

Геометрическое моделирование в САПР

Лектор: *Лешихина Ирина Евгеньевна*

Всю информацию по курсу можно найти на сайте: Pleshikhina.narod.ru

Для получения зачета необходимо:

- *Выполнить практическое задание*
- *Успешно выполнить контрольные работы*
- *Посещать лекции*
- *Выполнить лабораторные задания (4 лабораторные работы), посвященные освоению САПР CreoParametric*

Литература

- Д.Роджерс, Дж. Адамс Математические основы машинной графики М.: Мир, 2001г.
- Д. Роджерс. Алгоритмические основы машинной графики. Пер. с англ. – М.: Мир, 1989
- Голованов Н.Н. Геометрическое моделирование Из-во ФМЛ, 2002г.
- Голованов Н.Н., Геометрическое моделирование: учебник для учреждений высшего профессионального образования.-М.: Издательский центр «Академия», 2011г.
- Ушаков Д.М. Введение в математические основы САПР: курс лекций.- М ДМК ПРЕСС, 2011.- 208с
- Малюх В.Н. Введение в САПР: Курс лекций.- М:ДМК Пресс, 2017.- 192 с.
- Шикин Е.В., Плис А.И.. Кривые и поверхности на экране компьютера Руководство по сплайнам. – М. : Диалог-МИФИ,1996г.
- Интерактивная компьютерная графика. Вводный курс на базе OpenGL. Из-во Вильямс, 2001г.

- Григорьев М., Малоземов В. Составные кривые и поверхности Безье. Аналитический подход.- Изд-во LAP, 2010г.
- Никулин Е.А. компьютерная геометрия и алгоритмы машинной графики.- Спб.:Изд-во БХВ, 205 г.
- Шикин Е.В., Боресков А.В. Компьютерная графика. Динамика, реалистические изображения.- М.: Диалог-Мифи.1996г.
- Шикин Е.В., Боресков А.В. Компьютерная графика. Полигональные модели.-М.: Диалог-Мифи 2000г.
- Л.Аммерал Принципы программирования в машинной графике. Пер. с англ.- М.: «Сол.Системы», 1992г.
- Майкл Ласло Вычислительная геометрия и компьютерная графика на C++, 1997г.
- И.П. Норенков, П.К. Кузьмик Информационная поддержка наукоемких изделий (CALS технологии).- М.: Из-во МГТУ им. Баумана, 2002г.

ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ ИЗДЕЛИЯ (ЖЦИ)

(закольцованная диаграмма)

Жизненный цикл изделия (англ. *Product Lifecycle*) — совокупность всех существенных этапов «жизни» продукции. Включает в себя фазы формирования концепции, дизайнерской задумки, конструкторской проработки, технологической подготовки производства, изготовления, эксплуатации, обслуживания, утилизации и т.п.

Управление жизненным циклом изделия - важная управленческая стратегия на производственных предприятиях с дискретным типом производства



ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ ИЗДЕЛИЯ

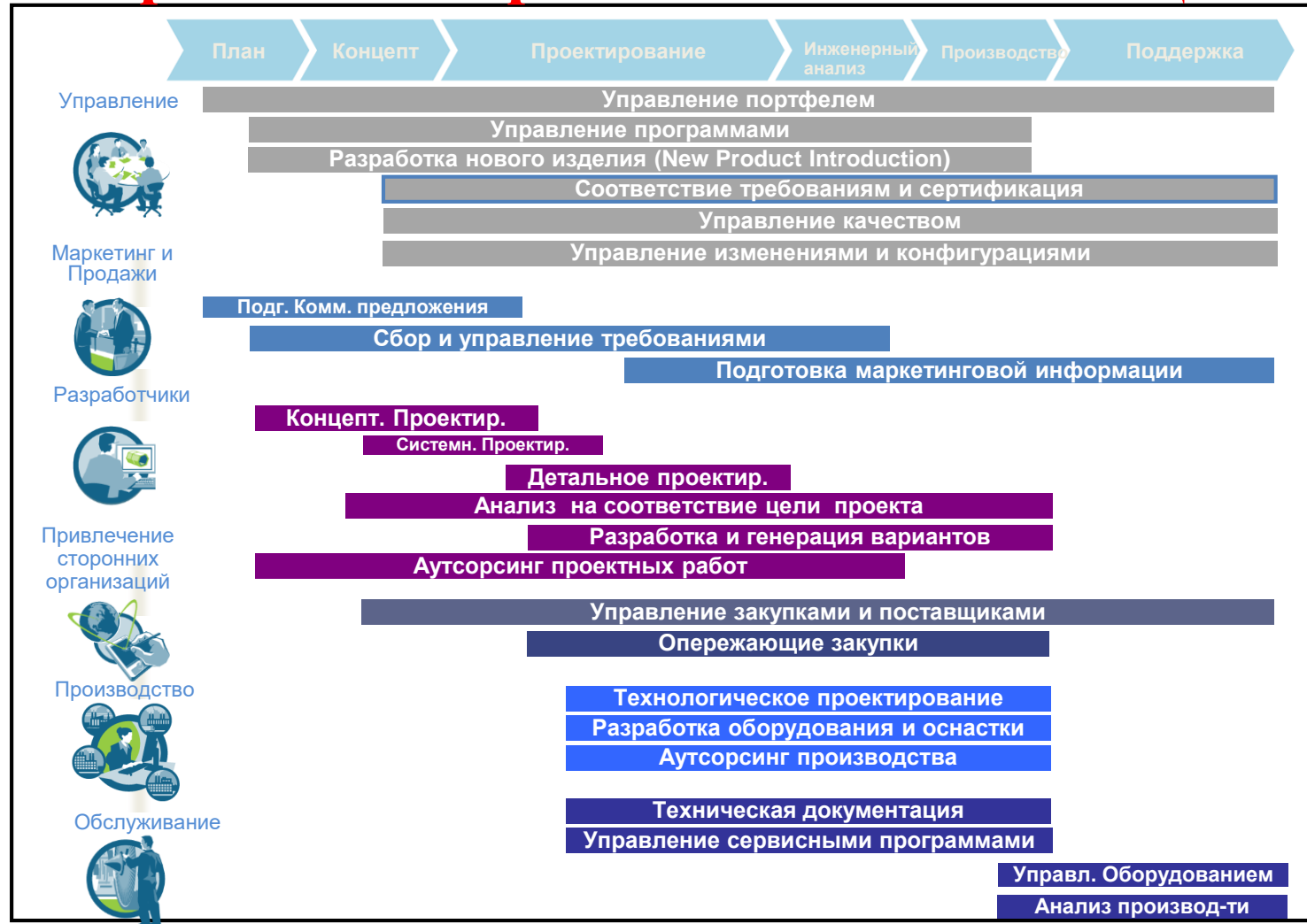
(простая последовательность этапов)

«Общая» схема последовательности этапов ЖЦИ современного дискретного производства



- Составление ТЗ
- Проработка Общих Видов, Дизайн
- Конструирование (Эскизное, Рабочее Проектирование). Создание геометрической модели
- Инженерный анализ
- Технологическая Подготовка Производства (Планирование производства, выбор поставщиков, проектирование оснастки)
- Организация производства (Изготовление комплектующих, Приобретение комплектующих, Сборочные операции)
- Продажа Изделия / Сдача Заказчику
- Эксплуатация (Послепродажное сопровождение, Ремонты, Кап.ремонты)
- Утилизация (возможен возврат на этап Концептуальной проработки с учётом опыта и маркетинговых данных, появившихся в процессе эксплуатации на этапах Эксплуатации и Утилизации ЖЦИ).

Состав процессов и типовых групп исполнителей процессов на различных этапах ЖЦИ



Современная концепция управления жизненным циклом изделия

СРС **Collaborative Product** **Commerce**

Совместная разработка,
производство и
сопровождение
продукции на базе
Интернет-технологий
(СРПС)

PLM – Product Lifecycle Management

автоматизированные информационные системы управления жизненным циклом изделия (сквозное управление и сопровождение электронных данных об изделии) – обеспечивает совместную работу географически распределенных, международных рабочих групп

Концепция PLM – единая информационная база описывающая три компонента : продукт(изделие), процессы, ресурсы, а также взаимодействие между ними

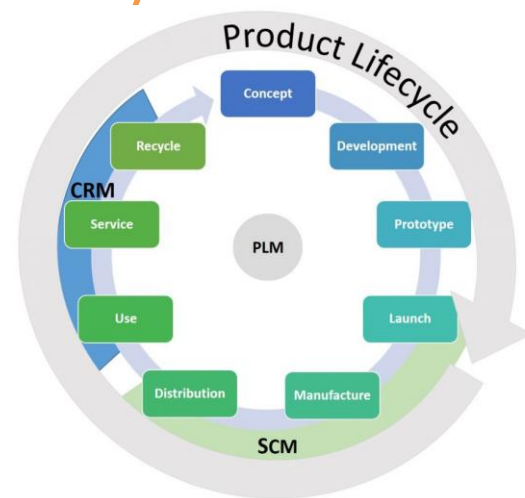
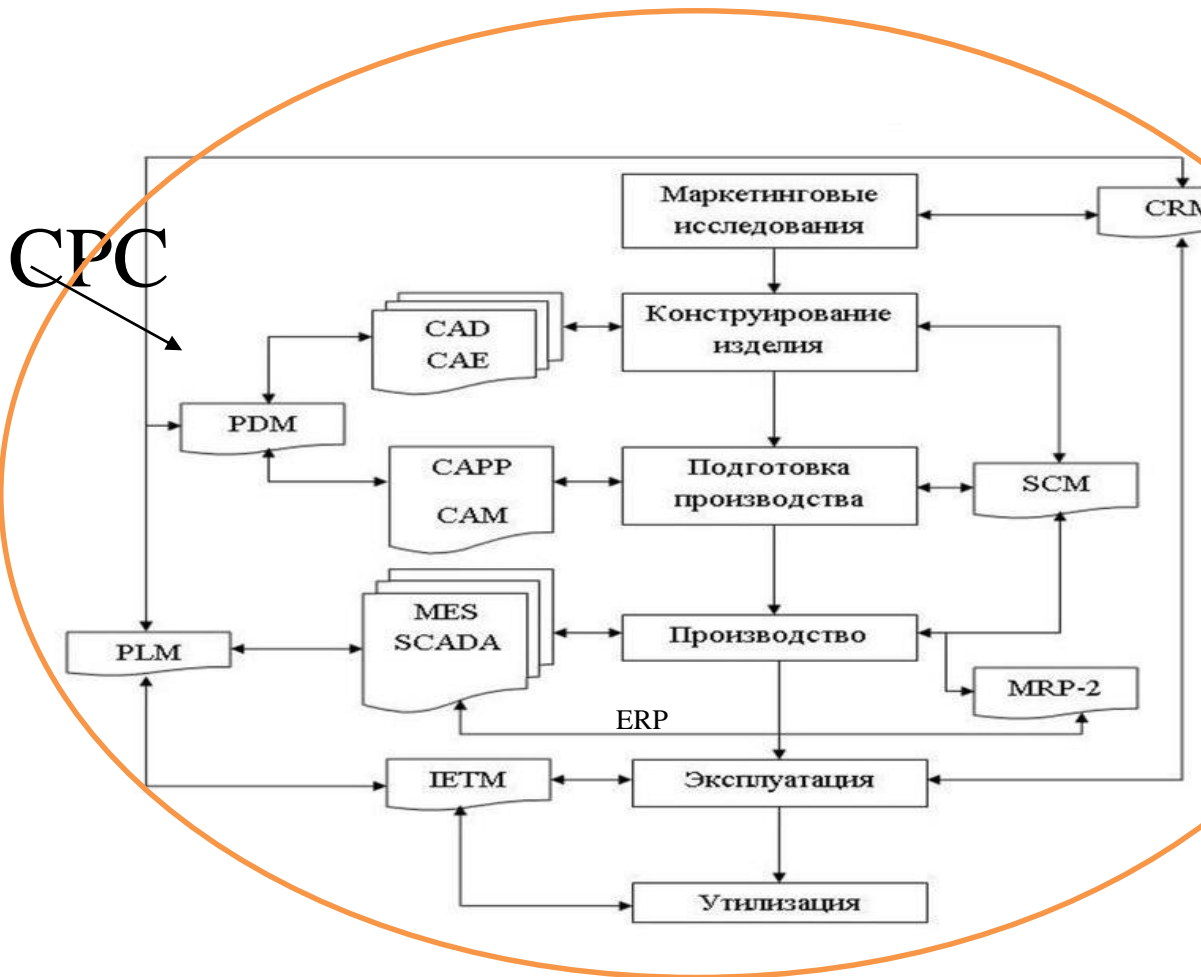
PLM – основа для цифрового потока данных, обеспечивающая гибкость цепочки поставок и непрерывность бизнеса.

Процессы PLM

1. Проектирование. 2. Сохранение и переиспользование данных (КВЕ Knowledge Based Engineering). 3. Цифровая симуляция.
4. Проектирование технологических процессов. 5. Оптимизация производства. 6. Поддержка эксплуатации. 7. Коллективная работа



Этапы Жизненного цикла изделия (Life Cycle Support) и их компьютерная реализация



CAD/ CAE/CAM/CAPP/PDM

- **CAD** – Computer Aided Design – система автоматизированного проектирования
 - **CAE** – Computer Aided Engineering – автоматизированные расчеты и анализ
 - **CAM** – Computer Aided Manufacturing – производство с помощью компьютера (основная цель создание программ для управления станков с ЧПУ)
 - **CAPP** - Computer Aided Process Planning –автоматизация технологической подготовки производства – создание плана производства изделия, который называется маршрутной картой
 - **PDM** – Product Data Management – управление проектными данными
- PDM** – система управления данными об изделии в течении жизненного цикла, которая решает следующие задачи:
- Управление проектными данными систем CAD/CAM/CAE
 - Управление спецификациями
 - Управление конфигурациями изделия
- Кроме того **PDM** , решает проблему совместного функционирования САПР различного назначения

SCM **Supply chain management** **управление цепочками поставок**

- Совместная работа с партнерами по оперативной комплектации изделия в соответствии с изменяющимися требованиями заказчика
- Организация параллельной работы со всеми поставщиками и партнерами на этапах разработки и изготовления продукции

CRM **Customer Relationship Management** **управление взаимоотношениями с заказчиками.**

CRM – это стратегические принципы взаимоотношения с заказчиками, выполнение которых всеми сотрудниками и подразделениями корпорации позволяет построить оптимальное и эффективное выполнение заказов.

ERP

Enterprise Resource Planning

Системы для:

- Планирования производства
- Управления производственными программами
- Планирования и управления финансовыми, материальными и трудовыми ресурсами предприятия

SCADA

Supervisory Control And Data Acquisition

- Визуализация технологического процесса (HMI)
- Оперативное управление технологическим процессом
- Управление аварийными сообщениями и событиями
- Анализ исторических данных (трендов)
- Генерация отчётов.

IETM - Interactive Electronic Technical Manual

Интерактивные электронные технические руководства

MES

Manufacturing Execution System

Оперативное управление производством

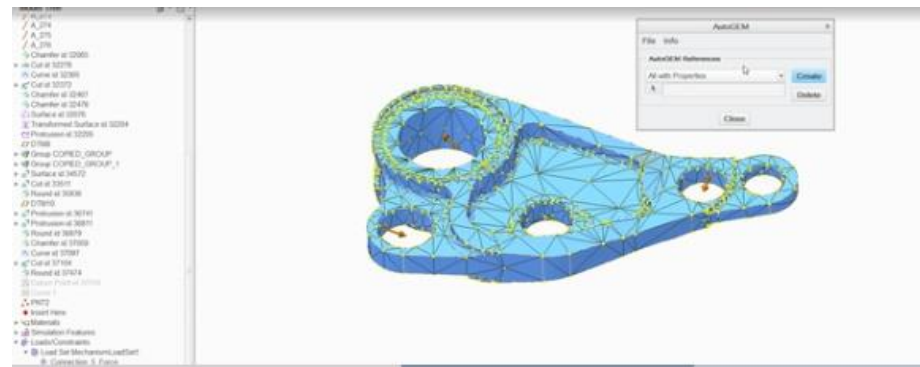
- производственными заказами
- запасами и незавершённым производством
- технологическими маршрутами
- операциями
- сертификатами
- спецификациями
- трудовыми ресурсами
- документами
- отслеживание производственных событий
- отслеживание и генеалогия продукции
- Анализ эффективности технологического оборудования
- Управление качеством продукции.

Решение PTC (Parametric Technology Corporation) для управления ЖЦИ

CAD – CREO Parametric – разработка геометрических моделей деталей и сборок
Creo Design Exploration Extension – концептуальное проектирование - исследование новых идей конструкции, изучение альтернативные вариантов существующих конструкций и отслеживание возможных решений решений
MBD – модельно-ориентированное проектирование – внесение данных об изделии непосредственно в трехмерную модель

Приложение для PLM компании **PTC** – **Windchill** - автоматизация процессов управления данными об изделии на протяжении всего ЖЦИ в распределенной среде проектирования

Инженерные расчеты (CAE) – Creo Simulation Live

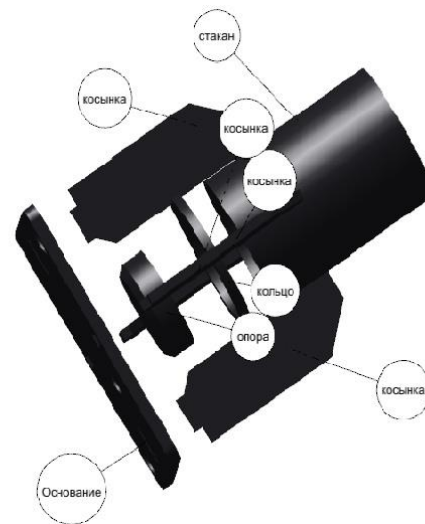
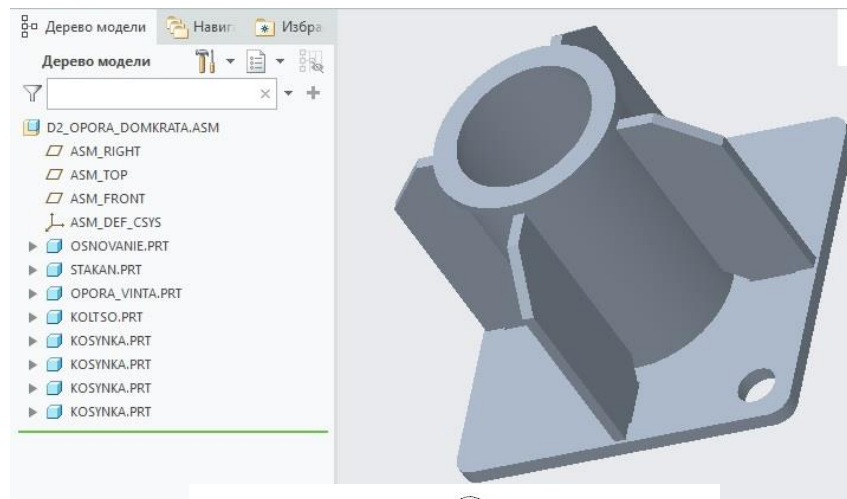


Решение РТС для управления ЖЦИ (продолжение)

*Создание Технических иллюстраций (ТЕТМ) – **Arbotext IsoDraw** (динамическая публикация материалов об изделии) , **Creo Illustrate***

Технические документации используются в инструкциях по сборке, ремонту, эксплуатации изделий, каталогах запасных частей, в рекламных буклетах.

Отличие от чертежей:
большое внимание уделяется наглядности и близости к изображению реального объекта

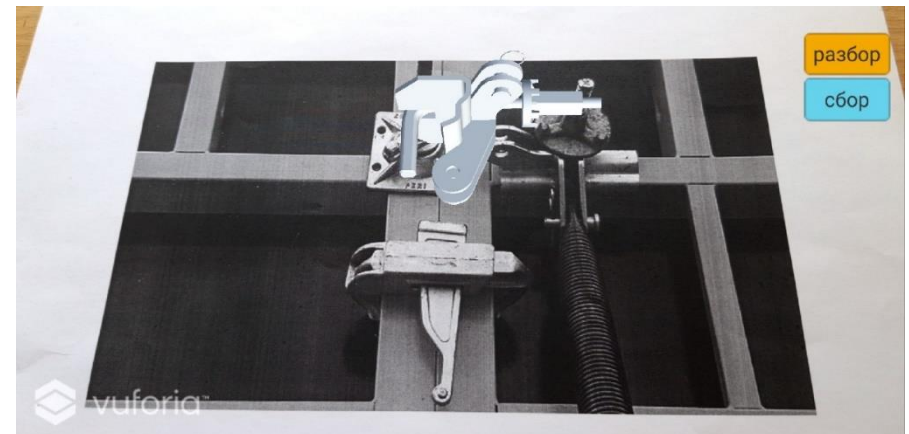
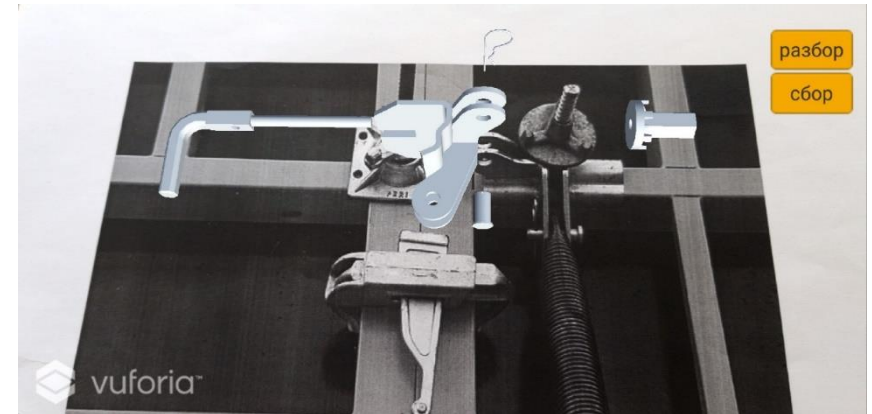


Решение РТС для управления ЖЦИ (продолжение)

*Ремонт, эксплуатация,
сборка*

*Интернет вещей- **IoT**
платформа **ThingWorx**
— быстрая сборка и запуск
сетевых приложений*

*Дополненная реальность
(ремонт, эксплуатация,
сборка) **AR** платформа
Vuforia*



**ВСЕ ПРОГРАММНЫЕ МОДУЛИ И
ИНФОРМАЦИЯ, СОДЕРЖАЩАЯСЯ В ТОМ
ЧИСЛЕ В ЦИФРОВОМ ДВОЙНИКЕ
ИЗДЕЛИЯ, ДОЛЖНЫ БЫТЬ ОСНОВАНЫ
НА ЕДИНОМ ЭЛЕКТРОННОМ ОПИСАНИИ
ИЗДЕЛИЯ НА ВСЕХ ЭТАПАХ ЖЦ (единое
электронное определение изделия) -
ОСНОВОЙ ТАКОГО ОПИСАНИЯ
ЯВЛЯЕТСЯ**

**ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ (деталь,
сборка)**

Геометрическая модель

Модель – такое представление данных, которое наиболее адекватно отражает свойства реального объекта, существенные для процесса проектирования. *Геометрические модели* описывают объекты, обладающие геометрическими свойствами. Таким образом, *геометрическое моделирование* – это моделирование объектов различной природы с помощью геометрических типов данных.

Основные вехи в создании математических основ современных геометрических моделей

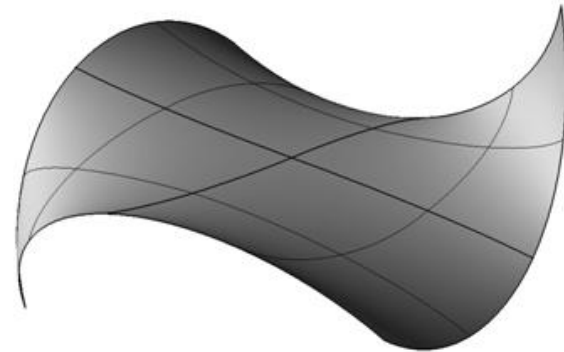
- Изобретение станка с ЧПУ – начало 50-х годов (Массачусетский технологический институт -MIT) – *необходимость создания цифровой модели детали*
- Создание «скульптурных поверхностей» (потребности авиа и автомобилестроения) – для Citroen математик *Поль де Кастельжо* предложил построить гладкие кривые и поверхности по набору контрольных точек (метод последовательных линейных интерполяций) – будущие кривые и поверхности Безье – *1959г.* Результаты работы опубликованы в *1974г.*

*Автомобиль Citroen DS -1955-1975гг.
– пример создания «скульптурной»
поверхности*



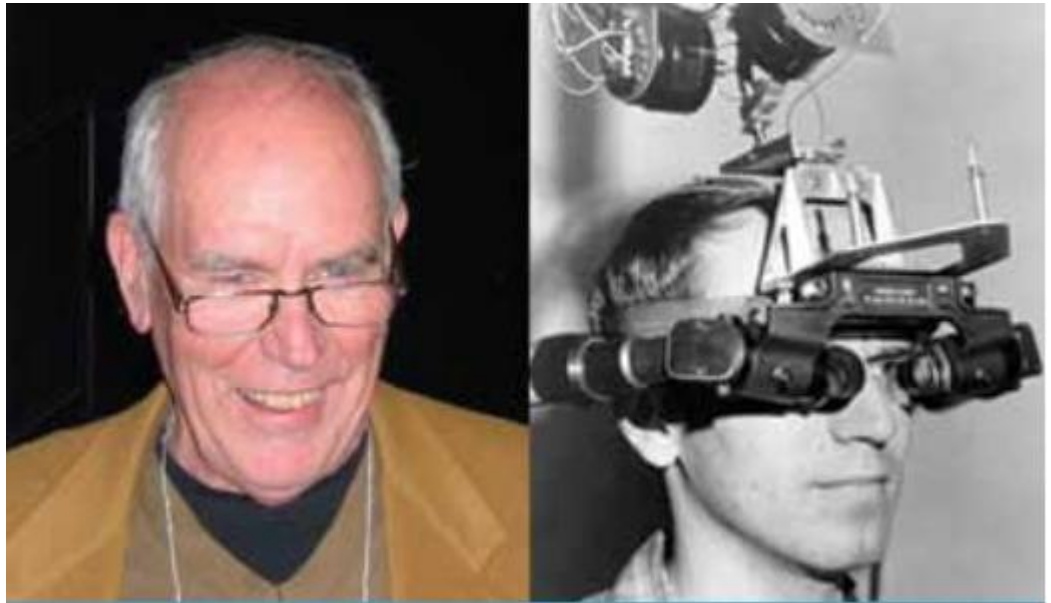
Основные вехи в создании математических основ современных геометрических моделей

- **Билинейный лоскут** (*bilinear patch*) – гладкая поверхность, построенная по 4-м точкам.
- **Билинейный лоскут Кунса** (поверхность Кунса – *Coons patch*) – гладкая поверхность, построенная по 4-м граничным кривым – автор **Стивен Кунс** – профессор MIT – 1967г. **Кунс** предложил использовать рациональный полином для описания конических сечений



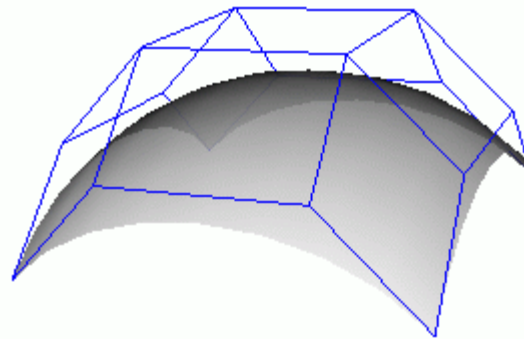
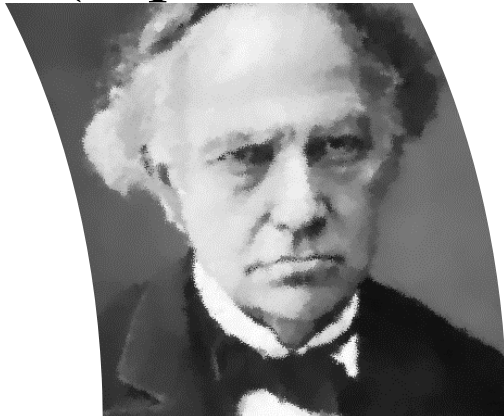
Основные вехи в создании математических основ современных геометрических моделей

- Сазерленд – ученик *Кунса* разработал *структуры данных* для будущих геометрических моделей, предложил ряд алгоритмов, решающих задачи визуализации. Автор системы *Sketchpad* – прообраз САПР.



Основные вехи в создании математических основ современных геометрических моделей

- Создание поверхности, контролирующей гладкость между граничными кривыми, *поверхность Безье* – автор *Пьер Безье* – инженер компании Renault – 1962г (система UNISURF). Основой для разработки таких поверхностей были кривые и поверхности *Эрмита*, описанные французским математиком - *Шарлем Эрмитом* (середина 19 века)



Основные вехи в создании математических основ современных геометрических моделей

- **Использование сплайнов** (кривые, степень которых не определяется числом опорных точек, по которым она строится) в геометрическом моделировании. **Исаак Шенберг(1946г.)** дал их теоретическое описание. **Карл де Бур и Кокс** рассмотрели эти кривые применительно к геометрическому моделированию – их название В-сплайны (Базисные сплайны)– **1972г.**
- Создание первых компаний, производящих САПР – SDRS(Structural Dynamic Research Corporation САПР I-DEAS) и Computervision (САПР – CADDs). Продукты I-DEAS (2002г. куплена ERDS) и CADDs (куплена PTC в 1998г.).

Основные вехи в создании математических основ современных геометрических моделей

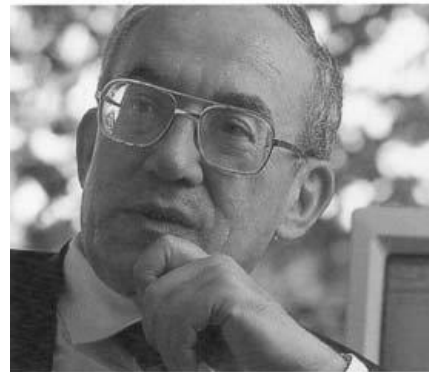
- **Использование NURBS** (рациональные В-сплайны на неравномерной сетке параметризации) в геометрическом моделировании – **Кен Версприл** (Сиракузский Университет), затем сотрудник *Computervision* -1975г. NURBS впервые использовал **Розенфельд** в системе моделирования *Alpha1* и *Geomod* – 1983г.
- Возможность описания всех типов конических сечений с помощью рациональных В-сплайнов – **Юджин Ли** – 1981г. Данное решение найдены при разработке САПР *TIGER*, используемой в авиастроительной компании *Boeing*. Этой компанией было предложено включить *NURBS* в формат *IGES*

Основные вехи в создании математических основ современных геометрических моделей

Разработка **принципов параметризации** в геометрическом моделировании, введение понятия **фичерс** (future) – **Семен Гейзберг**. - основатель **PTC** (*Parametric Technology Corporation*) 1985г.)

первая система, поддерживающая параметрическое моделирование

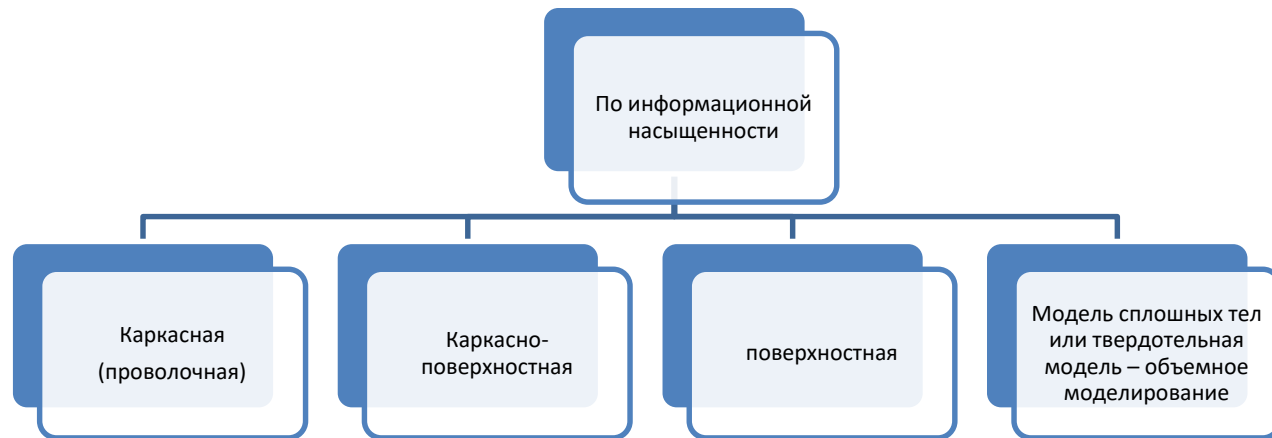
– *Pro/E* -1989г.



Математические знания, необходимые для изучения геометрических моделей

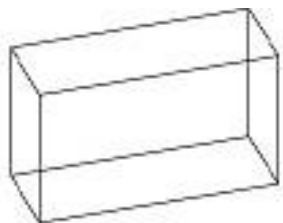
- Векторная алгебра
- Матричные операции
- Формы математического представления кривых и поверхностей
- Дифференциальная геометрия кривых и поверхностей
- Аппроксимация и интерполяция кривых и поверхностей
- Сведения из элементарной геометрии на плоскости и в пространстве

Классификация геометрических моделей по информационной насыщенности

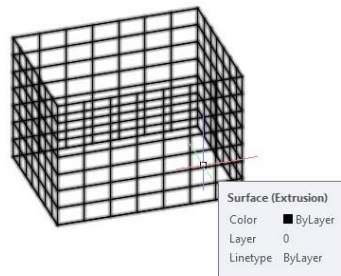


Примеры моделей

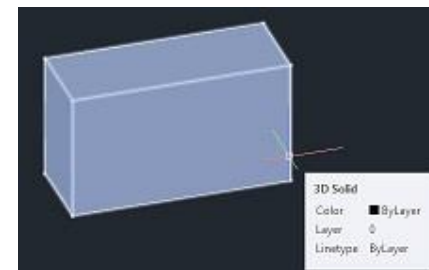
Каркасная модель



Поверхностная модель



Твердотельная модель



Классификация геометрических моделей по внутреннему представлению

По внутреннему представлению

Граничное – **Boundary representation – B-rep**

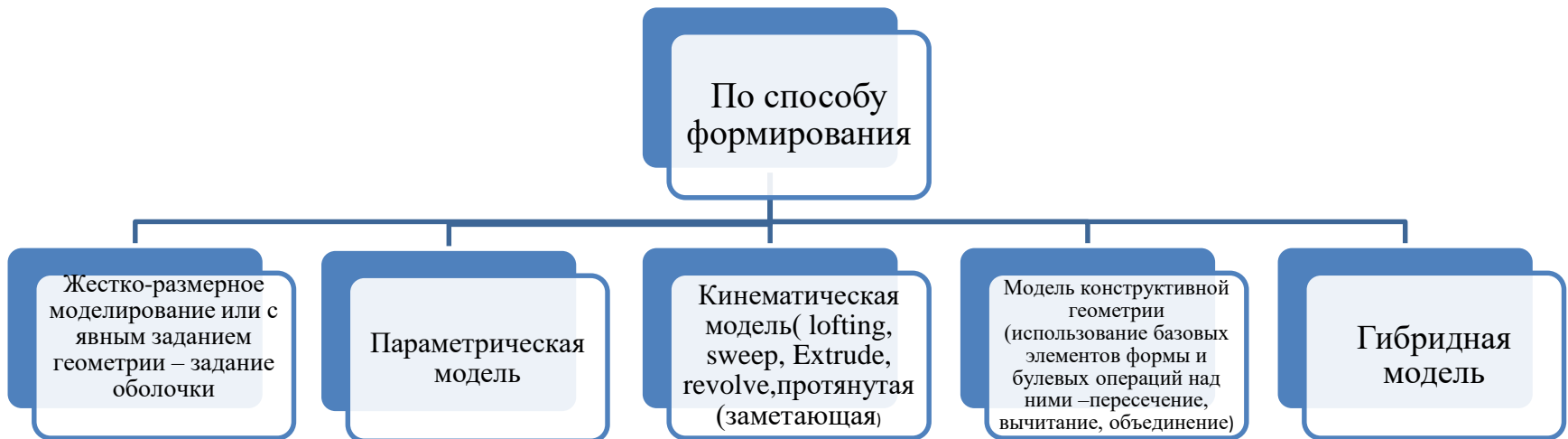
Представление в виде описания границ.
Используется в ГЯ Parasolid и ACIS

Constructive Solid Geometry CSG-representation – C-rep – модель.

Модель конструктивной геометрии – основа -дерево построения

Структура + границы

Классификация по способу формирования



Общее представление о классификации поверхностных и твердотельных моделей



Способы построения кривых в Геометрическом моделировании

Основой создания трехмерной поверхностной модели являются кривые.

Способы построения кривых в геометрическом моделировании:

- *Интерполяция – кривые Эрмита и кубические сплайны*
- *Аппроксимация – кривые Безье, B-сплайновые кривые, NURBS кривые*

Пример создания кривой Безье 2-ой степени по трем опорным точкам

The image shows a CAD software interface. On the left, a text editor window titled "rel.ptd - Блокнот" contains the following text:

```
/* For cartesian coordinate system, enter parametric equation
/* in terms of t (which will vary from 0 to 1) for x, y and z
/* For example: for a circle in x-y plane, centered at origin
/* and radius = 4, the parametric equations will be:
/*      x = 4 * cos ( t * 360 )
/*      y = 4 * sin ( t * 360 )
/*      z = 0
/*-----
x=(1-t)*(1-t)*2+2*t*(1-t)*4+t*t*7
y=(1-t)*(1-t)*7+2*t*(1-t)*5+t*t*12
z=(1-t)*(1-t)*15+2*t*(1-t)*21+t*t*47
```

Below the text editor, a tree view shows the following items:

- CURVE_3.PRT
 - RIGHT
 - TOP
 - FRONT
 - PRT_CSYS_DEF
 - Curve id 39
 - Insert Here

On the right, a 3D model shows a blue rectangular prism with three faces labeled "RIGHT", "TOP", and "FRONT". A red curve is drawn on the "RIGHT" face, passing through three control points (red, green, and blue dots). A coordinate system labeled "PRT_CSYS_DEF" is also visible.

Основные способы построения поверхностных моделей

Аналитические поверхности

- Плоскости-полигональные сетки
- Квадратичные поверхности – конические сечения

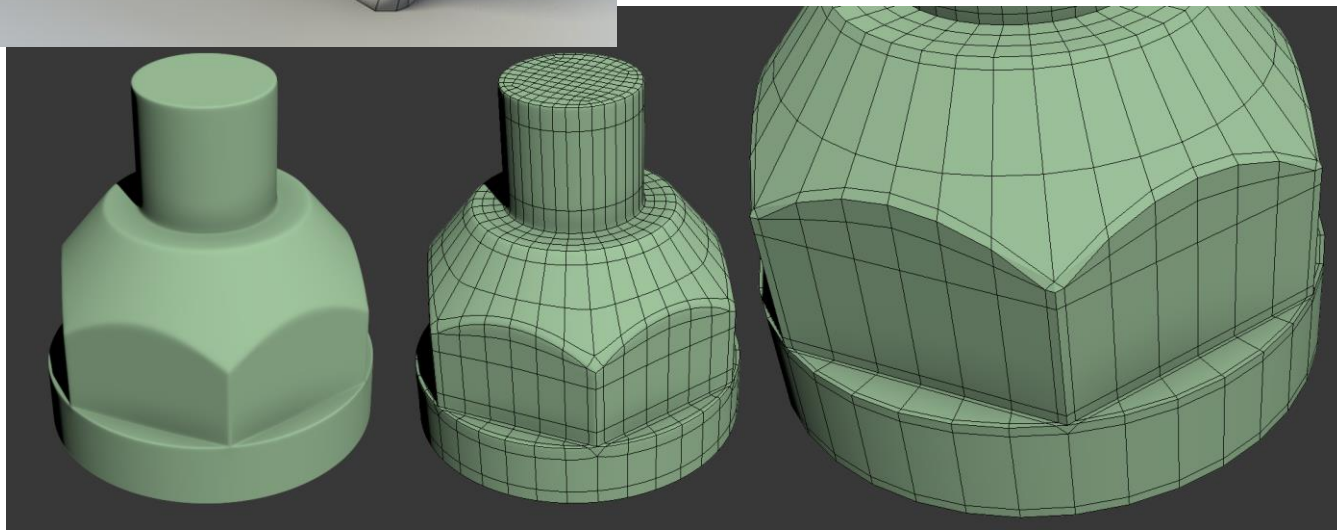
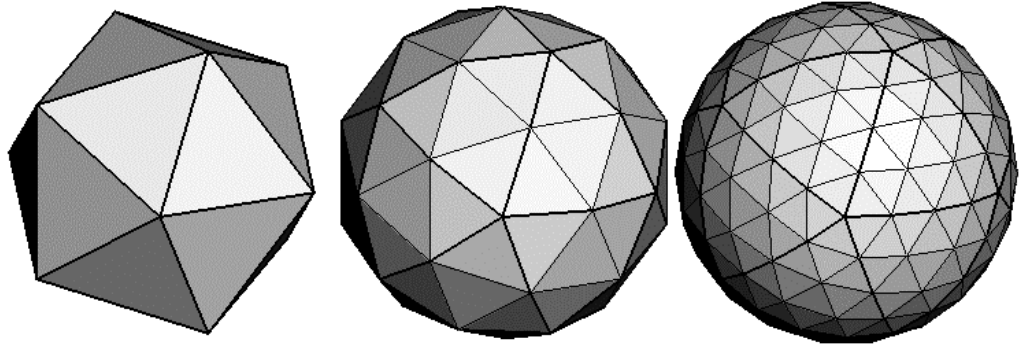
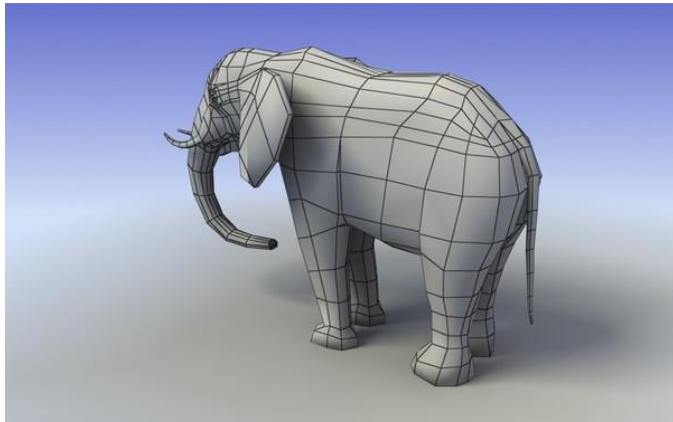
Поверхности, построенные по точкам

- Полигональные сетки
- Билинейная поверхность
- Линейная и бикубическая поверхность Кунса
- Поверхность Безье
- В-сплайновые поверхности
- NURBS поверхности
- Треугольные поверхности

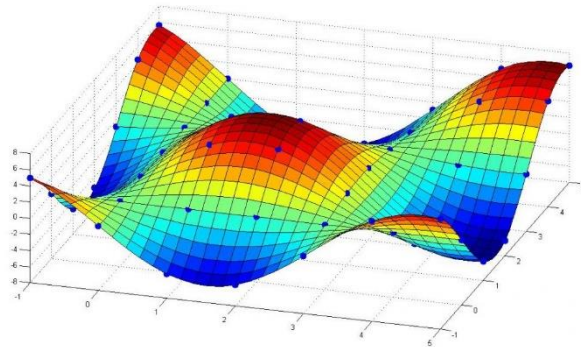
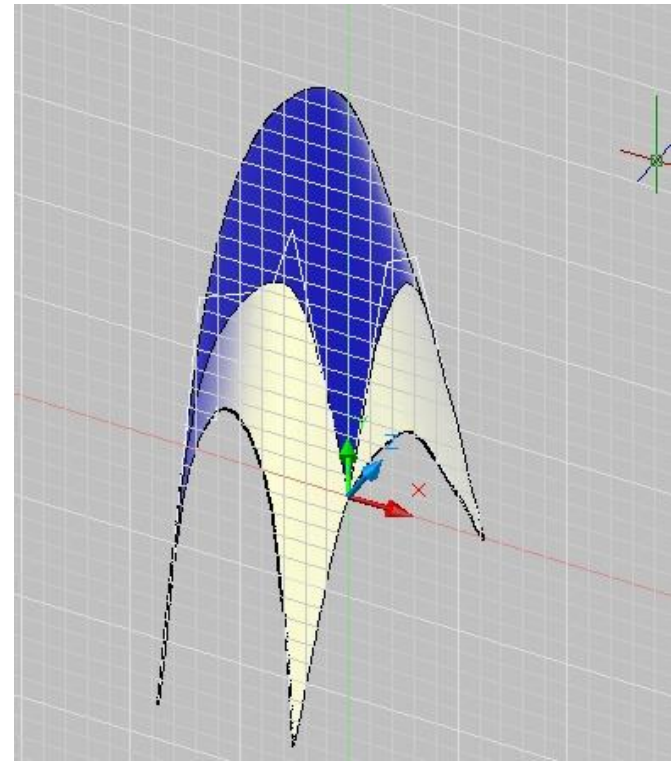
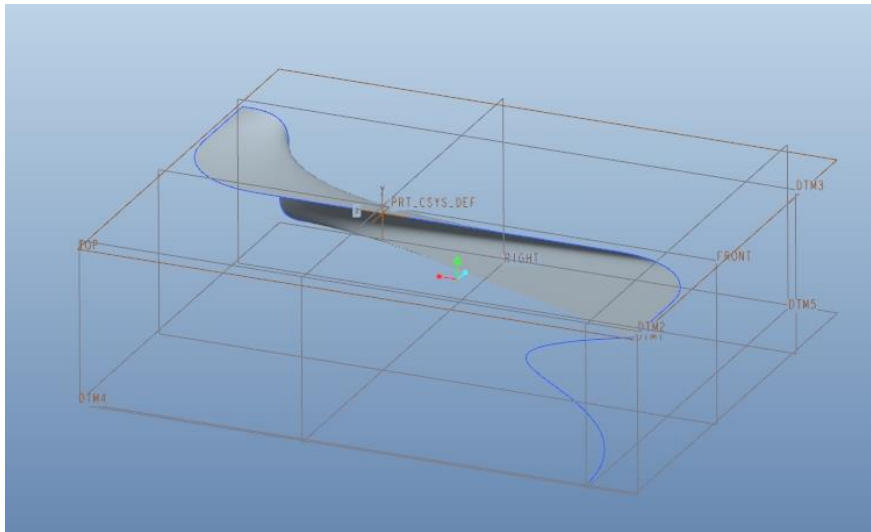
Поверхности, построенные по кинематическому принципу

- Поверхность вращения
- Поверхность соединения
- Заметающая поверхность
- Сложные sweep и lofting поверхности

Пример создания поверхности с помощью полигональной сетки



Пример поверхностной модели, построенной по кривым



Твердотельная модель

Типы твердотельных моделей:

- ✓ *Граничная модель – Boundary representation – **B-реп - модель***
- ✓ *Модель конструктивной геометрии – Constructive Solid Geometry CSG-representation – **C-реп -модель***
- ✓ *Декомпозиционные модели – воксельные модели, ячеечные модели*
- *Модель конструктивной геометрии – использование БЭФ и булевых операций.*

- При создании **B-реп модели** используются топологические объекты, несущие в себе топологическую и геометрическую информацию:

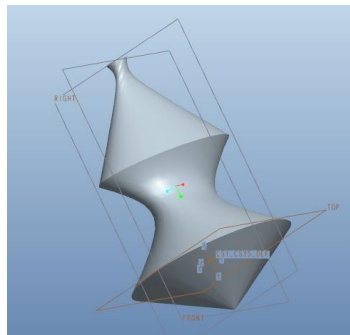
- *Грань;*
- *Ребро;*
- *Вершина;*
- *Цикл;*
- *Оболочка*

Основа твердого тела – его оболочка, которая строится на основе поверхностей

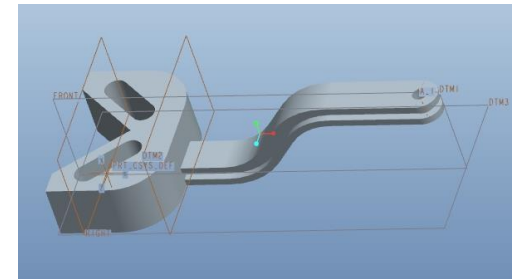
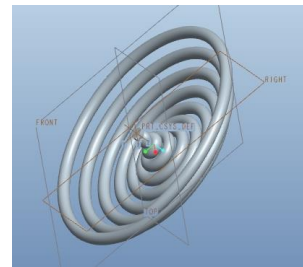
Поверхностные и твердотельные модели, построенные по кинематическому принципу

- Вращение
- Простое перемещение – выдавливание
- Смешивание двух профилей
- Простое перемещение профиля вдоль кривой
- Перемещение профиля вдоль кривой с его изменением в плоскости сечения

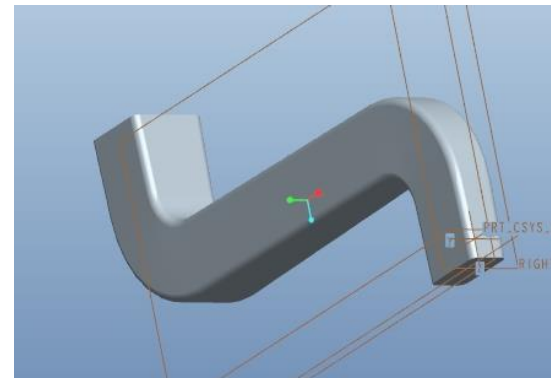
***1. Смешивание профилей по определенному закону
(квадратичный, кубический и т.д.)***



2. Перемещение профиля вдоль кривой

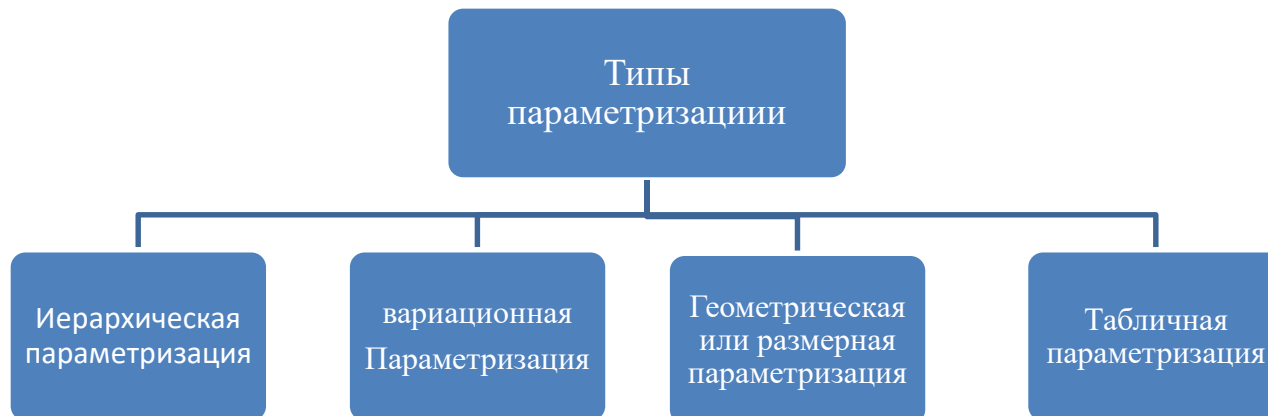


3. Смешивание профилей при перемещении вдоль кривой



Параметрические модели

Параметрическая модель – это модель, представленная с помощью совокупности параметров, устанавливающих соотношение между геометрическими и размерными характеристиками моделируемого объекта.



Иерархическая параметризация

Параметризация на основе истории построений - первая параметрическая модель. История превращается в параметрическую модель, если с каждой операцией ассоциировать определенные параметры. В ходе построения модели вся последовательность построения, например, порядок выполненных геометрических преобразований, отображается в виде *дерева построения*. Внесение изменений на одном из этапов моделирования приводит к изменению всей модели и дерева построения.

Недостатки иерархической параметризации

- ✓ Введение циклических зависимостей в модели приведет к отказу системы в создании такой модели.
- ✓ Ограничены возможности редактирования такой модели из-за отсутствия достаточной степени свободы (возможность редактирования параметров_каждого элемента по очереди)
- ✓ Сложность и непрозрачность для пользователя
- ✓ Дерево построения может быть очень сложным, пересчет модели потребует много времени
- ✓ Решение о том, какие параметры менять происходит только в процессе построения
- ✓ Невозможность применения этого подхода при работе с разнородными и унаследованными данными

Иерархическую параметризацию можно отнести к жесткой параметризации.

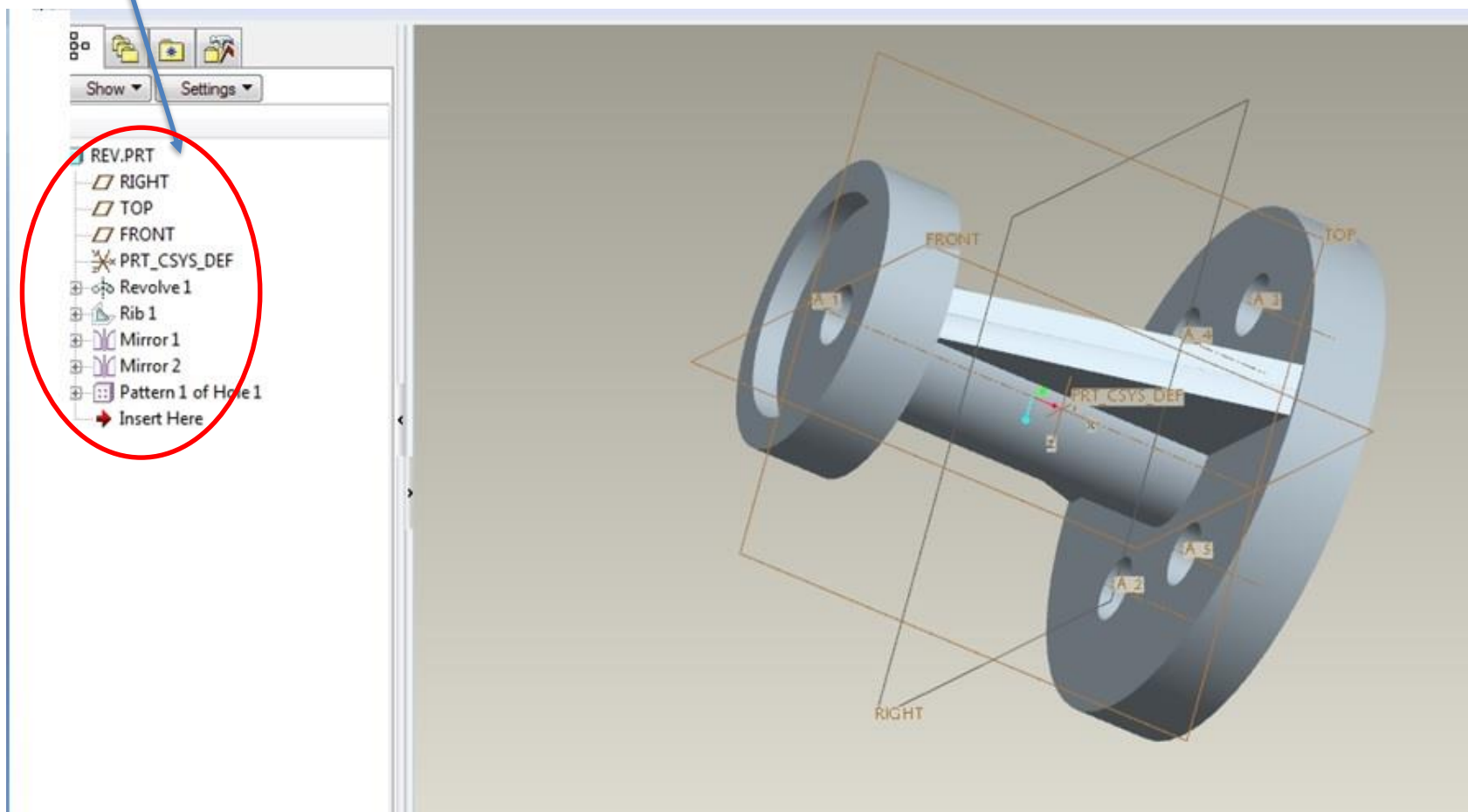
- При *жесткой параметризации* в модели полностью заданы все связи.
- При создании модели с помощью *жесткой параметризации* очень важным является порядок определения и характер наложенных связей, которые будут управлять изменением геометрической модели. Такие связи наиболее полно отражает *дерево построения*.
- Для *жесткой параметризации* характерно наличие случаев, когда при изменении параметров геометрической модели решение вообще не м.б. найдено, т.к. часть параметров и установленные связи вступают в противоречие друг с другом.

То же самое может возникнуть при изменении отдельных этапов дерева построения

Использование дерева построения при создании модели приводит к созданию модели на основе истории, такой подход к моделированию называется *процедурным*

Пример иерархической параметризации в Creo Parametric (Pro/E)

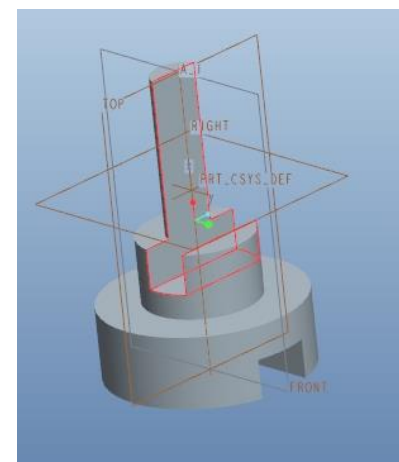
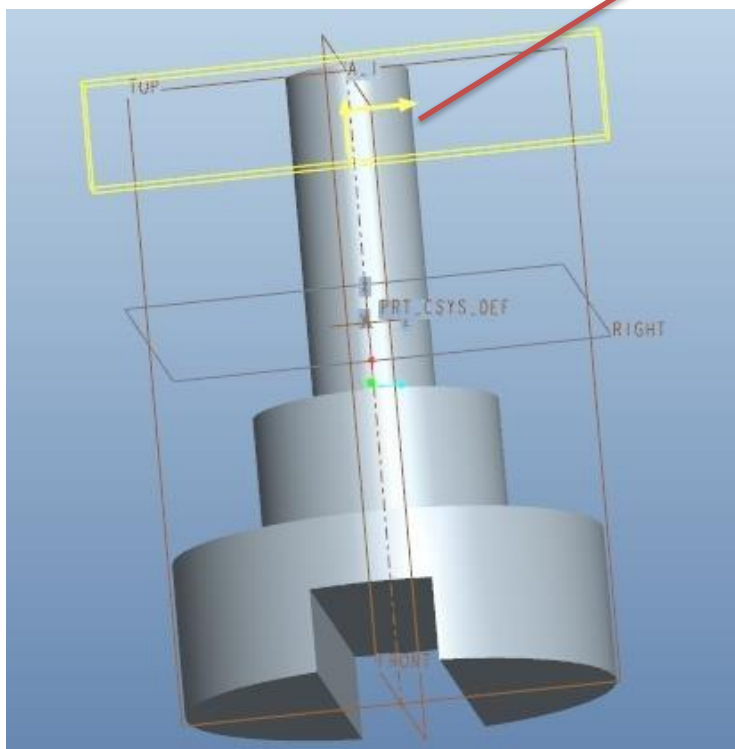
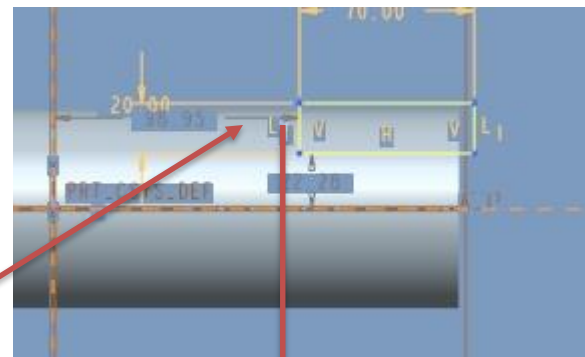
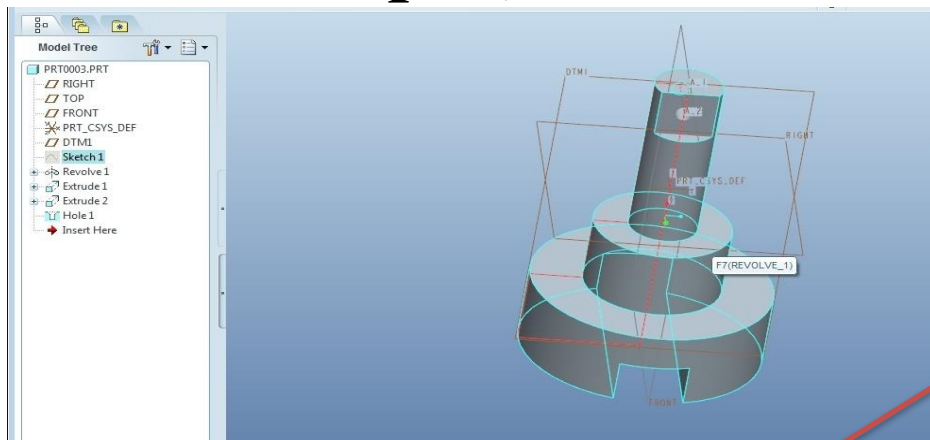
Дерево построения



Отношение Родитель/Потомок.

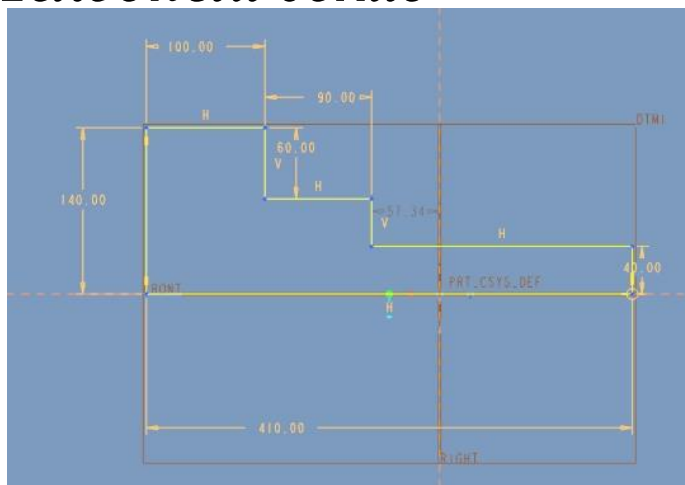
Основной принцип иерархической параметризации – фиксация всех этапов построения модели в дереве построения. Это и есть определение отношений *Родитель/Потомок*. При создании нового конструктивного элемента, все другие элементы, на которые ссылается создаваемый конструктивный элемент, становятся его *Родителями*. Изменение родительского конструктивного элемента приводит к изменению всех его потомков.

Иллюстрация отношений Родитель/Потомок



Влияние на результат моделирования изменение параметров эскиза

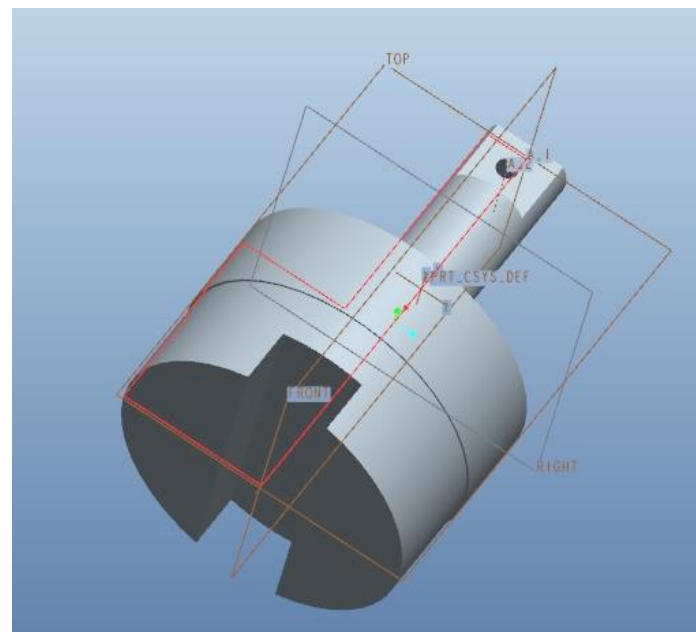
Исходный эскиз



Эскиз после изменения размеров



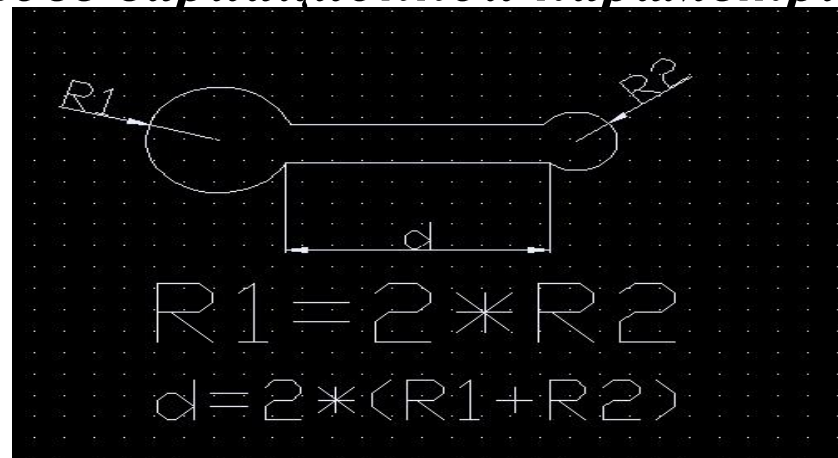
*Изменение модели
после редактирования
эскиза*



Вариационная параметризация

Создание геометрической модели с использованием ограничений в виде системы алгебраических уравнений, определяющей зависимость между геометрическими параметрами модели.

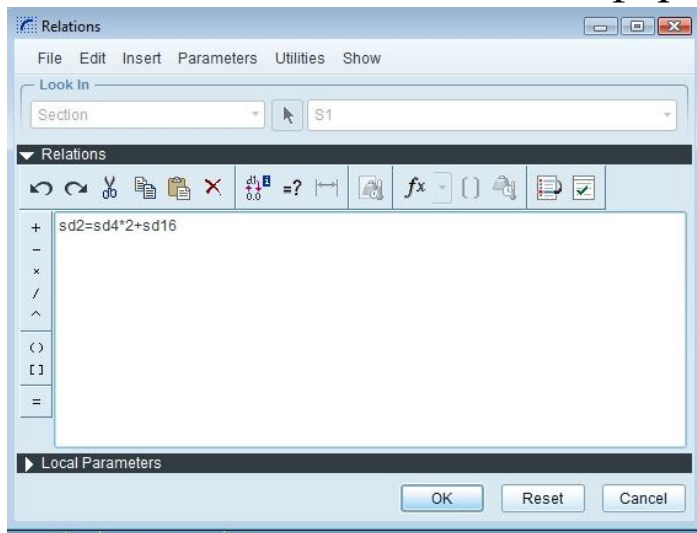
Пример геометрической модели, построенной на основе вариационной параметризации



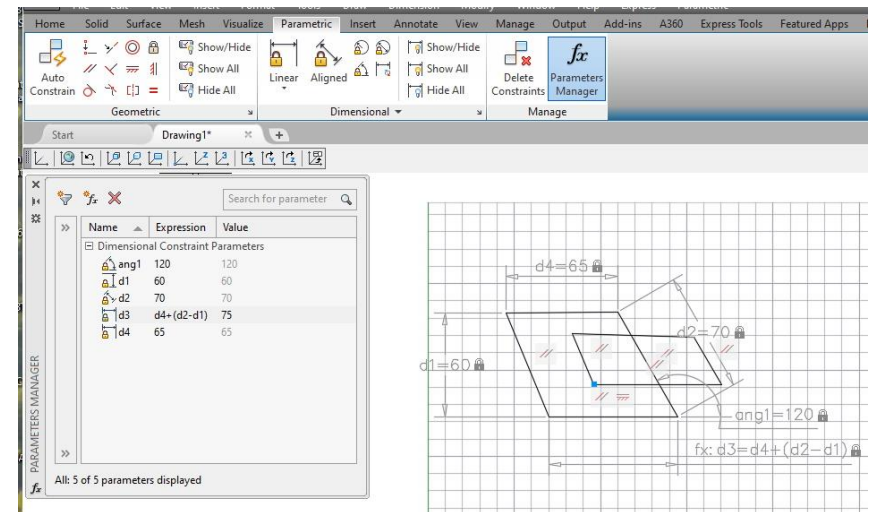
Пример создание параметрической модели эскиза средствами вариационной параметризации в различных САПР

Creo Parametric

Наличие символьного обозначения каждого размера позволяет задавать соотношения размеров с помощью математических формул.



AutoCAD последних версий



Геометрическая параметризация

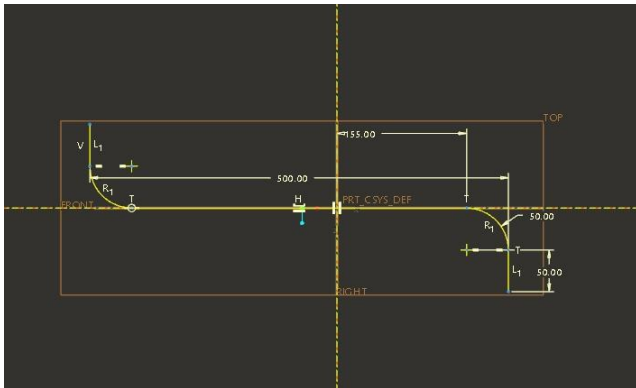
Геометрическая параметризация

основана на пересчете параметрической модели в зависимости от геометрических параметров родительских объектов.

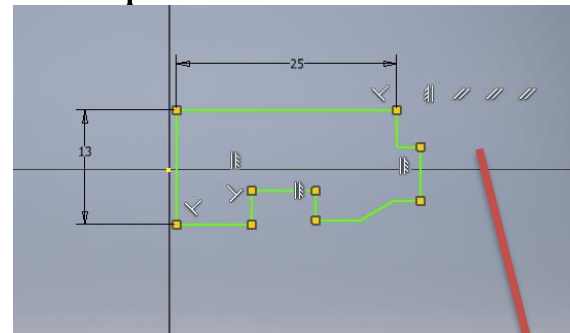
Геометрические параметры, влияющие на модель, построенную на основе геометрической параметризации

- ✓ Параллельность
- ✓ Перпендикулярность
- ✓ Касательность
- ✓ Концентричность окружностей
- ✓ И т.п.

В геометрической параметризации используются принципы *ассоциативной геометрии*



Параметрические (параметризованные) эскизы в САПР. На эскиз наносятся размерные соотношения и геометрические зависимости.



Изменение размера при сохранении геометрических зависимостей – искажение геометрии эскиза



Геометрическую и вариационную параметризацию можно отнести к мягкой параметризации

Почему?

мягкая параметризация — это метод построения геометрических моделей, в основе которого лежит принцип решения нелинейных уравнений, описывающих связи между геометрическими характеристиками объекта. Связи в свою очередь задаются формулами, как в случае *вариационных параметрических моделей*, или геометрическими соотношениями параметров, как в случае моделей, созданных на основе *геометрической параметризации*.

Метод построения геометрической модели с помощью вариационной и геометрической параметризации называют - *декларативным*

Табличная параметризация

Создание таблицы параметров типовых деталей.

Генерация нового типового объекта производится путем выбора из таблицы типоразмеров.

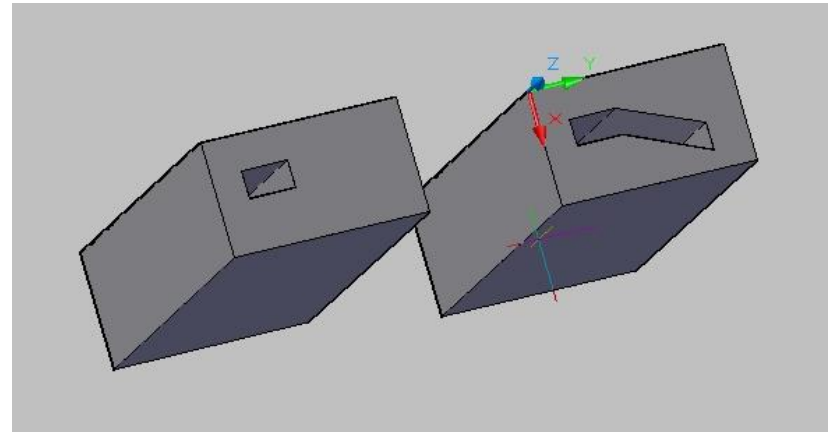
Пример таблицы типоразмеров, создаваемой в

Имя экземпляра	d16 ДЛИНА_БОЛТА	d17 ДИАМЕТР_БО...	F199 ШЕСТИГРАНН...	F248 ЗВЕЗДОЧКА	F372 [ФАСКА_1]	ПРИМЕЧАНИЕ	СТАНДАРТ
BOLT	15.0000	4.5000	Y	Y	Y	Шестигранник	БОЛТ5x15
BOLT_5_28	28.0000	5.0000	N	Y	N	Звездочка	БОЛТ5x28
BOLT_5_24	24.0000	5.0000	N	Y	N	Звездочка	БОЛТ5x24
BOLT_5_18	18.0000	5.0000	N	Y	N	Звездочка	БОЛТ5x18
BOLT_6_50	50.0000	6.0000	Y	N	Y	Шестигранник	БОЛТ6x50
BOLT_6_40	40.0000	6.0000	Y	N	Y	Шестигранник	БОЛТ6x40
BOLT_6_30	30.0000	6.0000	Y	N	Y	Шестигранник	БОЛТ6x30
BOLT_6_30_	30.0000	6.0000	Y	N	Y	Шестигранник	БОЛТ6x30
BOLT_4_15	15.0000	4.0000	Y	N	Y	Шестигранник	БОЛТ4x15
BOLT_5_50	50.0000	5.0000	Y	N	Y	Шестигранник	БОЛТ5x50

Понятие косвенного и прямого редактирования

- **Косвенное редактирование** предполагает наличие дерева построения для геометрической модели – редактирование происходит внутри дерева
- **Прямое редактирование** предполагает работу с границей твердого тела, т.е. с его оболочкой. Редактирование модели не на основе дерева построения, а в результате изменения составляющих оболочки твердого тела

Пример прямого редактирования модели



Методы создания геометрических моделей в современных САПР

- Методы для создания моделей на основе трехмерных или двухмерных заготовок (*базовых элементов формы*) –создание примитивов, булевы операции
- Создание объемного тела или поверхностной *модели по кинематическому принципу* –заметание, lofting, sweep и т.п. Часто используется принцип параметризации
- Изменение тел или поверхностей путем плавного *сопряжения, скругления, вытягивания*
- *Методы редактирования* границ – манипулирование составляющими объемных тел (вершинами, ребрами, гранями и т.п.). Используются для добавления, удаления, изменения элементов объемного тела или плоской фигуры.
- Методы для моделирования тела при помощи свободных форм. *Объектно-ориентированное моделирование.* Использование конструктивных элементов формы – *фичерсов* (features) (фаски, отверстия, скругления, пазы, выемки и т.п.) (пример, сделать такое-то отверстие в таком-то месте)

Геометрия, базирующаяся на конструктивно-технологических элементах (фичерсах) (объектно-ориентированное моделирование)

- **ФИЧЕРСЫ – одиночные или составные конструктивные геометрические объекты, содержащие информацию о своем составе и легко изменяемые в процессе проектирования (фаски, ребра и т.п.)**
- **ФИЧЕРСЫ помнят свое окружение независимо от внесенных в геометрическую модель изменений.**
- **ФИЧЕРСЫ – параметризованные объекты, привязанные к другим элементам геометрической модели.**

Ядра геометрического моделирования

Ядро геометрического моделирования (ГЯ) – совокупность программных средств построения трехмерных геометрических моделей, основанных на математических методах их построения. *ГЯ* – пакет геометрического моделирования, представляет собой набор библиотек с программным интерфейсом (API), с помощью которого можно пользоваться функциями геометрического моделирования

- *ACIS – Dassault System* – граничное представление
- *Parasolid – Unigraphics Solution* – граничное представление
- *Granite – используется в Pro/E и Creo Parametric* – поддерживает трехмерное параметрическое моделирование

Основные составляющие ядер геометрического моделирования

- Структура данных для моделирования:
конструктивное представление – модель
конструктивной геометрии или граничное
представление – В-рег модель.
- Математический аппарат.
- Средства визуализации.
- Набор интерфейсов – API (Application Programming Interface)

Задачи, решаемые САПР различного уровня

1. Решение задач базового уровня проектирования, параметризация или отсутствует, или реализована на низком самом простом уровне
2. Имеют достаточно сильную параметризацию, ориентированы на индивидуальную работу, невозможна совместная работа разных разработчиков над одним проектом одновременно.
3. Позволяют реализовать параллельную работу проектантов. Системы строятся по модульному принципу. Весь цикл работ производится без потери данных и параметрических связей. Основной принцип – сквозная параметризация. В таких системах допускается изменение модели изделия и самого изделия на любой стадии работ. Поддержка на любом уровне жизненного цикла изделия.
4. Решаются задачи создания моделей узкой области использования. Могут быть реализованы все возможные способы создания моделей

Классификация современных САПР

Параметры классификации

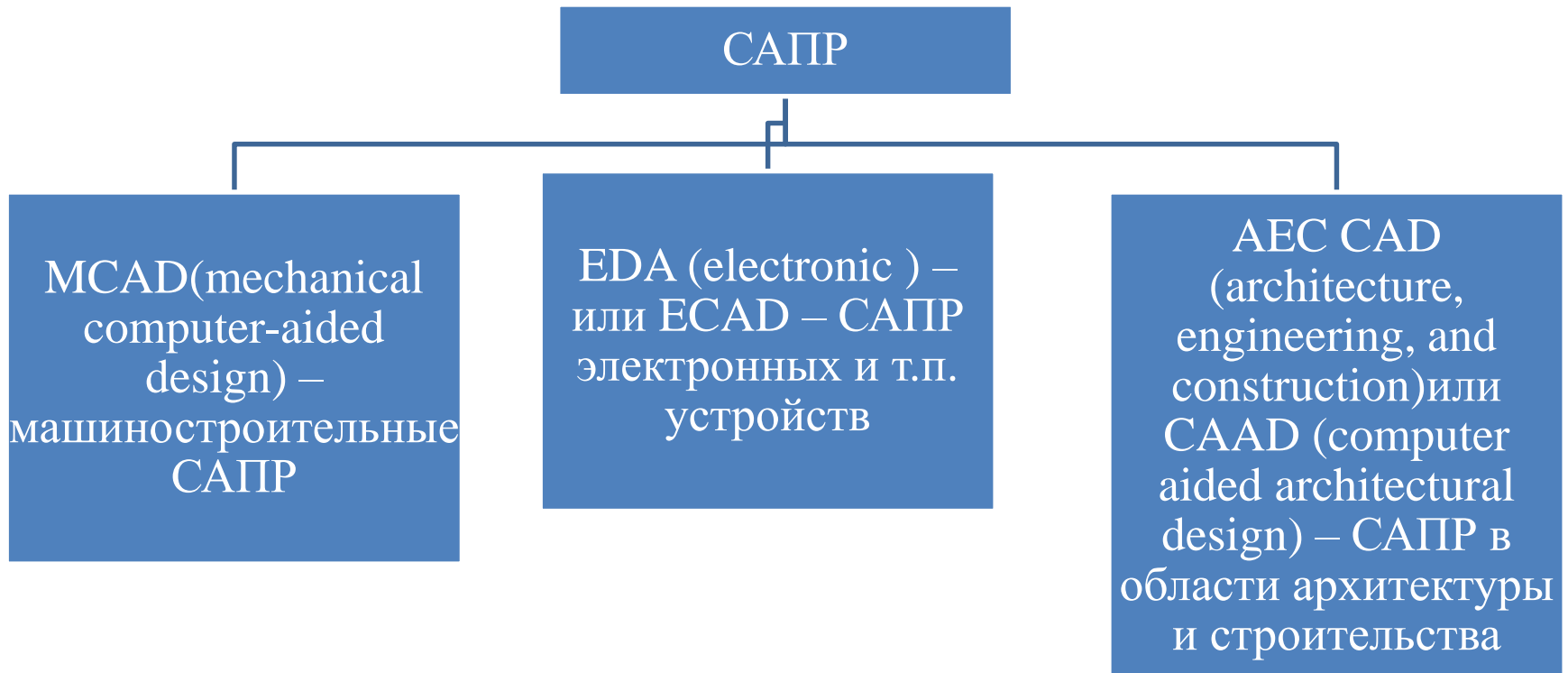
- степень параметризации
- Функциональная насыщенность
- Области применения (авиастроение, автомобилестроение, приборостроение), отраслевое назначение.



Примеры САПР различного уровня

- **Низкого уровня** – AutoCAD (до 2007 версии), Компас 2D
- **Среднего уровня** – Inventor (Autodesk), nanoCAD, AutoCAD (после 2007 версии), Solid Edge (Siemens), Solid Works (Dassault System), T-Flex – компания «Топ Системы», Компас 3D, nanoCAD
- **Высокого уровня** – Pro/E-Creo Parametric (PTC), CATIA (Dassault System), NX (Unigraphics – Siemens PLM Software)
- **Специализированные** – СПРУТ, Icem Surf (PTC)

Классификация САПР по отраслевому назначению



Основные концепции моделирования в настоящее время

1. *Flexible engineering (гибкое проектирование):*

- ✓ Параметризация
- ✓ Проектирование поверхностей любой сложности (фристайл поверхности)
- ✓ Наследование других проектов
- ✓ Целезависимое моделирование

2. *Поведенческое моделирование*

- ✓ Создание интеллектуальных моделей (smart модели) - создание моделей, адаптированных к среде разработки. В геометрическую модель м.б. включены интеллектуальные понятия, например, фичеры
- ✓ Включение в геометрическую модель требований к изготовлению изделия
- ✓ Создание открытой модели, позволяющей ее оптимизировать

3. *Использование идеологии концептуального моделирования при создании больших сборок и сложных деталей*

- ✓ Использование ассоциативных связей (набор параметров ассоциативной геометрии)
- ✓ Разделение параметров модели на различных этапах проектирования сборки
- ✓ Анализ альтернативных вариантов уже существующих конструкций

4. *Ассоциативное моделирование.*

- ✓ Параметрическое моделирование, обеспечивающее единую информационную взаимосвязь между геометрической моделью, программами для изготовления изделия на станках с ЧПУ, конструкторской документацией, базой данных проекта

5. *Модельно-ориентированное проектирование (MBD)*

- ✓ В данные об изделии непосредственно в 3D-модели, создавая единый, надежный источник достоверных данных для всех участников ЖЦИ