

# Параметрические модели

## Определения.

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

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

**Параметры геометрической модели** – например, координаты и размеры геометрических элементов модели

**Параметризация** позволяет за короткое время просмотреть различные результаты моделирования при изменении параметров и избежать принципиальных ошибок.

## Исторические этапы создания принципов параметризации

**Pro/Engineer (Parametric Technology Corporation)** – Семен Гейсберг – *табличная параметризация, иерархическая параметризация* (использование БЭФ – конструктивных элементов и дерева построения) -1989г.

Двумерное параметрическое моделирование – **T-FLEX CAD**

**В настоящее время все САПР поддерживают параметризацию в том или ином виде.**

# Примеры САПР, в которых реализовано трехмерное параметрическое моделирование

- **CATIA** – САПР тяжелого класса (*Dassault System*)
- **NX (Unigraphics)** – тяжелая САПР (*Siemens PLM Software*)
- **CREO Parametric (Pro/Engineer)** - САПР тяжелого класса (*PTC*)
- **Inventor** - САПР среднего класса (*Autodesk*)
- **Solid Edge** - САПР среднего класса (*Siemens PLM Software*)
- **Solid Works** - САПР среднего класса (*Dassault System*)
- **T-FLEX** - российская САПР среднего уровня , использует в большей степени геометрическую параметризацию (*Топ Системы*).
- **Компас** – российская САПР среднего уровня (*АСКОН*)
- **nanoCAD** - российская САПР среднего/низкого уровня (**Нанософт**)

# Типы параметризации

## Параметрические модели

Табличная параметризация

Иерархическая параметризация

Геометрическая параметризация

Вариационная параметризация

## Табличная параметризация

**Принцип:** Создание таблицы параметров типовых деталей.

Генерация нового типового объекта производится путем выбора из таблицы типоразмеров.

**Пример таблицы типоразмеров, создаваемой в CREO Parametric (Pro/E)**

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

**Недостаток:** задание новых значений параметров и геометрических отношений обычно **невозможно**

**Достоинство:** позволяет существенно сократить и ускорить создание библиотек стандартных элементов

# Табличная параметризация. Семейства элементов (Inventor)

Вид категории

метрическая

Количество: 31

Элемент	Элемент	Элемент	Элемент	Элемент	Элемент	Элемент	Элемент	Элемент	Элемент
L	T	Блок	Диск	Излом	Карман	Квадратная труба	Квадратная труба со скруглениями	Ключ квадратный	
Ключ круглый	Конус	Круг с двумя лысками	Круг с лыской	Круглая труба	П-образный профиль	Паз	Параллелограмм	Пирамида	
Прорезные	Прямоугольник	Прямоугольный треугольник	Равнобедренный треугольник	Сектор	Сектор дуговой	Сфера	Тор	Трапеция	
Усеченный конус	Усеченный тор	Цилиндр	Шестигранный						

П-образный профиль

Выбрать Семейство

Высота (mm): 12,7

Длина (mm): 38,1

Ширина (mm): 19,05

Ширина Канала (mm): 6,35

OK Отмена Применить

# Иерархическая параметризация

*Параметризация на основе истории построений* - одна из первых параметрических моделей. *История превращается в параметрическую модель, если с каждой операцией ассоциировать определенные параметры.* В ходе создания модели вся последовательность построения, например, порядок выполненных геометрических преобразований, отображается в виде *дерева построения*. Для использования *иерархической параметризации* необходимо иметь *конструктивные элементы (КЭ)*. КЭ напрямую связаны с изготовлением деталей (пришли из *САРР* – систем автоматизации технологической подготовки производства).

*Первая САПР, использующая КЭ и иерархическую параметризацию - Pro/Engineer*

*Parametric Future –Based Modeling – параметрическое моделирование на основе конструктивных элементов*

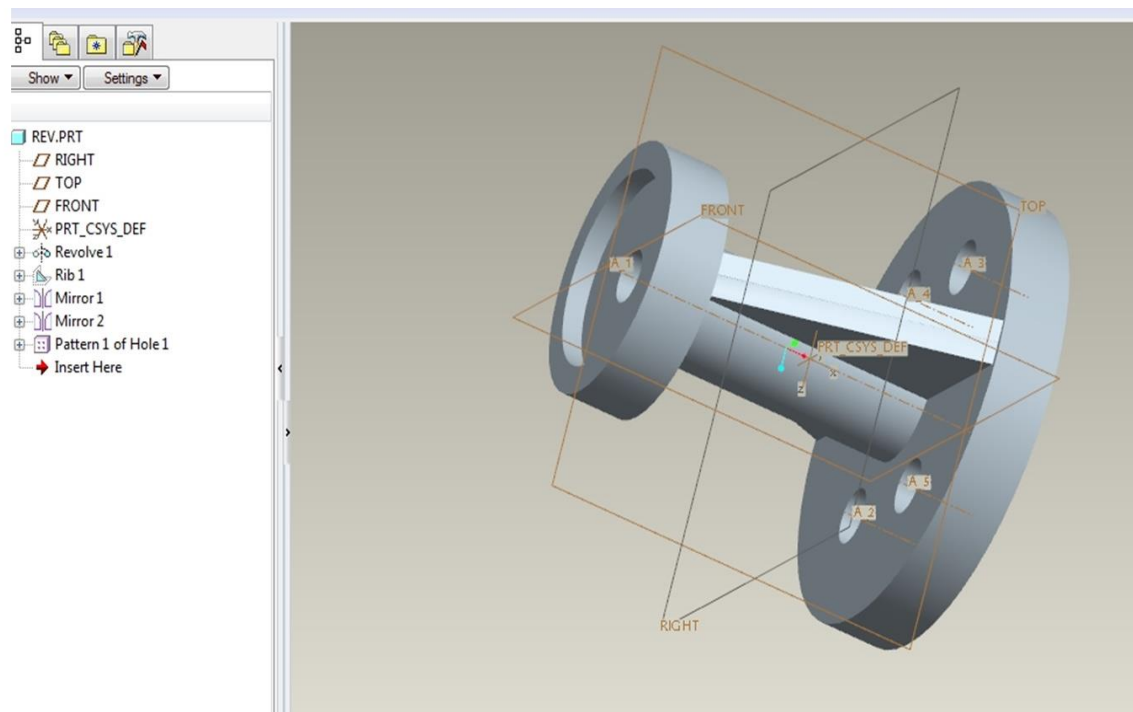
## *Особенности:*

- Внесение изменений на одном из этапов моделирования приводит к изменению всей модели и дерева построения.
- Положение объектов относительно ранее построенных задается во время его создания.
- Положение каждого геометрического объекта полностью управляется его параметрами.
- При редактировании объекта положение ранее построенных не меняется (Родитель-Потомок)
- Редактировать можно только каждый элемент отдельно. Иерархическая параметризация позволяет создавать полностью определенную модель.
- Реализация изменения параметров не является сложной, т.к. требуется только один проход по дереву построения

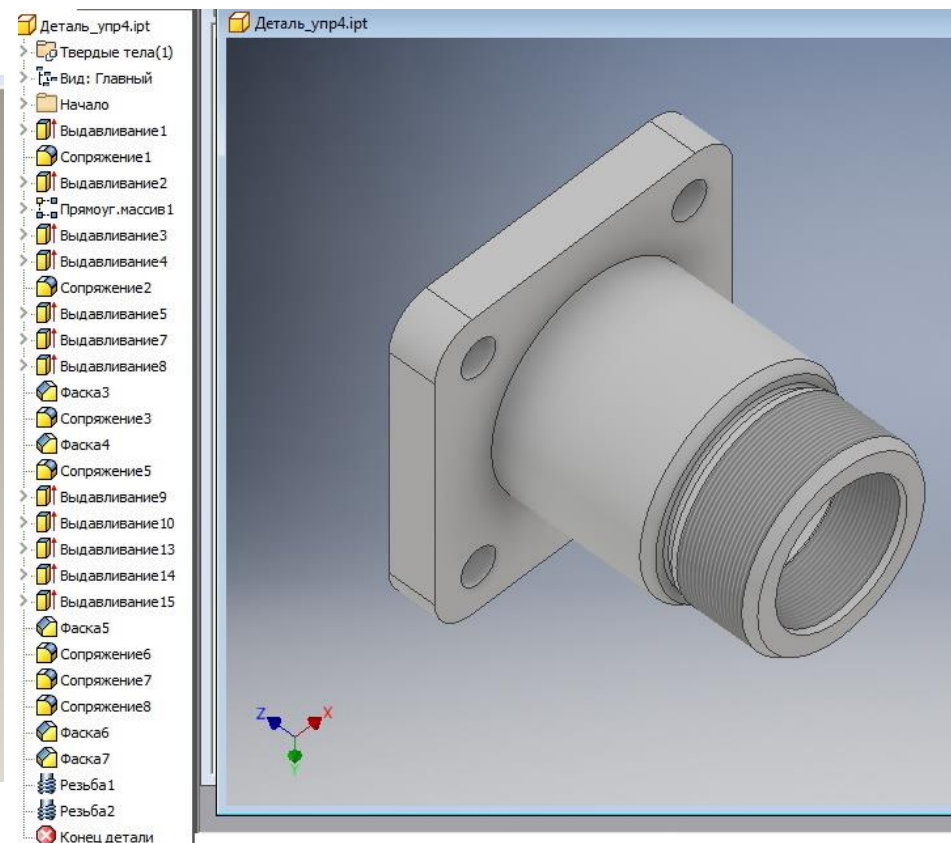


# Примеры дерева построения иерархической параметризации в различных САПР

## Creo Parametric (Pro/Engineer) PTC



## Inventor Autodesk



# Иерархическая параметризация

## Реализация процедурного подхода к моделированию

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

**Суть:** С каждым типом элементов связывается определенный набор методов для их создания (примеры: копирование, удаление, обновление). Все параметры, необходимые для построения элемента делятся на *зависимые и независимые*.

**Проблема:** Нельзя использовать *циклические* зависимости между элементами, т.к. изменение параметра может привести к невозможности построения модели

## Жесткая параметризация

- 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.

Тоже самое может возникнуть при изменении отдельных этапов дерева построения

# Недостатки иерархической параметризации

- ✓ Введение циклических зависимостей в модели приведет к отказу системы в создании такой модели (ранее зависимые элементы не могут зависеть от элементов, построенных позднее).
- ✓ 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



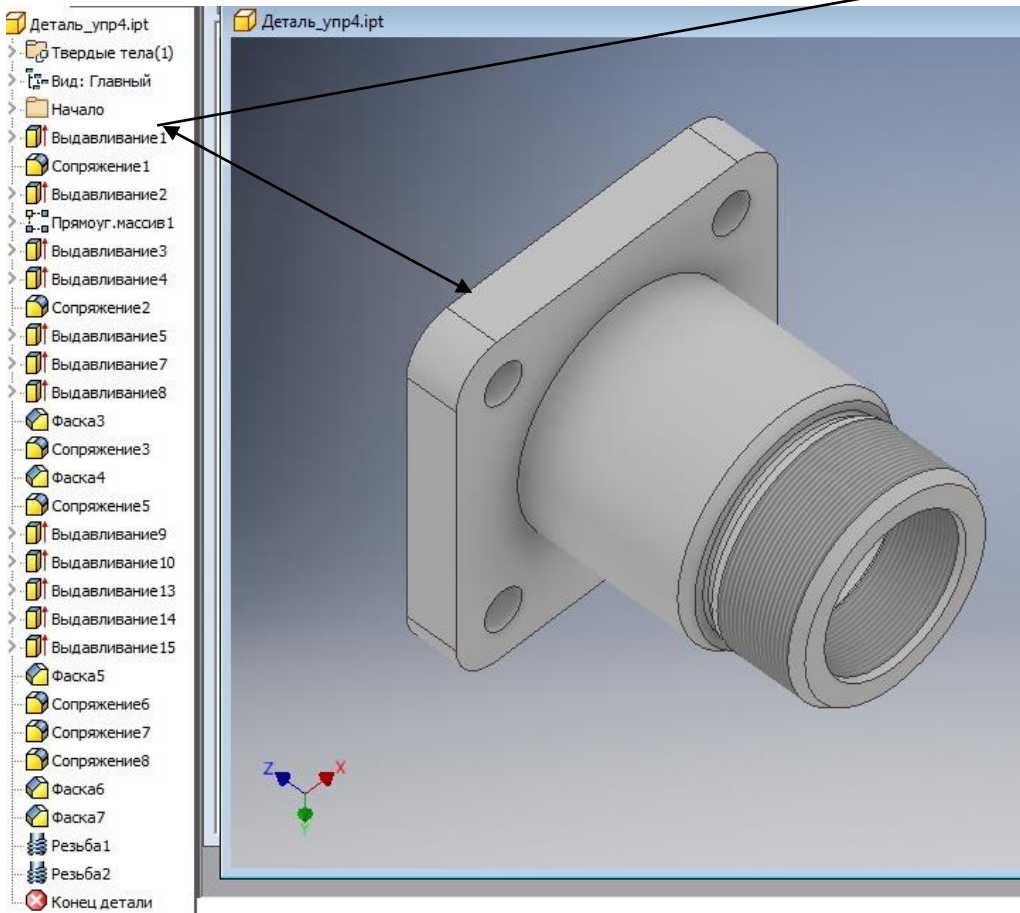
# Иерархическая параметризация

## *Отношение Родитель/Потомок*

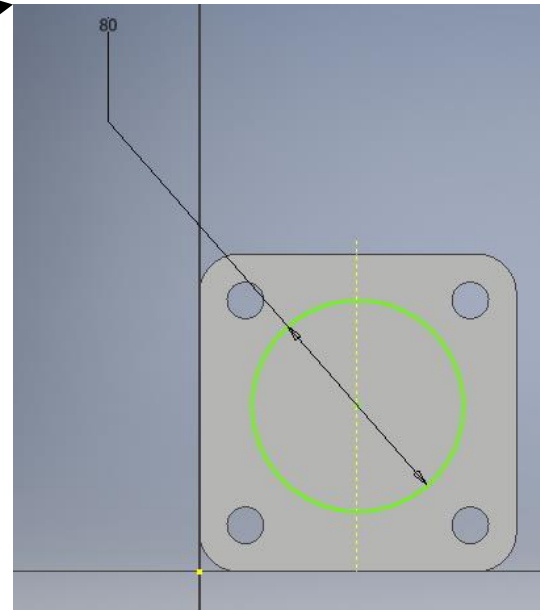
**Основной принцип иерархической параметризации:** фиксация всех этапов построения модели в дереве построения. Это и есть определение отношений *Родитель/Потомок*. При создании нового конструктивного элемента, все другие элементы, на которые ссылается создаваемый конструктивный элемент, становятся его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

# Иллюстрация отношений Родитель/Потомок (Inventor)

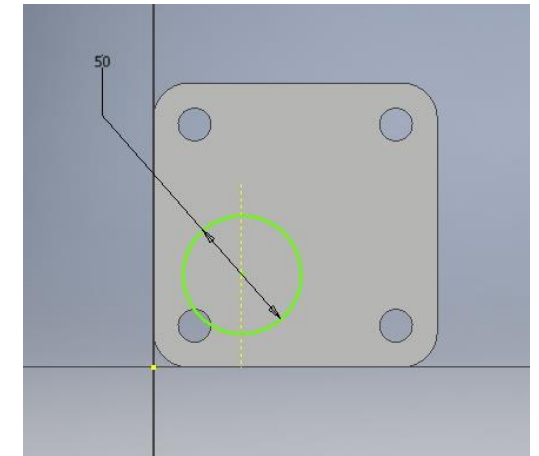
Исходная деталь



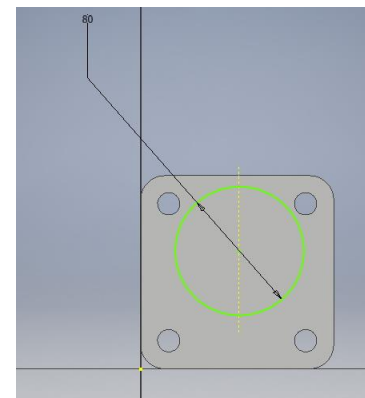
исходный эскиз



1-ое изменение  
ЭСКИЗА

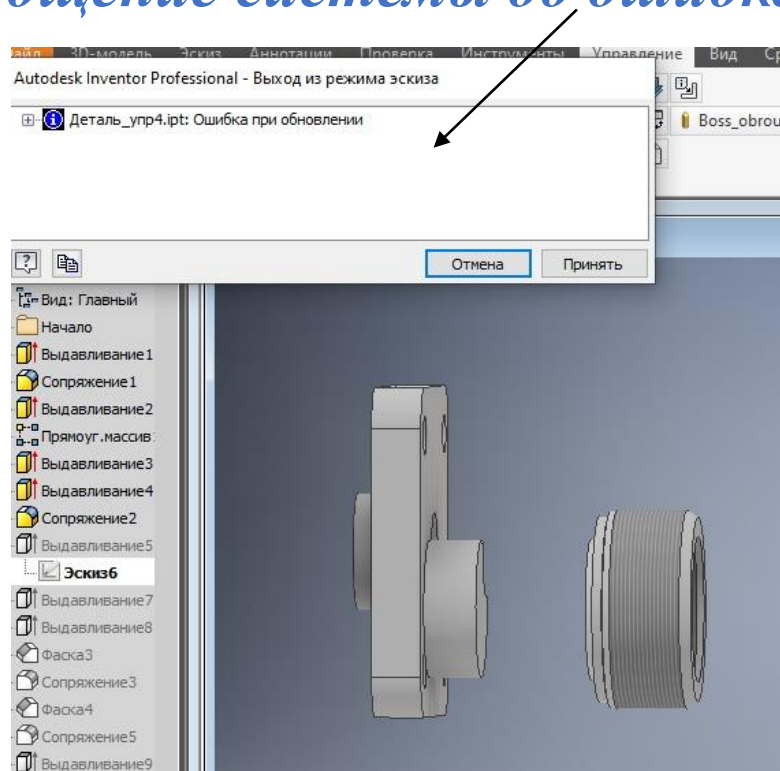


2-ое изменение  
ЭСКИЗА

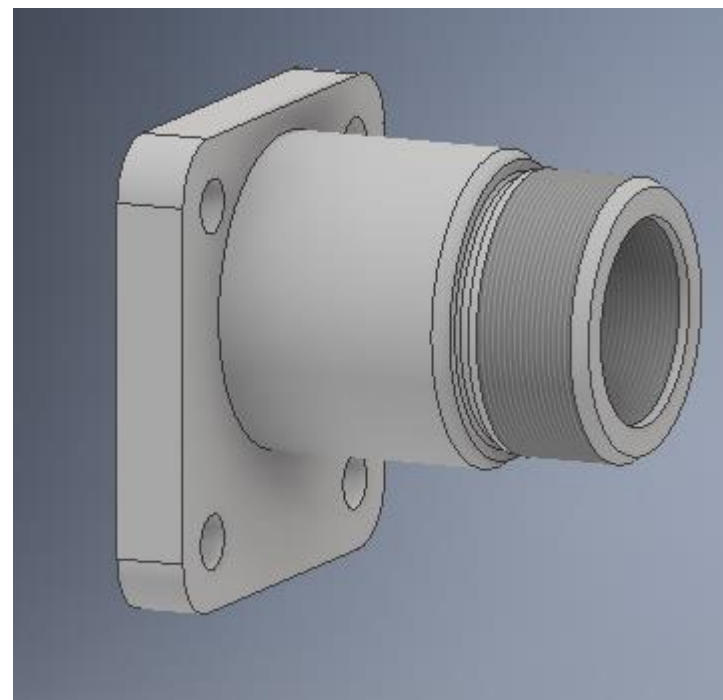


# Иллюстрация отношений Родитель/Потомок (продолжение)

1-ое изменение эскиза -  
Нарушение отношения Родитель/Потомок  
*Сообщение системы об ошибке.*



2-е изменение эскиза – нет  
нарушений. *Деталь перестроена.*



# *Геометрическая параметризация*

*Геометрическая модель (деталь, сборка) имеет свою структуру данных, которая включает в себя различные геометрические характеристики (координаты точек, уравнения прямых, кривых, поверхностей и т.п.) – все это можно назвать параметрами геометрической модели.*

*Возможные подходы к редактированию геометрической модели с учетом этих параметров:*

- 1. Изменение численных значений параметров одного геометрического элемента, входящего в геометрическую модель, не зависимо от другого.*
- 2. Использование геометрических зависимостей и ограничений - редактирование отдельных элементов геометрической модели происходит в связке друг с другом.*

*Для этого - Геометрическая и Вариационная параметризация*

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

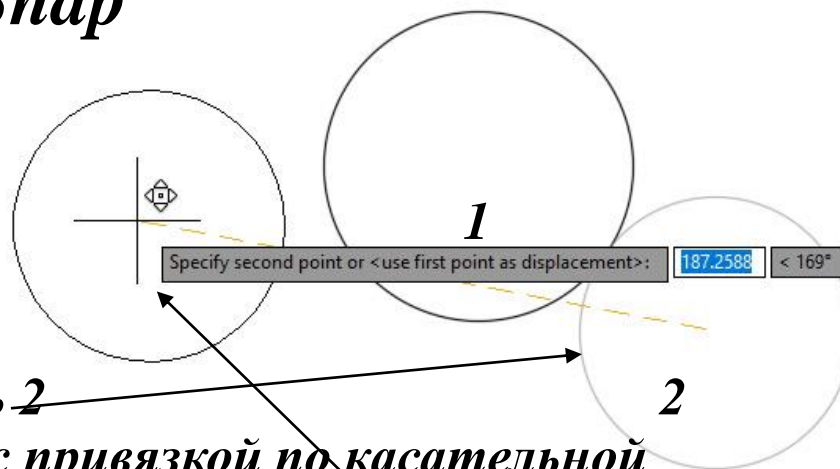
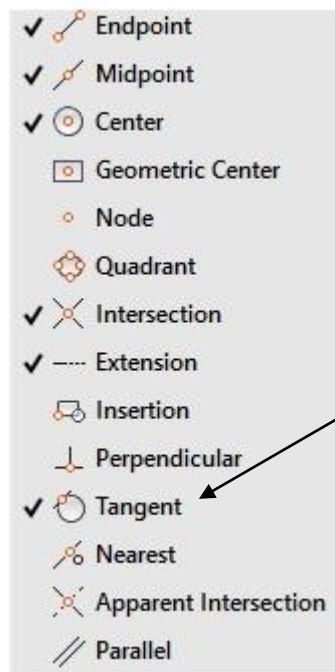
*Некоторые геометрические параметры, влияющие на модель, построенную на основе геометрической параметризации*

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

В геометрической параметризации используются принципы *ассоциативной геометрии*

# Прообраз геометрической параметризации на примере AutoCAD

## Объектные привязки – *Object Snap*



*окружность 2  
отрисована с привязкой по касательной  
к окружности 1*

*Проблема- потеря привязки после редактирования –  
перемещение окружности 2. Причина – недостаточно  
сильные геометрические ограничения*

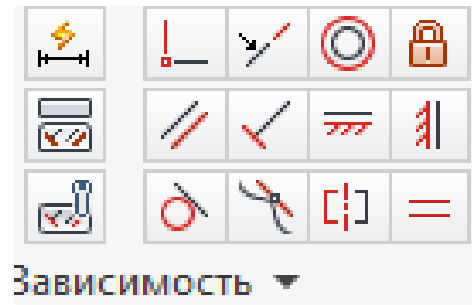
# Развитие геометрической параметризации - - размерные соотношения (constraint)

*Добавление геометрических зависимостей (ограничений) – усиление зависимости отдельных геометрических элементов геометрической модели друг от друга.*

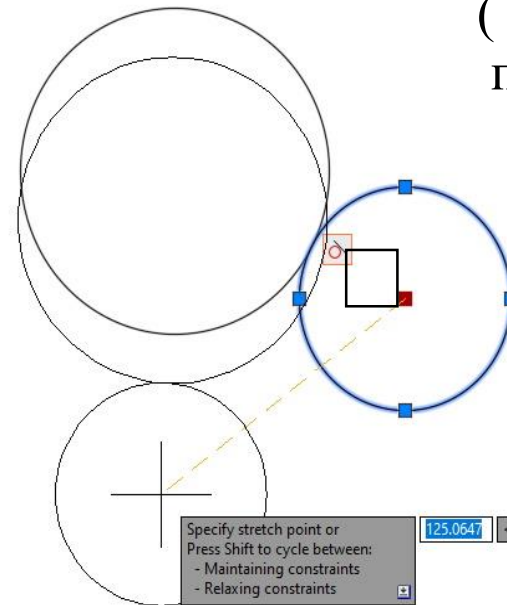
*Первый шаг на пути перехода к вариационной параметризации.*

*Пример – создание двумерных эскизов*

*Параметризация эскизов в AutoCAD*



*Пример:* Наложение геометрического зависимости (ограничения) – привязка по касательной

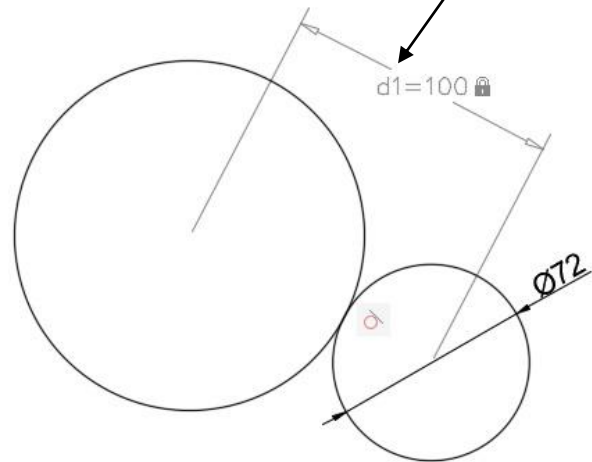
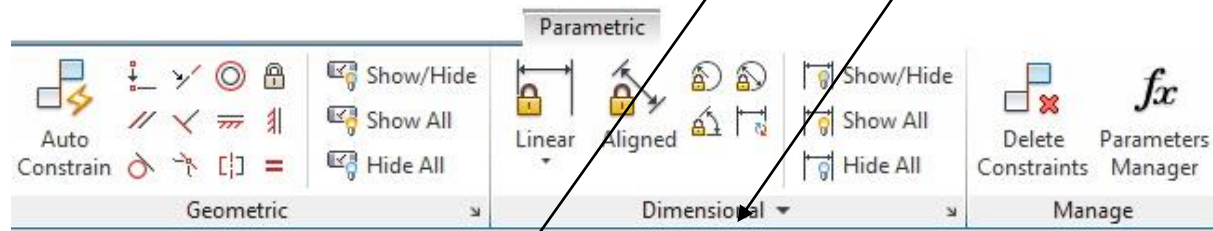


После редактирования (перемещение) привязка сохраняется и геометрические объекты перемещаются в соответствии с зависимостью

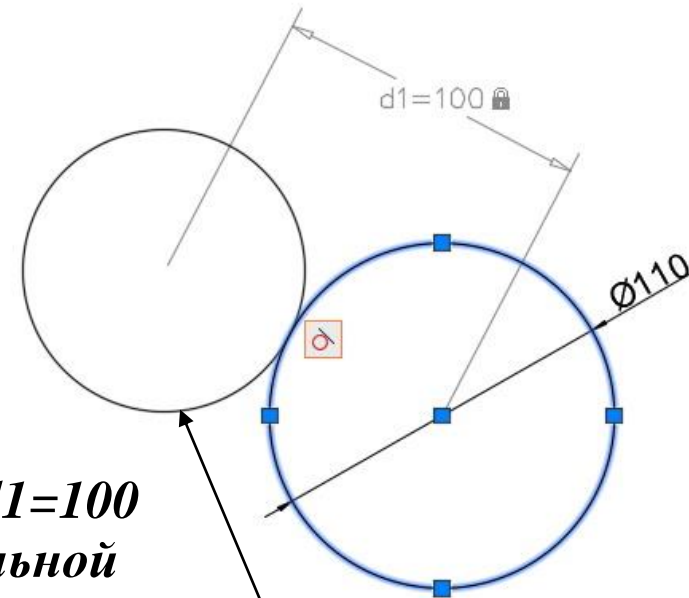


# Развитие геометрической параметризации - - размерные соотношения (constraint) (продолжение)

Следующий этап – *наложение размерных соотношений*



*Изменение диаметра  
окружности – 72 на 110 .  
при сохранении размера  $d1=100$   
и ограничения по касательной  
приводит к изменению диаметра левой окружности*

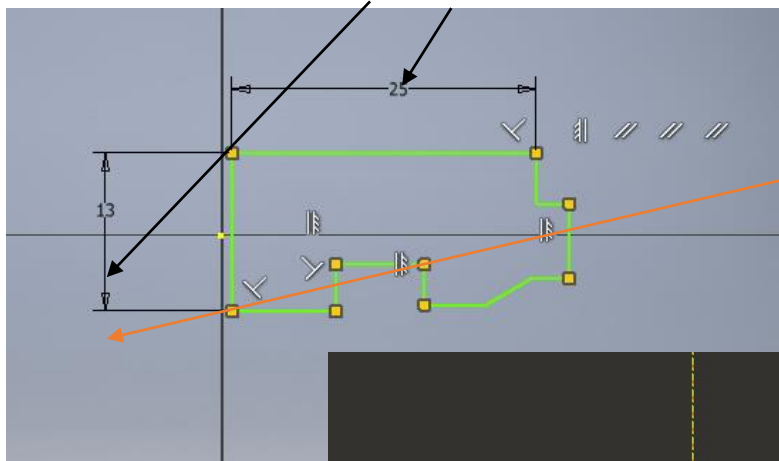


# Создания параметрических эскизов в САПР среднего и высокого уровня

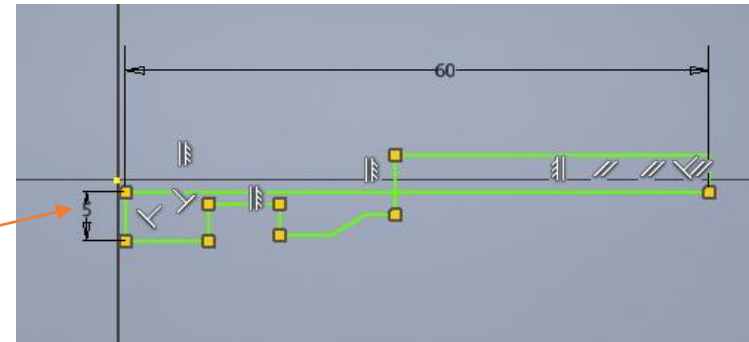
**Особенность:** При создании эскизов на него сразу накладываются и геометрические и размерные соотношения

*Пример влияния размерных и геометрических соотношений на редактируемую модель в САПР Inventor*

На чертеж нанесены геометрические зависимости и размерные соотношения

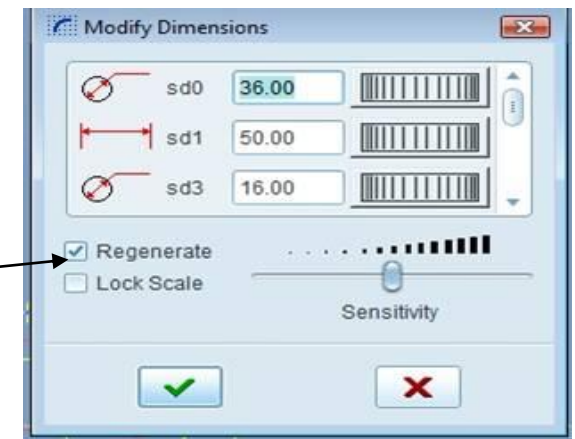
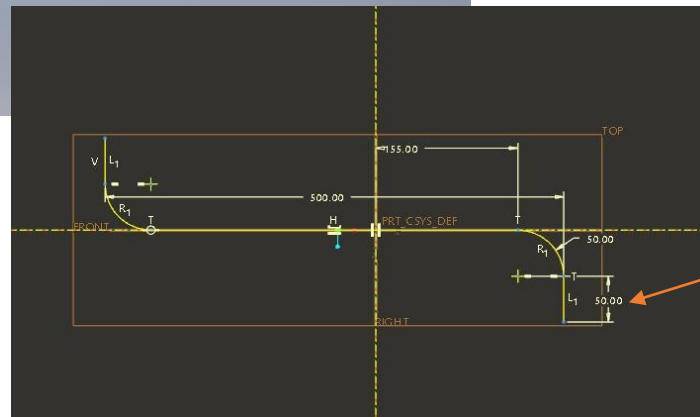


изменение размера при сохранении геометрических зависимостей – искажение геометрии эскиза



В САПР высокого уровня эта проблема решается за счет подавления регенерации эскиза.

Creo Parametric



# Вариационная параметризация

## (основные определения)

**Геометрические ограничения** – связывание параметров геометрических объектов геометрической модели логическими или параметрическими соотношениями.

**Геометрические объекты (элементы)** – точки, прямые, кривые второго порядка, параметрические кривые, плоскости аналитические и параметрические поверхности и т. п.

**Соотношения:** геометрические и размерные соотношения; уравнения и системы уравнений, связывающие между собой параметры, геометрических объектов.

Уравнения, связывающие параметры – **вариационные связи**

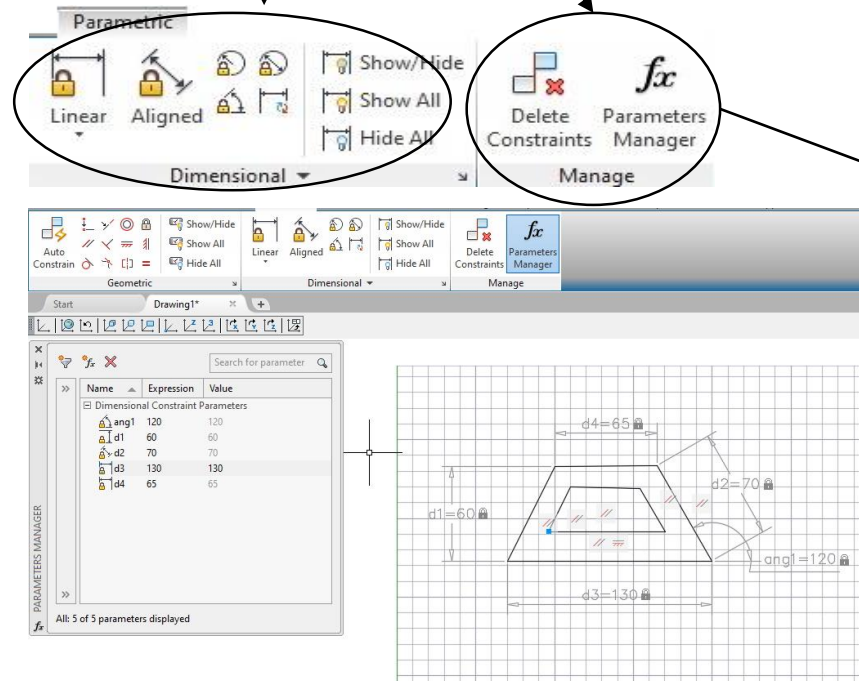
**Особенность геометрических ограничений (в вариационных и геометрических моделях)** – носят **декларативный характер** (не конструктивный). **Такие ограничения могут образовывать циклы** (в отличие от иерархической параметризации), для удовлетворения которых нужно изменять все связанные соотношениями элементы.

**Параметрическая модель с геометрическими ограничениями и вариационными связями называется вариационной моделью.**

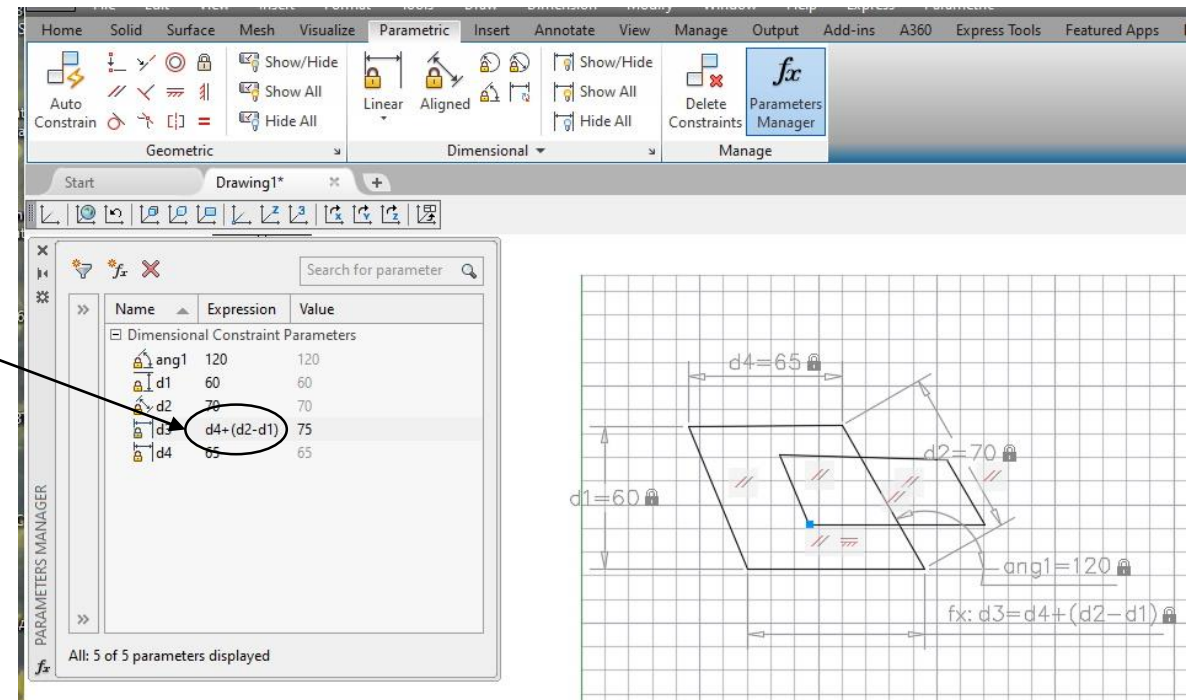
**Параметризация, использующая геометрические ограничения и вариационные связи называется вариационной параметризацией.**

# Пример добавления геометрических ограничений и вариационных связей в САПР AutoCAD

Диалог работы с геометрическими ограничениями и добавление вариационных связей



Добавление вариационных связей – изменение геометрии эскиза



# Основные особенности вариационной параметризации

- Параметры не являются определяющими в вариационной модели, главная роль у связывающих их ограничений.
- Относительное положение группы геометрических объектов можно задать или поменять в любой момент времени с помощью ограничений
- История построения не влияет на результат.
- Допускаются циклические связи между геометрическими объектами.
- Возможно динамическое перемещение геометрических объектов при условии выполнения всех вариационных связей
- Для изменения параметров всей модели требуется решение системы уравнений.

***Суть! – Одновременное удовлетворение всех ограничений, а не одного за другим в соответствии с историей построения.***

# Геометрическую и вариационную параметризацию можно отнести к мягкой параметризации

*Почему?*

*мягкая параметризация* — это метод построения геометрических моделей, в основе которого лежит принцип решения системы в общем случае, нелинейных уравнений, описывающих связи между геометрическими параметрами 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*



# Возможные типы ограничений, определяющие вариационные связи

## Топология В-гер модели

Инцидентность поверхностей и плоскостей (граней), кривых и отрезков прямых (ребер), точек (вершин).

## Геометрия В-гер модели

Инцидентность, параллельность, перпендикулярность прямых, плоскостей; соосность и/или концентричность поверхностей вращения (поверхности 2-ого порядка), касание, симметрия.

## Для твердых тел (конструктивные элементы)

Параллельность осей, соосность и/или концентричность БЭФ (например, цилиндров, сфер, конусов и торов)

## С точки зрения пользователя

Определение любых геометрических ограничений (в том числе, фиксация координат и размеров)

# Типы Вариационных связей

Фиксирующие связи:  
значение координат,  
фиксация координат  
точки

Размерные связи:  
линейные размеры в  
плоскости и по  
направлению, угловые  
размеры

Системы  
алгебраических  
уравнений или  
неравенств

Связи положения  
геометрических  
объектов: равенство  
координат, симметрия  
точек; касание,  
сопряжение кривых в  
плоскости; положение  
точки на кривой  
/поверхности/плоскости;  
Ортогональность  
плоскостей/векторов;  
Параллельность  
плоскостей /векторов

# Примеры математического описания вариационных связей

1. **Фиксация (закрепление) точки.**  
Система уравнений:

$$\begin{cases} x=x_0 \\ y=y_0 \\ z=z_0 \end{cases}$$

2. **Фиксация линейного размера.** Например, необходимо сделать константой расстояние между двумя точками  $p_2$  и  $p_1$ .  $|p_2 - p_1| = \text{const}$

$$\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} = \text{const}$$

3. **Фиксированный размер по одной координате:**

$$\begin{cases} x_2 - x_1 = a \\ y_2 - y_1 = b \\ z_2 - z_1 = c \end{cases}$$

4. **Совмещение двух точек - равенство координат**

$$p_2 = p_1 \quad \begin{cases} x_2 - x_1 = 0 \\ y_2 - y_1 = 0 \\ z_2 - z_1 = 0 \end{cases}$$

5. **Ортогональность** (перпендикулярность) векторов.  
Скалярное произведение = 0

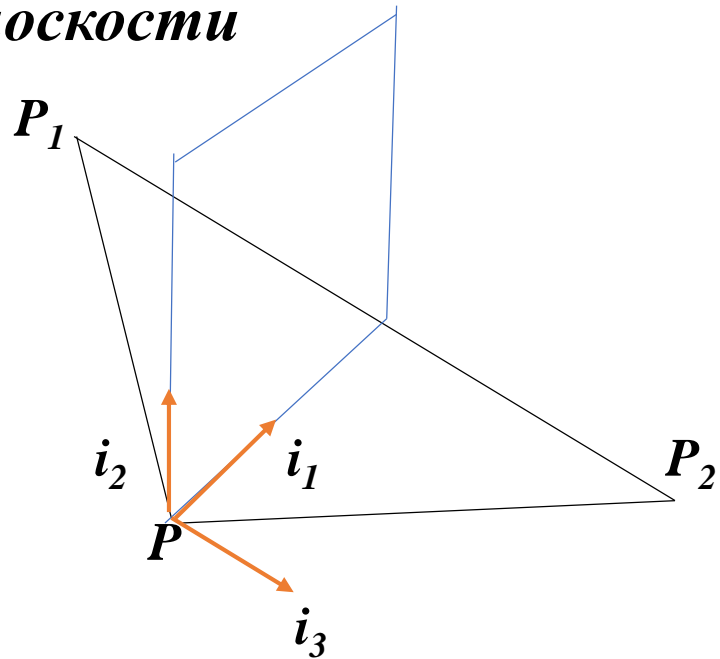
$$(p_1 - p_2) \bullet (p_3 - p_4) = 0$$

6. **Параллельность** векторов.  
Векторное произведение равно нулю.

$$(p_1 - p_2) \times (p_3 - p_4) = 0$$

# Примеры математического описания вариационных связей

7. Симметрия точек относительно плоскости

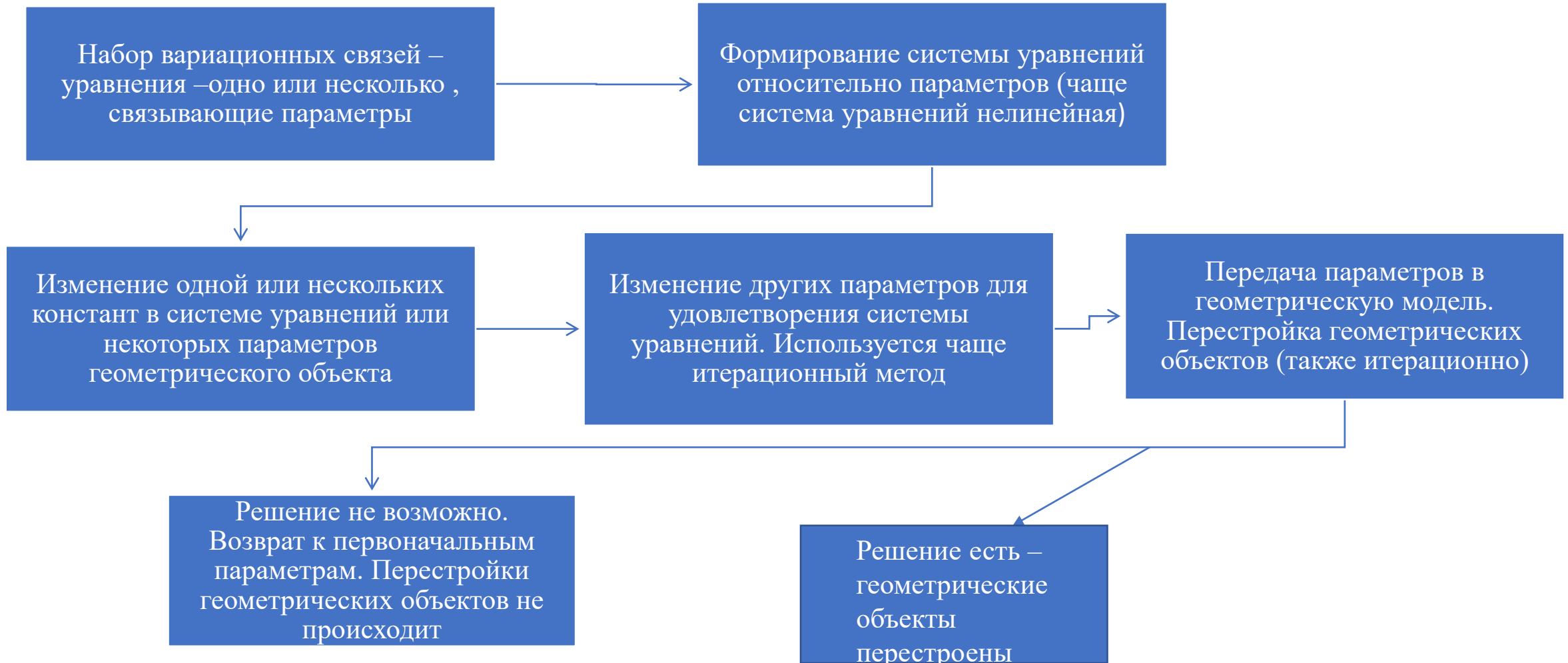


8. Угол между векторами – фиксация углового размера через соотношение длин, ограничивающих его отрезков

*В рассмотренных примерах вариационные связи наложены на параметры, существующие в структурах данных геометрических объектов.*

$$\begin{cases} (P_1 - P) i_1 = (P_2 - P) i_1 \\ (P_1 - P) i_2 = (P_2 - P) i_2 \\ (P_1 - P) i_3 = (P_2 - P) i_3 \end{cases}$$

# Управление геометрическими объектами с помощью вариационных связей



# Вариационный геометрический решатель

**Вариационный геометрический решатель (ВГР) (Geometric Constraint Solver)** – решатель системы геометрических ограничений (систем нелинейных уравнений) – программный модуль, встраиваемый в САПР. Совместно с моделлером САПР позволяет решить задачу позиционирования геометрических объектов друг по отношению к другу.

**Двумерный ВГР** - создание параметрических эскизов

**Трёхмерный ВГР** – создание 3D деталей и сборок деталей





# Вариационный геометрический решатель

## Функции ВГР

1. Наложения минимального набора ограничений, позволяющих решить систему линейных или нелинейных уравнений.
2. Решение задачи размещения геометрических объектов в соответствии с заданными ограничениями.
3. Выделение из решаемой задачи хорошо определенных, избыточно определенных и недоопределенных частей.
4. Выполнять задачу динамического изменения геометрии.

## Примеры ВГР

-Некоторые САПР имеют свои собственные **ВГР** (*CATIA*, *T-FLEX*)

-**DCM**(*Dimensional Constraint Manager*) - **ВГР**, разработанный компанией D-Cubed ( дочерняя компания *Siemens PLM Software*). Этот **ВГР** может быть встроен в любое геометрическое ядро параметрического моделирования (используется, например, в *AutoCAD*, *SolidWorks*)

-**LGS** (*LEDAS Geometric Solver*) – производство компании ЛЕДАС.

-Параметрическое ядро **C3D Solver** (*C3D Labs*) – используется в *Компас 3D*

# Подходы к решению системы нелинейных уравнений, используемые в ВГР

Главная задача – *упростить систему нелинейных уравнений, чтобы ускорить процесс получения результата.*

- *Аналитический подход* . Используется для двумерных моделей и простейших случаях в трехмерном моделировании. Метод простой подстановки значений переменных (если есть линейные уравнения).
- *Численный подход (алгебраический)* решение системы уравнений численными итерационными методами. Основной недостаток – большое время вычислений (напрямую зависит от размера системы уравнений).
- *Конструктивный (декомпозиционный) подход*. Основан на использовании теории графов. Основная идея – уменьшение размера исходной системы уравнений.

# Алгебраический подход к решению системы нелинейных уравнений в ВГР

**Метод Ньютона –Рафсона** - итерационный метод решения системы нелинейных уравнений. Основан на линейной аппроксимации гладкой функции в окрестностях текущей точки. На каждом шаге решается линейное уравнение. Другое название – метод касательных. Является частным случаем *метода простых итераций*.

**Достоинство** – быстро сходится в окрестностях решения.

## Недостатки:

1. Если начальное приближение далеко от решения, то для получения результата может потребоваться много итераций, причем, желаемый результат может быть не достигнут.
2. Время решения зависит от размера входных данных - выполнение на каждой итерации имеет кубическую сложность (кубически зависит от размера системы уравнений)!

**Устранение недостатков** – совместное использование с более простыми методами:

## *Метод координатного спуска и градиентный метод*

Оба эти метода являются методом последовательного приближения к решению

**Суть:** при решении происходит минимизация некоторой функции, связывающей уравнения системы уравнений. Функция:

$$\sum_{i=1}^n |f_i(x_1, \dots, x_n)|^2 \longrightarrow \min.$$

В двух алгоритмах по разному происходит приращение *с помощью линейной функции* переменной  $x_i$ :

*Градиентный метод* - в направлении градиента (вектор в направлении наибольшего возрастания)

*Координатный спуск* - линейное приращение

# Конструктивный (декомпозиционный) подход к решению системы нелинейных уравнений в ВГР

**Основная идея:** Разбиение сложной задачи на более простые – декомпозиция.

**Алгоритмические основы:** использование теории графов

**Достоинство:** уменьшение размерности системы уравнений

**Особенность:** использование для строго определенного набора геометрических объектов и вариационных связей

## Используемые графы

1. *Двудольный граф* – граф уравнений - *Декомпозиция Далмеджа – Мендельсона*

2. *Граф ограничений*

- *Метод рекурсивного деления (решение задачи «сверху-вниз»)*
- *Кластерный метод (метод рекурсивной сборки - решение задачи «снизу-вверх»)*

# Декомпозиция Далмеджа - Мендельсона

**Основная идея алгоритма** – использование *двудольного графа уравнений*: одна часть вершин – переменные, другая – уравнения. Если переменная входит в уравнение, то соответствующие вершины связаны ребрами.

## **Понятия:**

**Паросочетание** – такое подмножество ребер, что никакие ребра из этого подмножества не имеют общей вершины

Вершина находится в *паросочетании*, если она инцидентна одному из ребер

**Паросочетание** называется *максимальным* если не содержится ни в каком другом (нельзя к множеству добавить ни одного ребра)

**Можно упростить систему уравнений, т.е. не решать ее всю в следующих случаях:**

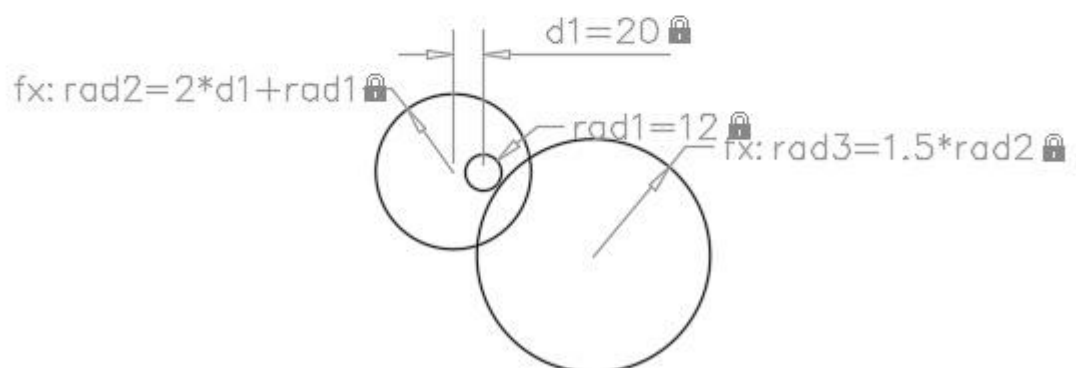
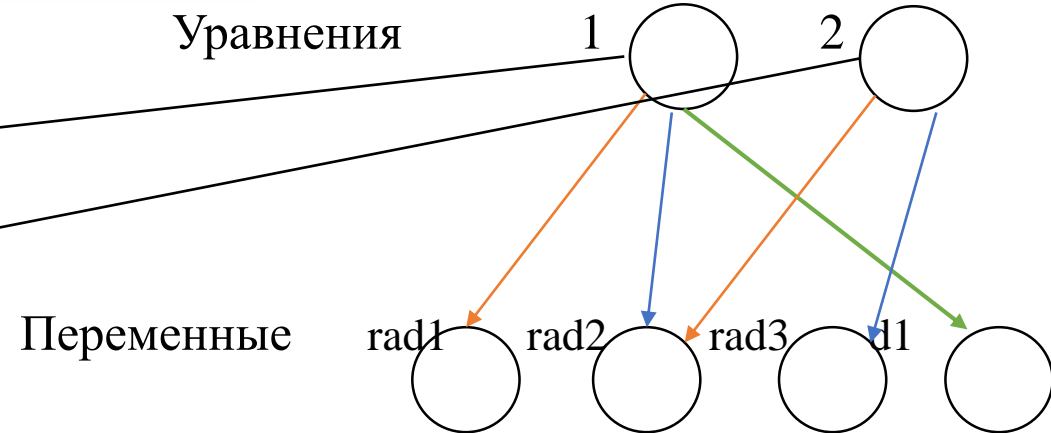
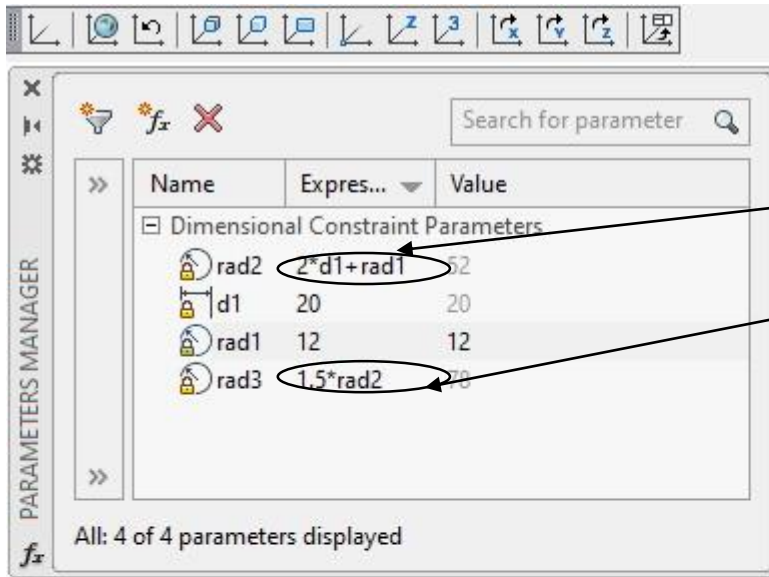
1. Все уравнения, не входящие в максимальное паросочетание являются алгебраически лишние (не нужно рассматривать).
2. Переменные, не входящие в максимальное паросочетание также являются лишними – их рассматривать не нужно.

**При решении уравнений РАССМАТРИВАТЬ только уравнения и переменные, входящие в максимальное паросочетание**

# Пример двудольного графа для системы уравнений

Геометрические ограничения и вариационные связи

Двудольный граф



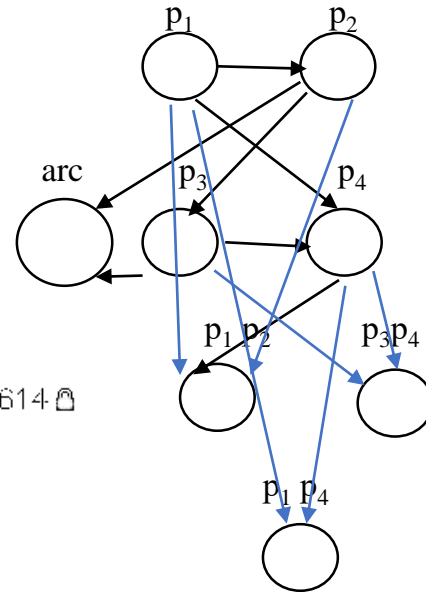
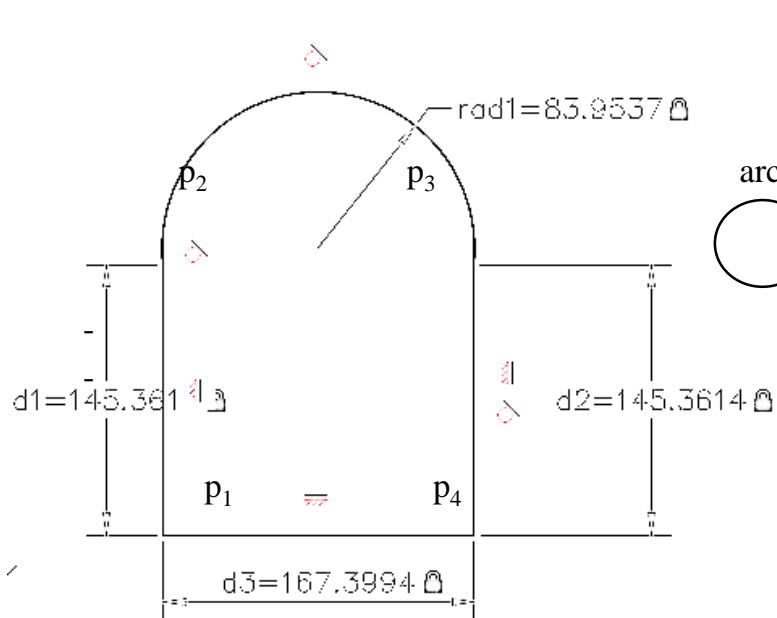
**Суть:** Нужно найти максимальное паросочетание и именно с ним работать при решении уравнений



# Использование Графа Ограничений

## Граф ограничений

- *узлы графа* – геометрические объекты
- *ребра графа* – уравнение связей, геометрические зависимости



## Метод рекурсивного деления

**Основное понятие** – понятие связности графа. – между двумя вершинами есть путь (соединены)

**Несвязный граф** можно разбить на некоторое количество связных графов и рассматривать их по-отдельности.

**Точка сочленения графа** – если ее удалить, то граф становится **несвязным**.

Если нет точки сочленения – то граф **двусвязный**. **Максимальный двусвязный граф** (получен после разбиения связного графа) – **компонента двойной связности**.

Все сводится к поиску компонент двойной связности. Решение по-отдельности. Совмещение геометрических объектов в соответствии точкой сочленения связного графа

# Использование Графа Ограничений (продолжение)

## Метод рекурсивной сборки – кластерный метод

**Выделение в геометрической задаче хорошо определенного геометрического объекта (ГО)** (например, отрезок определенной длины, окружность определенного радиуса).

Разделение графа ограничений на кластеры. **Кластер** – не имеет внутренних степеней свободы – *жесткое целое*.

**1-ый этап:** решение в соответствии с вариационными связями (размещение ГО) внутри одного кластера. Возможные операции – Слияние кластеров, добавление ГО в кластер.

**2-ой этап:** стыковка кластеров в соответствии с анализом степеней свободы.

**Степень свободы ГО** – минимально возможное число параметров, задающее однозначное положение ГО в пространстве или на плоскости. (точка на плоскости задается двумя координатами – 2 степени свободы)

**Степень свободы вариационного, геометрического или размерного ограничения** – число степеней свободы, которое удаляет ограничение из решаемой задачи. (расстояния между точками равно 0 – удалена одна степень свободы для отрезка; удалены две степени свободы для точек, ограничивающих отрезок).

**Данный подход может использоваться, если набор ГО и вариационные связи строго определены!**

# Сборка и особенности ее создания

## Определение:

**Сборка** – трехмерная модель, объединяющая модели деталей, под сборки и стандартные элементы (компоненты сборки). При выполнении компоновки в сборке ее составляющих используются параметрические зависимости, определяющие расположение их друг по отношению к другу.

## *Для чего нужна сборка?*

1. Позволяет не создавать физический прототип (устранение неточностей до изготовлений)
2. Есть возможность выполнять с моделью все, что можно сделать с реальным изделием (например, расчет инженерных характеристик)
3. Точная проверка сопряжений и взаимных пересечений деталей в сборке. Оптимизация конструкции изделия и технологии сборки
4. Реализация технологии разнесения компонентов – может использоваться в Дополненной Реальности

# Подходы к созданию сборок

1. Разработка *интегрированного проекта* – создание сборки по принципу - «*Снизу вверх*». Наиболее традиционный.

*Суть*: Каждый компонент (деталь или подсборка) создается отдельно, после этого разрабатывается сборка.

*Готовые компоненты добавляются в сборку с последующей установкой их взаимного расположения.*

*Недостаток*: Могут возникнуть проблемы при редактировании. Не позволяет глобально решить проблему связанную с предварительной информацией о топологии изделия в целом

2. *Нисходящее проектирование* - создание сборки по принципу - «*Сверху вниз*».

*Суть*: Сначала происходит компоновка верхнего уровня. Затем компоновка узлов (подборок), только потом создание деталей. Детали располагаются в компоновке узлов. Узлы в компоновке сборки.

Для такого подхода используется компоновочный эскиз – в нем хранится информация о расположении компонентов в сборке.

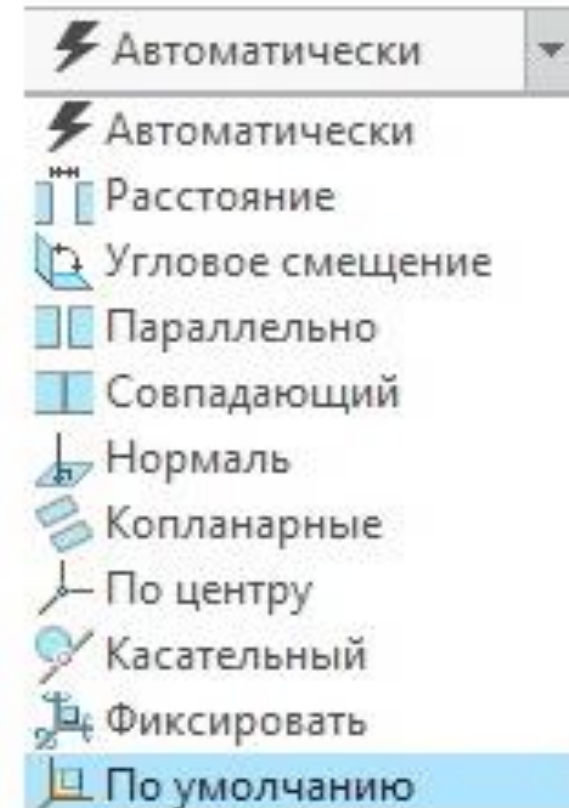
*Достоинство*: Отсутствие циклических связей - нет проблем с редактированием. Возможность параллельной работы.

3. *Смешанный подход*: начало – использование первого подхода, затем доработка с использованием второго подхода

# Создание сопряжений в сборке (параметрические связи)

- *Сопряжения в сборке* – это параметрические связи и ограничения, наложенные на геометрические элементы модели изделия
- В сопряжении могут участвовать все топологические объекты твердотельной модели
- На компонент, который уже участвует в одном или нескольких сопряжениях, можно наложить только такое сопряжение, которое *не будет противоречить* наложенным ранее ограничениям
- *Необходима фиксация хотя бы одного элемента!* (обычно первый добавленный)

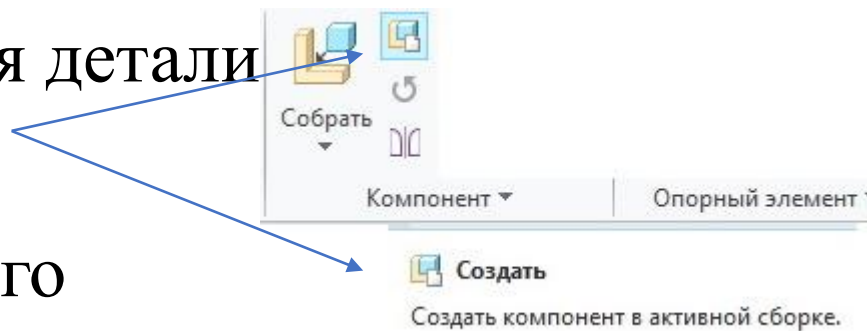
## Типы сопряжений в Creo Parametric





# Пример создания детали в режиме сборки (основные этапы)

1. Вызов опции – создания детали



2. Выбор типа создаваемого элемента

The 'Создать компонент' (Create Component) dialog box is shown. It has two columns of radio button options: 'Тип' (Type) and 'Подтип' (Subtype). Under 'Тип', the options are:  Деталь (Part),  Подсборка (Subassembly),  Каркасная модель (Frame model),  Множественный элемент (Multiple element), and  Оболочка (Shell). Under 'Подтип', the options are:  Твердое тело (Solid body),  Листовая деталь (Sheet part), and  Пересечение (Intersection). Below the options, there are two text input fields: 'Наименование файла:' (File name) with the value 'PRT0001' and 'Общее наименование:' (General name). At the bottom, there are 'OK' and 'Отмена' (Cancel) buttons.

The 'Опции создания' (Creation Options) dialog box is shown. It has a 'Метод создания' (Creation method) section with radio button options:  Копировать из существующ. (Copy from existing),  Разместить опорные элементы (Place reference elements),  Пустой (Empty), and  Создать констр. элементы (Create construction elements). Below this is a 'Копировать из' (Copy from) section with a text input field containing 'inlbs\_part\_solid prt' and an 'Обзор...' (Browse...) button. At the bottom, there are 'OK' and 'Отмена' (Cancel) buttons.



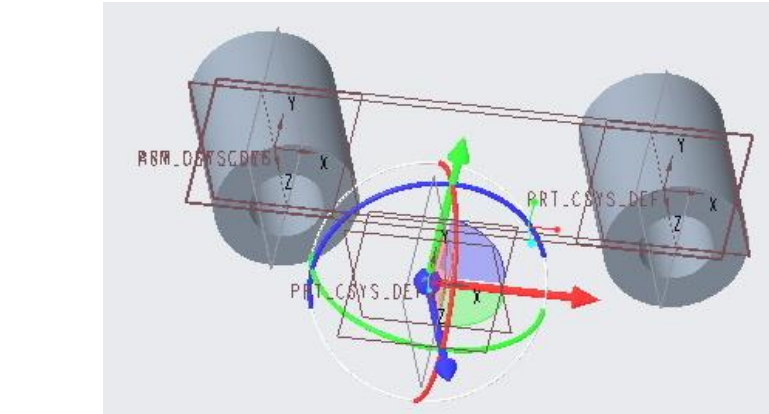
# Пример создания детали в режиме сборки (основные этапы)

3. Фиксация детали «по шаблону»

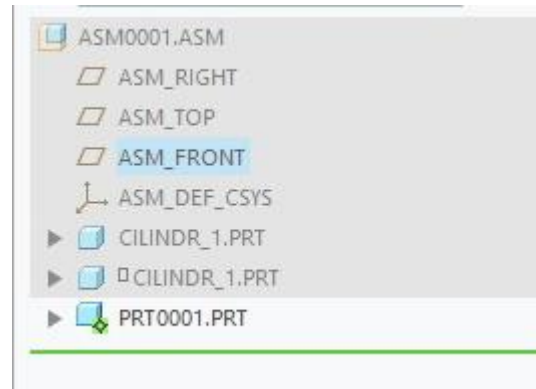
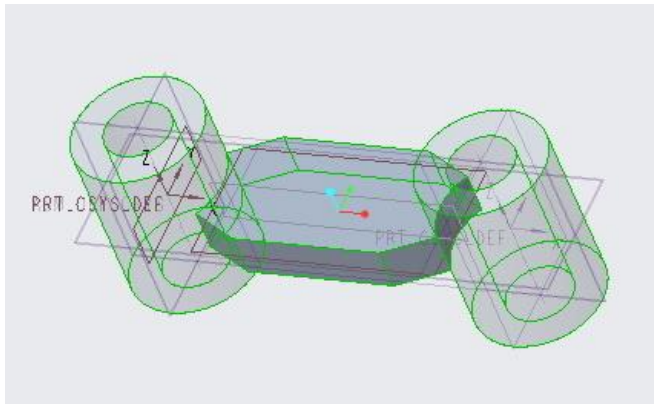
4. Активация режима создания детали



5. Изменения в дереве построения

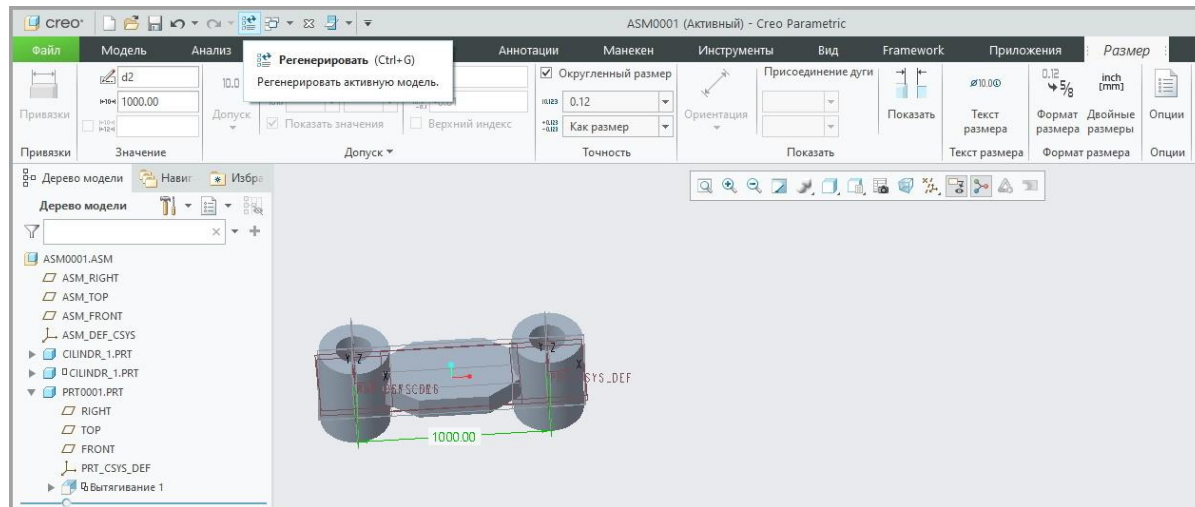


6. Результат создания детали

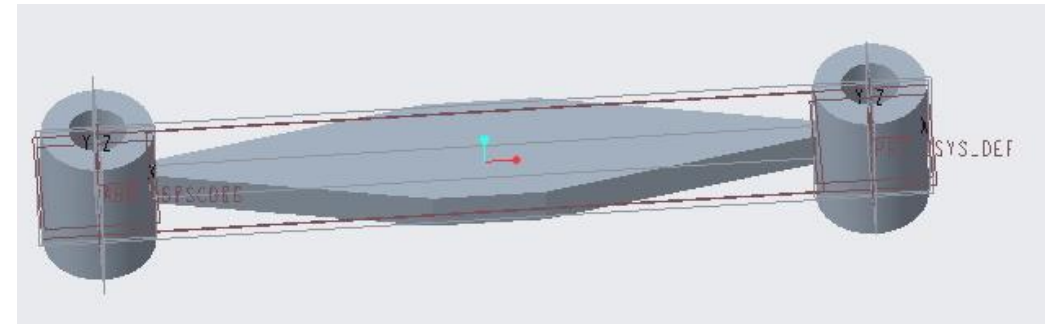
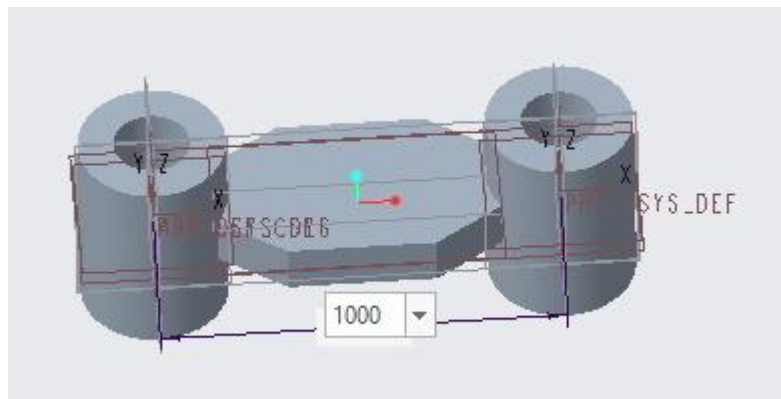
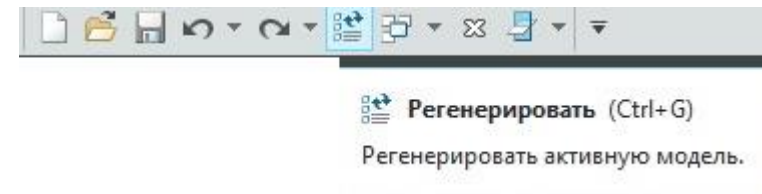


# Пример влияния параметрических связей на результат изменения зависимых параметров в сборке

Изменение размерной зависимости в исходной сборке



Результат – пересчет геометрических параметров детали в сборке



# Пример сложной сборки, разработанной в Pro/E (Creo Parametric)

