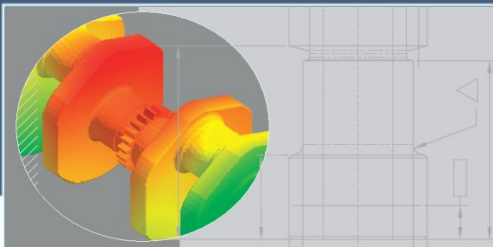


Метод конечных элементов в САЕ-системах

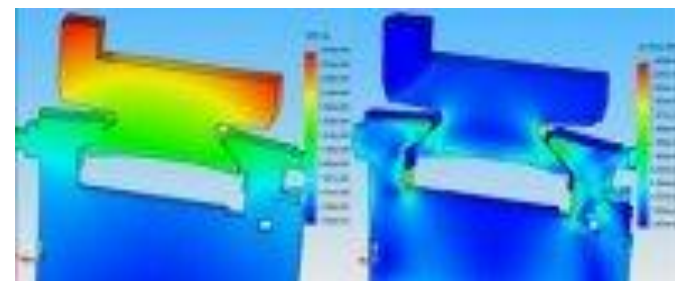
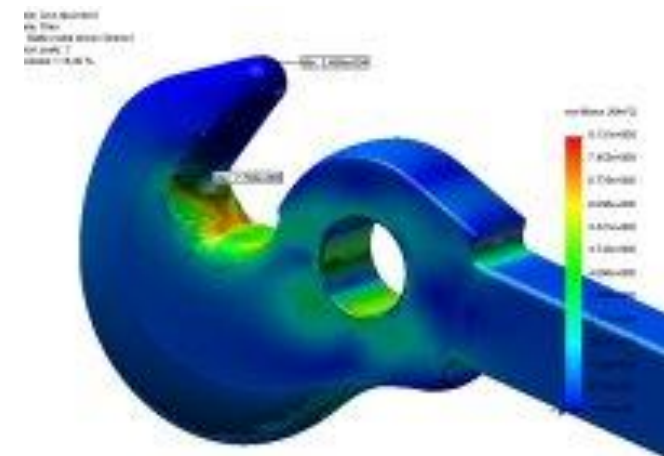
- Основные принципы моделирования МКЭ
- Виды анализа и задачи решаемые в САЕ-системах
- Основные этапы конечно-элементного анализа

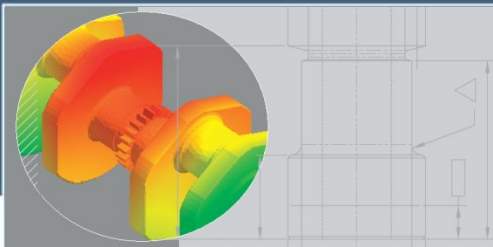


Основные принципы моделирования МКЭ

Метод конечных элементов (МКЭ) - основной подход к анализу напряженно-деформированного состояния, лежащий в основе подавляющего большинства современных САЕ-систем, предназначенных для выполнения расчетов на прочность различных конструкций посредством численных алгоритмов на ЭВМ.

МКЭ используется не только в области прочностных расчетов, но и для решения задач во многих других сферах, например, решения задач **теплопроводности, гидродинамики, электромагнетизма**, и др.





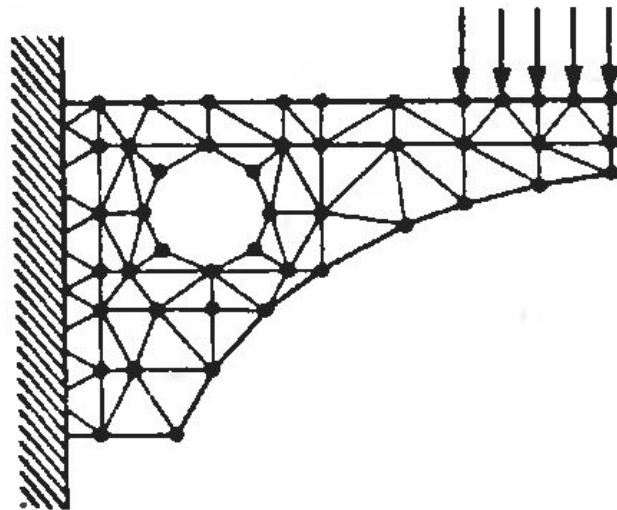
Основные принципы моделирования МКЭ

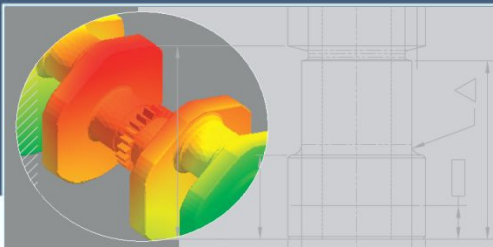
Основная концепция метода конечных элементов заключается в том, что любую непрерывную величину, такую, как деформации, напряжения, температура, давление можно аппроксимировать дискретной моделью, которая строится на множестве кусочно-непрерывных функций, определенных на конечном числе подобластей.

Для создания дискретного пространства, состоящего из подобластей, исследуемая область (область задачи) разбивается на множество ячеек. Такие ячейки называются **конечными элементами**.

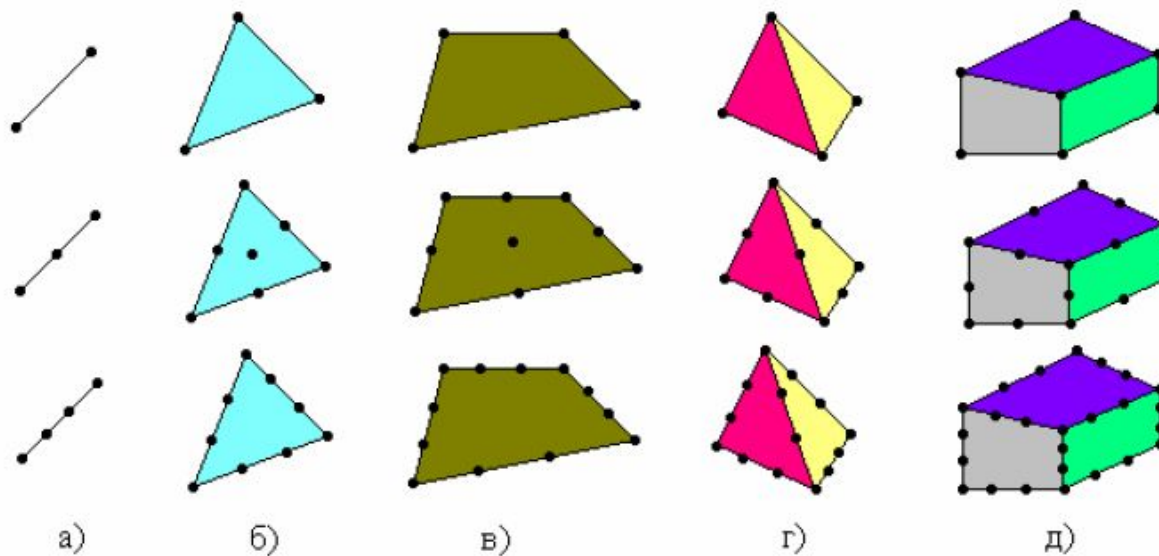
Множество элементов, на которые разбита исследуемая область, называется **конечно-элементной сеткой**.

Для создания конечно-элементной сетки могут быть использованы различные **типы конечных элементов**.





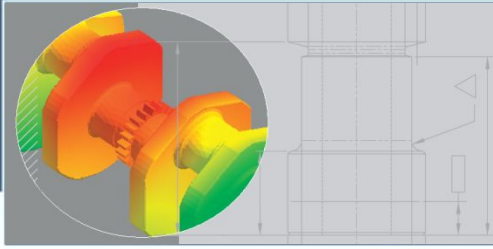
Основные принципы моделирования МКЭ



Для расчёта ферм используются линейные стержневые элементы **(а)**. Эти элементы используются при моделировании пружин, стержней, балок, рам и т.п.

Плоские двумерные элементы **(б-в)** применяются для моделирования мембран, тонких пластин, тонкостенных оболочек и т.п.

Объёмные трёхмерные элементы **(г-д)** применяются при анализе напряжённо-деформированного состояния в объёмах, телах объектов.



Основные принципы моделирования МКЭ

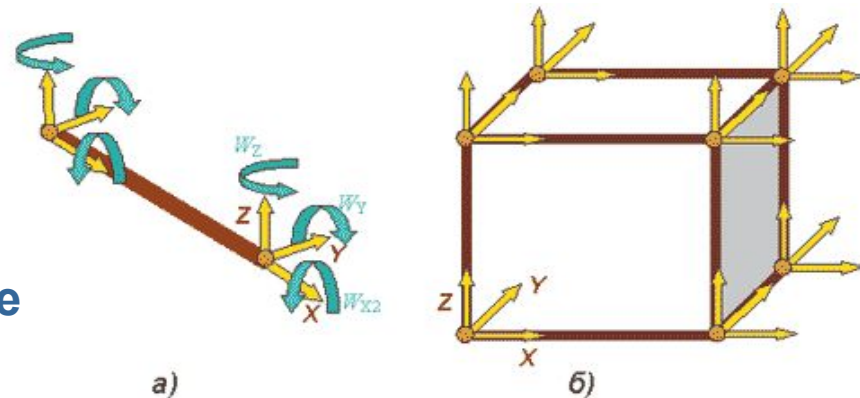
Вершины конечных элементов называются **узлами**. Узлы используются для описания геометрии элемента и для задания компонент решения (неизвестных искомых величин).

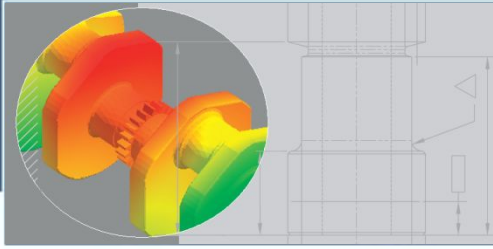
Отдельные конечные элементы сетки связывают между собой не по всей поверхности контакта, а только в отдельных точках, внешних узлах.

Число связей конечного элемента с окружающей областью принято называть **числом степеней свободы**, которые определяют компоненты решения в узле.

Степень свободы является чрезвычайно важным понятием в МКЭ, так как она определяет тип искомой величины и возможность изменения направления ее вектора в узловой точке.

В зависимости от решаемой задачи число степеней свободы в узле может быть различным. Например при решении задачи теплопроводности одна степень свободы – значение температуры, для векторных величин, деформаций, это две степени свободы.





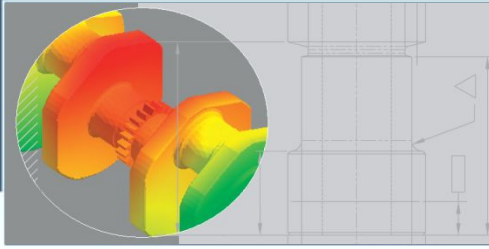
Основные принципы моделирования МКЭ

Способ разбиения области задачи сеткой конечных элементов, выбор типа конечных элементов, их размеров, состава граничных условий, способов их определения оказывают значительное влияние на результаты и точность конечно-элементного анализа.

Поэтому вопрос соответствия между расчетной моделью и реальностью является, пожалуй, основным при использовании программ конечно-элементного анализа.

Несмотря на то, что САЕ – системы имеют более или менее подробную документацию, они все равно остаются в определенной степени «черными ящиками».

Это означает определенную непредсказуемость результатов, а также некоторый произвол в их интерпретации. По этому, **достоверная оценка, полученных результатов конечно-элементного анализа, в значительной части зависит от уровня квалификации специалиста.**



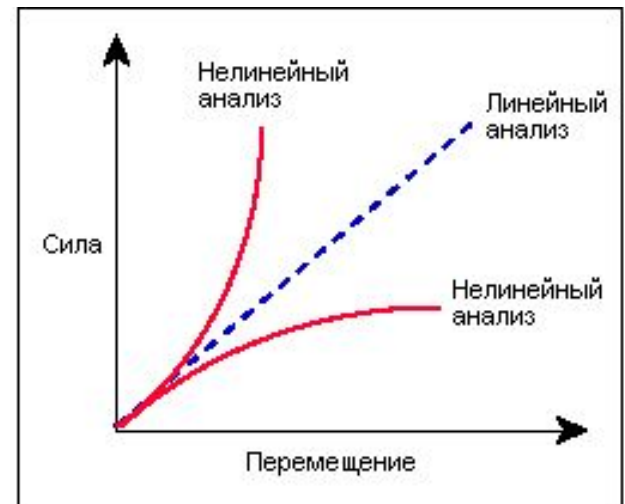
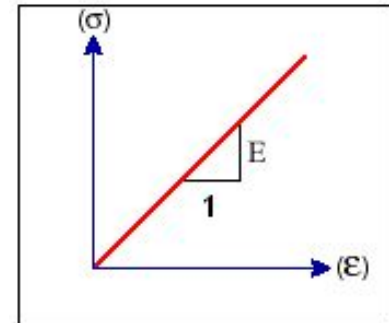
Виды анализа и задачи решаемые в CAE - системах

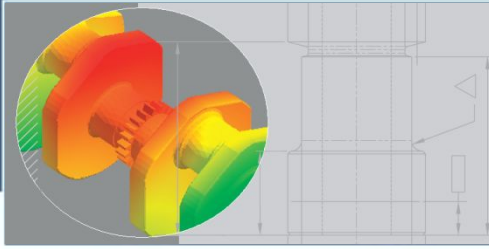
Линейный статический анализ

Линейный статический анализ предназначен для расчёта перемещений, напряжения, и реакций под воздействием приложенных нагрузок.

При выполнении статического анализа приняты следующие условия:

- Все деформации и напряжения в материалах модели подчиняются закону Гука;
- Вызванные перемещения достаточно малы, чтобы можно было пренебречь изменениями в жесткости, вызванными нагружением;
- Граничные условия не изменяются во время приложения нагрузок.
- Нагрузки определены как постоянные по величине, направлению и распределению и не изменяются во время деформирования модели.





Виды анализа и задачи решаемые в CAE - системах

Частотный анализ

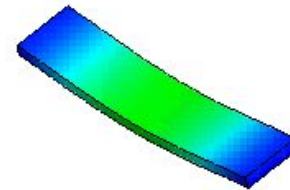
Каждая конструкция имеет свойство вибрировать на определенных частотах, называемых собственными или резонансными частотами.

Собственные частоты и формы колебаний зависят от формы, размеров, свойств материала и условий закрепления.

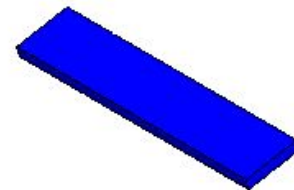
Вычисление собственных частот и форм колебаний называется частотным анализом или анализом собственных колебаний.

Частотные исследования помогают избежать резонанса, а также используются при проектировании систем виброизоляции.

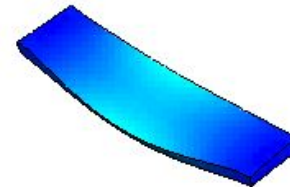
Частотные исследования позволяют сформировать базу данных для оценки реакции линейных динамических систем



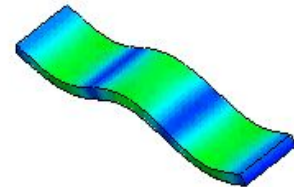
Режим 1



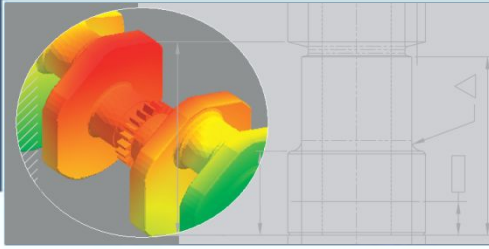
Режим 2



Режим 4



Режим 5



Виды анализа и задачи решаемые в САЕ - системах

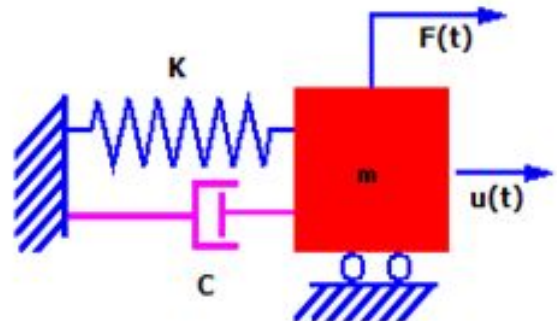
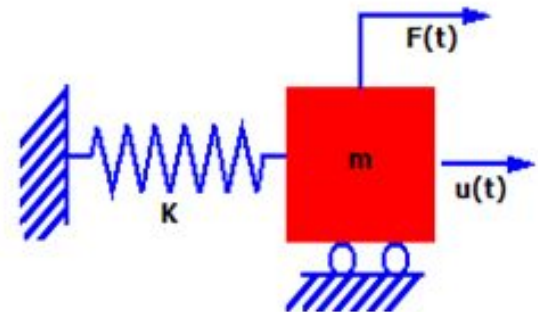
Динамический анализ

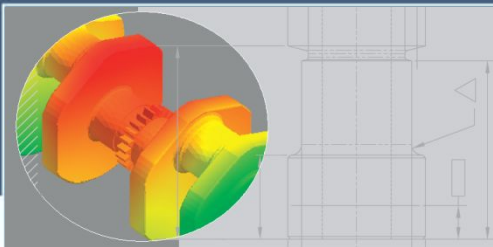
Динамический анализ используется в тех случаях когда внешние нагрузки плавно изменяются во времени или с определенной частотой.

Динамический анализ целесообразно проводить в том случае, если частота нагрузки больше чем $1/3$ самой низкой собственной частоты объекта.

Целью динамического анализа является:

- Проектирование узлов механических систем для работы без разрушения при динамических нагрузках.
- Модификация характеристик системы (то есть, формы, механизмов демпфирования, свойств материала, и т. п.), чтобы уменьшить влияние вибрации.





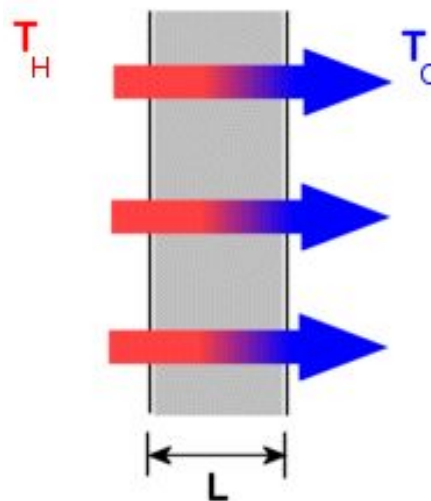
Виды анализа и задачи решаемые в CAE - системах

Термический анализ

Термический анализ предназначен для расчета распределения температуры в теле под воздействием процессов **теплопроводности, конвекции и излучения.**

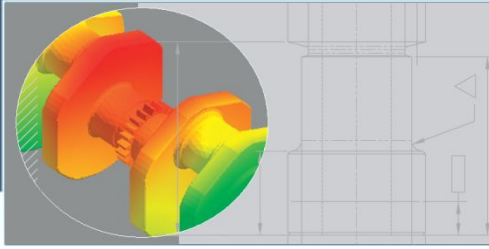
Теплопроводность представляет собой механизм переноса тепла, в котором термическая энергия переносится от одной точки к другой через взаимодействие между атомами или молекулами материи.

Перенос тепла в телах подчиняется закону Фурье, который устанавливает, что скорость переноса тепла **Q_{пр}** пропорциональна площади переноса тепла **S** и температурному градиенту **dT/dx**.



$$Q_{\text{пр}} = - K * S (T_H - T_C) / L$$

где **K** – коэфф.теплопроводности, Вт/м;
S – площадь поверхности, м.кв;
T_H – начальная температура, градус;
T_C – конечная температура, градус.



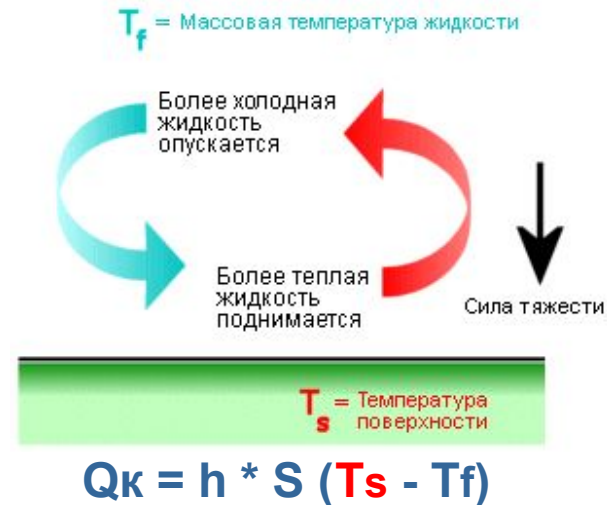
Виды анализа и задачи решаемые в CAE - системах

Термический анализ

Конвекция - физическое явление, связанное с переносом тепла, при котором тепло переносится между поверхностью твердого тела и соседствующей движущейся жидкостью или газом.

Конвекция происходит следующим образом: слой жидкости, соседствующий с горячей поверхностью, нагревается, его плотность уменьшается и он всплывает. Холодная жидкость (более тяжелая) у поверхности замещается теплой жидкостью.

Скорость теплообмена Q_k между жидкостью с температурой T_f и поверхностью твердого тела площадью S при температуре T_s подчиняется закону охлаждения Ньютона,

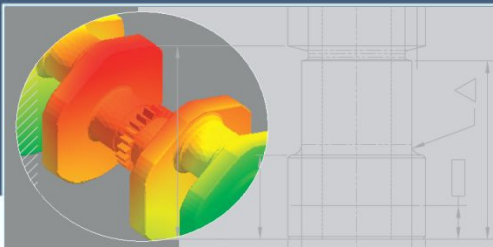


где h – коэфф. конвективной теплопередачи, Вт/м.кв;

S – площадь поверхности, м.кв;

T_f – температура жидкости, град;

T_s – температура поверхности, град.



Виды анализа и задачи решаемые в CAE - системах

Термический анализ

Тепловое излучение представляет собой тепловую энергию, испускаемую телами в форме электромагнитных волн при температуре тела выше абсолютного нуля.

При определении излучения от поверхностей в CAE – системах обычно рассматриваются следующие варианты:

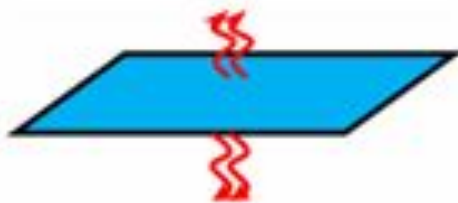
Поверхность с окружением

Излучение направлено в окружающую среду от одной стороны поверхности

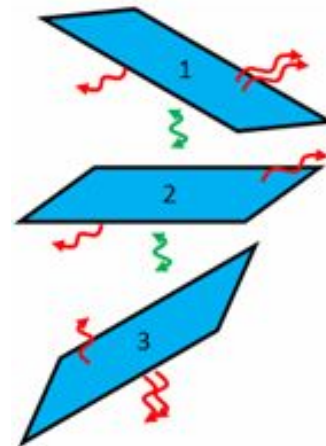


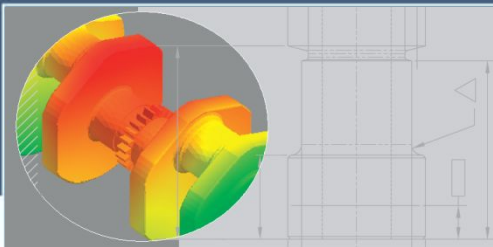
Открытая система

Излучение направлено в среду от обеих сторон поверхностей



От поверхности к поверхности





Виды анализа и задачи решаемые в CAE - системах

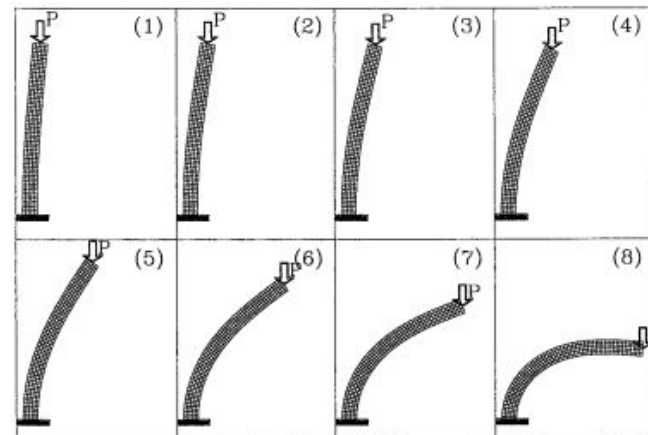
Анализ потери устойчивости

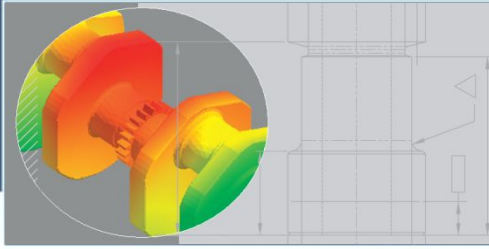
Анализ потери устойчивости решает задачу оценки критических коэффициентов потери устойчивости и определяет форму объекта в режиме потери устойчивости.

Потеря устойчивости определяется как внезапная деформация, которая происходит тогда, когда внутренняя сохраненная энергия преобразуется в энергию изгиба при постоянных величинах или направлениях приложенных внешних нагрузок.

Коэффициент критической продольной нагрузки (BLF) равен коэффициенту запаса прочности при потере устойчивости или отношению критической нагрузки потери устойчивости к приложенной нагрузке.

Форма, которую модель принимает при потере устойчивости, называется **«Форма режима потери устойчивости»**, а нагрузка называется **«Критическая продольная нагрузка»**.





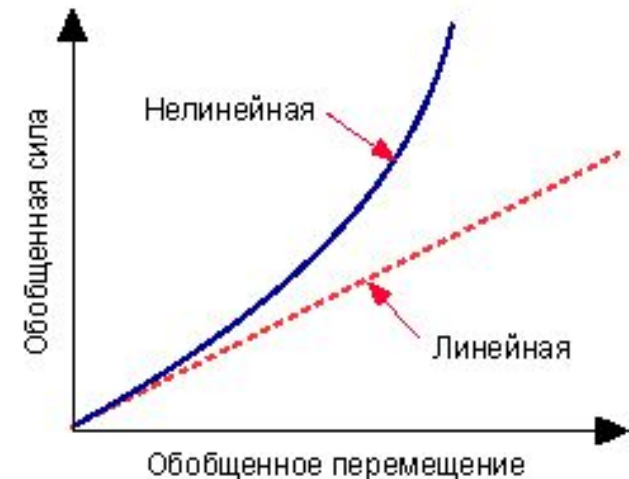
Виды анализа и задачи решаемые в CAE - системах

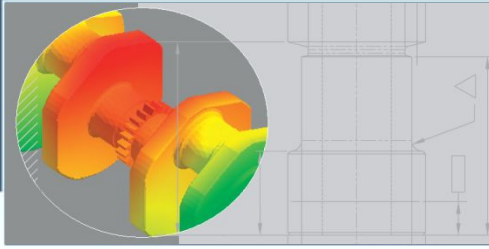
Нелинейный статический анализ

Нелинейный статический анализ предназначен для расчёта перемещений, напряжений, и реакций под воздействием приложенных нагрузок если материал объекта при этих условиях имеет нелинейные характеристики напряжение-деформация.

Нелинейность может быть вызвана физико-механическими свойствами материала, большими перемещениями и условиями контакта поверхностей деталей.

У различных материалов с увеличением нагрузки отношение напряжение-деформация становится нелинейным. В таких случаях линейный анализ может привести к ошибочным результатам, так как нарушены допущения на которых он основан.





Виды анализа и задачи решаемые в CAE - системах

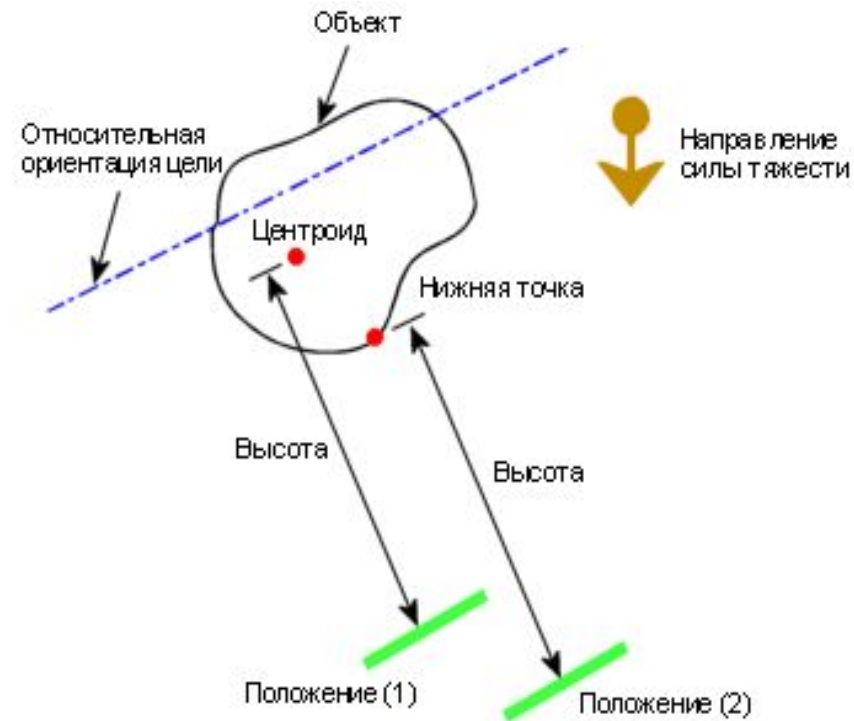
Анализ при ударных нагрузках

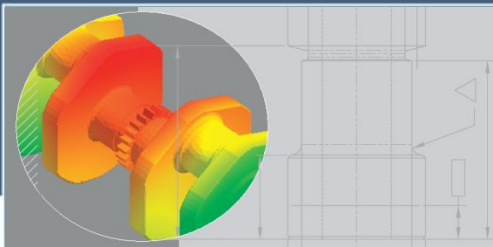
Исследования на ударную нагрузку оценивают воздействие удара детали или сборки о жесткую или гибкую плоскую поверхность.

Программа анализа ударных нагрузок автоматически определяет силу удара, гравитационные нагрузки, условия контакта между телом и плоскостью удара.

Исходными данными при анализе ударных нагрузок являются:

- Высота падения;
- Скорость при ударе;
- Значение ускорения свободного падения;
- Ориентация плоскости удара;
- Коэффициент трения между объектом и плоскостью удара





Виды анализа и задачи решаемые в CAE - системах

Анализ усталости

Исследования на усталость позволяют оценить **усталостную долговечность объекта**

Усталостная долговечность, при заданном уровне знакопеременного напряжения, равна количеству циклов нагружения, требуемых, для разрушения объекта.

При исследовании на усталость знакопеременные напряжения задаются максимальным и минимальным напряжениями с постоянной или переменной амплитудами.

После проведения анализа усталости можно создать эпюры срока жизни, повреждений и коэффициента безопасности для исследуемого объекта.

