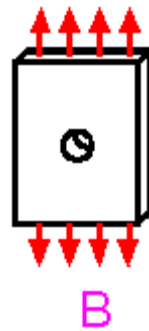


Метод конечных элементов (МКЭ)

Теории упругости, пластичности и другие аналитические теории позволяют решить большое количество инженерных задач. Однако многие практические инженерные задачи не могут быть решены аналитически из-за сложности моделирования, реальных граничных условий и сложной геометрии конструкции.

Случаи с простой геометрией, как А, В и С могут быть решены аналитическими методами для получения значений внутренних напряжений, деформаций и собственных частот колебаний аналитическими методами. Задачи со сложной геометрией (судовой винт D), обычно решаются численными методами, такими как метод конечных элементов.



Задачи, решаемые МКЭ

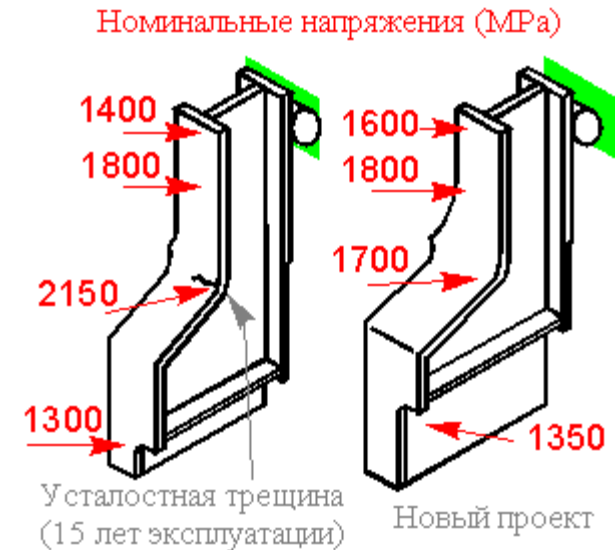
- Анализ напряжений. Рассчитать напряжения, деформации, перемещения при статической нагрузке.
- Тепловой перенос. Прогнозирование распределения температур для объекта, подвергнутого нагреву, радиации, конвекции и прохождению электрического тока.
- Анализ термических напряжений. Напряжения, деформации из-за теплового расширения.
- Модальный анализ. Рассчитываются вибрационные характеристики (собственные частоты и формы колебаний).
- Поток течения. Моделируется поток течения в газах, воздухе, воде для определения температуры, давления, скорости и т.д.
- Линейная устойчивость. Вычисляется нагрузка, при которой структура будет терять работоспособность из-за потери устойчивости при упругих деформациях.
- Нелинейный анализ. Анализ нелинейного (пластического) поведения материала и больших перемещений.

Область применения МКЭ

Анализ МКЭ используется для оптимизации проекта, обеспечения гарантий безопасности, уменьшения времени создания проекта, веса детали, затрат на производство и испытания.

Проектировщики могут использовать анализ FEA чтобы

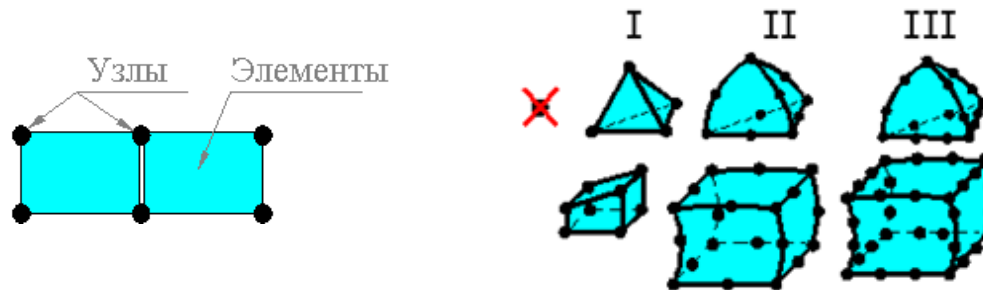
- Доказывать безопасность проекта;
- Выполнять требования стандарта;
- Модифицировать существующий проект;
- Проверять новые и конкурирующие проекты;
- Рассматривать явления в проекте, которые не могут быть измерены экспериментальными методами вообще.



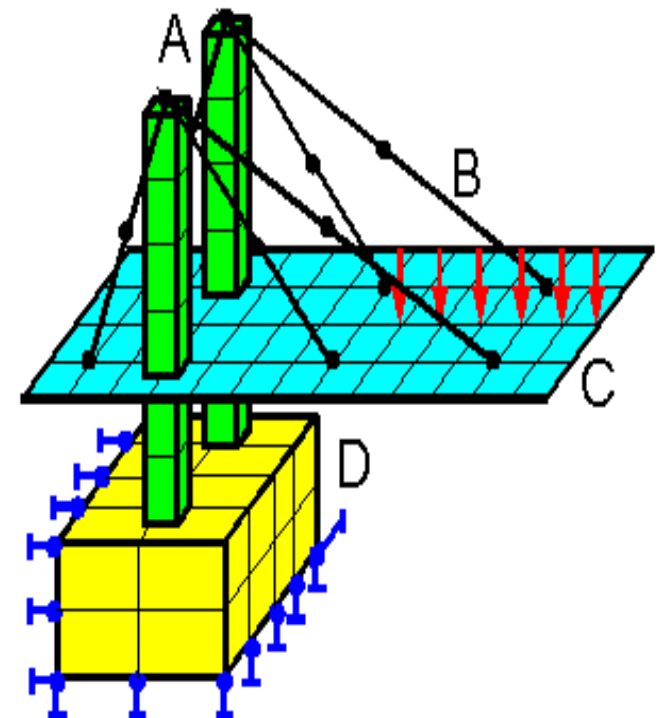
Сейчас конечно-элементные пакеты были объединены с системами автоматизированного проектирования и объемного твердотельного моделирования (CAD). CAD используют программы моделирования геометрических или сплошных твердотельных моделей для создания и модификации проекта. Структура может быть нарисована в виде сплошной твердой модели одним из многих доступных CAD пакетов.

В методе конечных элементов сложная конструкция разделяется на небольшие элементы (*конечные элементы*), связанные друг с другом через *узлы*. Любая непрерывная величина (перемещения, напряжения, температура и т.п.) аппроксимируется в пределах каждого элемента. Результатом моделирования является получение распределения искомой величины во всей конструкции.

Обычно используются несколько типов конечных элементов: балка (A), связка (B), тонкая оболочка (C), среда (D). В одной модели можно использовать несколько типов элементов одновременно.



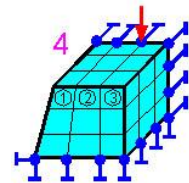
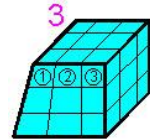
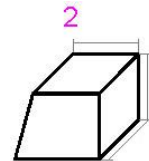
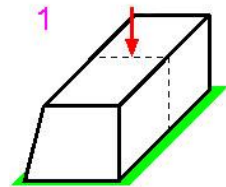
Сплошные элементы могут быть линейные или параболические. Линейные элементы имеют узлы только на углах и их грани прямые. Минимальное количество узлов для 3D элементов - 4. Параболические элементы могут иметь узлы на середине каждой стороны.



Этапы решения задачи с помощью МКЭ

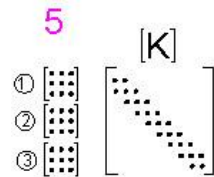
предпроцессорная
обработка

1. Определяют задачу и нагрузки, создают эскиз конструкции.
2. Строят геометрическую модель конструкции с помощью модулей твердотельного моделирования, встроенных в КЭ программы, или системы автоматизированного проектирования.
3. Создают КЭ сетку.
4. Задают граничные условия (кинематические связи и нагрузки).



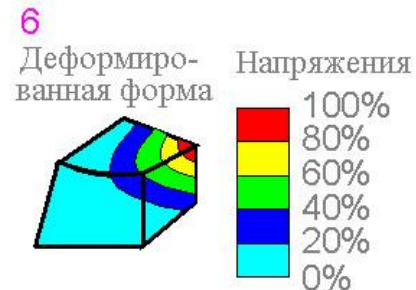
процессор

5. Решают систему уравнений МКЭ.



постпроцессорная
обработка

6. Анализируют полученные результаты.



Погрешности МКЭ

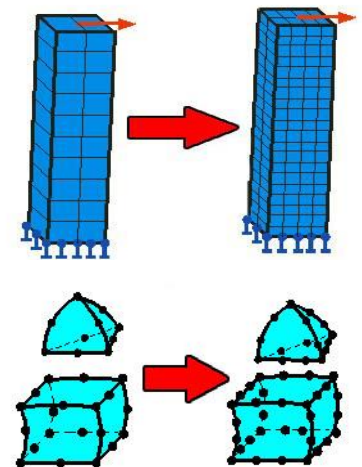
Числовое моделирование требует упрощений и приближений. Результаты анализа методом конечных элементов не дают 100%-ную гарантию от ошибок. Успех решения зависит от того, как близко отвечают действительности граничные условия, геометрия и поведение материала модели объекта.

Ошибки МКЭ:

- 1) *ошибки дискретизации*, являющиеся результатом геометрических различий границы области и ее аппроксимации по методу МКЭ
- 2) *ошибки пробной или базисной функции*, обусловленные разностью между точным решением и его представлением пробной функцией

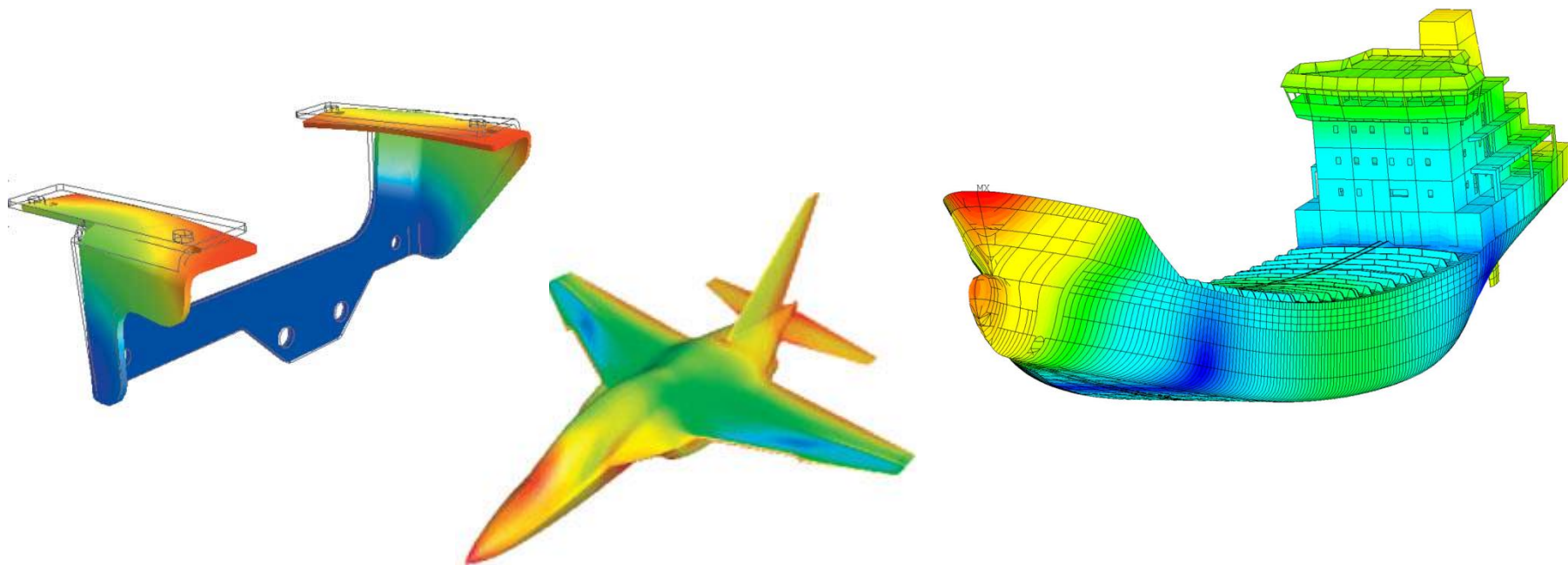
Существуют два основных метода для увеличения точности существующего решения:

- **Н-метод.** Увеличивается количество элементов или расположение криволинейных элементов около границ модели;
- **Р-метод.** увеличивается полиномиальный порядок конечных элементов.



Анализ конструкций с использованием метода конечных элементов является в настоящее время фактическим мировым стандартом для прочностных и других видов расчетов конструкций. Основой этого служит универсальность МКЭ, позволяющая единым способом рассчитывать различные конструкции с разными свойствами материалов.

Поэтому сегодня проблема правильности и точности расчетов методом конечных элементов наиболее актуальна для человечества, т.к. результаты конечно-элементного анализа напрямую используются для изготовления ракет, самолетов, кораблей, автомобилей, мостов, ангаров и т.д. Причем без экспериментальной проверки (Boeing-747).



Системы анализа, основанные на методе

Наиболее распространёнными вычислительными системами, основанными на методе конечных элементов являются:

ANSYS — универсальная система КЭ анализа с встроенным пре-/постпроцессором;

MSC.Nastran — универсальная система КЭ анализа с пре-/постпроцессором

MSC.Patran;

ABAQUS — универсальная система КЭ анализа с встроенным пре-/постпроцессором;

Impact — универсальная система КЭ анализа с встроенным пре-/постпроцессором;

NEiNastran — универсальная система КЭ анализа с пре-/постпроцессором FEMAP;

NXNastran — универсальная система КЭ анализа с пре-/постпроцессором FEMAP;

SAMCEF — универсальная система КЭ анализа с пре-/постпроцессором SAMCEF Field.

Temper-3D — система КЭ анализа для расчёта температурных полей в трёхмерных конструкциях (теплотехнический расчёт).

COSMOSWorks — универсальная система КЭ анализа с пре-/постпроцессором.

Zebulon — универсальная система МКЭ анализа с расширенной библиотекой нелинейных моделей материалов.