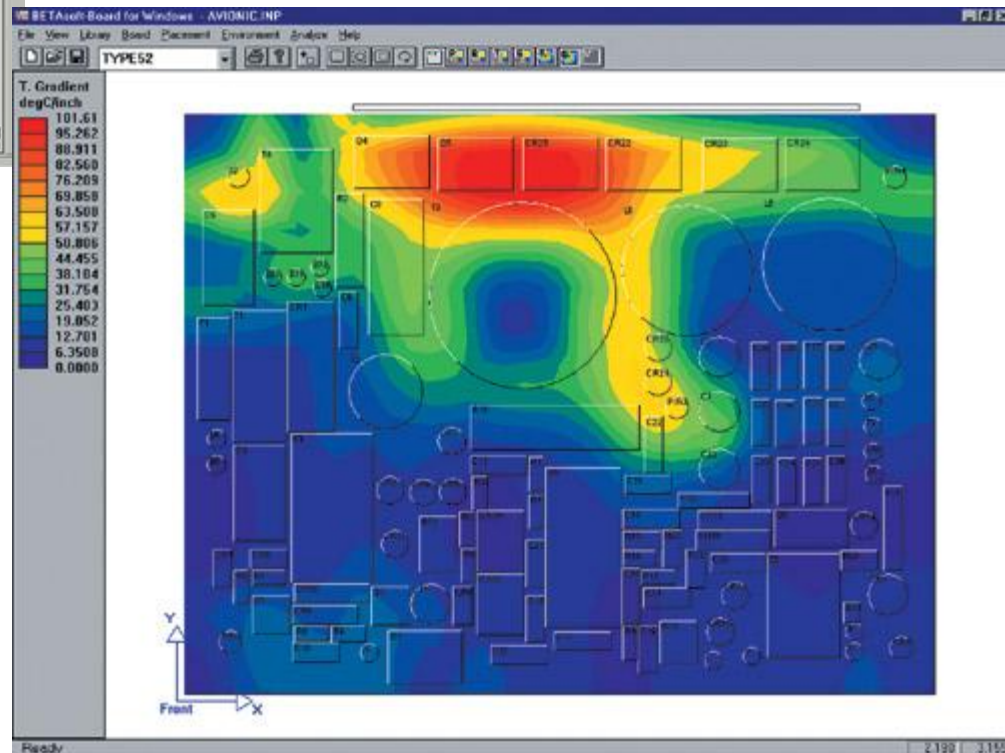
Анализ помех в слое заземления  
в пакете Speed 2000



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.

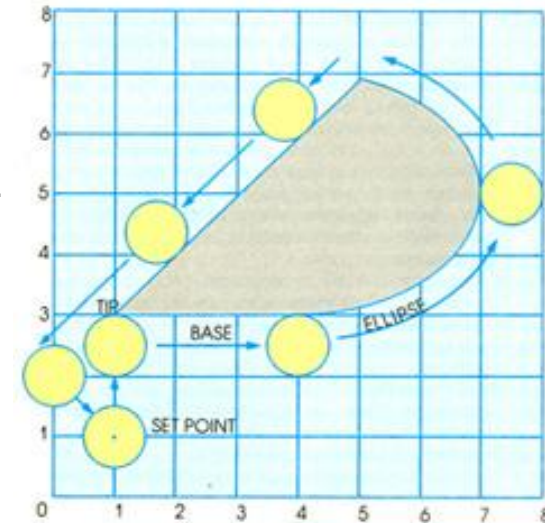


# НЕКОТОРЫЕ ФАКТЫ ИЗ ИСТОРИИ САПР

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**

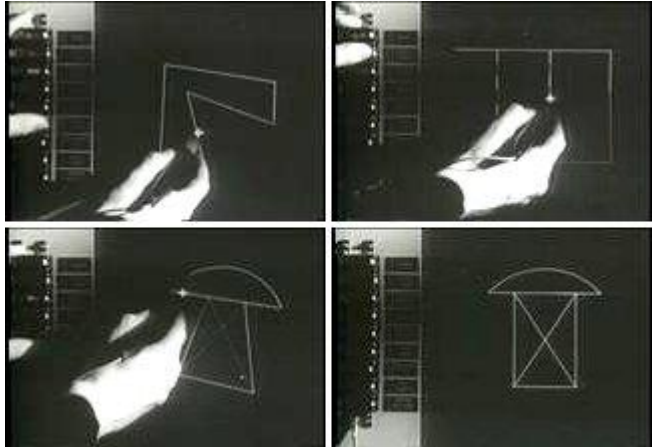


Ivan Sutherland broke new ground in 3D computer modeling and visual simulation, the basis for computer graphics and CAD/CAM. His Ph.D. thesis at the Massachusetts Institute of Technology in 1963, for example, was "Sketchpad: A Man-Machine Graphical Communications System." It let designers use a lightpen 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](#) (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

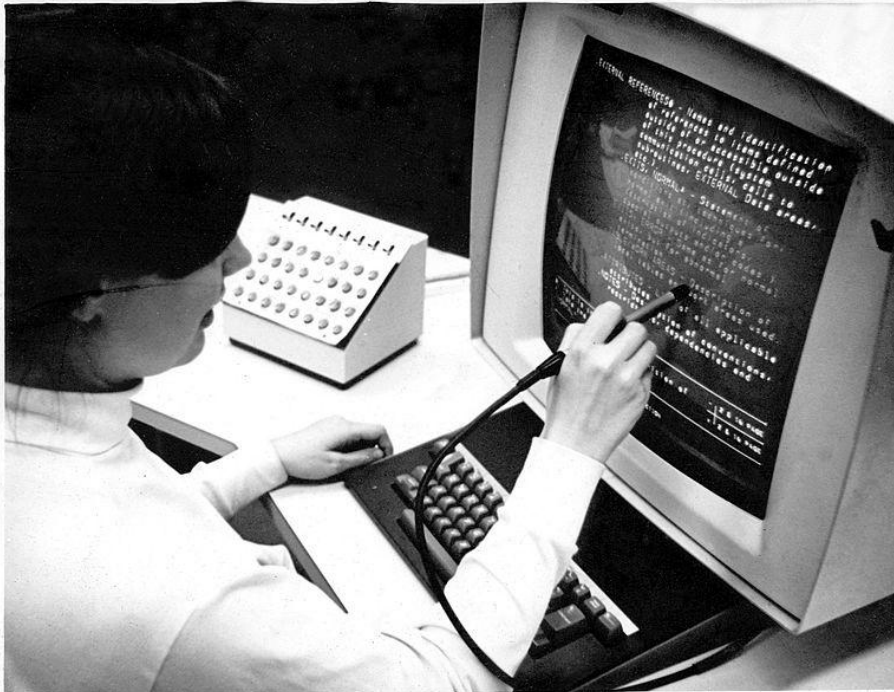
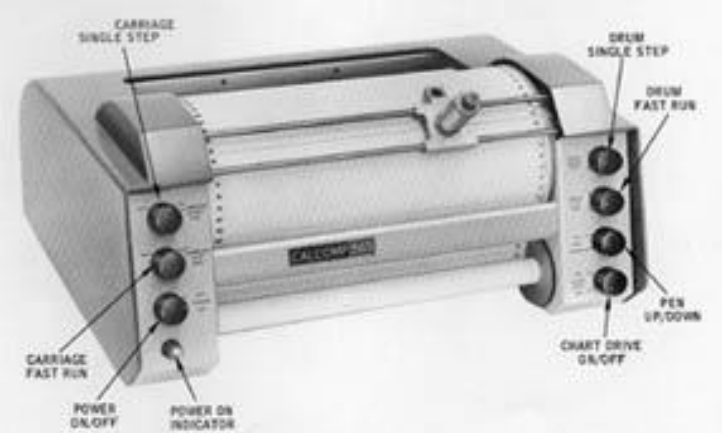


Photo of the [Hypertext Editing System](#) Photo of the Hypertext Editing System (HES) console in use at [Brown University](#) circa October 1969



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



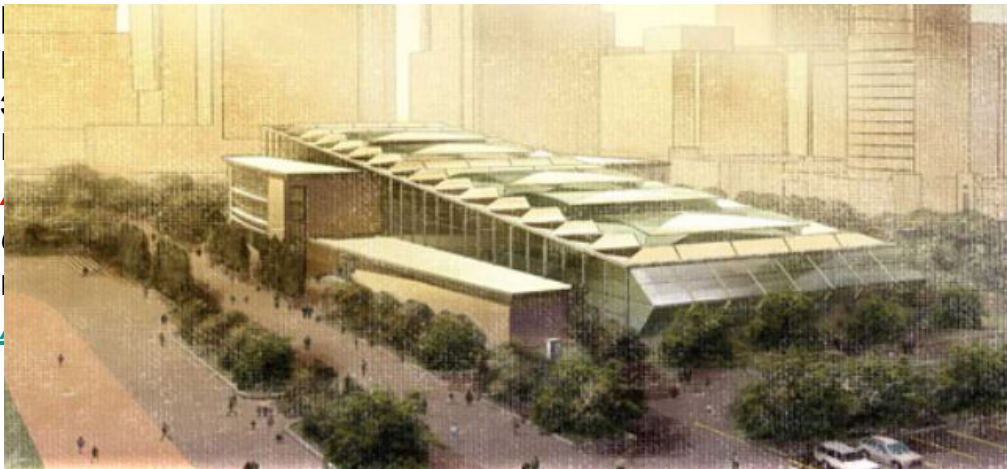
# КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕРМИНОВ

По отраслевому назначению различают

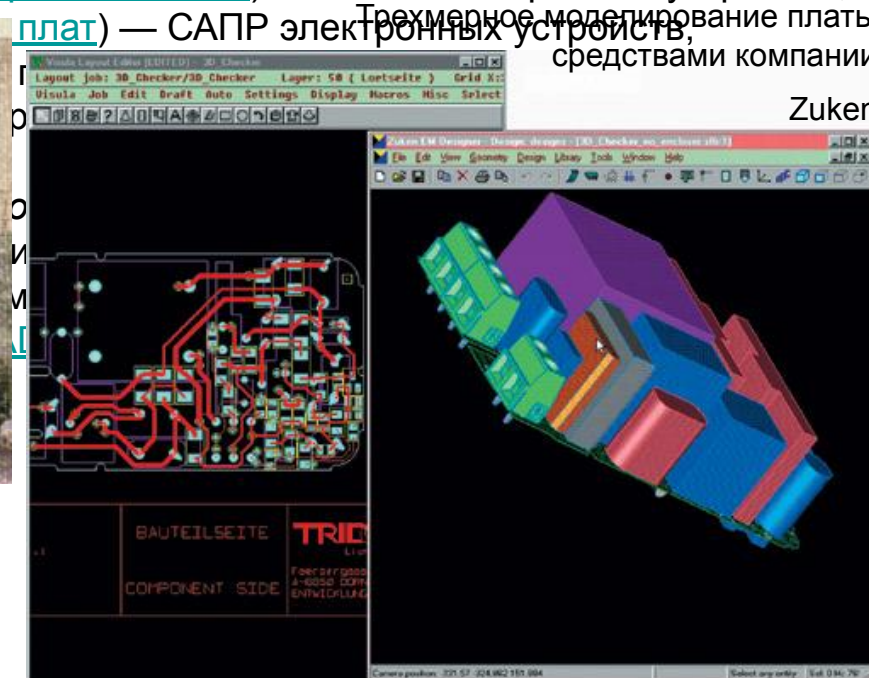
**MCAD** ([англ. mechanical computer-aided design](#)) — автоматизированное проектирование механических устройств. Это машиностроительные САПР, применяются в автомобилестроение, судостроении, авиакосмической промышленности, производстве товаров народного потребления, включают в себя разработку деталей 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 оборудованием 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.

## 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.
0. 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](http://www.sapr.ru) - сайт журнала «САПР и графика»

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

[www.cadmater.ru](http://www.cadmater.ru) – сайт журнала «CADmaster»

[www.csa.ru/CSA/CADS](http://www.csa.ru/CSA/CADS) - сайт лаборатории САПР

[www.ruseng.ru](http://www.ruseng.ru) - проект «Русские инженеры»

[www.ascon.ru](http://www.ascon.ru) – сайт компании АО АСКОН

[www.swr.ru](http://www.swr.ru) – сайт «SolidWorks в России»

[www.csoft.ru](http://www.csoft.ru) – сайт компании «Consistent Software»