ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Основы инженерного анализа

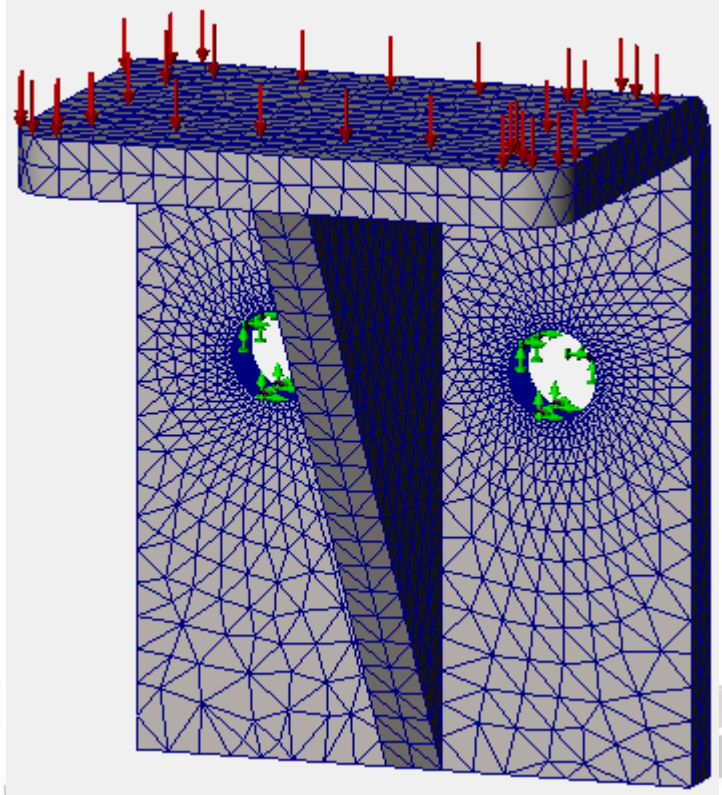
Лекция №1

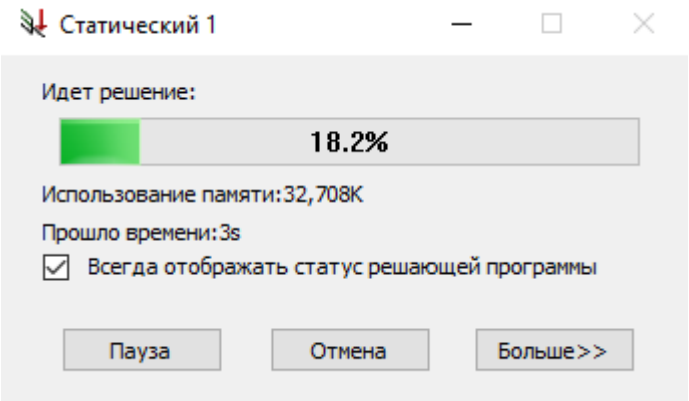
4 сентября
2023

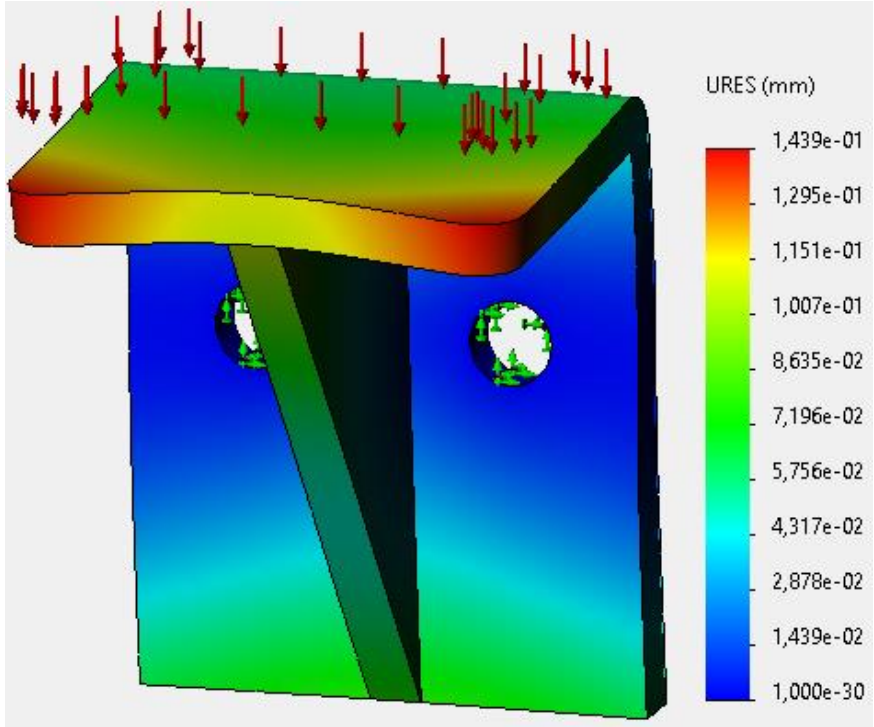
ИНЖЕНЕРНЫЙ АНАЛИЗ

Инженерный анализ - Computer-aided engineering (CAE) – это использование программного обеспечения для расчета характеристик и поведения изделия с целью их улучшения или решения возникших технических проблем.

Подготовка - Препроцессинг → Расчёт → Обработка результатов - Постпроцессинг







ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА

Для инженерного анализа характерны три типа программных средств:

1) для решения задач анализа состояния масс;
2) для решения задач методом конечных элементов;
3) для решения задач линейного программирования, автоматизации инженерных расчетов (MathCad).

ВИДЫ РЕШАЕМЫХ ЗАДАЧ

1. Статический расчет.

Используется для определения перемещений, напряжений, деформации и приложения нагрузки.

2. Динамический расчет.

Динамический расчет конструкции производится в случае, когда она находится под воздействием нагрузки, зависящей от времени.

3. Расчет на устойчивость.

Расчет на устойчивость используется для определения уровня нагружения, при котором конструкция теряет устойчивость, или для проверки устойчивости конструкции при данном уровне нагружения.

4. Нелинейные расчеты.

Используются, когда отклик конструкции или детали на действие приложенной нагрузки не изменяется прямо пропорционально этой нагрузке.

ВИДЫ РЕШАЕМЫХ ЗАДАЧ

5. Тепловой расчет.

Используется для решения задач теплопередачи: кондукции, конвекции (свободная и вынужденная) и излучения.

6. Расчеты магнитного воздействия.

Расчеты магнитного воздействия могут проводиться для анализа различных аспектов магнитных полей, таких как индукция, плотность потока, линии тока, потери мощности и другие связанные явления.

7. Расчет течения жидкости или газа.

Используется для анализа течения жидкости или газа дает возможность изучать характеристики течения либо волнового давления жидкости или газа в заданном объеме, а также для решения задач численной гидродинамики.

8. Смешанные задачи.

Применяются при анализе деталей, находящихся под одновременным воздействием тепловых, механических, электрических или магнитных полей.

Понятие о CAD/CAM/CAE системах

Автоматизированное проектирование представляет собой технологию, состоящую в использовании компьютерных систем для облегчения создания, изменения, анализа и оптимизации проектов.

1. Автоматизированное проектирование и конструирование (computer-aided design – CAD) – это технология, состоящая в использовании компьютерных систем для геометрического моделирования изделия.

Основная функция CAD – определение геометрии конструкции (детали механизма, архитектурные элементы, электронные схемы, планы и т.п.).

2. Автоматизированный инженерный анализ (computer-aided engineering – CAE) – это технология, состоящая в использовании компьютерных систем для анализа геометрии CAD, моделирования и изучения поведения продукта для усовершенствования и оптимизации его конструкции.

Основные понятия:

- МКЭ (FEM);
- препроцессор;
- постпроцессор.

Понятие о CAD/CAM/CAE системах

3. Автоматизированное производство (computer-aided manufacturing – CAM) – это технология, состоящая в использовании компьютерных систем для планирования, управления и контроля операций производства через прямой или косвенный интерфейс с производственными ресурсами предприятия.

Современные CAM-системы способны автоматически генерировать программы для станков с ЧПУ на основании геометрических параметров изделий из базы данных CAD и дополнительных сведений, предоставляемых пользователем.

Область применения	Программы	Интегрированные системы
CAD: двумерные чертежи	*CADAM*, *AutoCAD*, *MicroCADAM*, *VersaCAD*	*Pro/ENGINEER* *Unigraphics* *CATIA* *I-DEAS* *I/EMS* *EUCLID-IS* КОМПАС
CAD: твердотельное моделирование	*Solid Edge*, *SolidWorks*, *SolidDesigner*, *Mechanical Desktop*	
CAM	*BravoNCG*, *VERICUT*, *DUCT*, *Camand*, *Mastercam*, *PowerMILL*, *T-Flex*, ТехноПро	
CAE	*ANSYS*, *MSC/NASTRAN*, *PATRAN*, *DADS*, *ADAMS*, *C-Mold*, *MoldFlow*, *Design Works*, ПОЛИГОН	

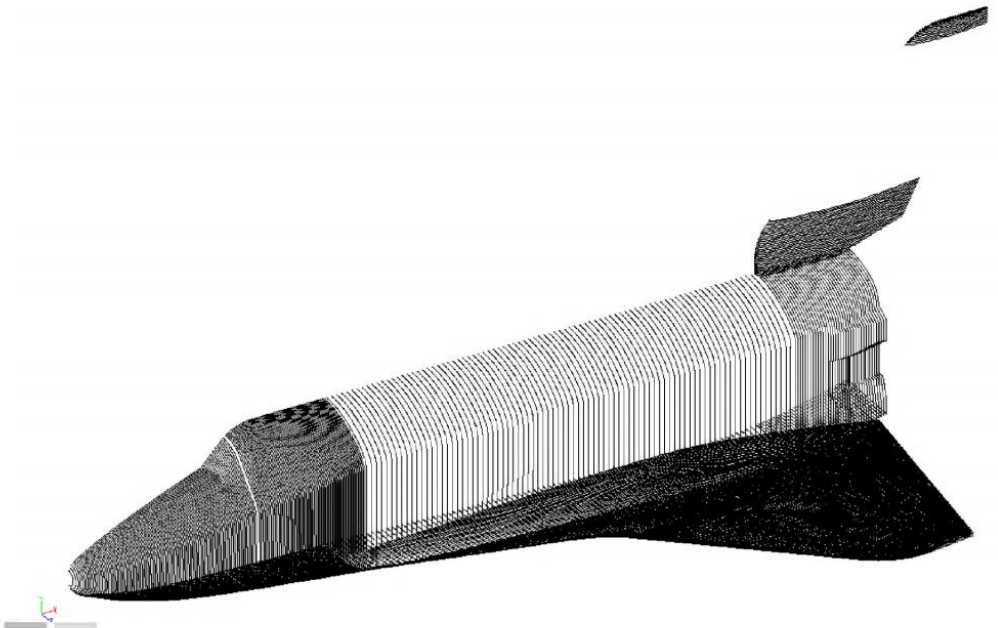
CAD. Системы каркасного, поверхностного и твердотельного моделирования

Типичные CAD - программы могут быть разделены на две группы.

1. Системы автоматизированной разработки чертежей помогают проектировщику реализовать свои идеи в двумерном пространстве.

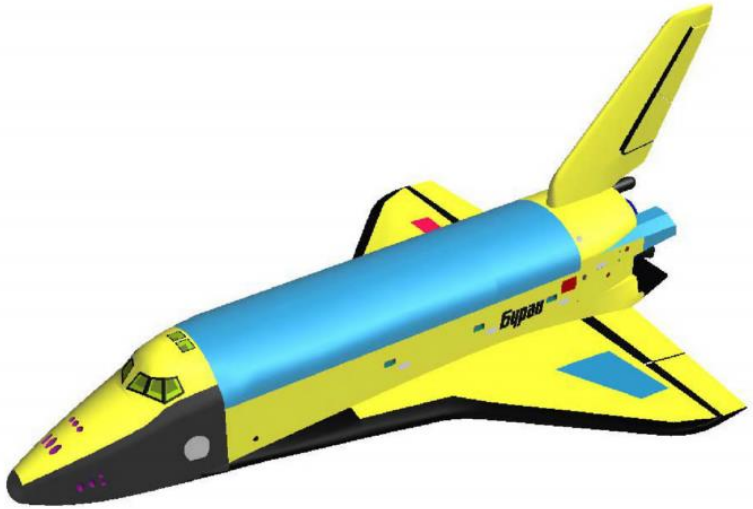
2. Системы геометрического моделирования позволяют работать с формами в трехмерном пространстве. Делятся на *каркасные, поверхностные и твердотельные*.

1. Системы каркасного моделирования.

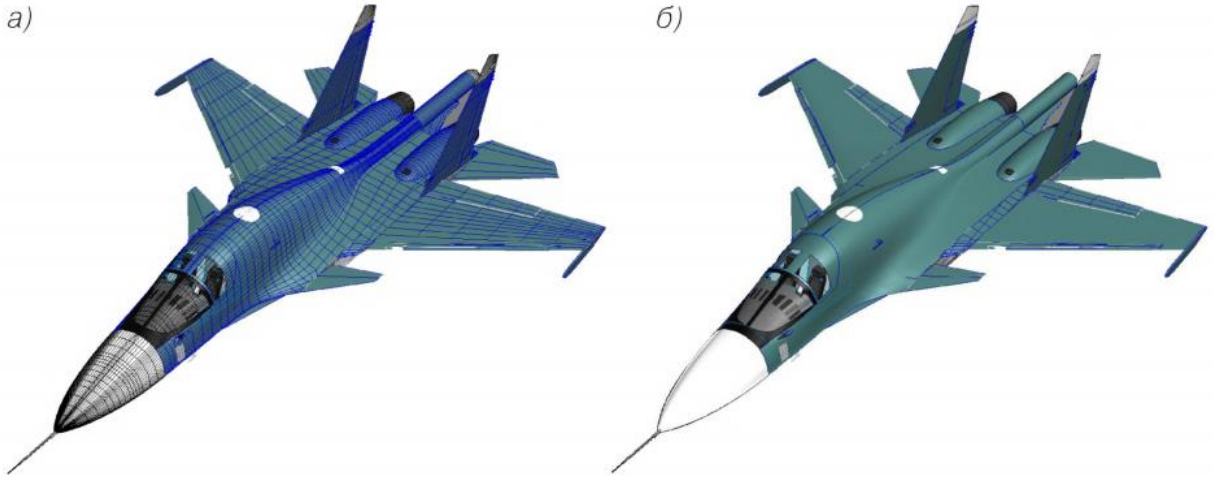


CAD. Системы каркасного, поверхностного и твердотельного моделирования

2. Системы поверхностного моделирования.

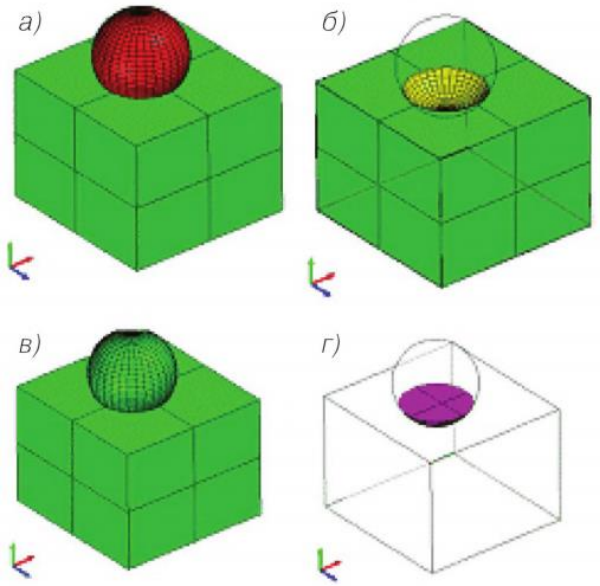


3. Системы твердотельного моделирования.



Основные функции систем твердотельного моделирования

1) Функции создания примитивов – булевские операции (вычитание, объединение, пересечение).



2) Функции заметания – выдавливание и вырез по траектории.

3) Функции изменения формы (например, скругление).

4) Функции моделирования границ.

5) Объектно-ориентированное моделирование, рассматриваемое в рамках параметрического моделирования.

Параметрическое моделирование

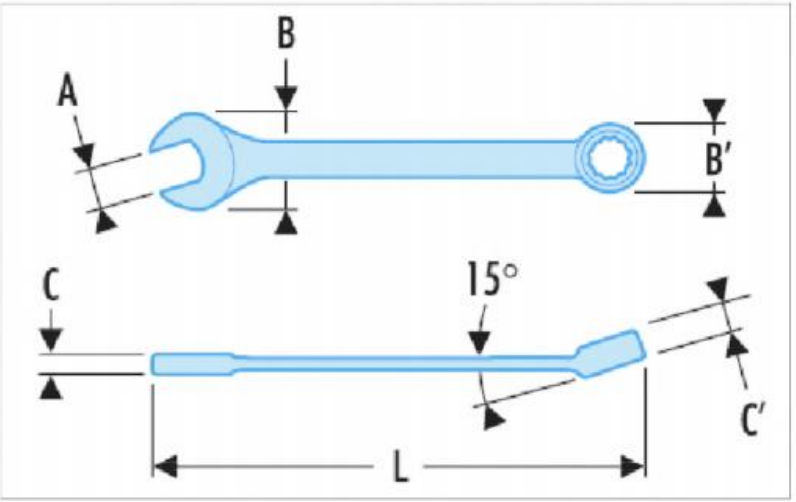
Параметрическое моделирование (или просто параметризация) основано на моделировании деталей и изделий с использованием параметров элементов модели и соотношений между этими параметрами. Параметризация позволяет за короткое время перебрать с помощью изменения параметров или геометрических отношений различные конструктивные схемы, выбрать оптимальные решения и избежать принципиальных ошибок.

Использование технологии параметрического конструирования позволяет, при необходимости, легко изменять форму модели, в результате чего пользователь имеет возможность быстро и эффективно получать альтернативные конструкции или пересмотреть концепцию изделия в целом.

Табличная параметризация

Technical document(s)

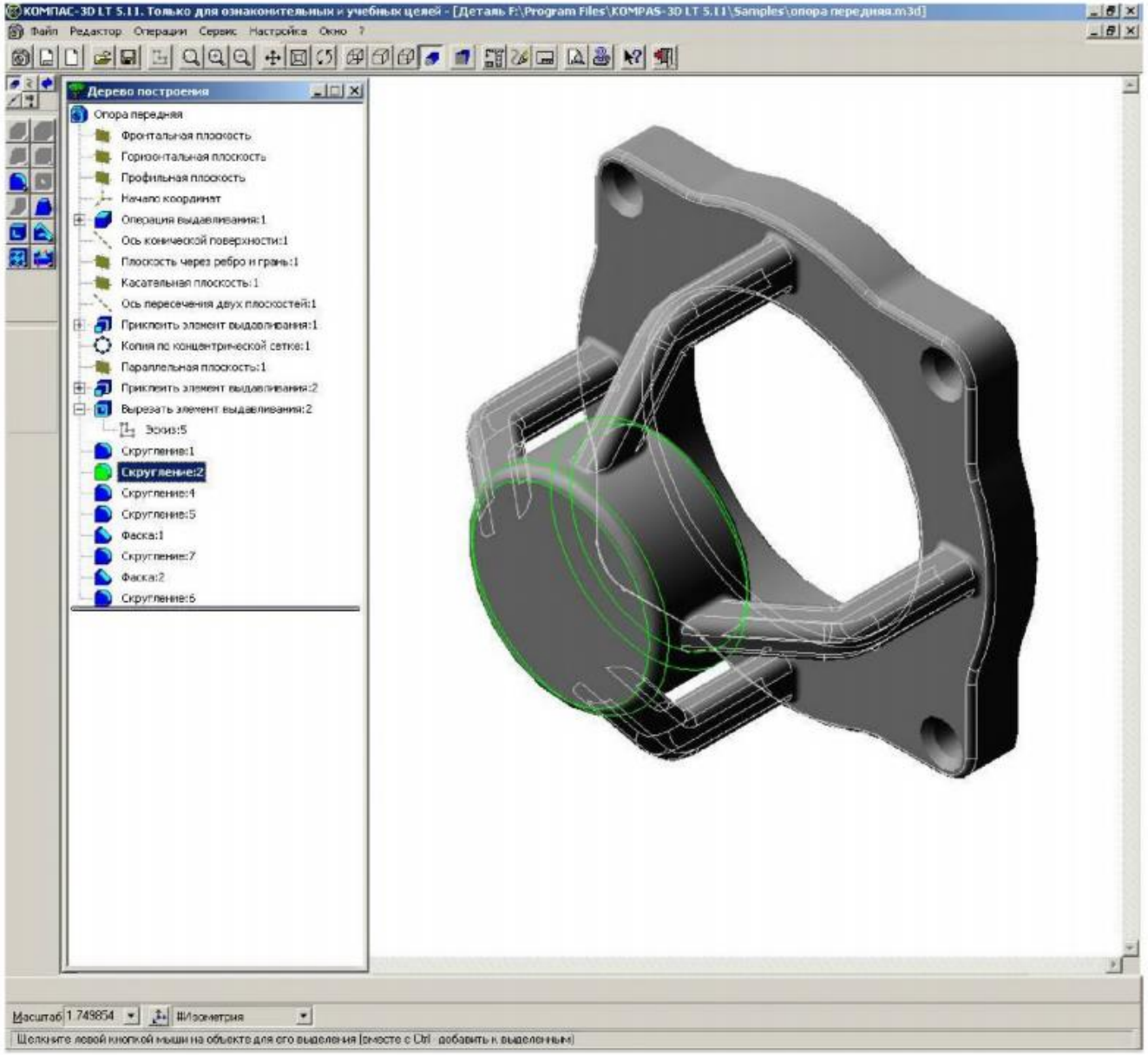
- Dimension drawing



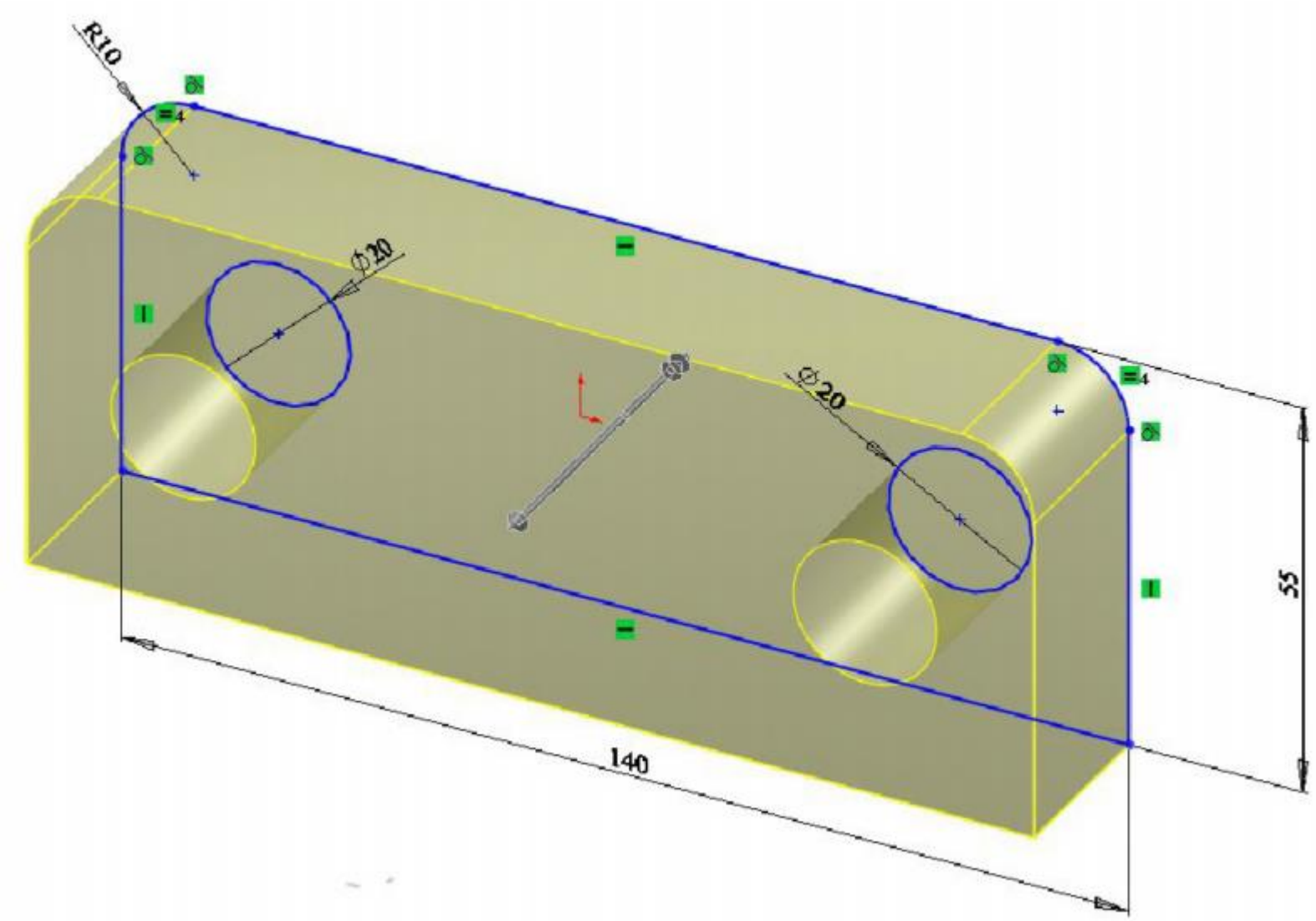
Please select one table row below:

Item code	A (")	B (mm)	B' (mm)	C (mm)	C' (mm)	L (mm)	Mass (g)
40.1/4	1/4"	15	10.4	3.8	6	113	18
40.5/16	5/16"	19.5	12.9	4.3	6	130	28
40.11/32	11/32"	21.6	14.2	4.3	6.1	137	34
40.3/8	3/8"	23.6	15.9	4.8	6.6	145	40
40.7/16	7/16"	25.6	17	5.1	7	153	53
40.1/2	1/2"	29.4	19.8	5.6	8	170	70
40.9/16	9/16"	31.5	21.2	6	8.5	178	80
40.5/8	5/8"	35.5	23.8	6.9	9.8	193	104
40.11/16	11/16"	37.5	25	7	10.3	200	120
40.3/4	3/4"	41.8	29.4	7.6	11.3	216	160
40.13/16	13/16"	44	29.4	8	11.6	224	172
40.7/8	7/8"	48	32	8.2	12.3	248	212
40.15/16	15/16"	52	34.7	8.5	12.9	268	270
40.1"	1"	54.4	36.3	8.5	13.2	270	297
40.1"1/16	1" 1/16	59	39	8.8	14	294	355
40.1"1/8	1" 1/8	61.6	41	9	14.4	305	394
40.1"1/4	1" 1/4	68.8	46	10.1	16	356	575

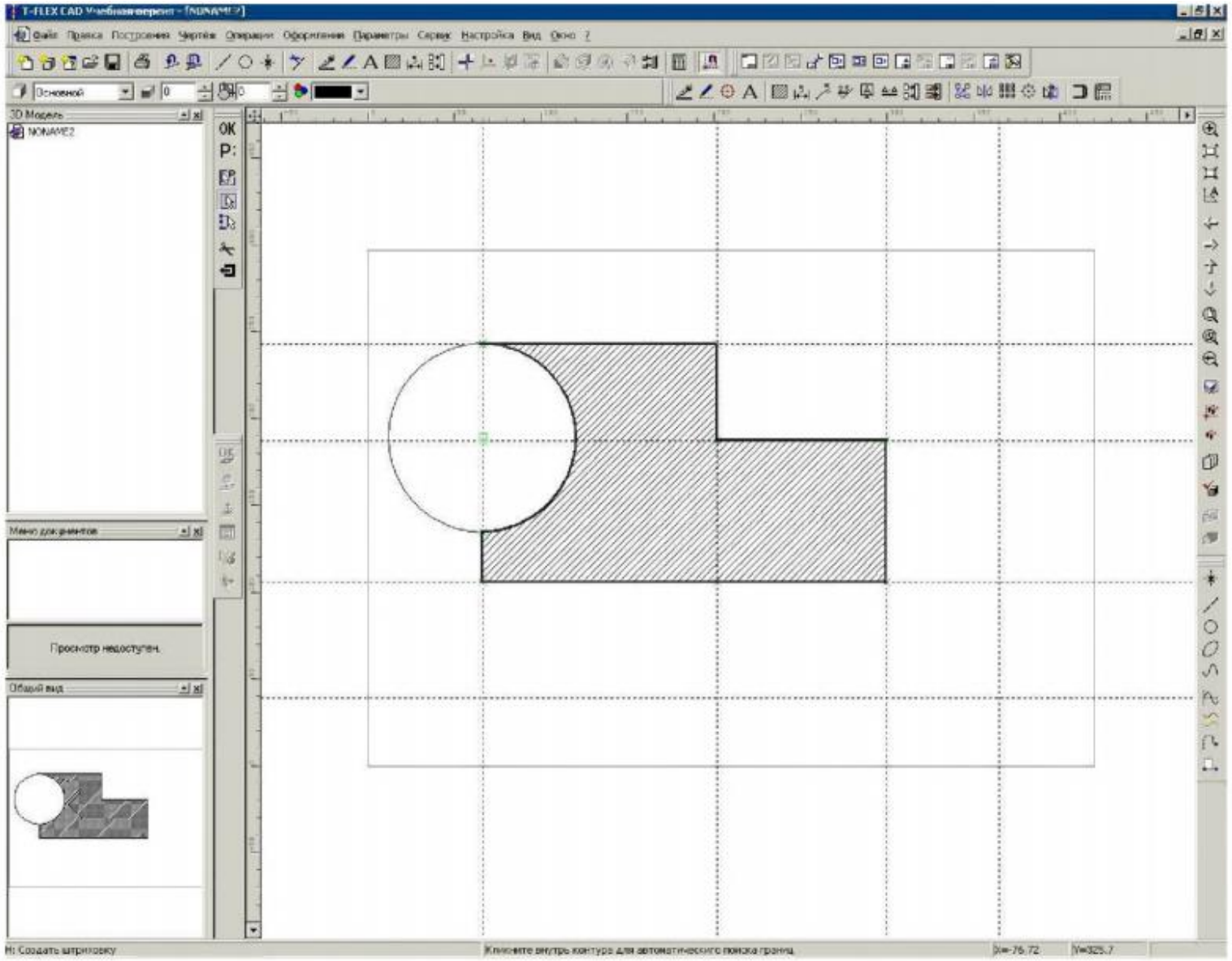
Иерархическая параметризация



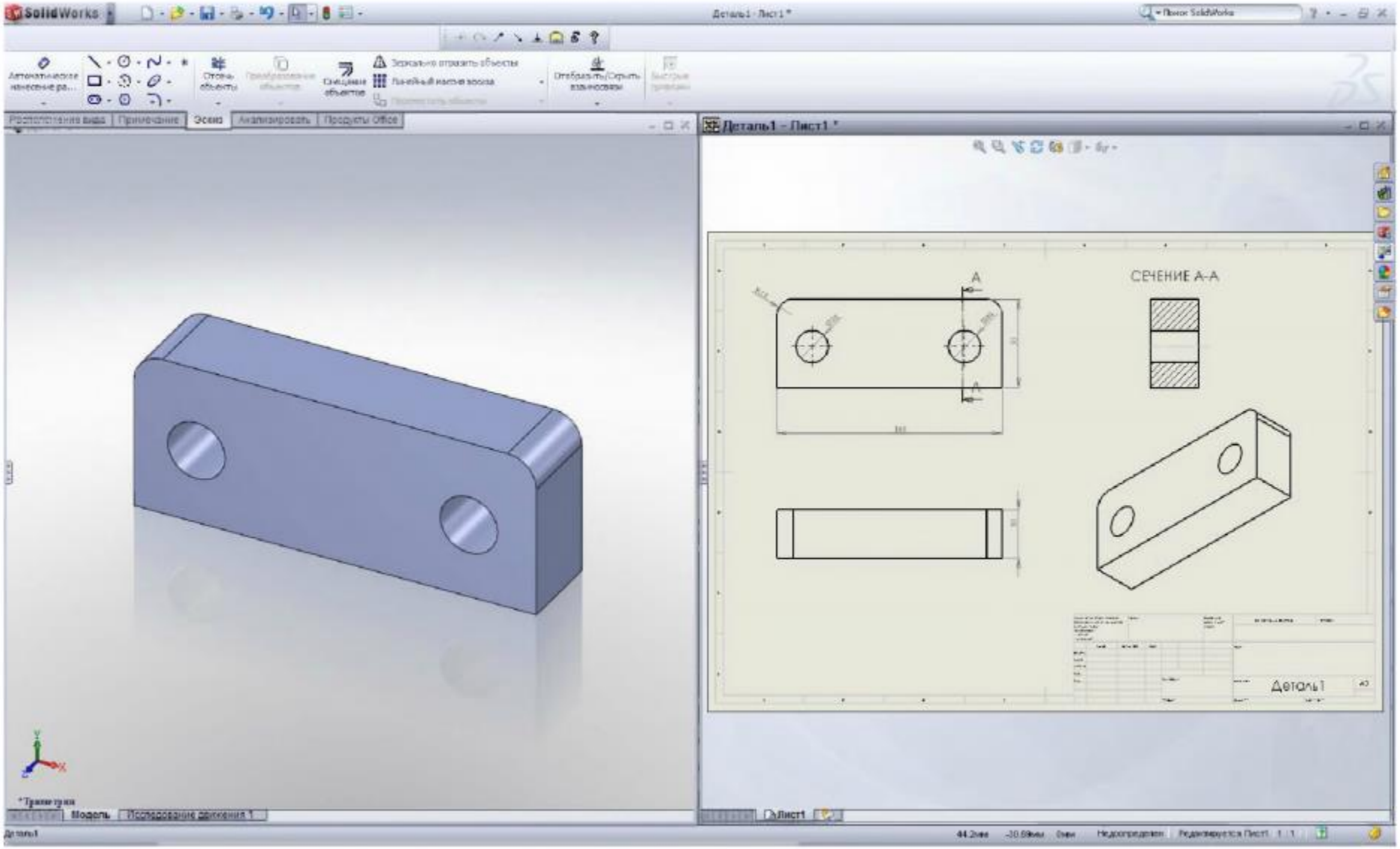
Вариационная (размерная) параметризация



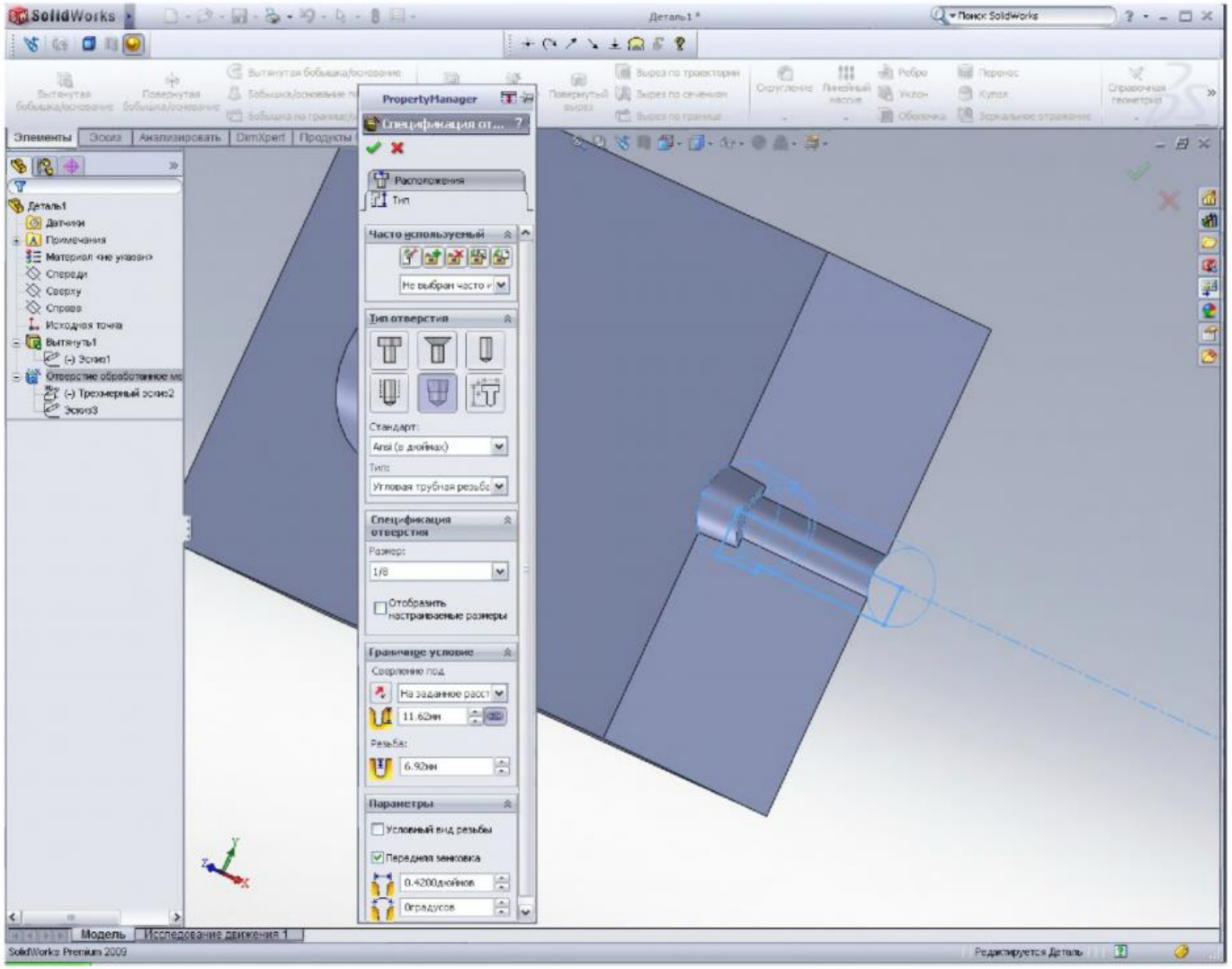
Геометрическая параметризация



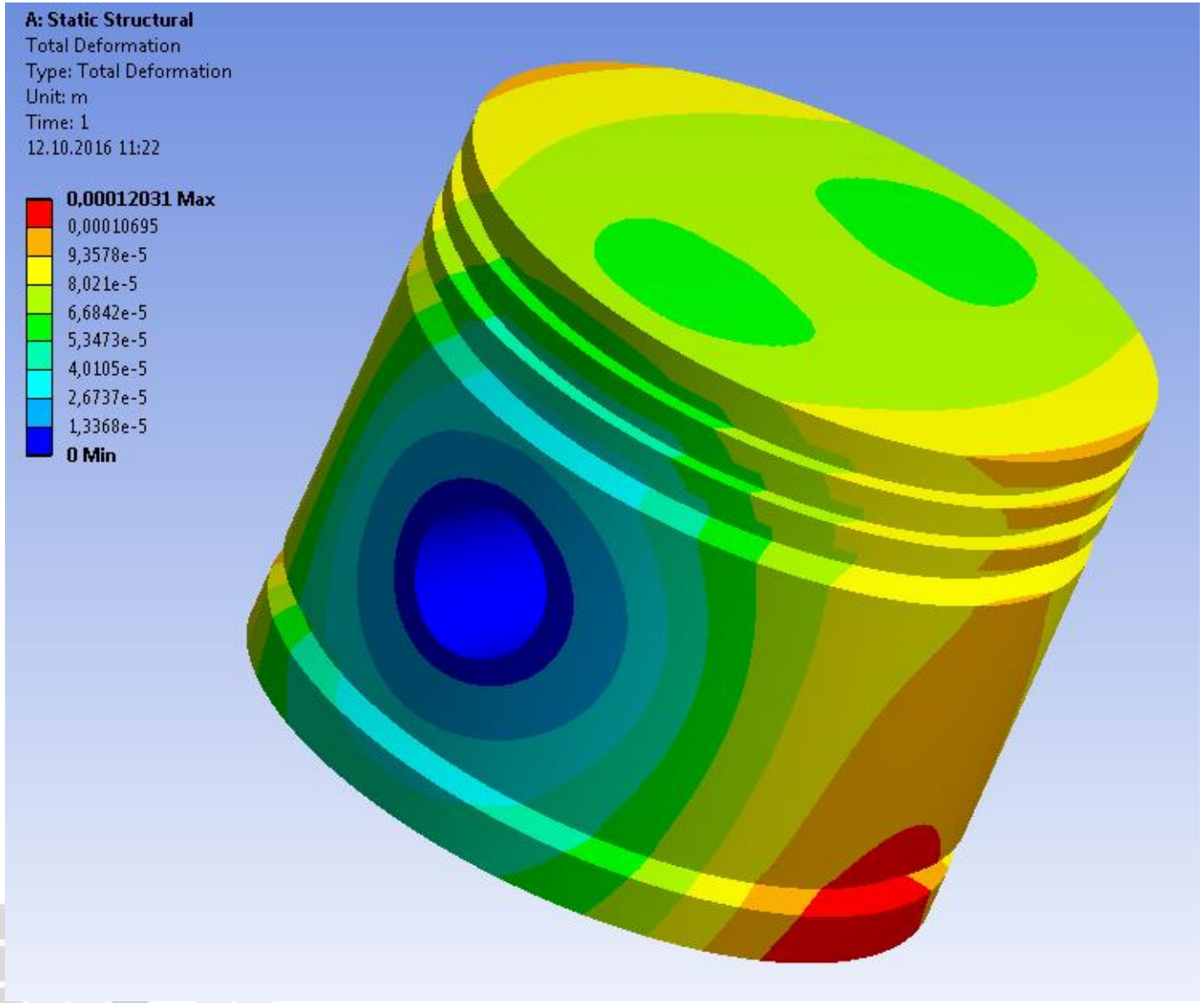
Ассоциативное конструирование



Объектно-ориентированное конструирование



CAE. Системы инженерного анализа методом конечных элементов.



Средства САЕ

- пакеты математического моделирования: *Mathcad*, *MATLAB*, *Maple*;

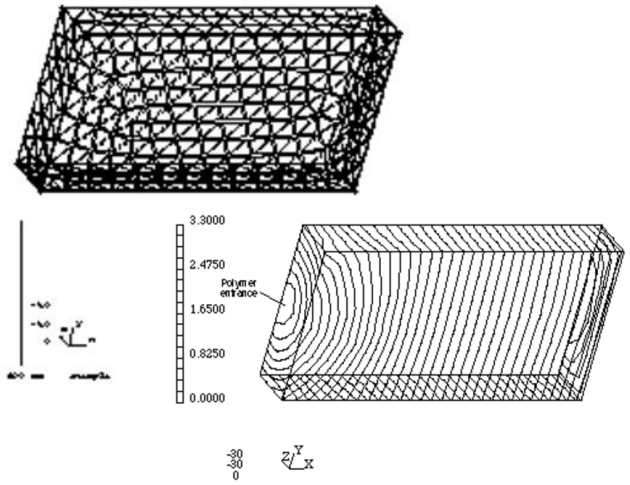
- программы проектирования систем: *LabVIEW*, *SIMULINK*, *VisSim*, *P-CAD*;

-электронные таблицы;

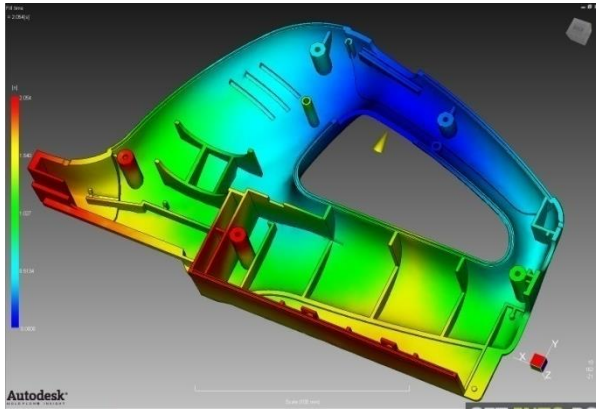
- системы, основанные на МКЭ.

САЕ-системы, основанные на МКЭ

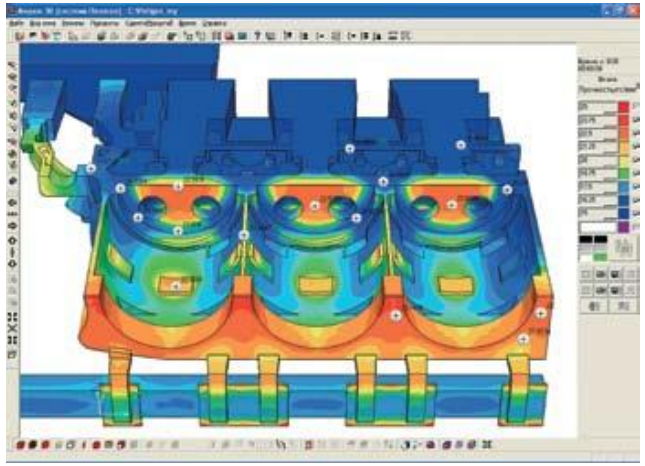
C-Mold



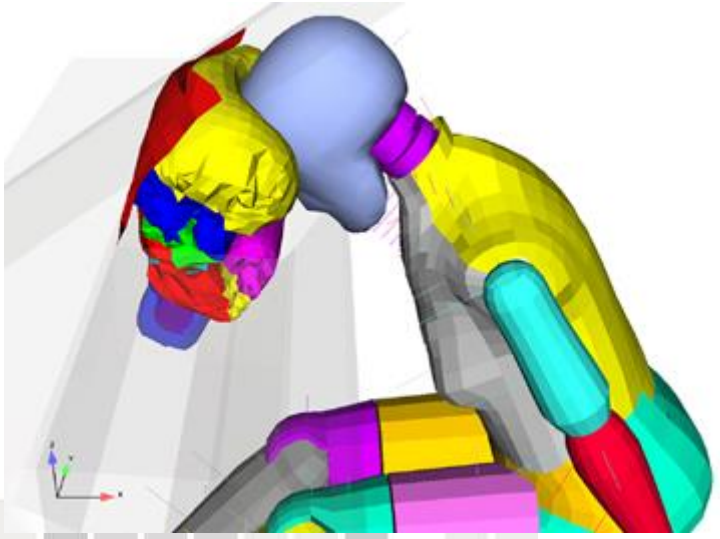
MoldFlow



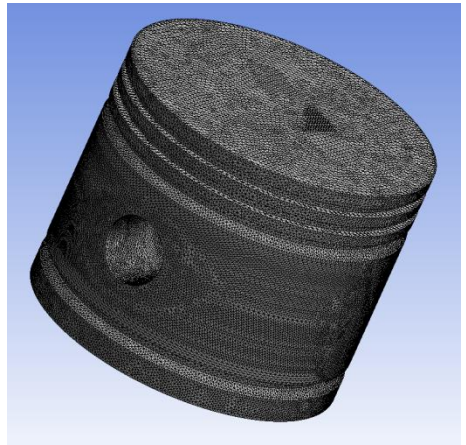
ПОЛИГОН

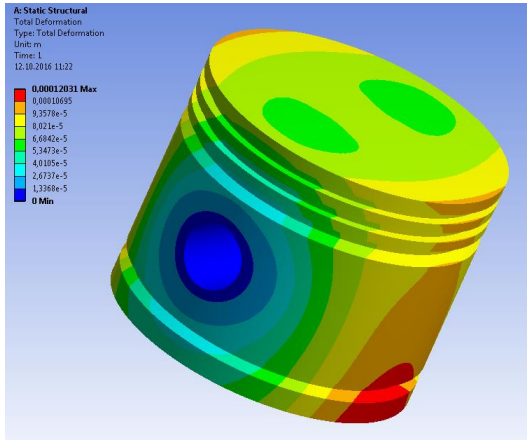


NASTRAN

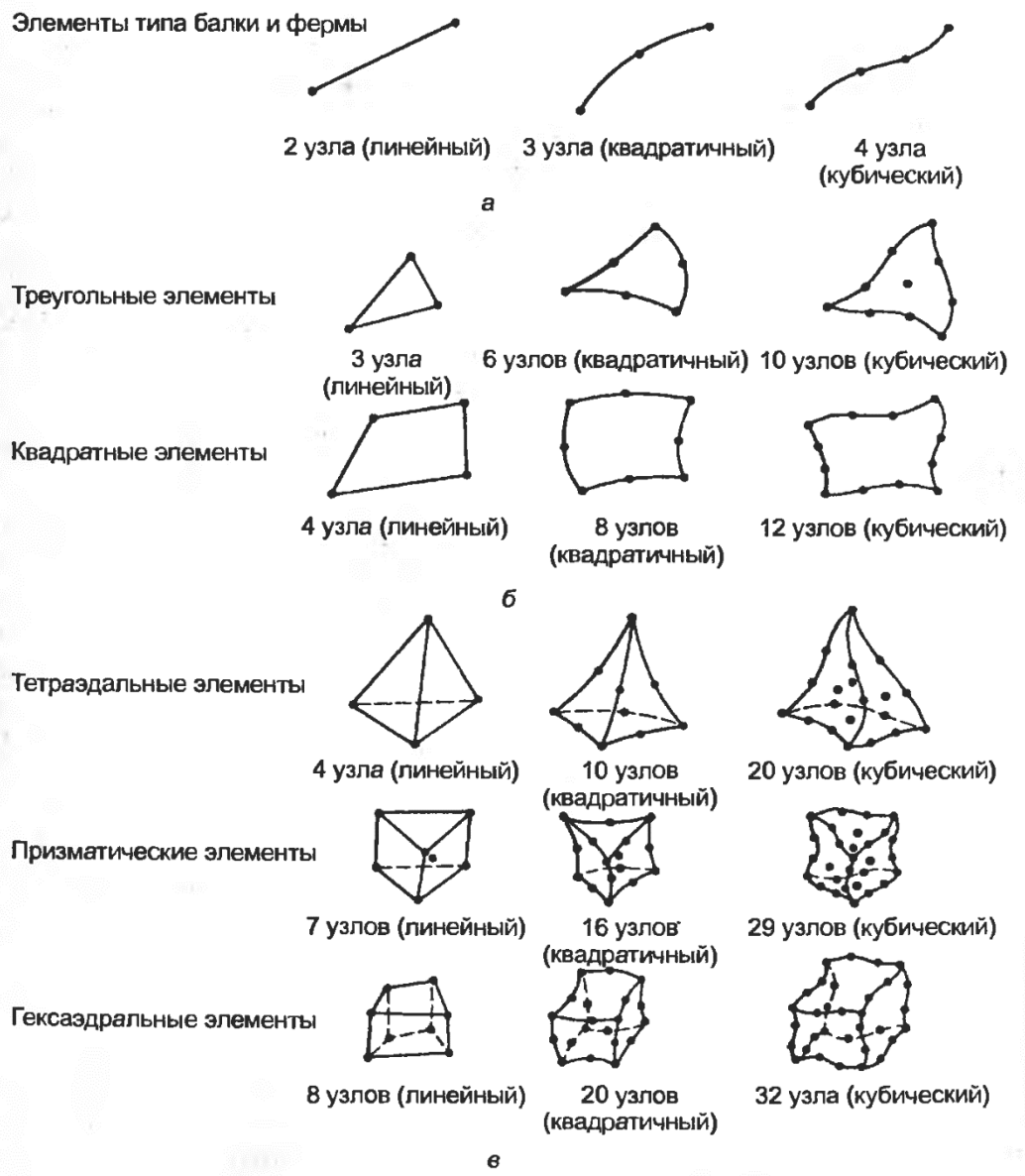


ANSYS



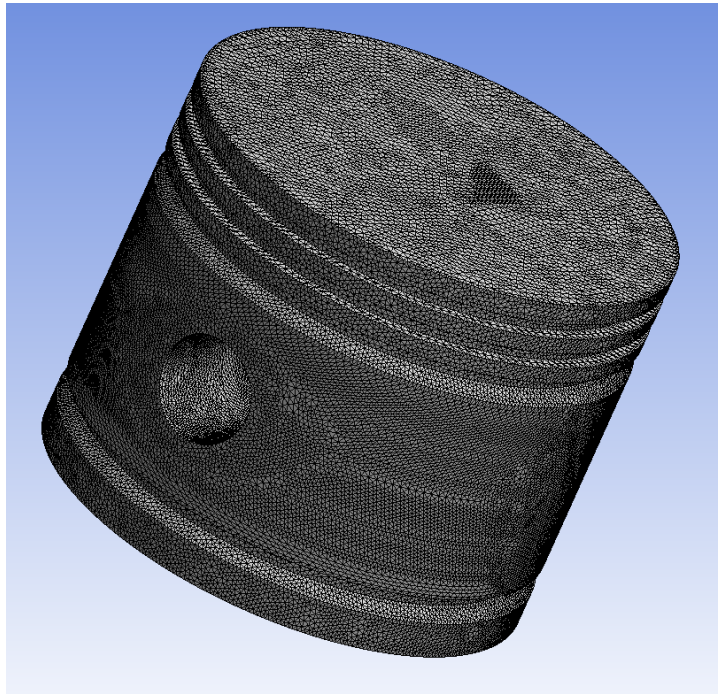


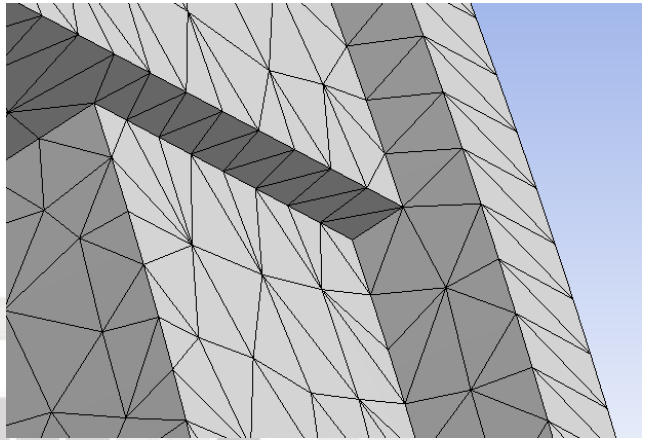
Выбор конечных элементов



Построение сетки

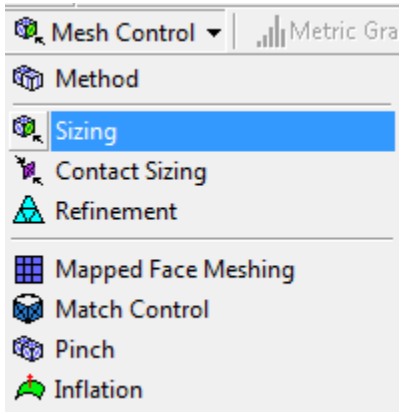
Объект, разбитый на КЭ





Тетраэдальная сетка

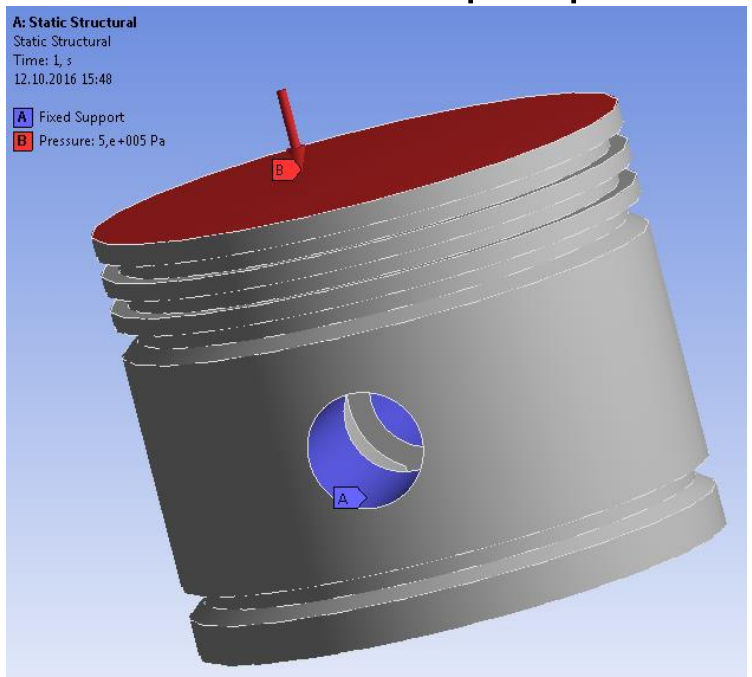
Настройка параметров сетки

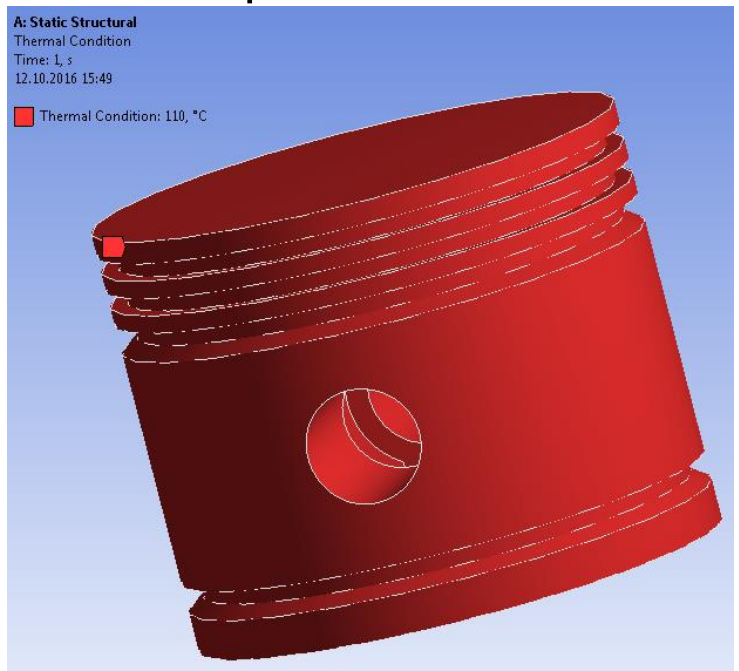


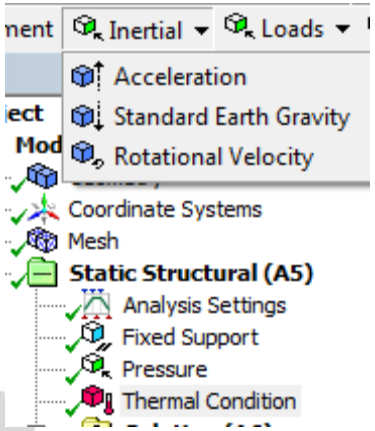
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Coarse
Element Size	1,e-003 m
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Minimum Edge Length	8,7588e-004 m
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0,272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Advanced	
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled

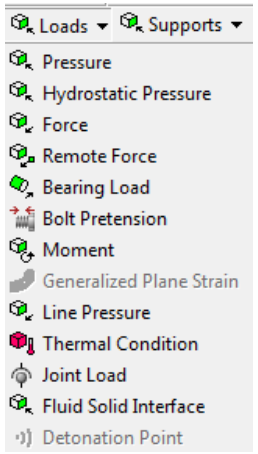
Задание граничных условий (ГУ)

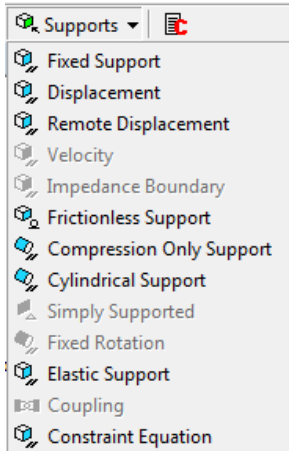
ГУ при прочностном анализе поршня











Свойства материала

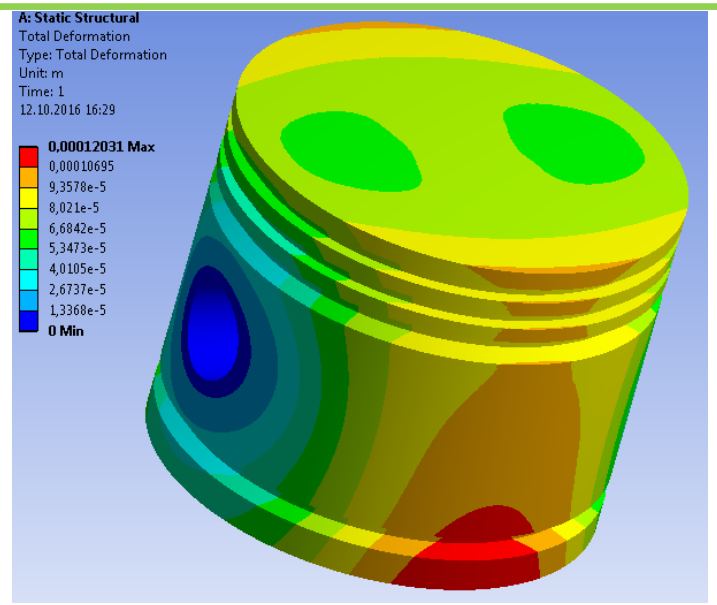
Outline of Schematic A2: Engineering Data

	A	B	C	D
1	Contents of Engineering Data		S...	Description
2	Material			
3	Structural Steel			Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
*	Click here to add a new material			

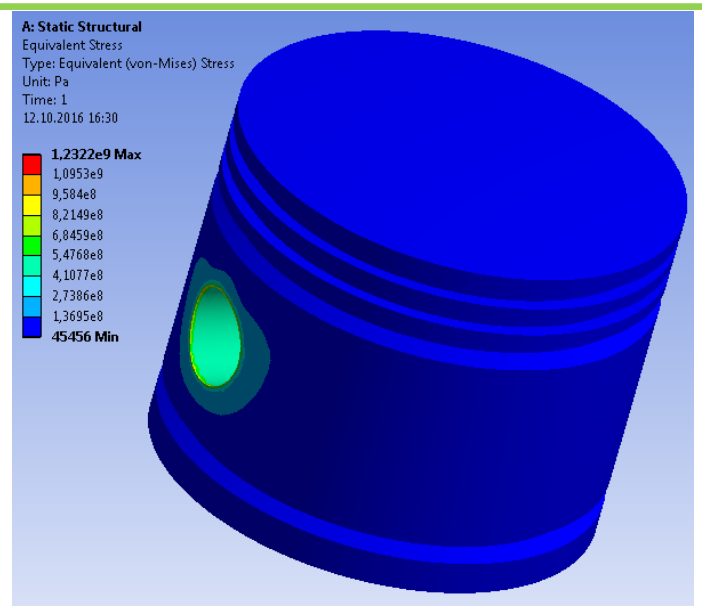
Properties of Outline Row 3: Structural Steel

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Density	7850	kg m^-3		
3	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
4	Coefficient of Thermal Expansion	1,2E-05	C^-1		
5	Reference Temperature	22	C		
6	Isotropic Elasticity				
7	Derive from	Young's Modulus and...			
8	Young's Modulus	2E+11	Pa		
9	Poisson's Ratio	0,3			
10	Bulk Modulus	1,6667E+11	Pa		
11	Shear Modulus	7,6923E+10	Pa		
12	Alternating Stress Mean Stress	Tabular			
13	Interpolation	Log-Log			
14	Scale	1			
15	Offset	0	Pa		
16	Strain-Life Parameters				
17	Display Curve Type	Strain-Life			
18	Strength Coefficient	9,2E+08	Pa		
19	Strength Exponent	-0,106			
20	Ductility Coefficient	0,213			
21	Ductility Exponent	-0,47			
22	Cyclic Strength Coefficient	1E+09	Pa		
23	Cyclic Strain Hardening Exponent	0,2			
24	Tensile Yield Strength	2,5E+08	Pa		
25	Compressive Yield Strength	2,5E+08	Pa		
26	Tensile Ultimate Strength	4,6E+08	Pa		
27	Compressive Ultimate Strength	0	Pa		

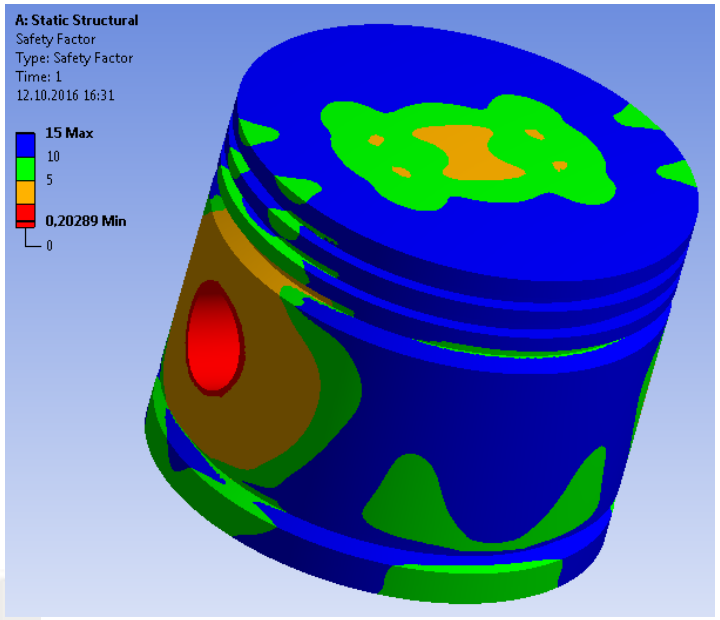
Просмотр результатов расчета



Деформации



Напряжения



Коэффициент запаса по прочности

Выбор САПР

Выбор САПР, наиболее оптимально решающей задачи конкретного предприятия, - это непростая задача как для небольших компаний, так и для крупных корпораций. Процесс выбора всех компонент САПР - CAD, CAM, CAE, PDM и т. д. - зачастую характеризуется невысоким уровнем аргументации, недостаточной глубиной анализа стратегических аспектов, слабым пониманием среды разработки изделия и предложений, направленных на ее улучшение, весьма приблизительной оценкой коэффициента отдачи инвестиций (Return On Investment, ROI) и других важных критериев.

Выбор САПР

Этапы выбора системы проектирования:

1. Инициация процесса.

Процесс обновления начинается с принятия решения о необходимости усовершенствования существующей системы либо замены ее новой системой.

2. Выяснение потенциальных преимуществ системы.

На этом этапе нужно определить усовершенствования, которые необходимо произвести для улучшения работы предприятия, и убедиться, что с помощью новой системы разработки можно добиться такого улучшения.

3. Формализация требований к системе.

Здесь необходимо сформировать набор технических требований к системе, определить, какую функциональность она должна включать и сколько это должно стоить. Затем, выбирая наиболее важные позиции, можно разработать поэтапный план внедрения.

4. Анализ затрат.

Методология инженерного анализа

Определение задачи

Построение модели

Аналитической

Применение физических принципов

Экспериментальной

Накопление данных

Вычисления

Проверки

Оптимизация

Оценка и обобщение

Выдача результатов и рекомендаций

Оптимизация

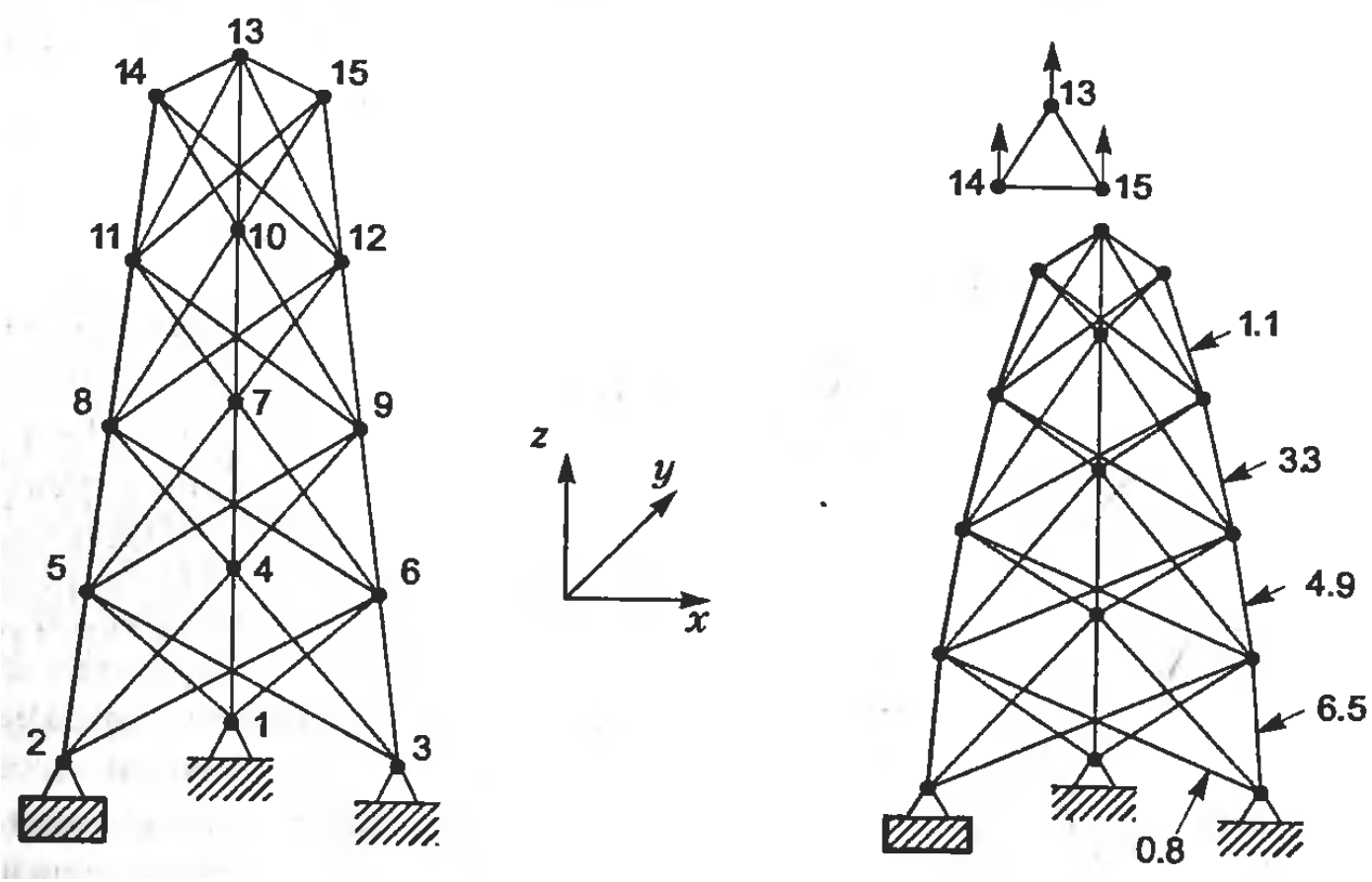
Структурная оптимизация

Геометрическое моделирование → Моделирование границ и конечных элементов

Структурная оптимизация → Анализ методом конечных элементов

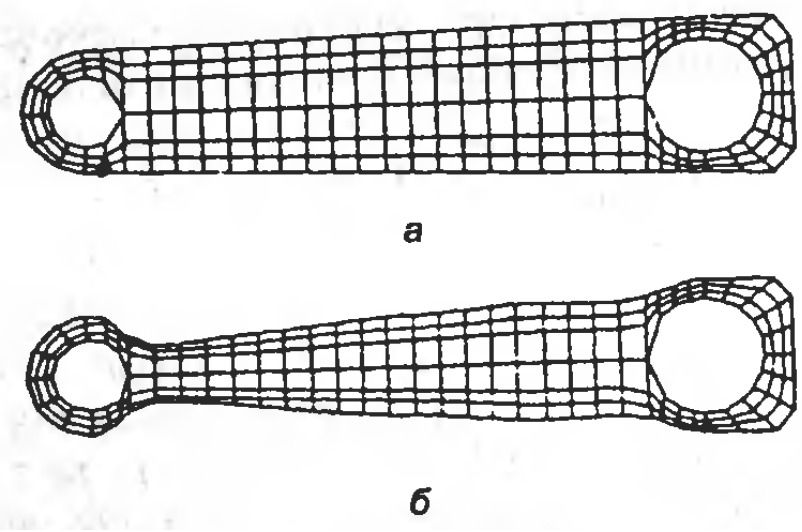
Оптимизация → Алгоритм нелинейного программирования

Оптимизация размеров

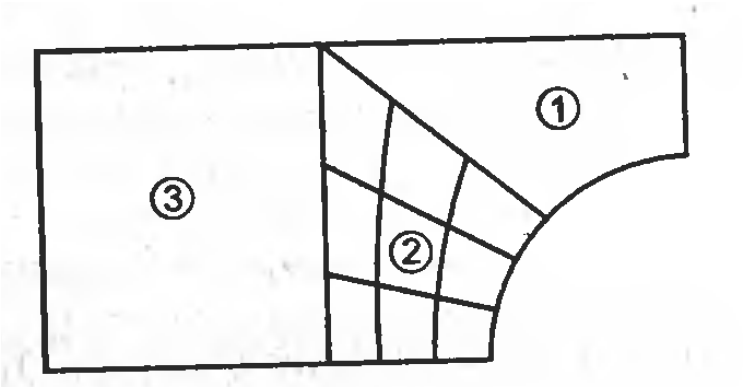


Оптимизация конструкции фермы

Оптимизация формы



Оптимизация формы реактивной штанги



Элемент конструкции

Элемент конструкции, аппроксимированный сплайном