

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

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					

Количество: 31

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

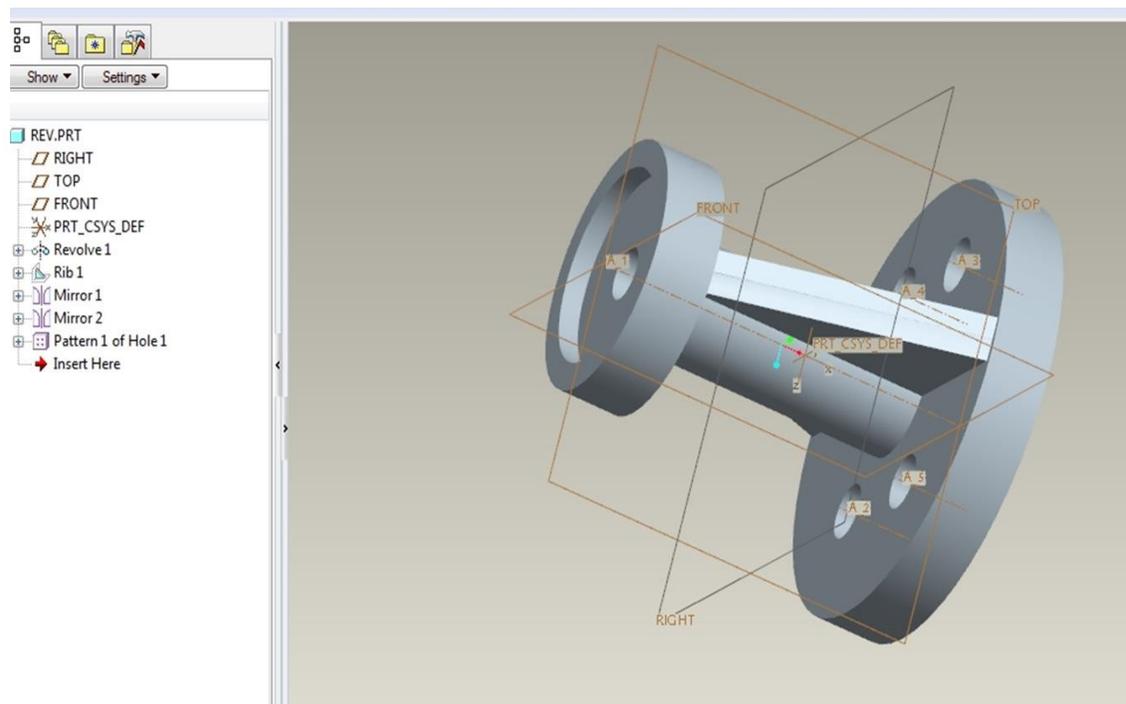
Parametric Future –Based Modeling – параметрическое моделирование на основе конструктивных элементов

Особенности:

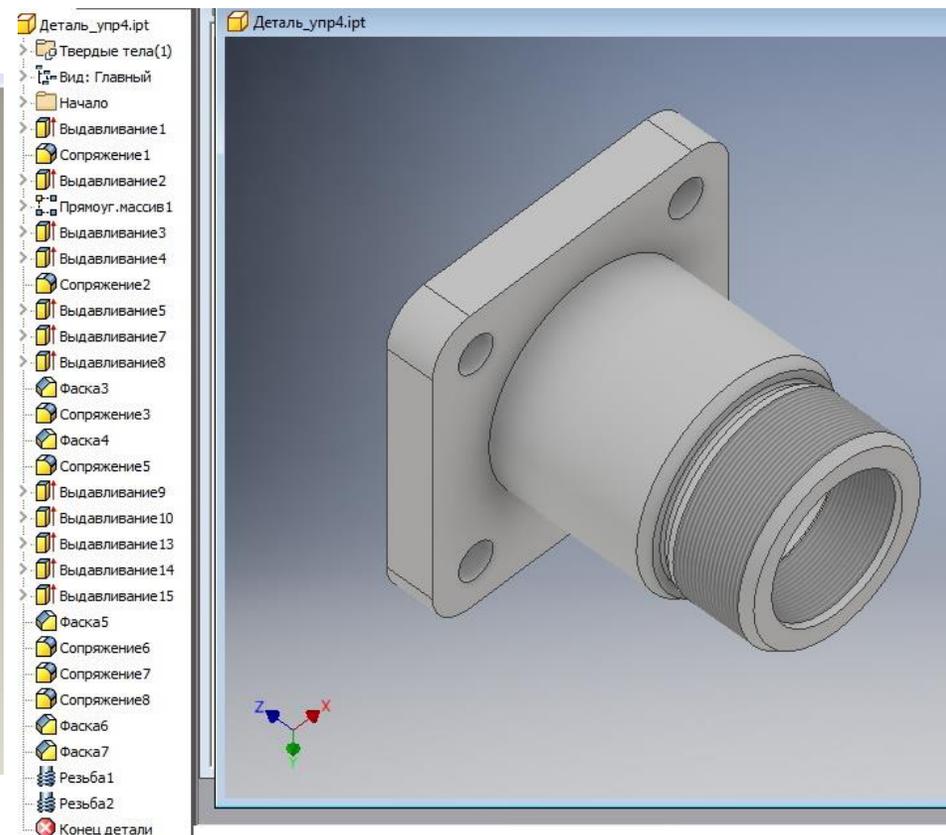
- Внесение изменений на одном из этапов моделирования приводит к изменению всей модели и дерева построения.
- Положение объектов относительно ранее построенных задается во время его создания.
- Положение каждого геометрического объекта полностью управляется его параметрами.
- При редактировании объекта 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

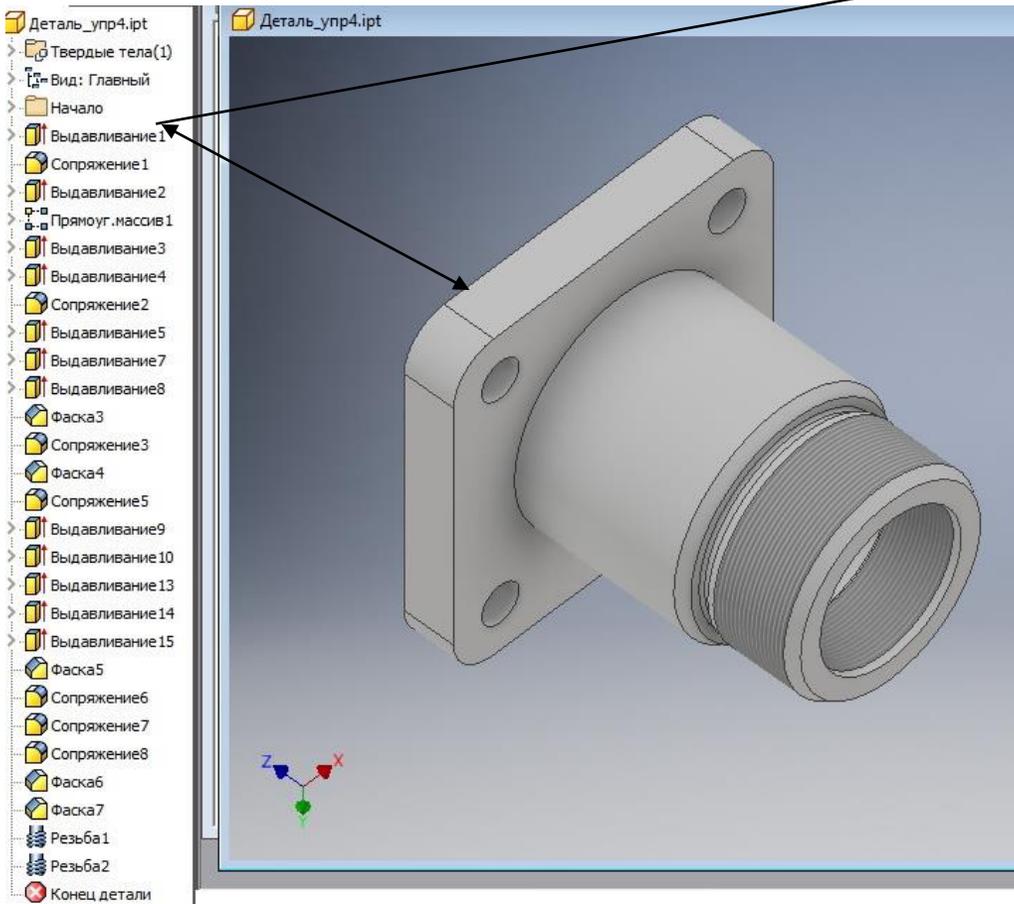
Иерархическая параметризация

Отношение Родитель/Потомок

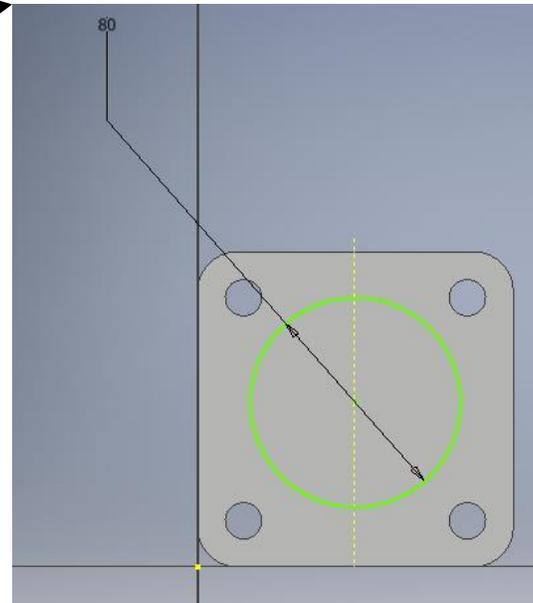
Основной принцип иерархической параметризации: фиксация всех этапов построения модели в дереве построения. Это и есть определение отношений *Родитель/Потомок*. При создании нового конструктивного элемента, все другие элементы, на которые ссылается создаваемый конструктивный элемент, становятся его *Родителями*.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

Иллюстрация отношений Родитель/Потомок (Inventor)

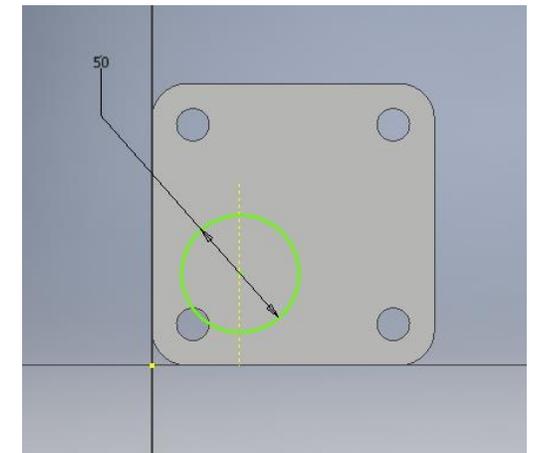
Исходная деталь



исходный эскиз



1-ое изменение
ЭСКИЗА



2-ое изменение
ЭСКИЗА

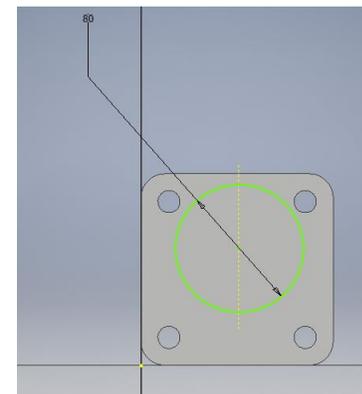
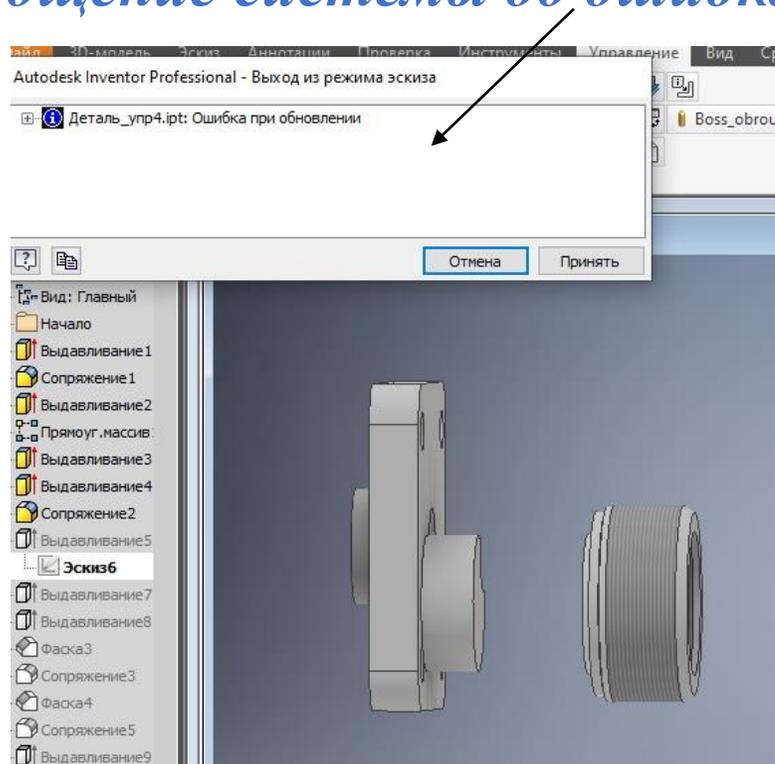
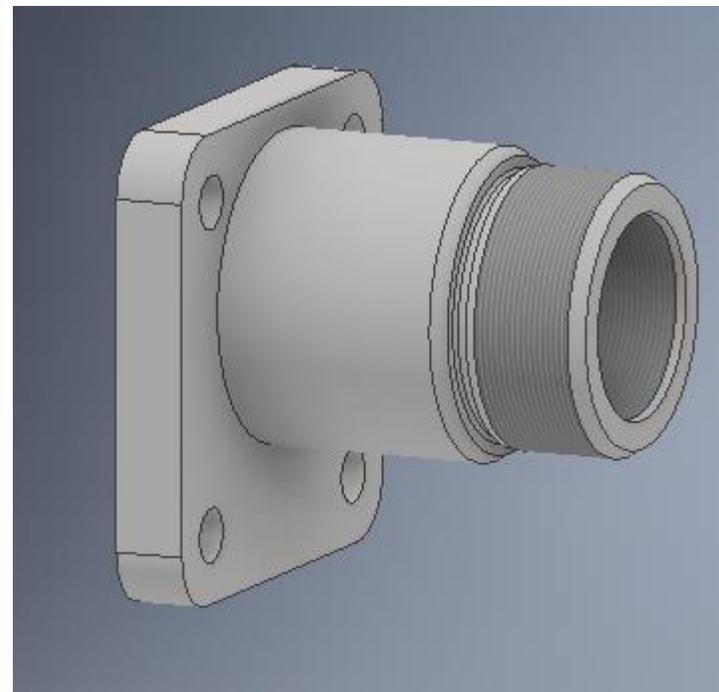


Иллюстрация отношений Родитель/Потомок (продолжение)

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.

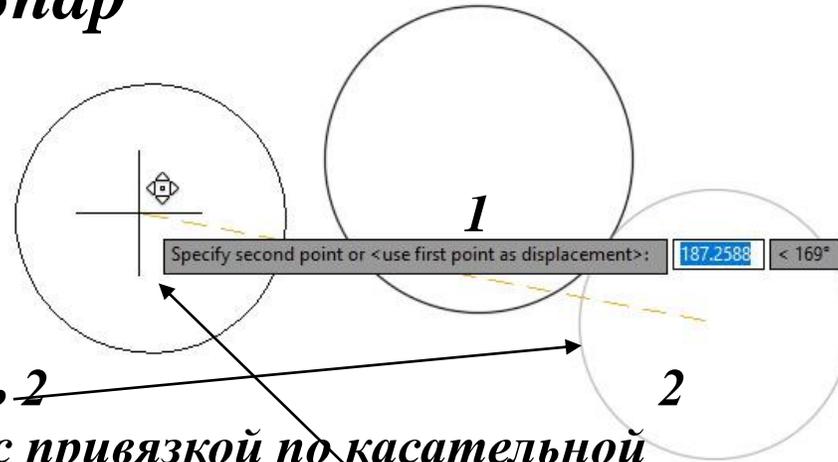
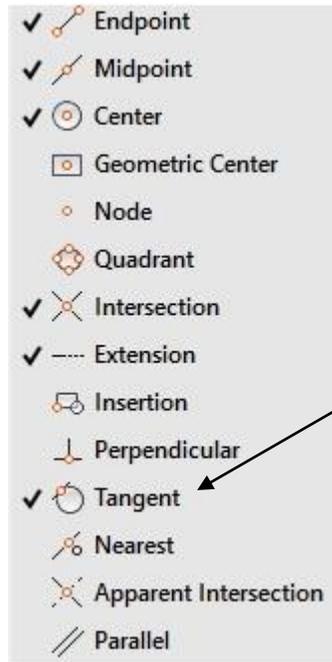
Некоторые геометрические параметры, влияющие на модель, построенную на основе геометрической параметризации

- ✓ 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*

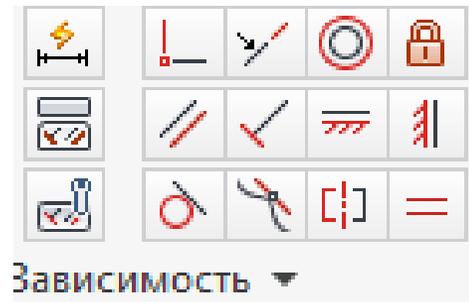
Развитие геометрической параметризации - - размерные соотношения (constraint)

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

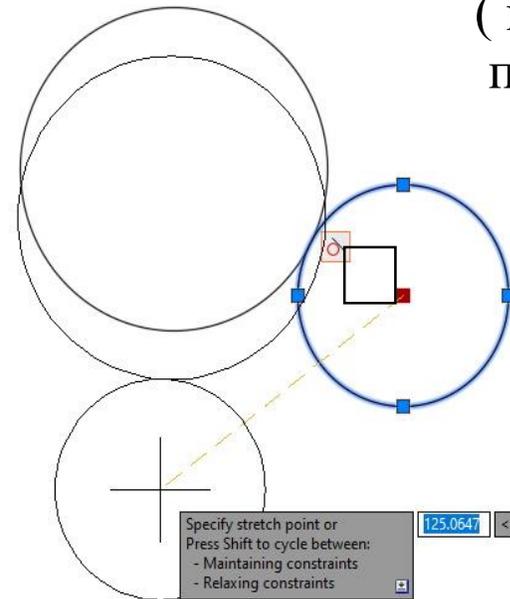
Первый шаг на пути перехода к вариационной параметризации.

Пример – создание двумерных эскизов

Параметризация эскизов в AutoCAD



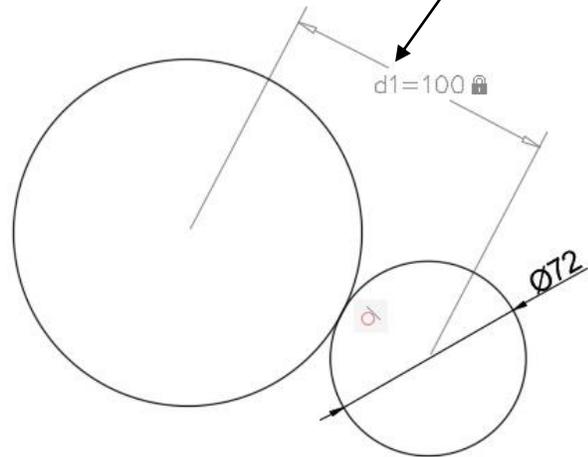
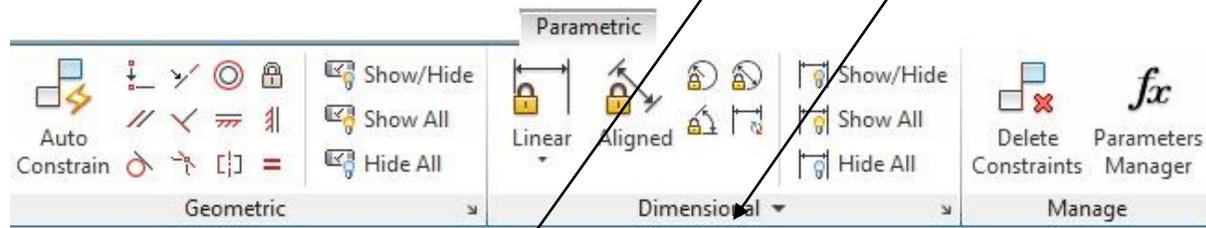
Пример: Наложение геометрического зависимости (ограничения) – привязка по касательной



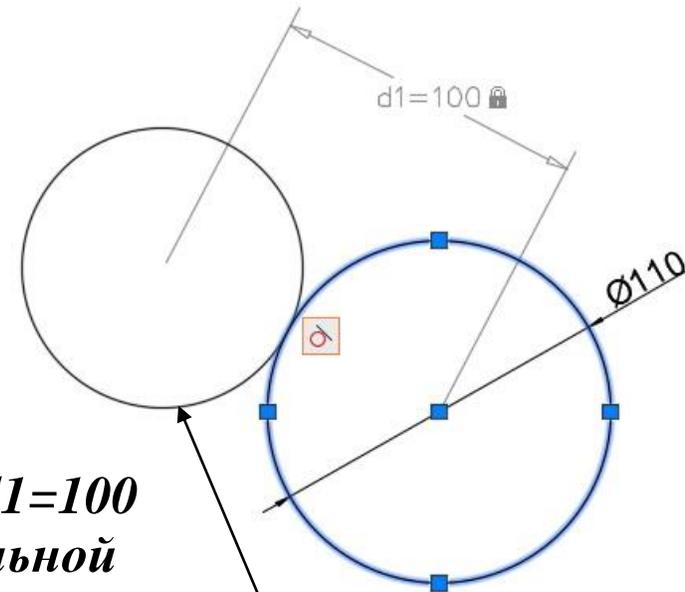
После редактирования (перемещение) привязка сохраняется и геометрические объекты перемещаются в соответствии с зависимостью

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*

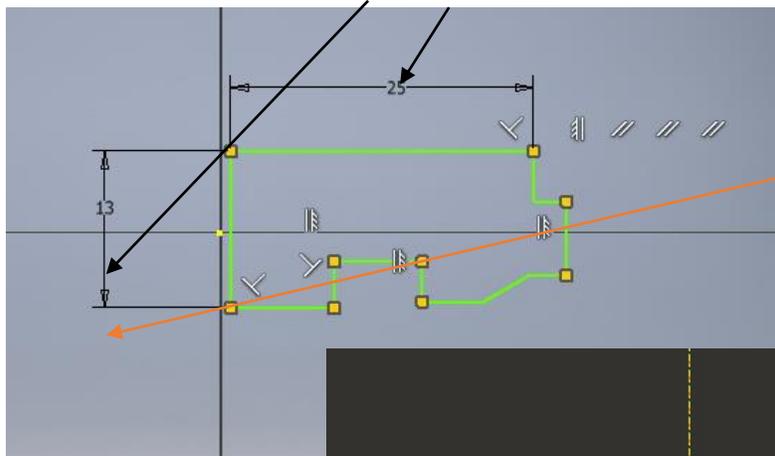


Создания параметрических эскизов в САПР среднего и высокого уровня

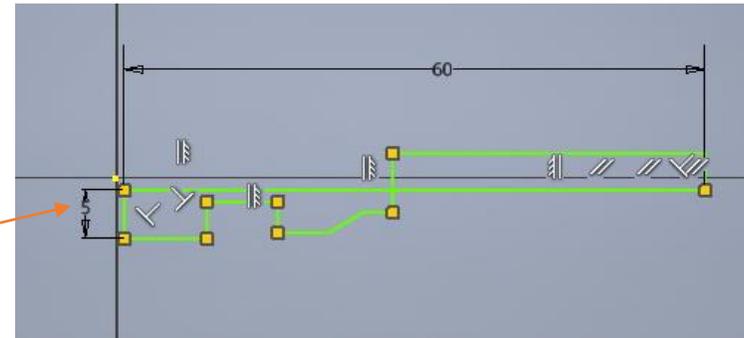
Особенность: При создании эскизов на него сразу накладываются и геометрические и размерные соотношения

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

На чертеж нанесены геометрические зависимости и размерные соотношения

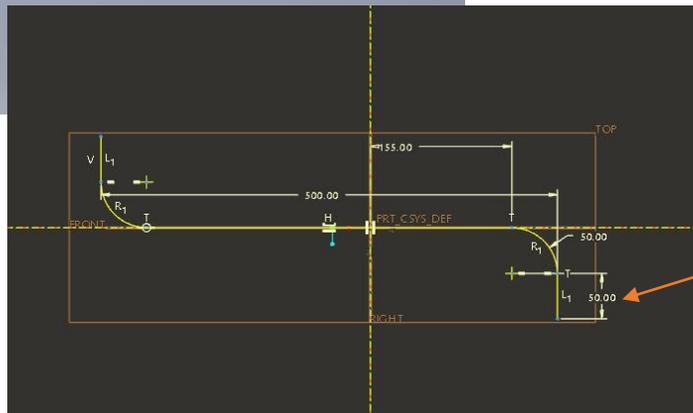
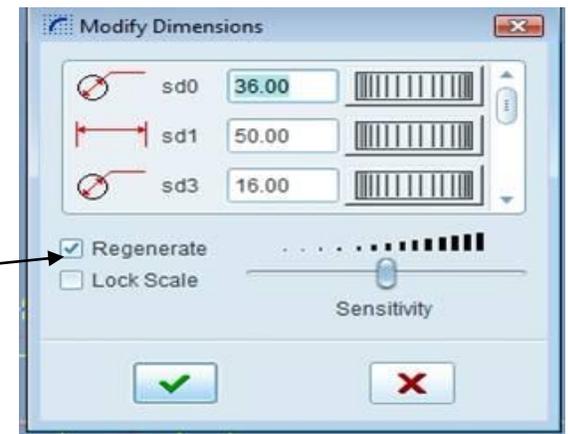


изменение размера при сохранении геометрических зависимостей – искажение геометрии эскиза



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**

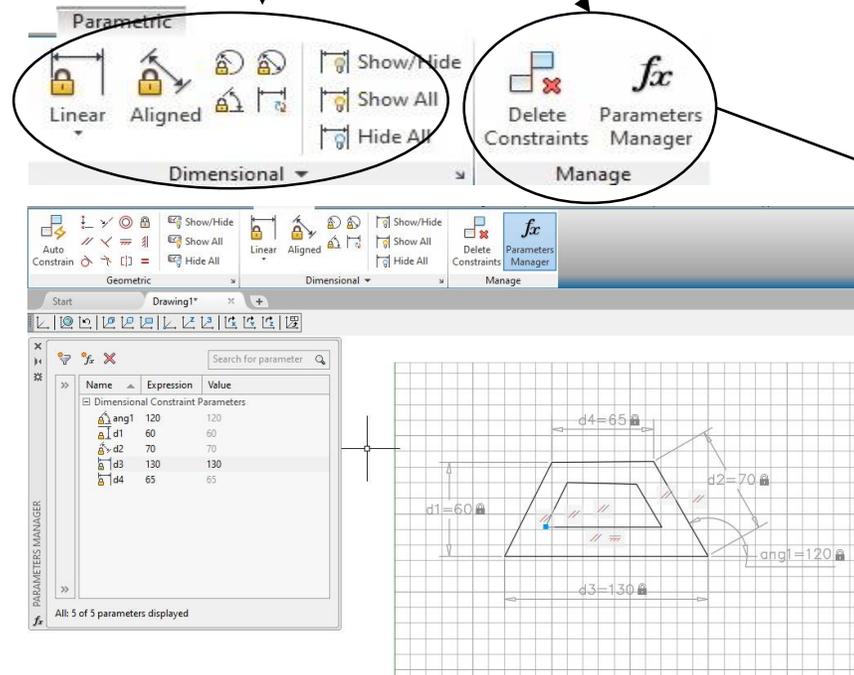
Особенность геометрических ограничений (в вариационных и геометрических моделях) – носят **декларативный характер** (не конструктивный). **Такие ограничения могут образовывать циклы** (в отличие от иерархической параметризации), для удовлетворения которых нужно изменять все связанные соотношениями элементы.

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

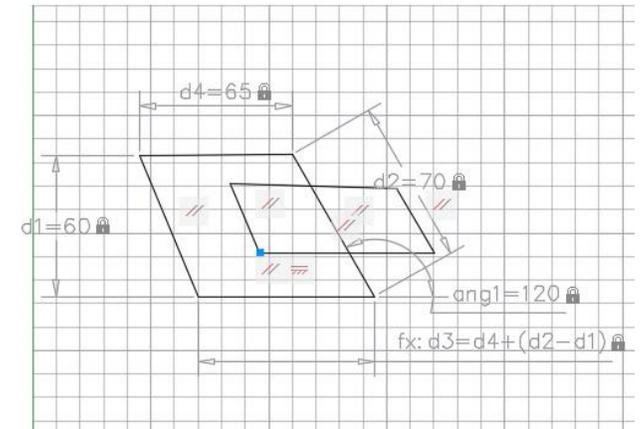
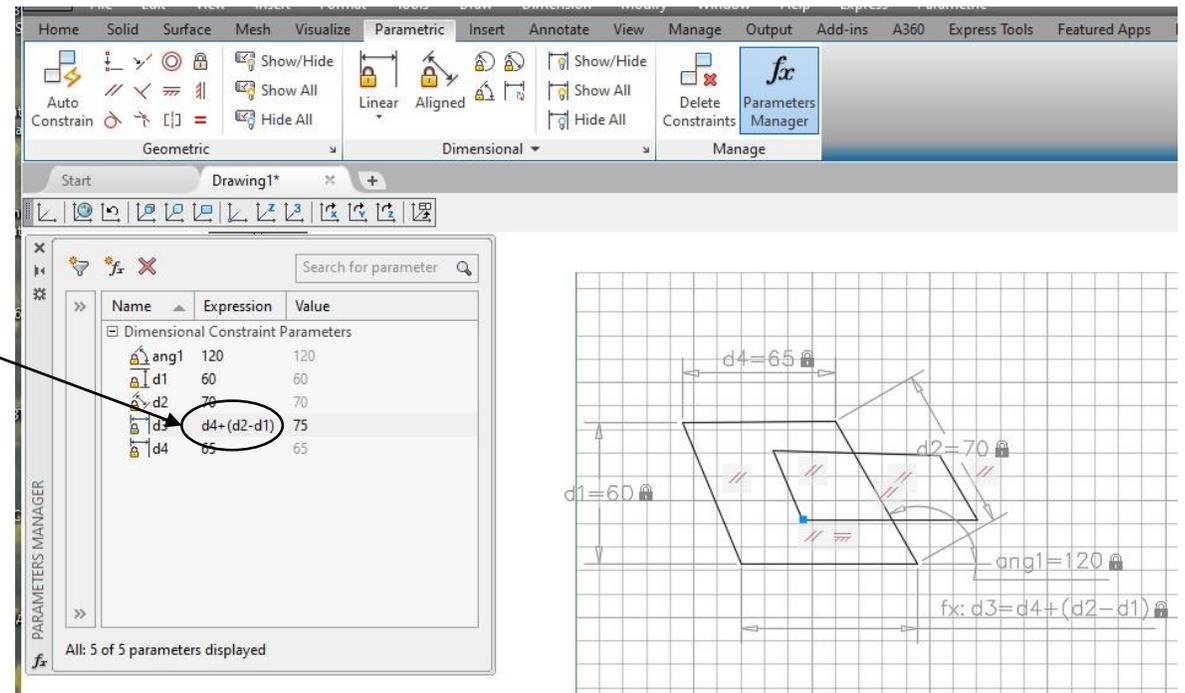
Параметризация, использующая геометрические ограничения и вариационные связи называется вариационной параметризацией.

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

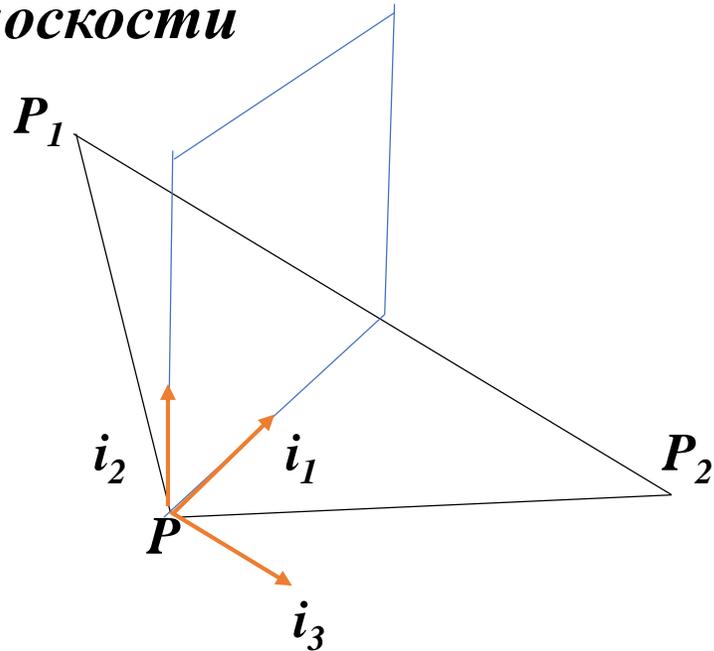
$$(p_1 - p_2) \bullet (p_3 - p_4) = 0$$

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

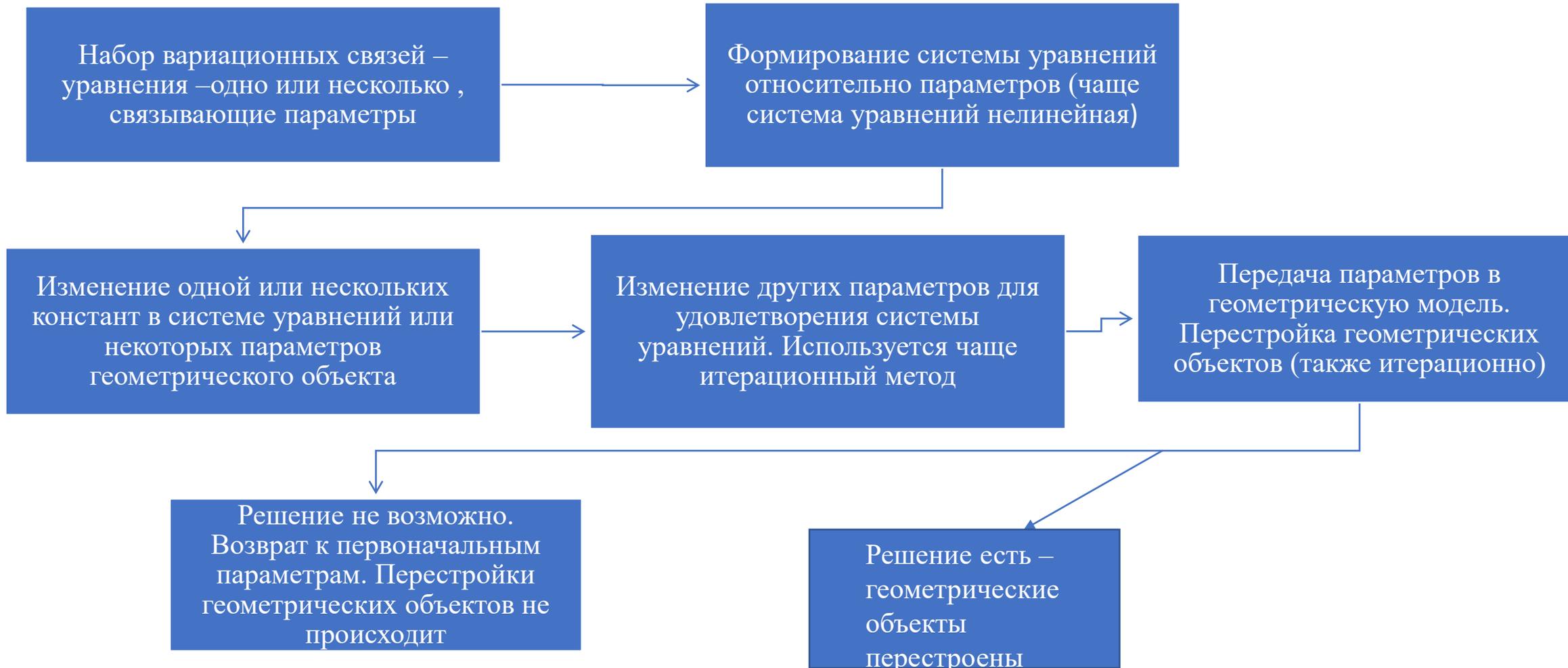


8. Угол между векторами – фиксация углового размера через соотношение длин, ограничивающих его отрезков

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

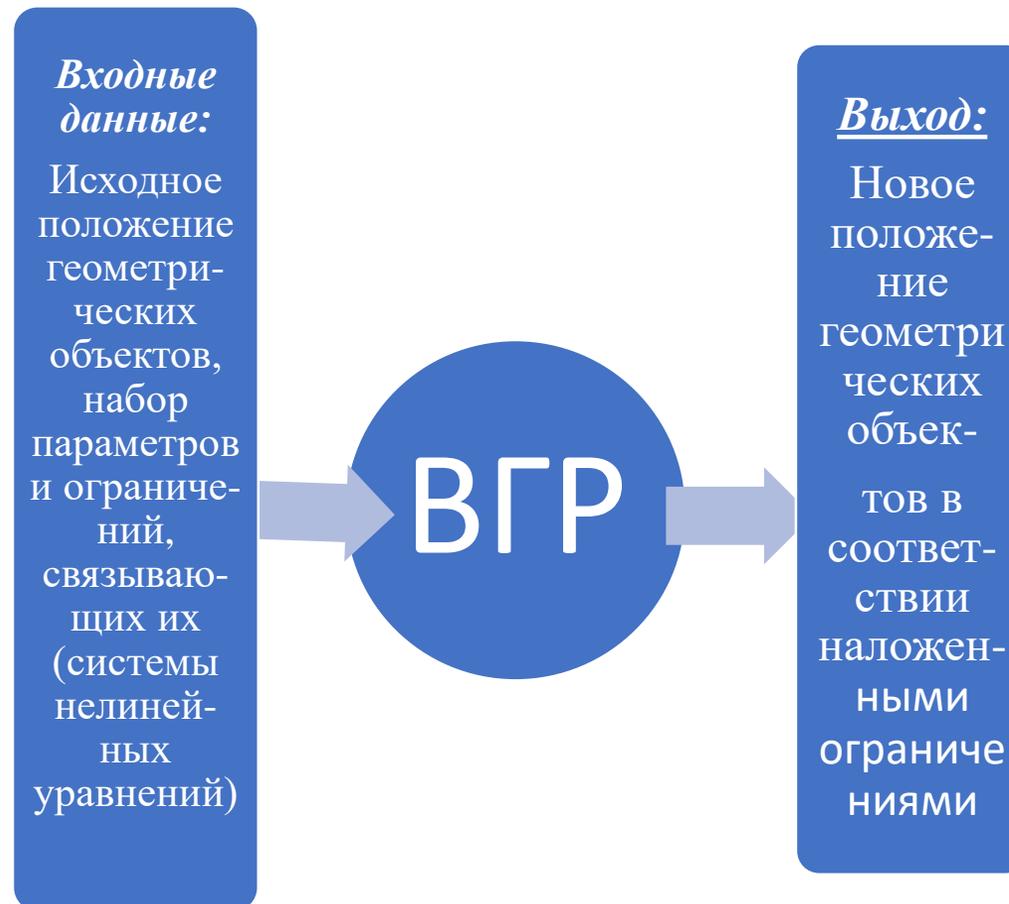


Вариационный геометрический решатель

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:

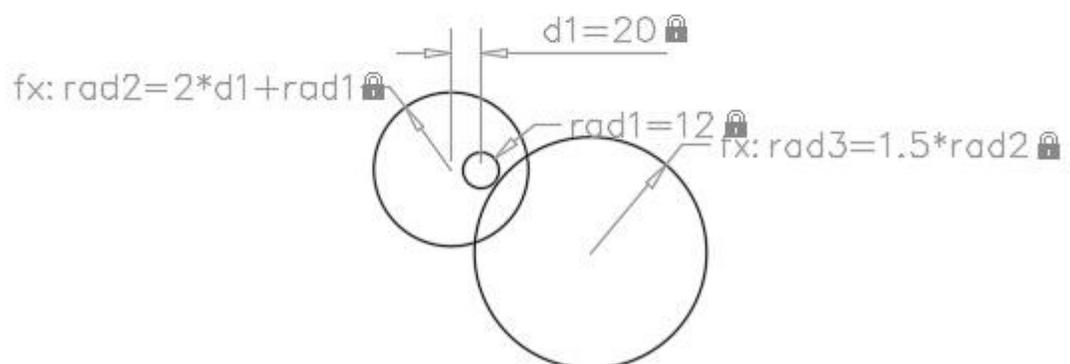
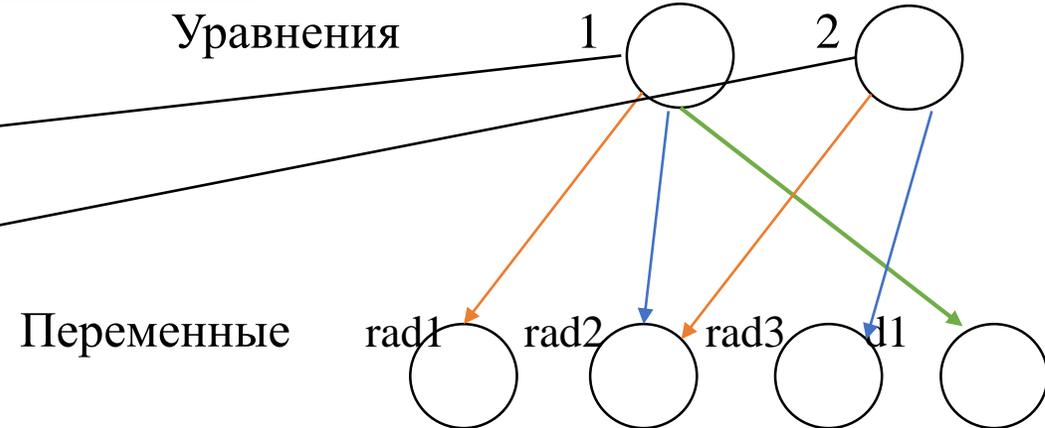
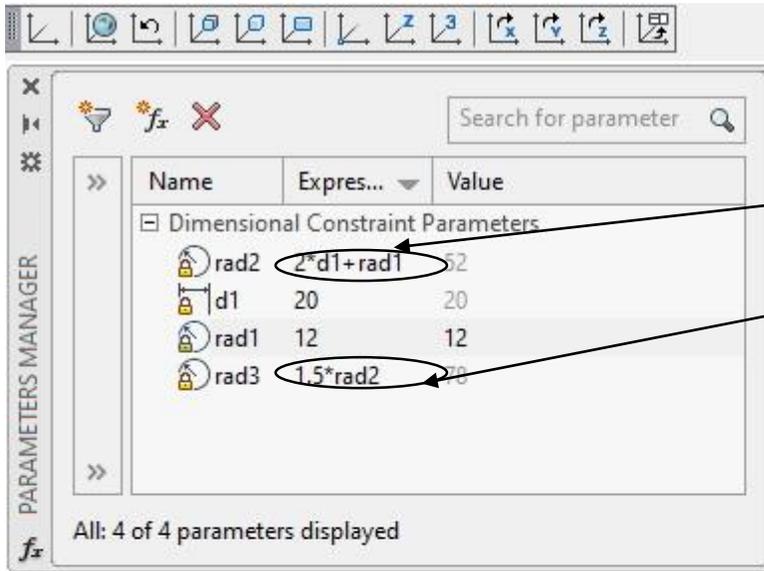
1. Все уравнения, не входящие в максимальное паросочетание являются алгебраически лишние (не нужно рассматривать).
2. Переменные, не входящие в максимальное паросочетание также являются лишними – их рассматривать не нужно.

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

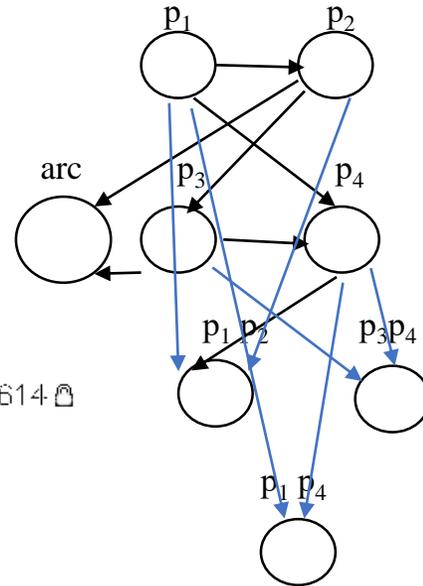
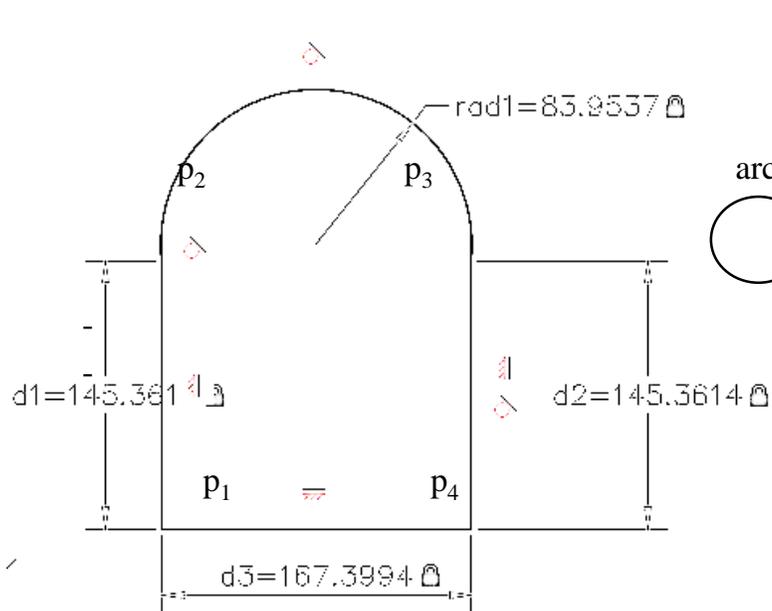


Суть: Нужно найти максимальное паросочетание и именно с ним работать при решении уравнений

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.

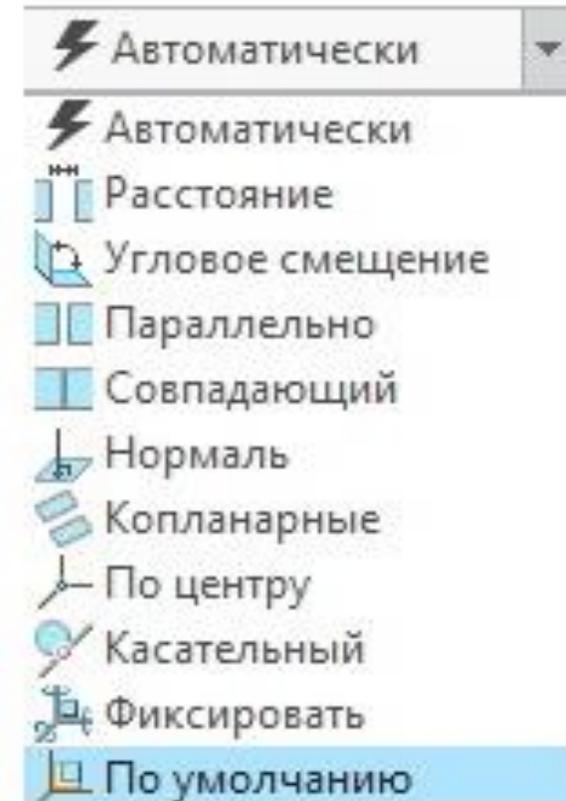
Достоинство: Отсутствие циклических связей - нет проблем с редактированием. Возможность параллельной работы.

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

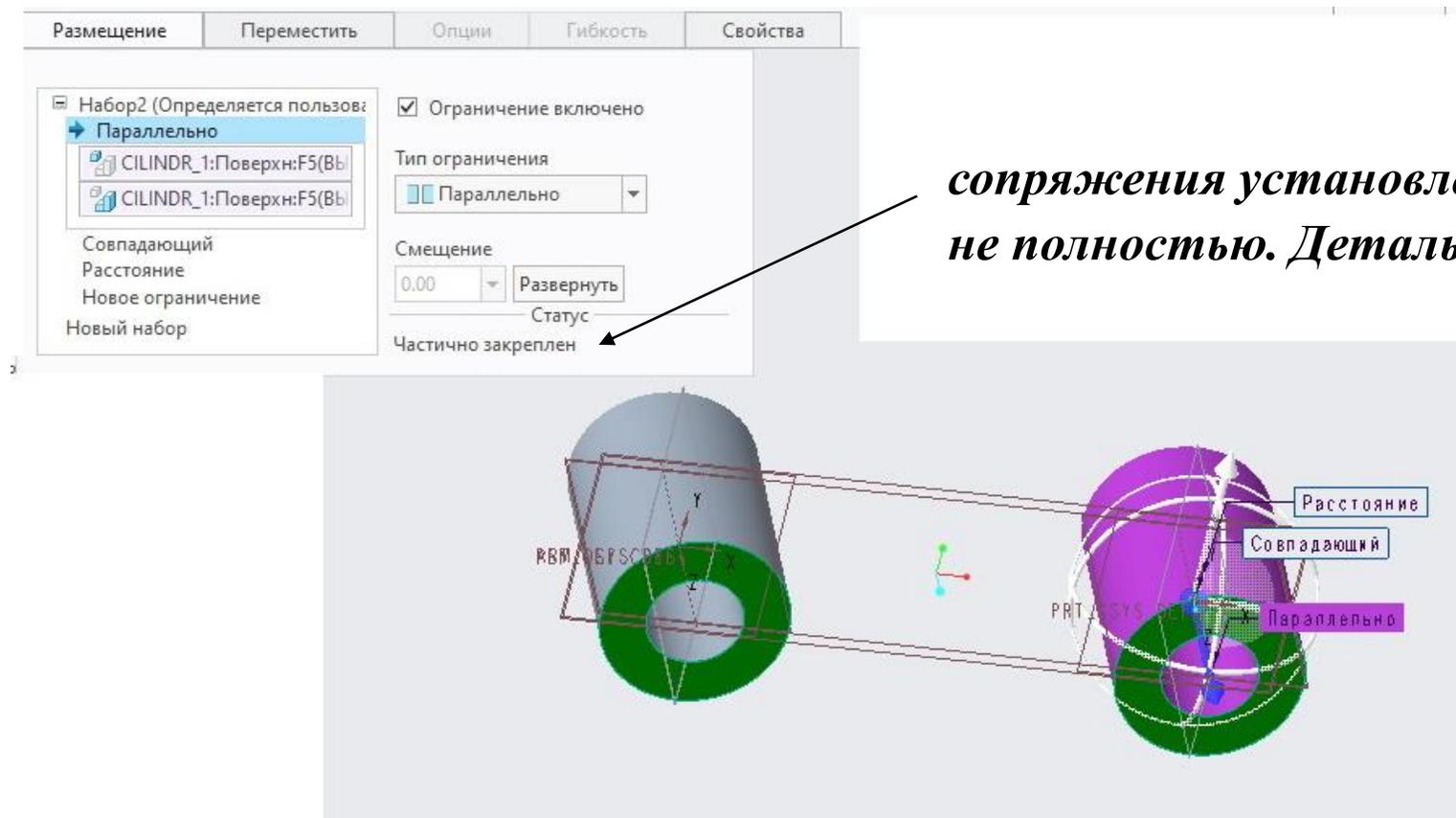
Создание сопряжений в сборке (параметрические связи)

- *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



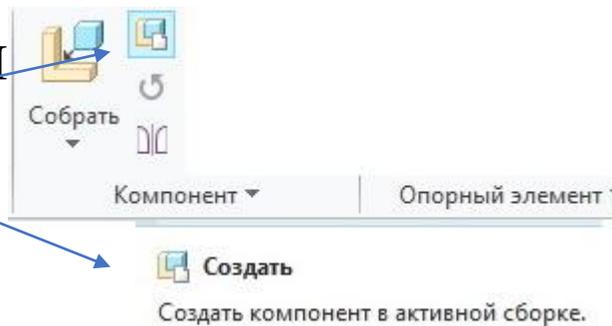
Пример установки сопряжения в Creo Parametric



*сопряжения установлены
не полностью. Деталь не закреплена*

Пример создания детали в режиме сборки (основные этапы)

1. Вызов опции – создания детали



2. Выбор типа создаваемого элемента

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

The 'Опции создания' dialog box is shown. It has a section labeled 'Метод создания' (Creation method) 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 section labeled 'Копировать из' (Copy from) with a text input field containing 'inlbs_part_solid prt' and an 'Обзор...' (Browse...) button. At the bottom are 'OK' and 'Отмена' (Cancel) buttons.

Пример создания детали в режиме сборки (основные этапы)

3. Фиксация детали «по шаблону»

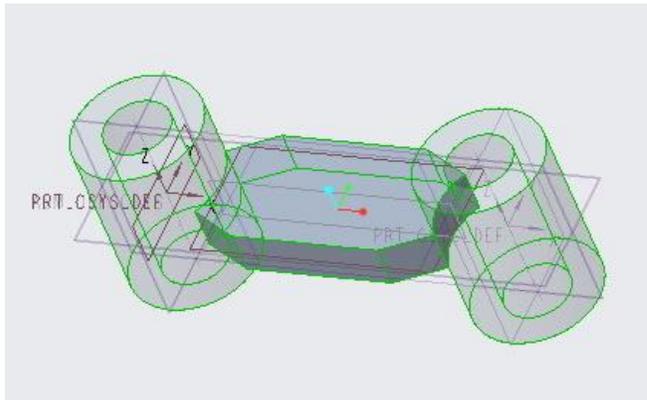
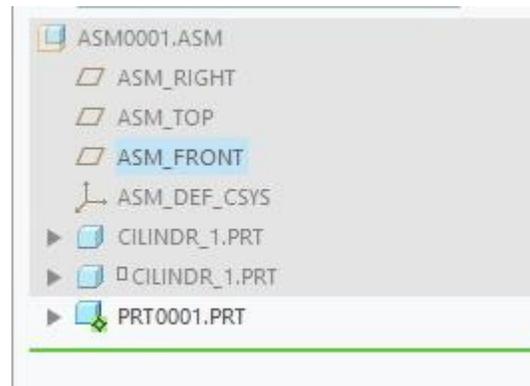
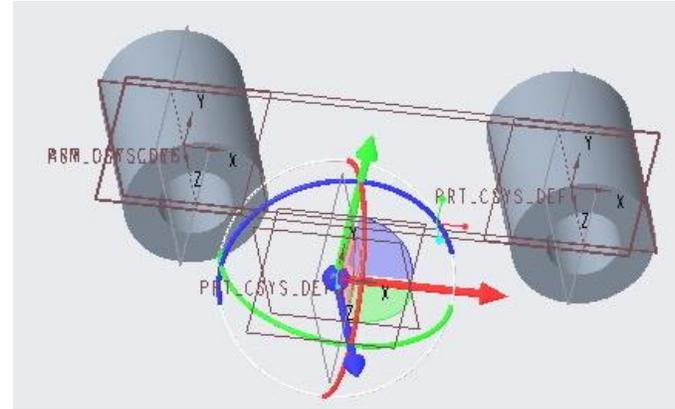
4. Активация режима создания детали

детали



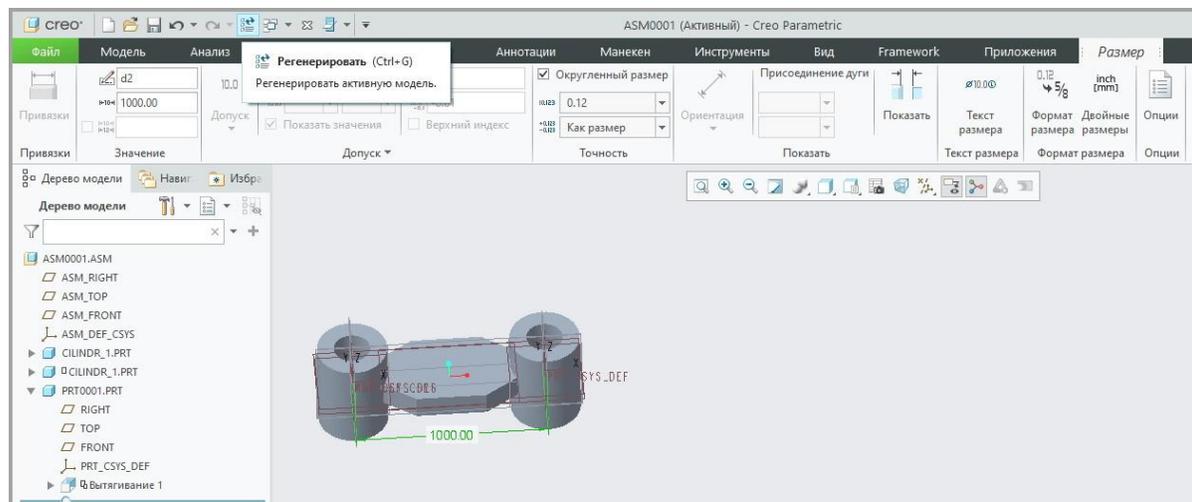
5. Изменения в дереве построения

6. Результат создания детали

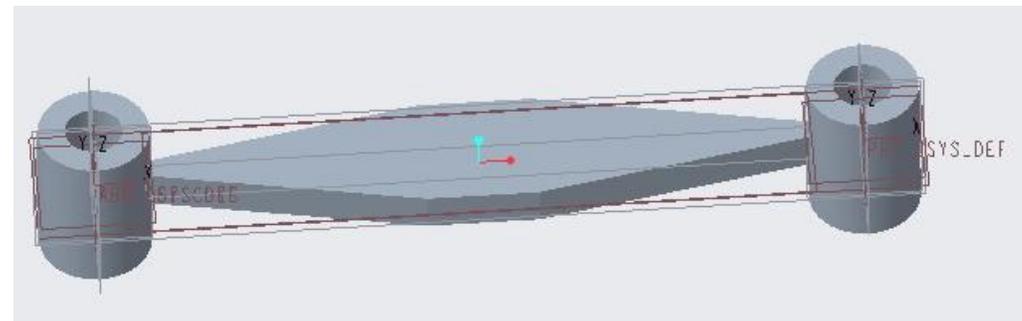
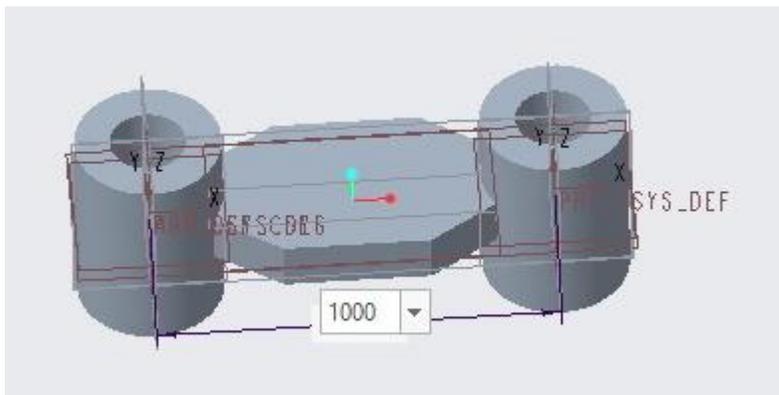
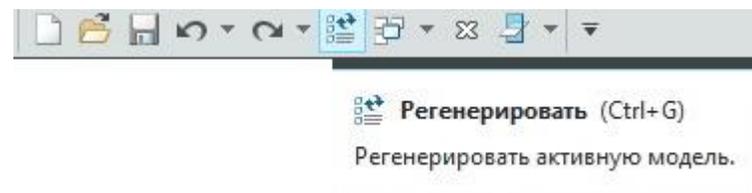


Пример влияния параметрических связей на результат изменения зависимых параметров в сборке

Изменение размерной зависимости в исходной сборке



Результат – пересчет геометрических параметров детали в сборке



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

