

**Лекция 2**  
**Введение в САПР**

*Недостатки всегда там, где оканчивается  
творчество и начинается работа.*

Белинский В.Г.

# Литература

---

- Курс высшей математики: Смирнов В.И. , 1-й т., М., Наука, 1974. – 480с.
- Курс высшей математики, Смирнов В.И., 2-й т., М., Наука, 1974. – 656с.
- Введение в математические основы САПР: Д. М. Ушаков — Санкт-Петербург, ДМК Пресс, 2012 г.- 208 с.
- Введение в современные САПР: Владимир Малюх — Москва, ДМК Пресс, 2014 г.- 192 с.
- Любые книги по Solid Works

# План

---

1. Классы САПР
2. Автоматизация современного машиностроительного предприятия
3. Исторический обзор.
4. Функциональность САД-систем
5. Современные МСАД-системы.

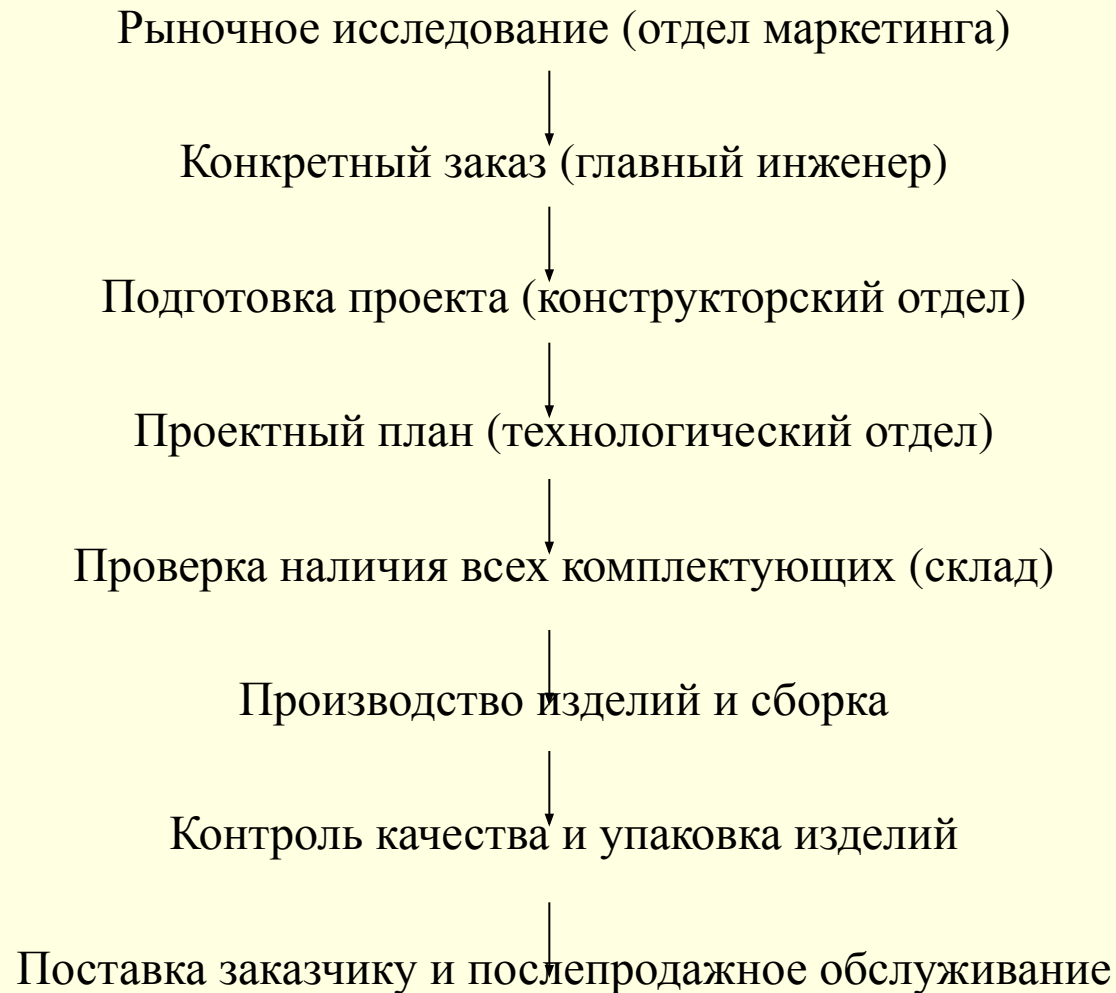
# Классы САПР

---

- Двумерное черчение и трехмерное геометрическое проектирование - CAD - *computer-aided design*
- Инженерный анализ - CAE - *computer-aided engineering*
- Технологическая подготовка производства – CAPP - *computer-aided process planning*
- Автоматизация производства - CAM - *computer-aided manufacturing*
- Управление данными об изделии – PDM - *product data management*
- Управление жизненным циклом изделия – PLM - *product lifecycle management*

# Автоматизация современного машиностроительного предприятия

---



# Исторический обзор

*1950-е гг. Создание станков с числовым программным управлением*

**1952г.** – Масачусетский технологический институт – фрезерный станок с ЧПУ

**1957** – система PRONTO – ПО для управления станками с ЧПУ

*1960-е гг. Системы компьютерной графики и системы автоматизированного черчения*

**1963** - Айван Сазерлэнд (Ivan Sutherland) создал программу SKETCHPAD, считается первой системой автоматизации черчения

**1964** – задание параметрических поверхностей с помощью В-сплайнов – де Бур, Безье, Кастельжо – основа современного поверхностного моделирования



# Исторический обзор

**1965** – создание CAD в Group Computer Laboratory Кембриджского университета (Чарльзом Ланг, Ян Брэд ) - разработка экспериментальной системы геометрического моделирования BUILD (технология граничного представления BRep)

**1965** - первые коммерческие CAD/CAM-системы

**1967, 1969** - первые софтверные компании-производители САПР: американских SDRC и Computervision, на долгие годы становятся стандартом САПР

*1970-е. Первые 3D-системы*

**1974** - Кембридж CAD Group – коммерческое геометрическое ядро на языке Fortran ROMULUS, первая коммерческая лицензия продается компании HP

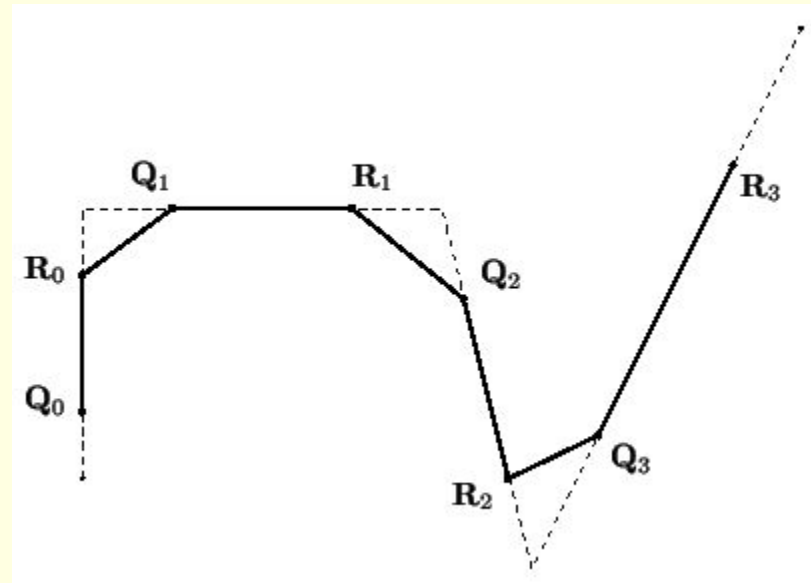
**1974** – теория поверхностей подразделения (художник-дизайнер Чайкин) - способ итеративного построения кривой по контрольным точкам

# Исторический обзор

*Поверхности подразделения* (subdivision surfaces) - мозаичные (полигональные) модели, которые итеративно строятся по базовой сетке (base mesh), с каждой итерацией приближаясь к форме моделируемой поверхности.

Две составные части поверхности подразделения:

- базовая сетка
- алгоритм ее сглаживания.



Генерируемая алгоритмом Чайкина кривая есть квадратичный однородный В-сплайн (доказательство было проведено вскоре после представления алгоритма)

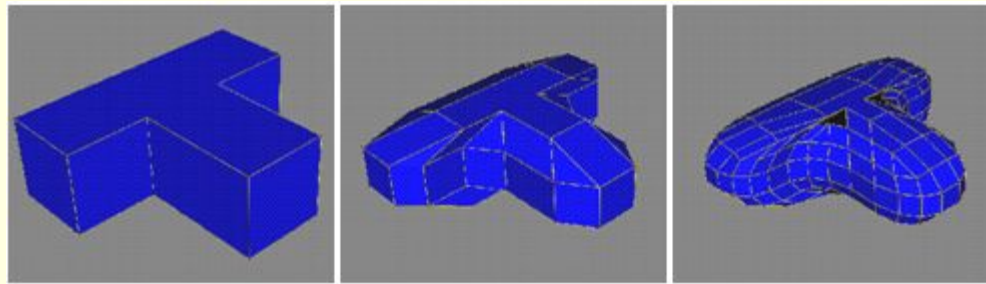


# Исторический обзор

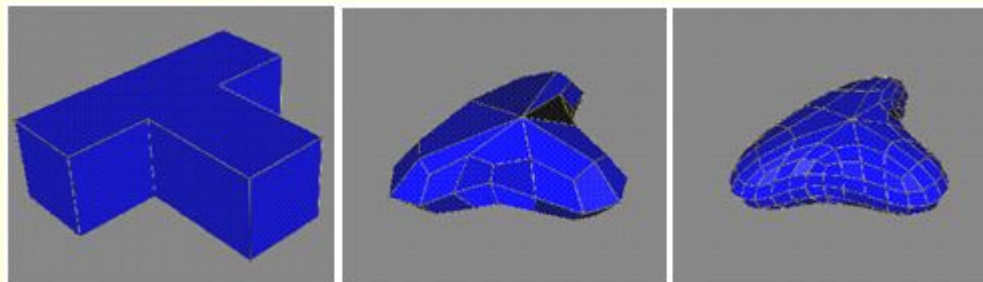
---

## Семейство алгоритмов

### Метод Ду-Сабина



### Метод Кэтмала-Кларка



# Исторический обзор

---

**1977** – система трехмерного проектирования CATIA (Avions Marcel Dassault)

**1979** – первый стандарт для обмена инженерными геометрическими данными – формат IGES (Initial Graphic Exchange Standard)

*1980-е. Первые системы твердотельного моделирования для UNIX, первые программы автоматизации черчения для PC*

**1980** – первая в мире коммерческая система твердотельного моделирования Unigraphics (авиастроительный концерн McDonnell Douglas )

**1982** - AutoCAD (компания Autodesk )

**1985** – первая в мире система параметрического проектирования на основе конструктивных элементов Pro/ENGINEER (Гейзберг С.П., Parametric Technology Corp )

**1987** – первые станки для быстрого прототипирования изделий (3D Systems )

# Исторический обзор

---

**1989** – начало эргономического анализа в САПР – программа, моделирующая движения человека за станком (Deneb Robotics )

**1989** – первая российская софтверная компания по разработке САПР АСКОН (Санкт-Петербург) – КОСМОС.

**1991** – компания Autodesk лицензирует геометрическое ядро ACIS у Spatial Technologies для реализации элементарных функций твердотельного моделирования в AutoCAD (а затем - также в пакетах Mechanical и Inventor).

**1993** – компания SolidWorks, поглощенная Dassault Systemes; САПР SolidWorks (основанная на геометрическом ядре Parasolid) – самая популярная система трехмерного проектирования

**1996** - трехмерная САПР Solid Edge для платформы Windows NT (компания Intergraph) на геометрическом ядре ACIS.

**1998** – система управления жизненным циклом изделия в среде Интернет Windchill (компания PTC)

# Исторический обзор

---

**1999** - трехмерная САПР Inventor для платформы Windows на основе лицензированного геометрического ядра ACIS - серьезная конкуренция SolidWorks и Solid Edge

*2000-е. Системы для управления жизненным циклом изделия (PLM)*

**2003** - PTC выпускает новое поколение своей САПР Wildfire – это значительно переработанный пользовательский интерфейс, полностью интегрирована в среду для управления жизненным циклом изделия.

**2007.** Майкл Пэйн (основатель PTC и SolidWorks) создает новую Компанию SpaceClaim. Одноименный продукт позиционируется как полезное дополнение существующим, основанное на возможности прямого редактирования геометрии модели без истории построения (информации о конструктивных элементах)

# Исторический обзор

---

**2008** - после десятилетней серии крупных поглощений (SolidWorks, Deneb, Smart Solutions, Spatial, ABAQUS, MatrixOne) Dassault Systemes объявляет о запуске принципиально новой платформы PLM VG концепция PLM 2.0 - все услуги по разработке изделий и управления Их жизненным циклом будут доступны в сети для совместной работы с удаленным доступом в режиме реального времени.

**2008** - Siemens PLM Software (бывшая UGS) - разработка нового поколения средств трехмерного моделирования на основе синхронной технологии - конструктор может одновременно работать как с конструктивными элементами, так и напрямую с ее граничными элементами (методом прямого редактирования).

# Функциональность САД-систем

*Базовая функциональность:*

- проектирование деталей (part design);
- проектирование сборок деталей и механизмов (assembly design);
- специальное проектирование (пресс-формы для изделий из листового металла, формы для литья для изделий из пластмасс, прокладка трубопроводов, расчет электрических схем и пр.);
- генерация чертежей (drafting);
- создание трехмерной модели по чертежу;
- расчеты инженерных параметров и их оптимизация.

## **PART DESIGN**

Основной подход к детальному проектированию в современных САД-системах - *параметрическое моделирование на основе конструктивных элементов (parametric feature-based design)*.

*Параметрическое моделирование - моделирование с использованием параметров элементов модели и соотношений между этими параметрами.*

# Функциональность САД-систем

---

*Параметризация* позволяет

- за короткое время «проиграть» различные конструктивные схемы и избежать принципиальных ошибок;
- создать математическую модель объектов с параметрами, при изменении которых происходят изменения конфигурации детали, взаимные перемещения деталей в сборке и т. п.

Идея *параметрического моделирования* старая, но не могла быть осуществлена по причине недостаточной компьютерной производительности.

1989 - начало истории *параметрического моделирования* - первые системы с возможностью параметризации.

Первопроходцы - Pro/ENGINEER от Parametric Technology Corporation и T-FLEX CAD от Топ Системы

# Функциональность САД-систем

Конструктивный элемент (feature): отверстие, полость, скругление



Рисование эскиза плоского профиля



Подпрограмма двумерного эскизного черчения (sketcher)

Важно!! Правильно задать *геометрические ограничения* (constraints)

Важная функция: помощь пользователю в наложении необходимых ограничений на геометрию, а также выделение разными цветами недо- и переопределенных частей эскиза

Удобство: наличие библиотеки типовых деталей



Сокращает время проектирования



# Функциональность САД-систем

---

Альтернатива параметрическому моделированию – *метод прямого (динамического) моделирования*

Отличие: объем создается и вычитается с помощью операции вытягивания (push-and-pull) замкнутого плоского профиля.

Ключевой момент: отсутствие информации об истории построения формы → прямое управление граничными элементами (гранями, ребрами, вершинами).

Преимущество: возможность параметрической модификации деталей без истории построения.

Недостаток: снижается уровень заложенных в модели знаний.

Новая концепция – симбиоз – *синхронная технология*.

# Функциональность САД-систем

## ASSEMBLY DESIGN

Проектирование сборок механизмов:

- нисходящий подход;
- восходящий подход.

Проектирование механизмов с нуля – *нисходящее проектирование*.

Сборка механизма из ранее спроектированных деталей – *восходящее проектирование*.

Важная функция модуля сборок: возможность расчета степеней свободы деталей механизма и их динамического перемещения в соответствии с наложенными ограничениями.

Удобство: наличие библиотеки типовых деталей (крепежи, трубы, шестерни, подшипники)

# Функциональность САД-систем

---

*Специальное проектирование:* инструменты и алгоритмы, характерные для конкретной области.

Типичные модули: средства для проектирования сварочных конструкций и моделирования разводки.

## **DRAFTING**

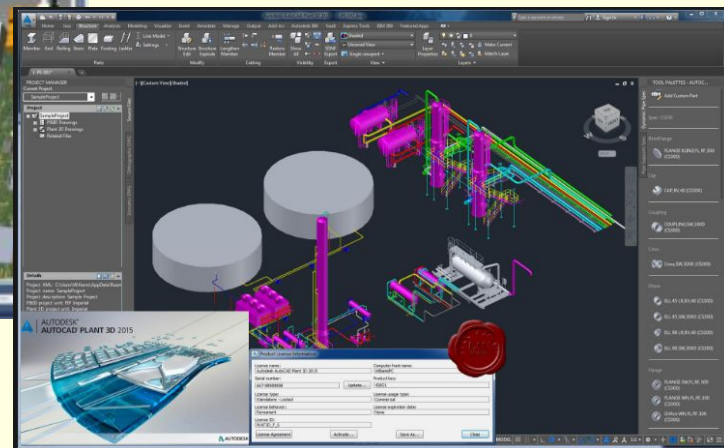
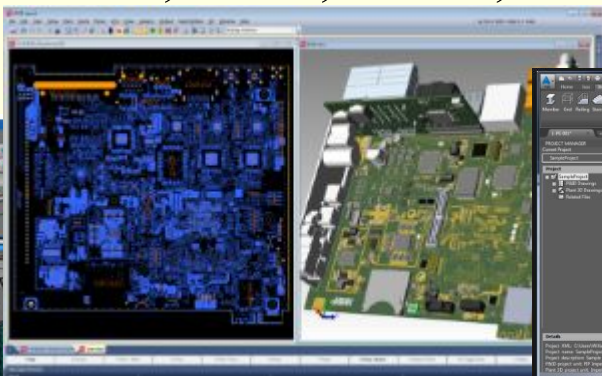
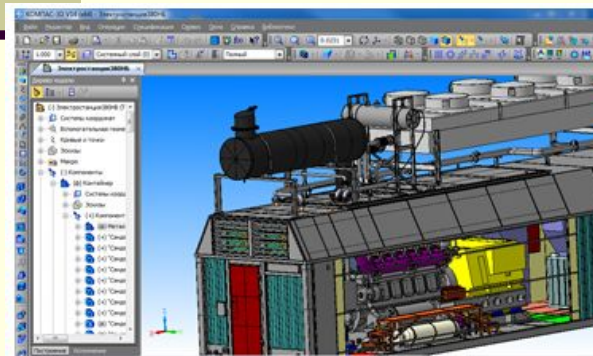
Генерация чертежей выполняется в автоматическом режиме.

Файлы с чертежными данными являются ассоциативными по отношению к файлу трехмерной модели.

Современные САД-системы позволяют импортировать файлы чертежей или их отсканированные изображения, внести необходимые изменения, автоматически построить трехмерную геометрическую модель.

# Современные МСАД-системы

- «Тяжелые» САПР (верхнего уровня)  
решают все проектные задачи  
(Pro/Engineer, Unigraphics NX, CATIA)
- «Средние» САПР (среднего уровня)  
решают несколько проектных задач  
(SolidWorks, SolidEdge, Inventor, Компас, Adem,...)
- «Легкие» САПР (нижнего уровня)  
решают одну проектную задачу  
(AutoCAD, Rhino, BCAD, *CONCEPT*, ... )



«Электростанция З80НБ» (ОАО «Звезда-Энергетика», г. Санкт-Петербург).  
Модель содержит свыше 5000 деталей.

# Современные МСАД-системы

*Системы инженерного анализа (CAE) предназначены для изучения поведения продукта с использованием его виртуального (хранящегося только в памяти компьютера) макета.*

Виды инженерного анализа:

- *анализ кинематики изделия* - расчет траекторий движущихся частей и их визуализация на компьютере;
- *анализ динамики изделия* - расчет поведения изделия в реальном времени с учетом действующих на него физических сил, взаимодействия механизмов и пр.;
- *расчет статических напряжений, магнитного поля, температур, определение критических нагрузок;*
- *имитация работы электронных цепей.*

Статистический анализ – метод конечных элементов – ANSYS, NASTRAN

Моделирование без расчета деформаций и напряжений – ADAMS, DADS

# Современные МСAD-системы

---

*Системы технологической подготовки производства (САРР) - это программы для работы с базой данных технологических планов предприятия*

Генеративный подход к технологической подготовке производства - автоматическое распознавание в геометрической модели детали типовых конструкторско-технологических элементов и ассоциирование с ними типовых Техпроцессов

Современные коммерческие САРР-системы: САМ-I САРР, MIPLAN, MetCAPP, ICEM-PART, Техно-Про, Technologies.

# Современные МСAD-системы

*Системы автоматизации производства (САМ) предназначены для создания программ обработки деталей на станках с числовым программным управлением (ЧПУ), а также программ управления роботизированными сборочными линиями.*

Особенность САМ-систем - встроенные средства проверки корректности сгенерированных программ

Первый подход - визуализация процесса работы станка на экране компьютера.

Второй подход - это моделирование процесса получения детали из заготовки и сравнение геометрии полученных в результате обработки поверхностей с данными, хранящимися в геометрической модели

Разработки: CATIA, SolidWorks, T-FLEX, Mastercam (CNC Software), SURFCAM (Surfware), EdgeCAM (Path-trace), CimatronE (Cimatron), продукты компании Delcam, ГеММа-SD (НТЦГеММа).

# Современные МСAD-системы

*Системы управления данными об изделии (PDM) - системы, интегрирующие в себе доступ к самым разноплановым данным, необходимым для работы с изделием на всех этапах его жизненного цикла: во время маркетинговых исследований, планирования, проектирования, производства, контроля качества, упаковки, доставки...*

## **PDM-система**

- улучшает взаимодействие;
- уменьшает бумажный документооборот;
- повышает эффективность управления

Коммерческие пакеты: VPLM, SmarTeam и MatrixOne, Teamcenter (Siemens PLM Software) и Winchill (PTC)



# Современные MCAD-системы

Автоматизация различных областей деятельности производственно го предприятия (CAD/CAE/CAPP/CAM )	Необходимость организации хранения проектных данных в общей базе (PDM )
---	--

*Интегрированные пакеты управления жизненным циклом изделия –  
единый комплекс программных решений*

Начало 2000-х годов - концепция PLM (Product Lifecycle Management)  
- управление жизненным циклом изделия.

Современные системы управления жизненным циклом изделия:

- V6 PLM Solutions от альянса Dassault Systemes/IBM, состоящий из систем CATIA, DELMIA, ENOVIA, SIMULIA.
- Product Development System (PDS) от Parametric Technology Corp., состоящая из продуктов семейств Pro/ENGINEER Wildfire и Windchill.