

# Сквозное автоматизированное проектирование электронной аппаратуры

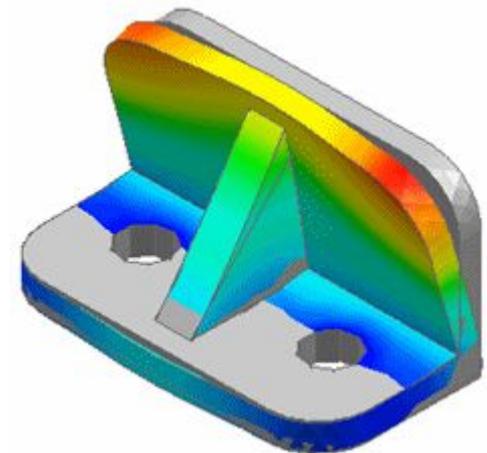
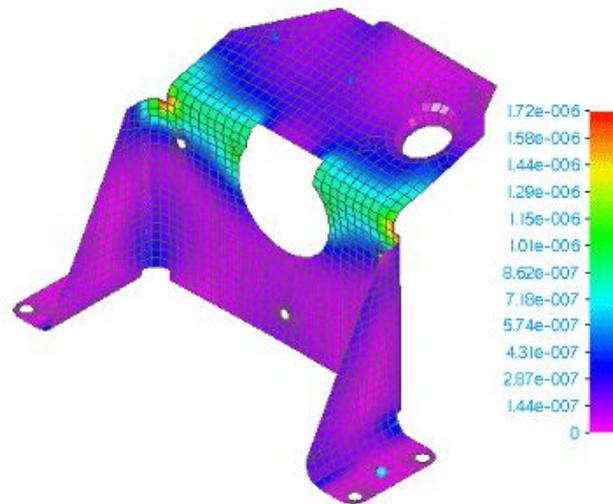
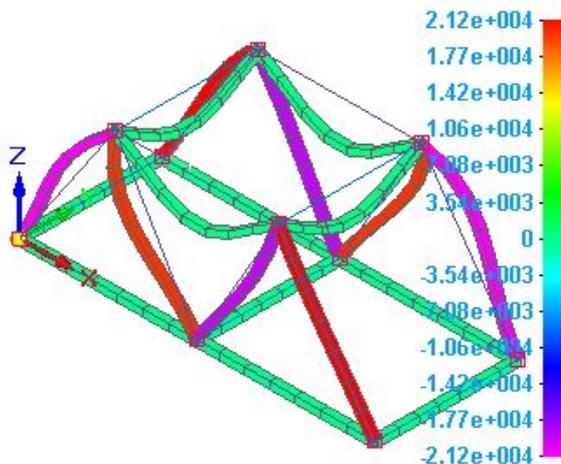
## *Лекция 11.*

Введение в инженерный анализ методом конечных элементов. Реализация в Solid Edge Simulation/Express

# Задачи инженерного анализа конструкций

Анализы на механические воздействия (структурные анализы)

- Линейный статический анализ: определение перемещений, деформаций, напряжений и сил реакций от приложенных статических нагрузок
- Динамический анализ: ... от нагрузок, зависящих от времени и порождающих инерцию или демпфирование.
- Анализ устойчивости: определение нагрузки, при которой конструкция становится неустойчивой
- Модальный анализ: вычисление собственных частот и форм колебаний



# Задачи инженерного анализа конструкций

## Анализ тепловых режимов

- Анализ стационарного теплообмена: расчет разницы температур для одного или нескольких элементов *при равновесии* (в стационарном состоянии).

### При проектировании электрики и электроники можно:

- Рассчитать электрический нагрев разных компонентов.
- Смоделировать радиаторы охлаждения.
- Определить необходимые расстояния между критическими деталями.
- Определить области рециркуляции воздуха и места перегрева.
- Прогнозировать температуру, при которой компонент или печатная плата могут перегреваться и выходить из строя.

### Дополнительные сценарии использования теплового анализа:

- Естественная или принудительная конвекция от передней и задней поверхностей.
- Проводимость от краев печатной платы до стенок корпуса.
- Проводимость через жесткие или гибкие контакты с другими печатными платами.
- Проводимость между печатной платой и монтажной рамой.
- Проводимость радиатора охлаждения.

# Задачи инженерного анализа конструкций

Анализ тепловых режимов

Анализ стационарного теплообмена

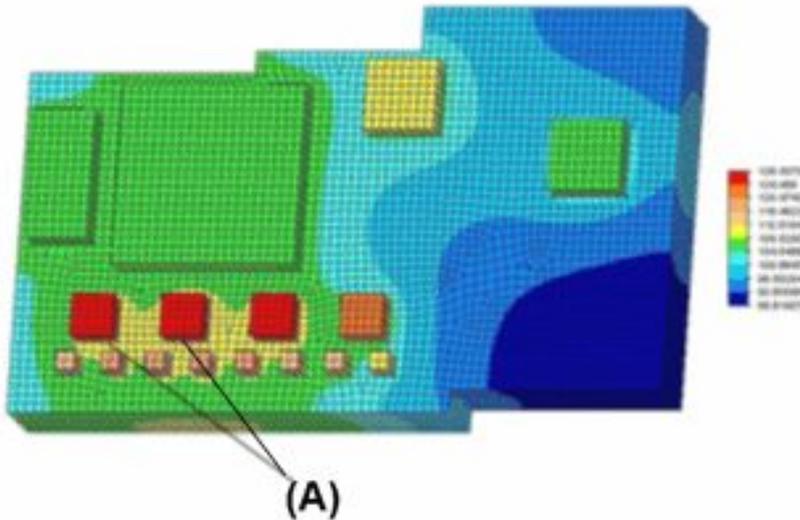


График распределения температуры на печатной плате

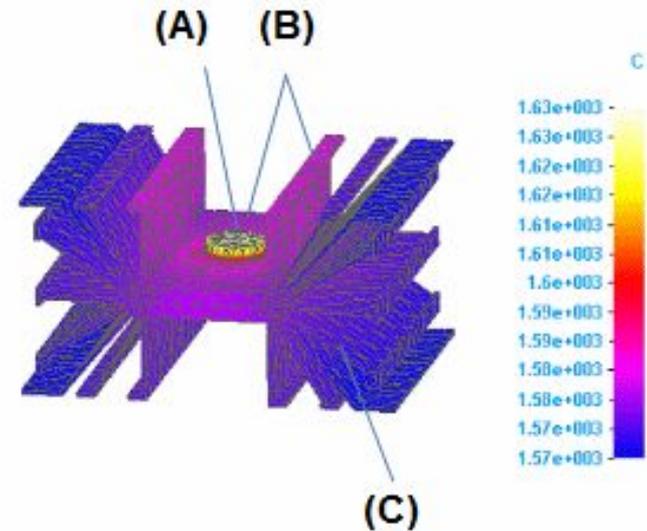


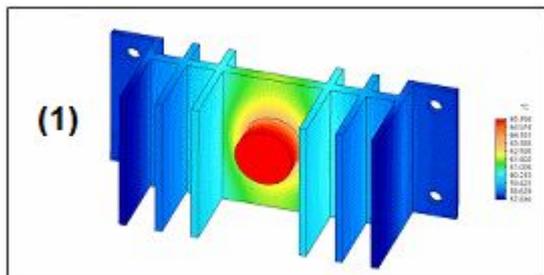
График распределения температуры радиатора и источника тепла

# Задачи инженерного анализа конструкций

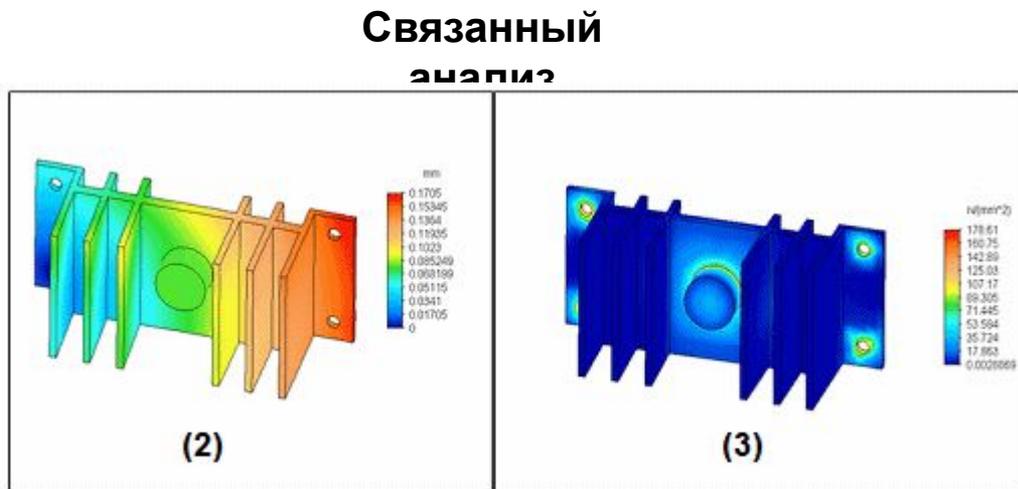
Связанный анализ

Использование результатов одного типа анализа в качестве исходных данных для другого типа анализа (например, влияние тепловых режимов на структурные напряжения и перемещения в детали).

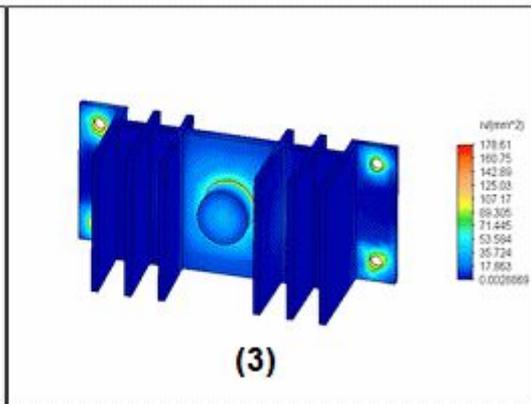
Стационарный теплообмен + Линейная статика  
Стационарный теплообмен + Линейная устойчивость



Расчет стационарного теплообмена (1)



Расчет перемещений (2) и напряжений (3), вызванных температурной нагрузкой



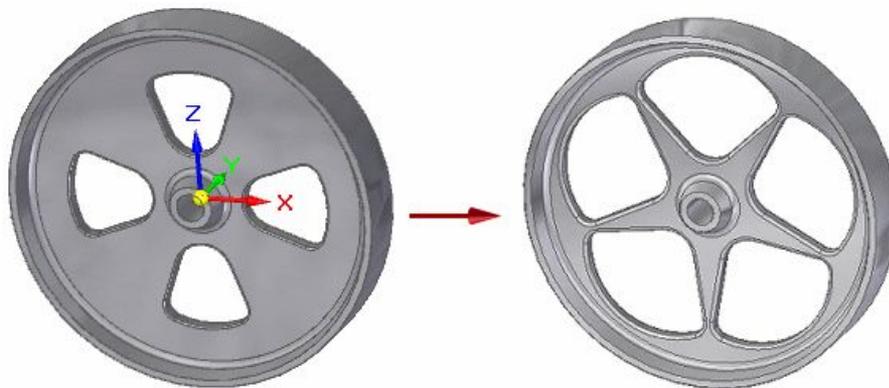
# Задачи инженерного анализа конструкций

## Оптимизация конструкции

Улучшение результатов структурного или теплового анализа модели детали или сборки с изменением геометрии, выбранной для анализа.

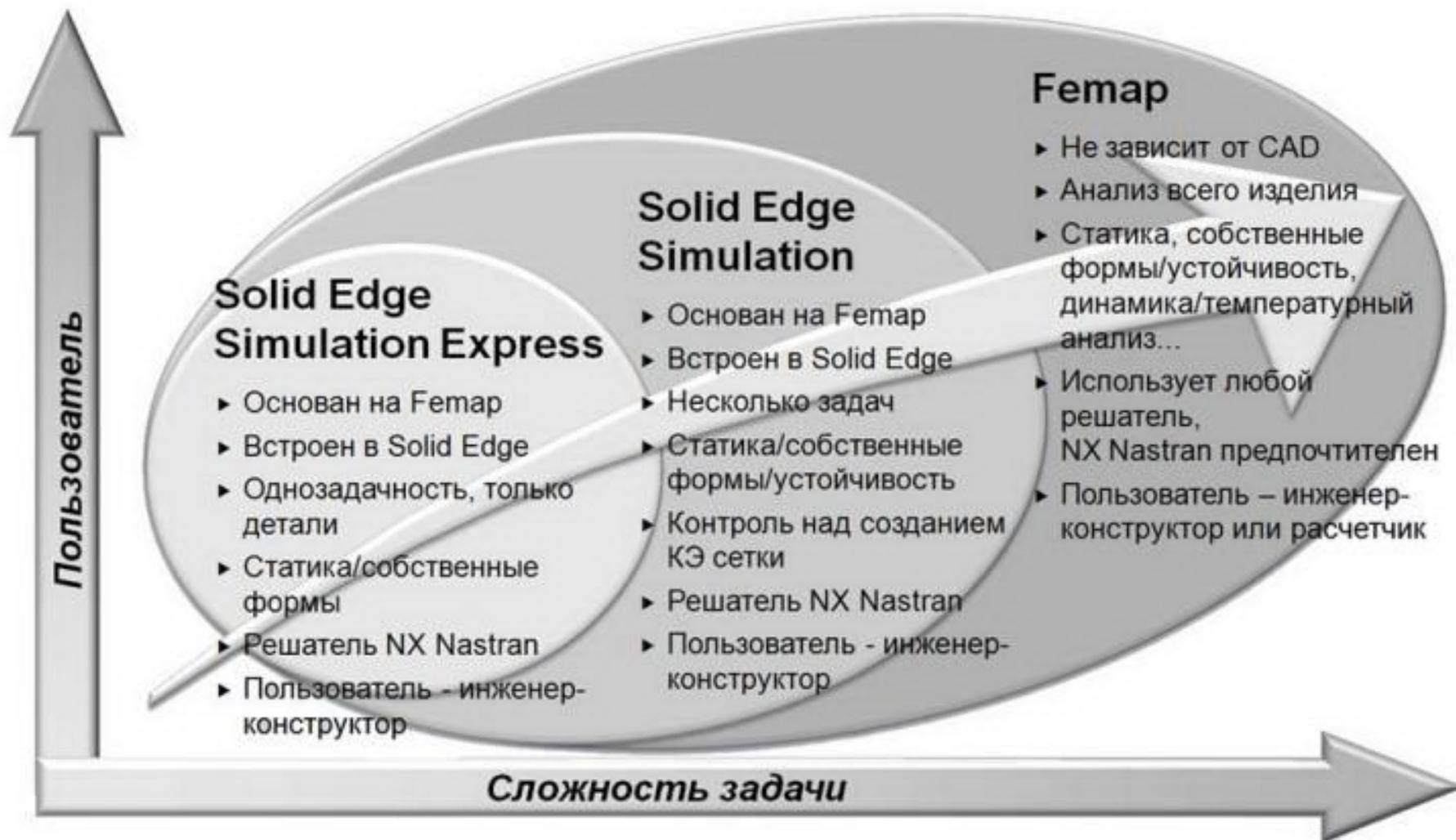
### Примеры:

- Найти решение линейного статического анализа и затем использовать команду "Оптимизировать" для оптимизации напряжений, перемещений и запаса прочности для геометрии.
- Найти решение анализа стационарного теплообмена и затем оптимизировать его для минимизации теплоотдачи.
- Найти решение модального анализа и затем оптимизировать его для нахождения максимальной и минимальной резонансной частоты.



Минимизация веса детали (**целевой проектный параметр**) при обеспечении уровня напряжений меньше предела текучести (**проектное ограничение**) в условиях изменения одного или нескольких размеров (**проектные переменные**).

# Средства Solid Edge для решения задач инженерного анализа



# Средства Solid Edge для решения задач инженерного анализа

## Дополнительные возможности Solid Edge Simulation по сравнению с Simulation Express:

- Встроенная поддержка пользователя в виде справочной системы и средств самообучения.
- Полный набор функций КЭ-анализа на специальной вкладке "Симуляция" в ленте команд Solid Edge, а не отдельная команда, чтобы "сделать все".
- Множество вариантов анализа для одной модели, а не единственный анализ.
- Полный набор структурных, тепловых нагрузок и нагрузок на тело для расчета разных типов напряжения, включая силу, давление, перемещение, силу тяжести, вращение, температуру, излучение и тепловыделение.
- Полный набор ограничений для симуляции многих граничных условий для детали, включая фиксацию, запрет перемещения и вращения, скольжение вдоль грани и цилиндр.
- Постоянная видимость нагрузок и ограничений в модели, а не только при определении анализа. Нагрузки и ограничения можно посмотреть в любое время и создать картинки и отчеты, показывающие их.
- Экспорт в Femap с помощью команды "Сохранить файл модели Femap".
- Уникальная встроенная среда "Результаты симуляции" для оценки данных, представления результатов и генерации отчетов.
  - Результаты остаются после расчета, и их можно открыть и посмотреть в среде "Результаты симуляции" в любое время.
  - Широкое множество вариантов графического представления результатов напряжений, перемещений, приложенных сил и ограничений в модели.
  - Можно использовать пробу, чтобы отобразить данные в узлах модели и координаты областей напряжений. Эта команда также автоматически добавляет координаты в таблицу пробных значений.
  - Можно выбрать отображение исходной, деформированной и недеформированной модели для анимации в приложении Разнесение-Закраска-Анимация. Выходная документация включает HTML-отчеты, картинки и фильмы.

# Типовая процедура подготовки анализа

Упрощение модели

Идеализация/упрощение модели для облегчения проведения анализа.

Задание единиц измерения

Проверка/задания единиц измерения для анализа, используемых по умолчанию.

Задание материалов

Задание/выбор материалов деталей.

Создание анализа

Выбор типа анализа: структурный, тепловой, связанный.

Задание типа сетки

Задание типа сетки: тетраэдральная, поверхностная, общие тела.

Задание дополнительных параметров (опция)

Параметры выполнения анализа (процессора) и параметры обработки результатов (постпроцессора).

Выбор геометрии для анализа

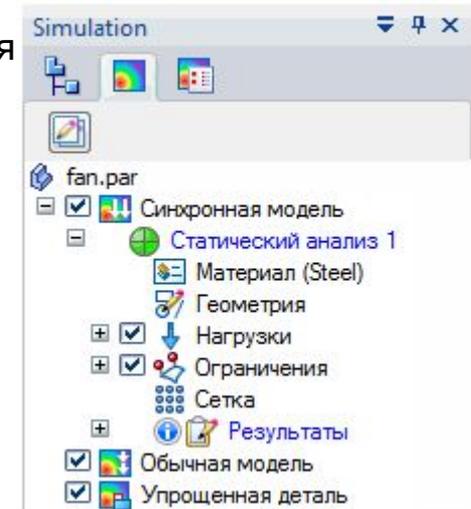
Выбор геометрии для включения анализ в зависимости от типа модели и типа сетки.

Задание нагрузок

Приложение механических (тепловых) нагрузок.

Наложение ограничений

Наложение ограничений, лишаящих детали/сборки определенных степеней свободы.

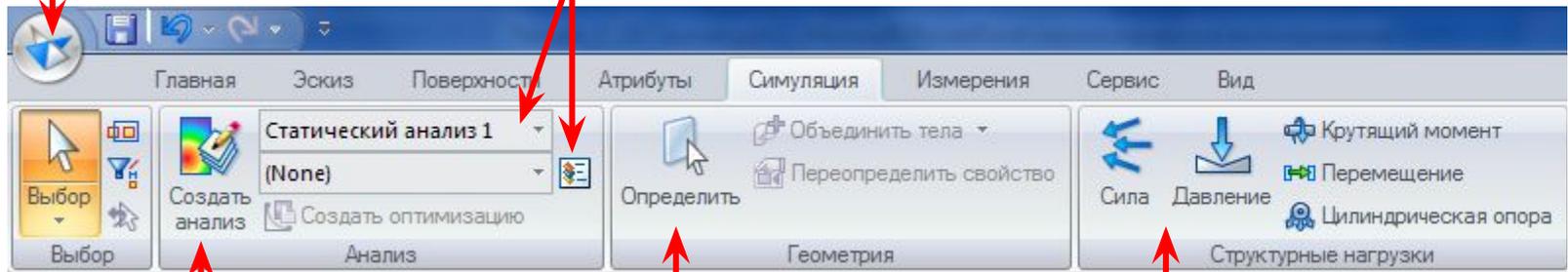


# Типовая процедура подготовки анализа

Вкладка  
«Симуляция»

Задание единиц измерения

Задание материалов



Создание  
анализа

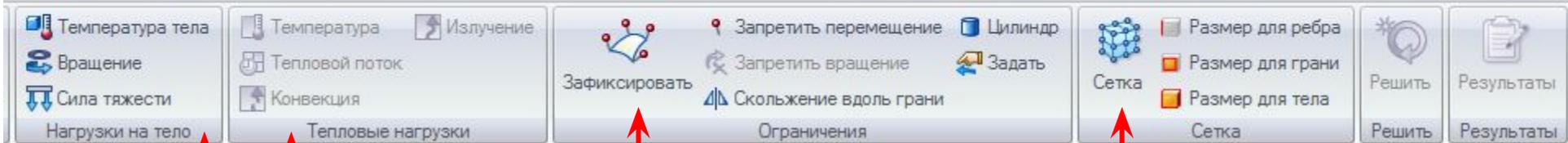
Задание  
типа  
сетки

Задание  
дополнительных  
параметров (опция)

Выбор геометрии для  
анализа

Задание нагрузок

Solid Edge ST6 - Синхронная деталь - [Деталь1]



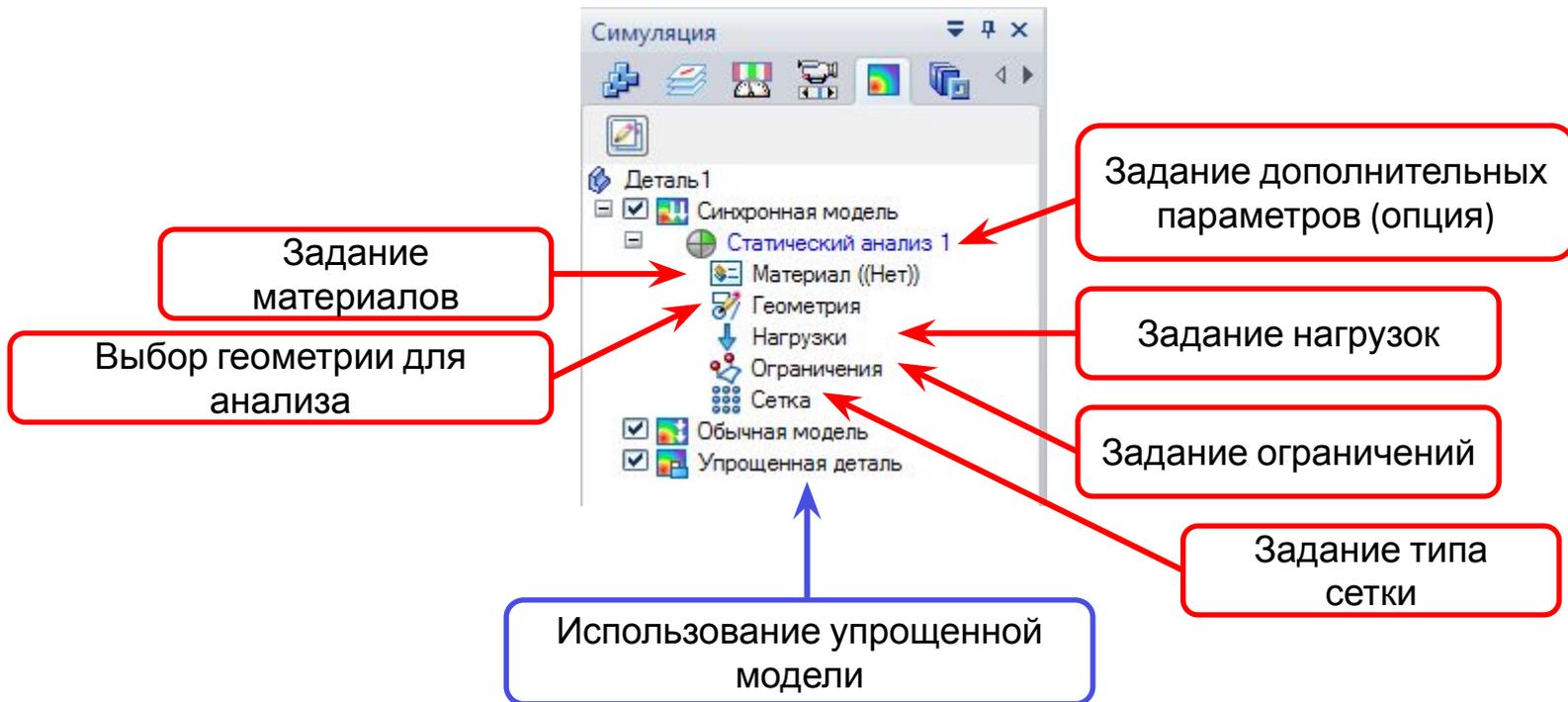
Задание нагрузок

Задание ограничений

Уточнение  
параметров сетки

# Типовая процедура подготовки анализа

## Дерево симуляции



# Подготовка анализа. Задание единиц измерения

Деталь1 Атрибуты

Предварительный просмотр | Дополнительные атрибуты

Общие | Документ | Статистика | **Единицы** | Проект | Статус документа

Единицы длины

Единицы: мм | Точность: 0.12

Угловые единицы

Единицы: ° | Точность: 0.12

Единицы площади

Единицы: мм<sup>2</sup> | Точность: 0.12

Дополнительные единицы

OK | Отмена | Справка

Дополнительные единицы

Имя:	Значение	Точность
Плотность	кг/м <sup>3</sup>	0.123
Объем	мм <sup>3</sup>	1
Масса	кг	0.1
Скаляр		0.12
Козф. тепл. расширен...	/С	0.1234
Теплопроводность	Вт/м·С	0.12345
Удельная теплоемко...	Дж/кг·С	0.123456
Напряжение	кПа	0.1234567
Линейная плотность	кг/м	0.12345678
..	..	0.123456789
..	..	0.1234567890
..	..	0.12345678901

OK | Отмена

# Подготовка анализа. Создание анализа, задание сетки

Тип анализа

Тип сетки

Создать анализ

Тип анализа:  
Линейный статический

Тип сетки:  
Тетраэдральная

Дополнительные параметры

Итерационный решатель  
 Расчет больших перемещений

Число мод: 4

Диапазон частот: 0,000 МГц 0,000 МГц

Проверка геометрии: Включить

Параметры командной строки NX Nastran:

Параметры тепловой нагрузки... Параметры NX Nastran...

Параметры результатов

Создать результаты только для поверхности (быстрее)  
 Не обрабатывать все результаты после решения (быстрее)

По узлам	По элементам
<input checked="" type="checkbox"/> Перемещение	<input checked="" type="checkbox"/> Напряжение
<input type="checkbox"/> Приложенная нагрузка	<input type="checkbox"/> Деформация
<input type="checkbox"/> Сила реакции	<input type="checkbox"/> Сила
<input type="checkbox"/> Температура	<input type="checkbox"/> Энергия деформации
<input type="checkbox"/> Приложенная температура	<input type="checkbox"/> Тепловой поток

Дополнительные параметры

**Линейный статический анализ**

Создать анализ

Тип анализа:  
Модальный

Тип сетки:  
Тетраэдральная

Дополнительные параметры

Итерационный решатель  
 Расчет больших перемещений

Число мод: 4

Диапазон частот: 0,000 МГц 0,000 МГц

Проверка геометрии: Включить

Параметры командной строки NX Nastran:

Параметры тепловой нагрузки... Параметры NX Nastran...

Параметры результатов

Создать результаты только для поверхности (быстрее)  
 Не обрабатывать все результаты после решения (быстрее)

По узлам	По элементам
<input checked="" type="checkbox"/> Перемещение	<input type="checkbox"/> Напряжение
<input type="checkbox"/> Приложенная нагрузка	<input type="checkbox"/> Деформация
<input checked="" type="checkbox"/> Сила реакции	<input type="checkbox"/> Сила
<input type="checkbox"/> Температура	<input checked="" type="checkbox"/> Энергия деформации
<input type="checkbox"/> Приложенная температура	<input type="checkbox"/> Тепловой поток

**Модальный анализ**

# Подготовка анализа. Задание материала детали



- Команда **Таблица материалов** из группы **Анализ**;
- Команда **Изменить материал** контекстного меню дерева симуляции;
- Команда **Переопределить свойство** из группы **Геометрия**.

Таблица материалов

Материал: **Aluminum, 1060**

Настройки: **Свойства материала**

Свойство	Значение
Плотность	2712,000 кг/м <sup>3</sup>
Коеф. тепл. расширения	0,0000230 /C
Теплопроводность	221,000 Вт/м·C
Удельная теплоемкость	920,000 Дж/кг·C
Модуль упругости	68947570,000 кПа
Число Пуассона	0,330
Предел текучести	27579,028 кПа
Предел прочности	68947,570 кПа
Относительное удлинен...	0,000

Добавить в библиотеку    Обновить в библиотеке    Удалить из библиотеки

Описание  
Определение материала = Aluminum, 1060, Стиль граней = Aluminum,  
Стиль заполнения = ANS138(Aluminum), Материал для закраски =  
Polished aluminum

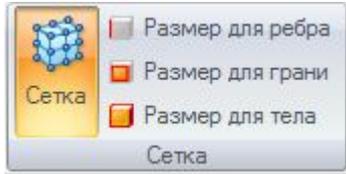
Применить к модели    Отмена    Справка

Симуляция

Деталь 1

- Синхронная модель
- Статический анализ 1
  - Материал (Aluminum, 1060)**
  - Геометрия
  - Нагрузки
  - Ограничения
  - Сетка
- Обычная модель
- Упрощенная деталь

# Подготовка анализа. Задание сетки



## Группа команд **Сетка**

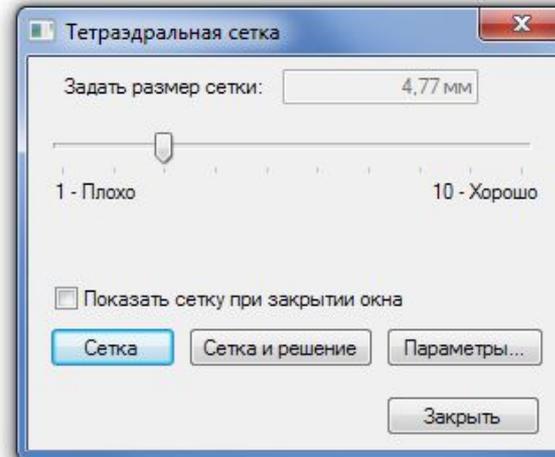
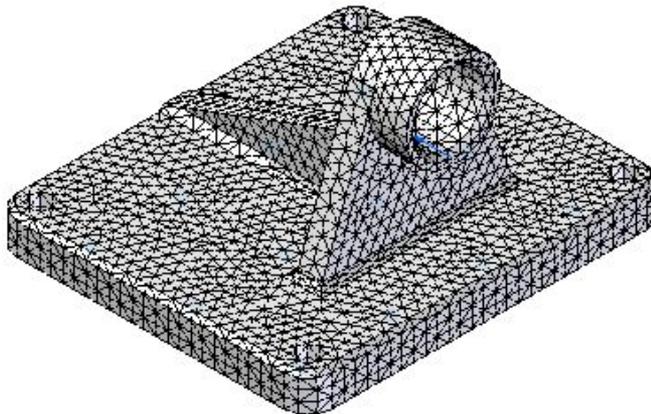
Запрос для выбора геометрии зависит от:

типа модели

сборка, деталь, листовая деталь

выбранного типа  
сетки

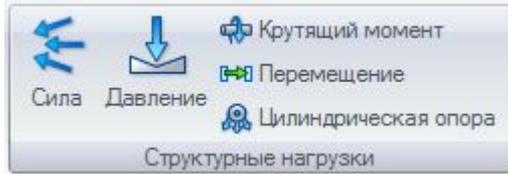
тетраэдральная, поверхностная, смешанная, объединенные  
тела...



# Подготовка анализа. Задание нагрузок

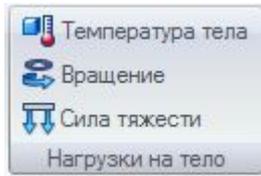
## 1. Выбрать тип нагрузки

### В группе Структурные нагрузки



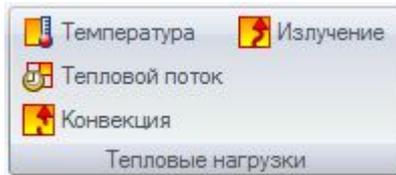
- Сила
- Давление
- Момент вращения
- Перемещение
- Цилиндрическая опора
- Момент (для сетки типа Балка)

### В группе Нагрузки на тело



- Температура тела
- Вращение
- Сила тяжести

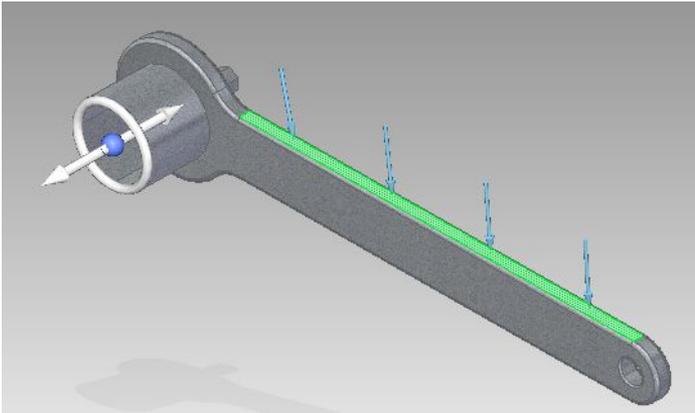
### В группе Тепловые нагрузки



- Температура
- Тепловой поток
- Тепловыделение
- Конвекция
- Излучение

# Подготовка анализа. Задание нагрузок

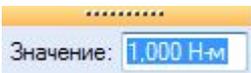
2. Выбрать объекты модели или элементы для приложения нагрузки



Можно выбрать:

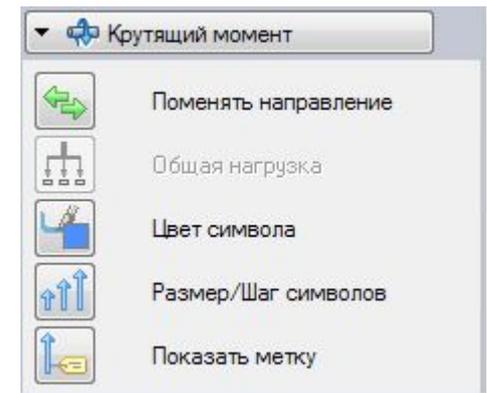
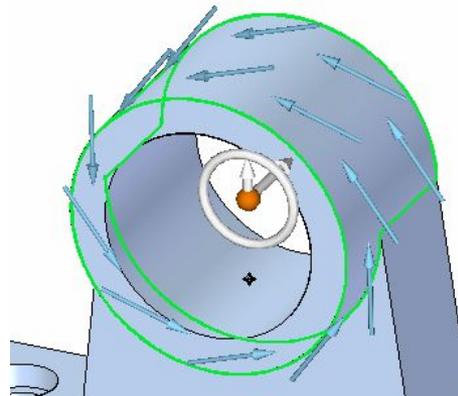
- Грани или набор граней
- Поверхности
- Ребра
- Точки
- Конструктивные элементы или рабочие тела
- Узлы (только для сетки Балка)

3. Ввести нужное значение нагрузки в динамическом поле ввода



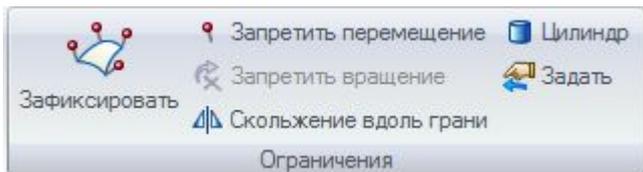
4. Задать направление нагрузки:

- с помощью колеса управления направлением нагрузки
- с помощью меню команды нагрузки



# Подготовка анализа. Наложение ограничений

## 1. Выбрать тип ограничений в группе Ограничения



- Зафиксировать
- Запретить перемещение
- Запретить вращение
- Скольжение вдоль грани
- Цилиндр
- Другая

## 2. Выбрать один или несколько геометрических элементов для наложения ограничения

