

1. Введение

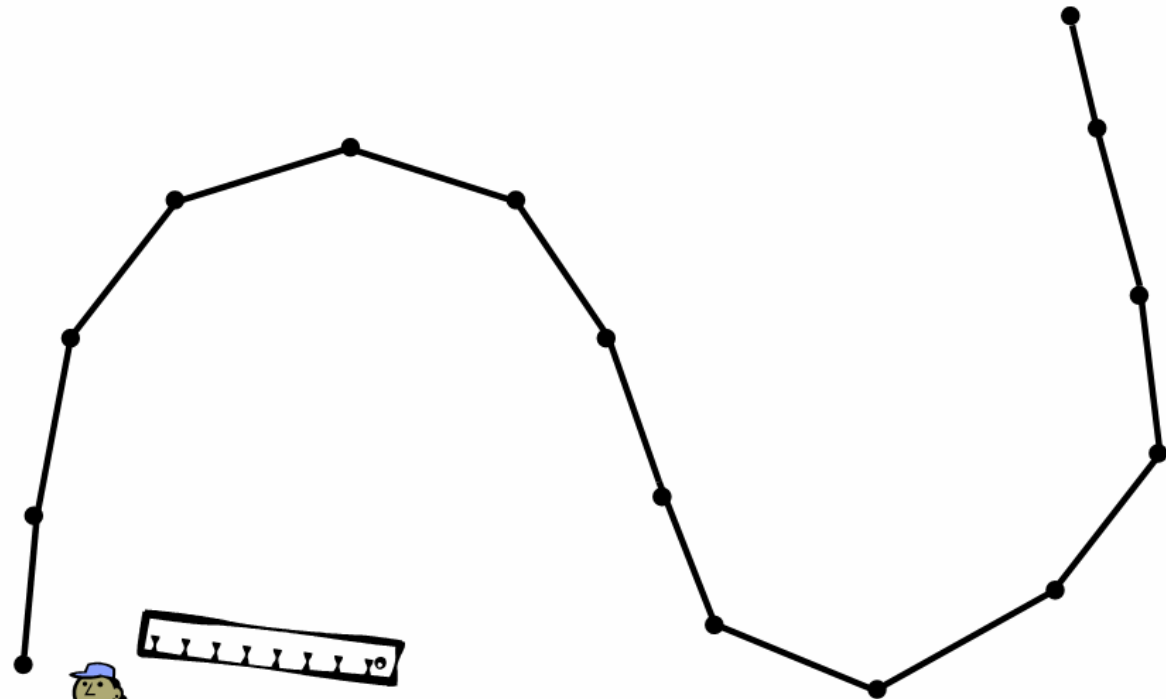
Введение

- Что такое МКЭ.
- Этапы анализа.
- Построение конечно-элементной модели.
- Виды конечных элементов, трех-, дву- и одномерные элементы.
- Методы управления сеткой. Контроль сетки.
- Концентраторы напряжений.
- Нагрузки. Ограничения.
- Вывод результатов. Значения в узлах. Значения в элементах.
- Справка. Задачи верификации.

Что такое метод конечных элементов?

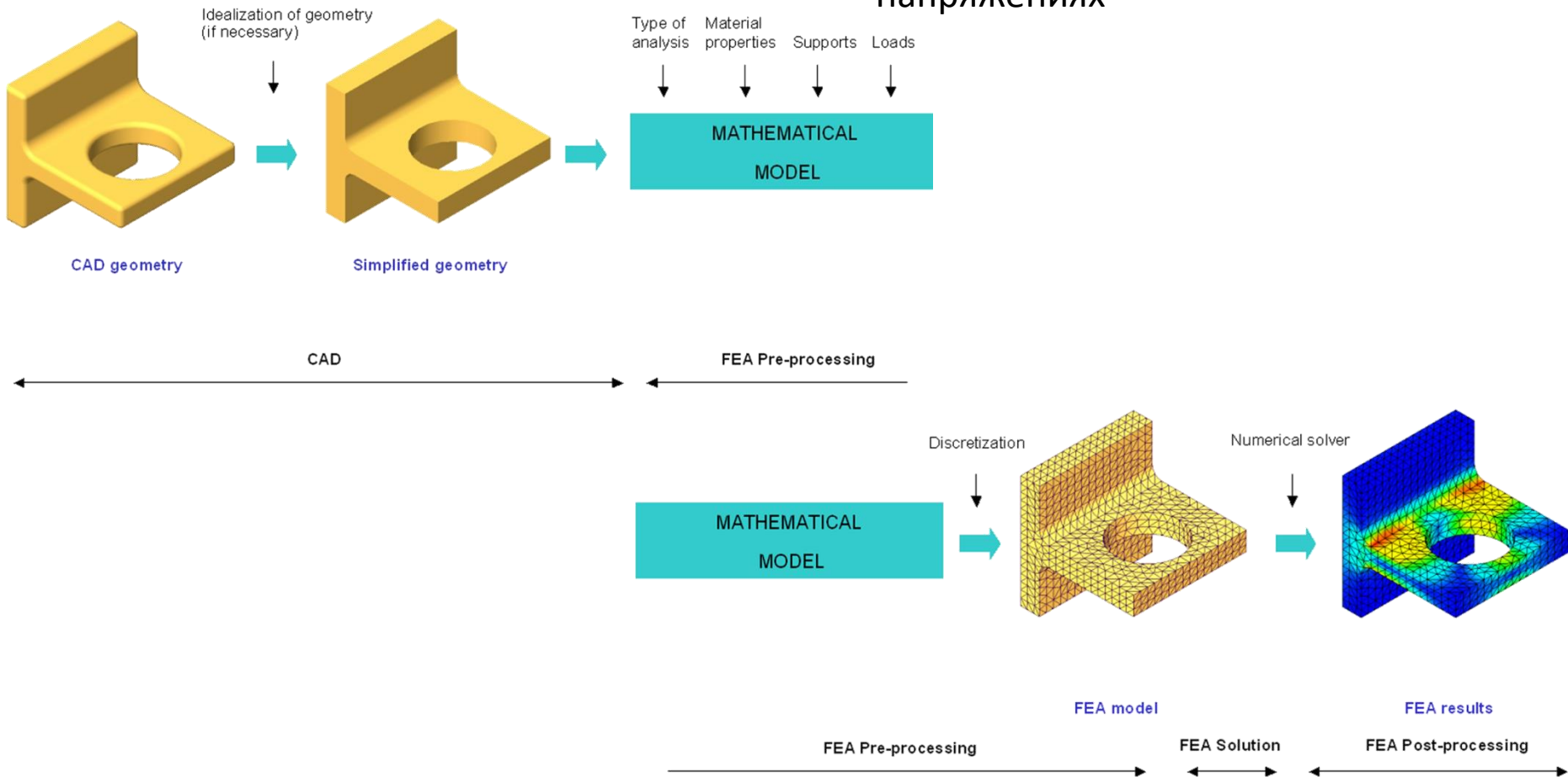
Пример: брусчатная дорога от дома до почты – измеряется расстояние кривого пути с помощью метровой палки.

- Кривой путь аппроксимируется прямыми сегментами.
- Каждый сегмент не больше одного метра.



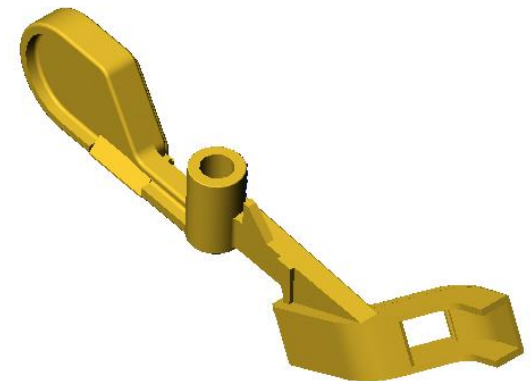
Построение КЭ модели

CAD модель → Результаты в напряжениях



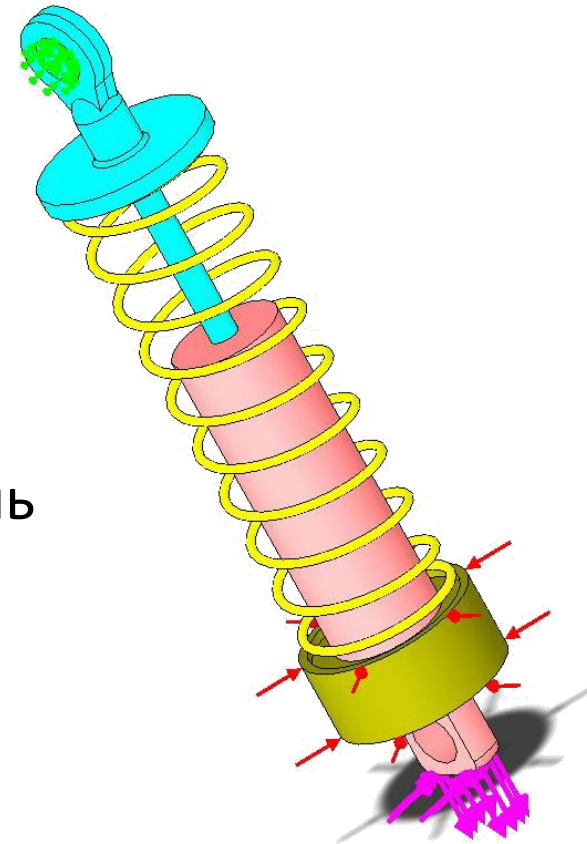
Построение КЭМ - фиксаторы

- Представьте, как данная модель пр
миру
 - Фиксация на поверхности
или ребре или точке
 - Разрешить скольжение или
вращение
- Приспособления, используемые
для уменьшения размера
проблемы до уровня компонента
или уровня сборки
- Фиксаторы используются для
уменьшения размера задачи
до уровня компонента или
уровня сборки.

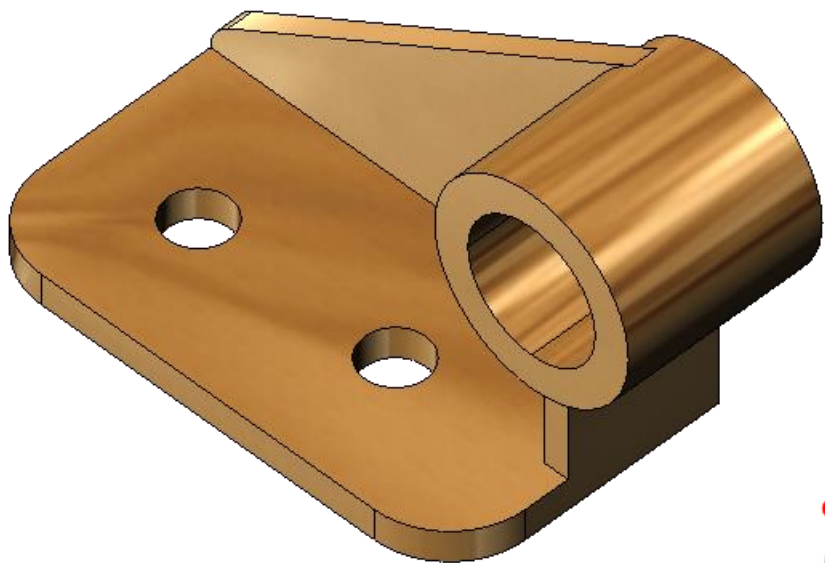


Построение КЭМ - Нагрузки

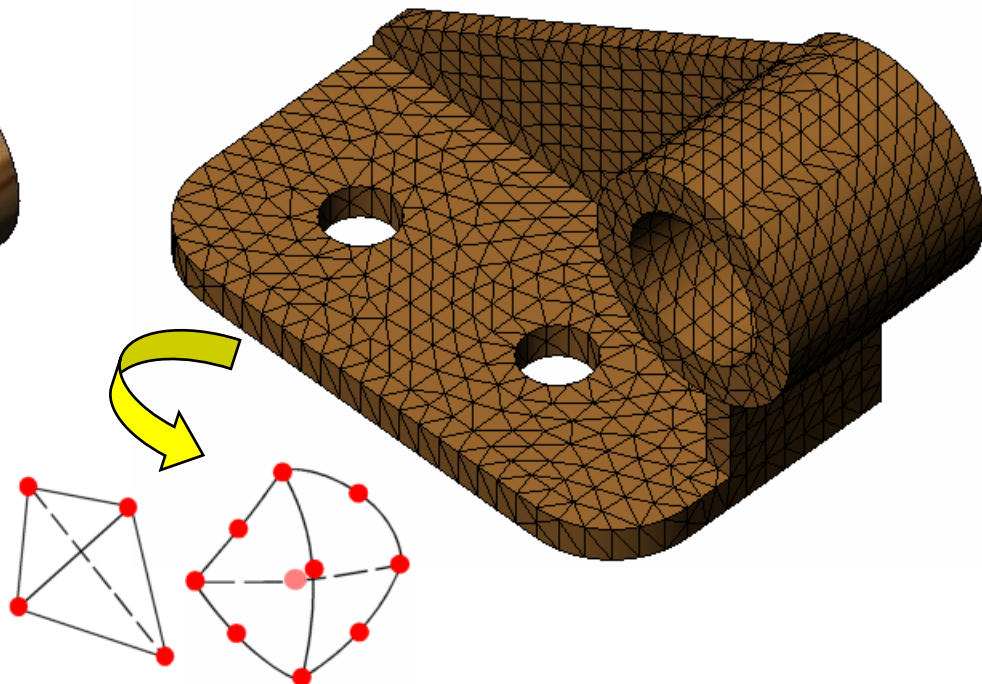
- Нагрузки, которые наносятся на внешние поверхности модели
 - Силы на поверхности, ребра или точки
 - Моменты
 - Давление
- Нагрузки, действующие на всю модель
 - Гравитация, центробежная сила
 - Тепловые нагрузки



КЭМ для конструкционного анализа

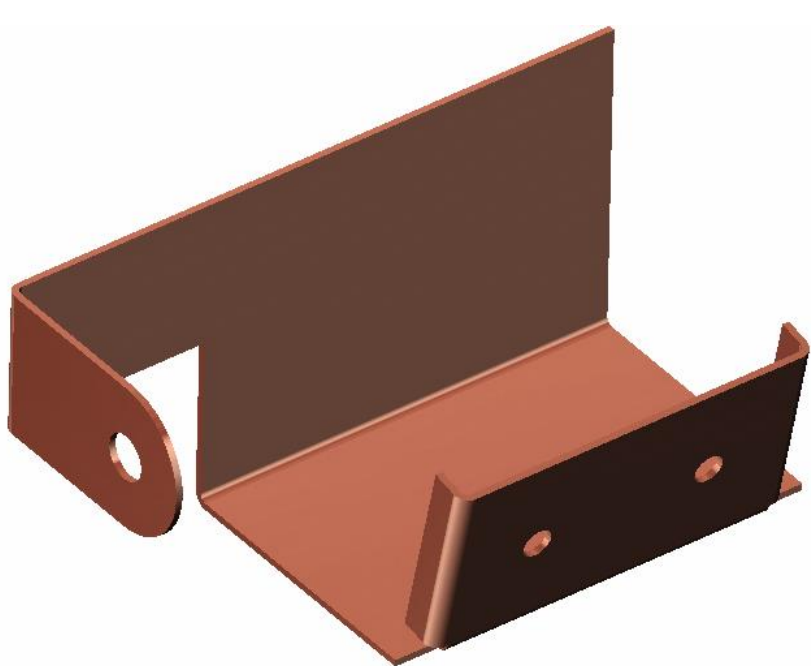


Пример фитинга

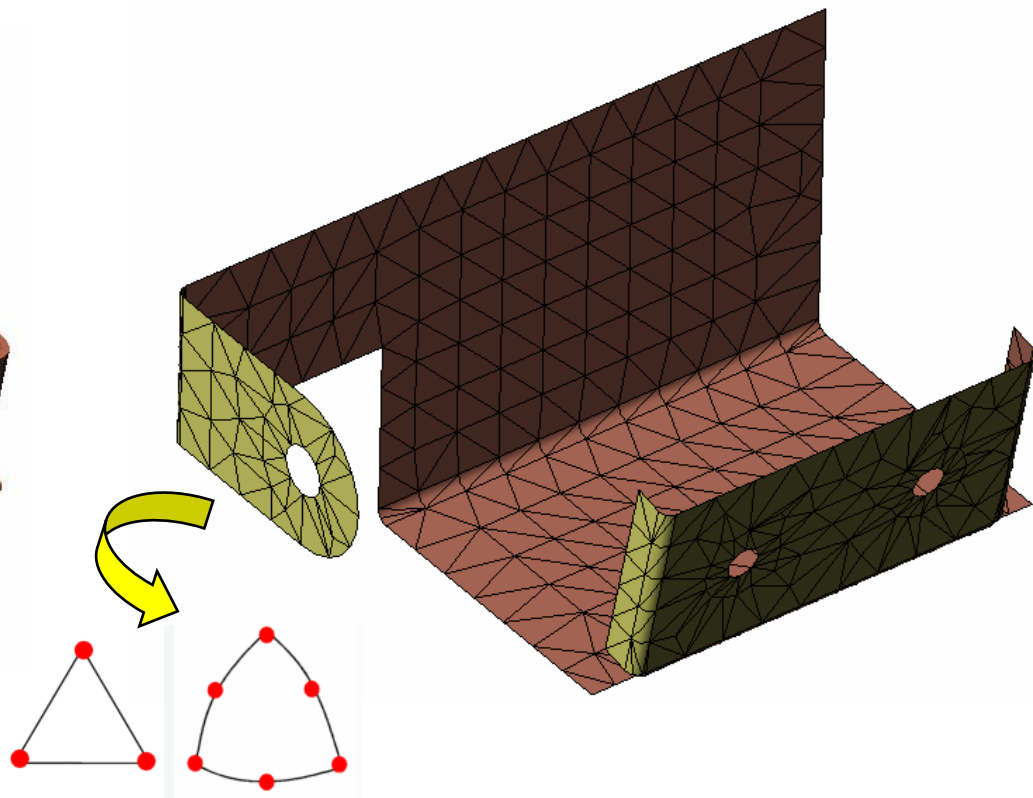


Разбейте фитинг на маленькие тетрагональные кусочки и аппроксимируйте деформацию на каждом кусочке.

КЭМ для конструкционного анализа

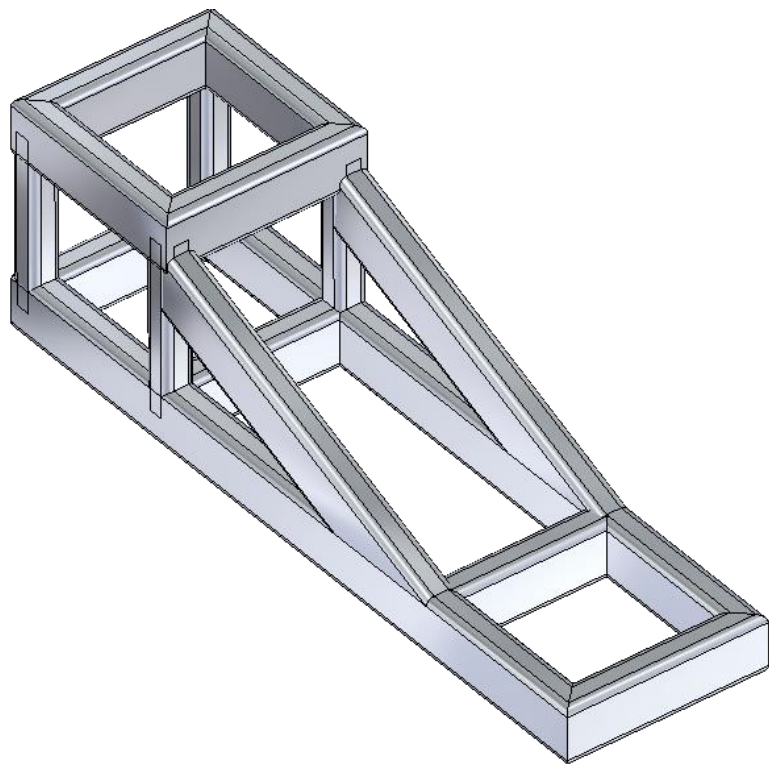


Пример кронштейна

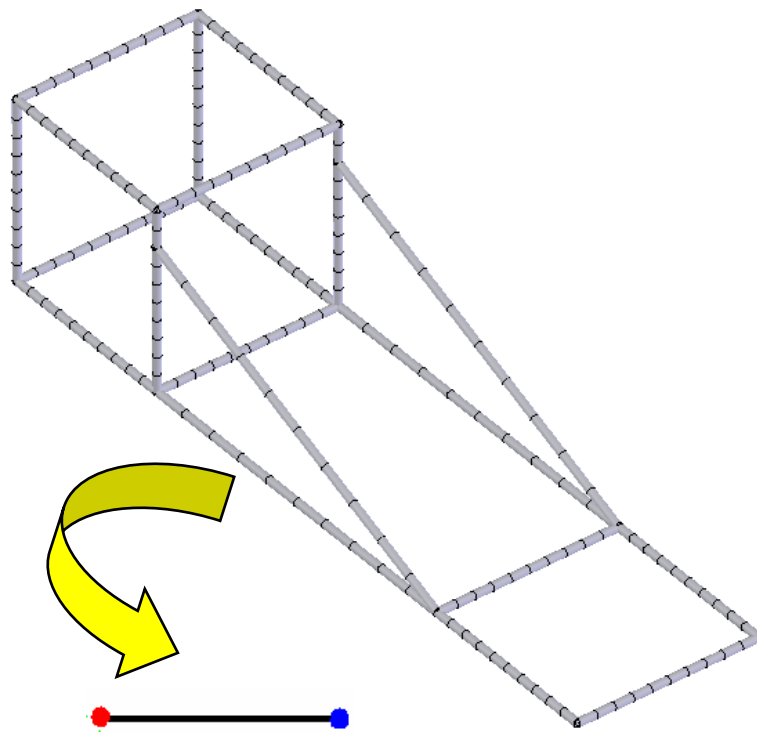


Разделите поверхности кронштейна на маленькие треугольные кусочки и аппроксимируйте деформацию на каждом кусочке

КЭМ для конструкционного анализа



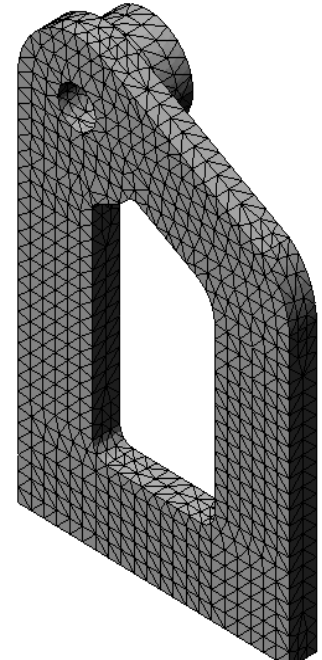
Пример рамной конструкции.



Разделите элементы рамы на маленькие прямые кусочки и аппроксимируйте деформацию к каждому кусочке

Сетка, узлы, элементы, ...

- СЕТКА – Приблизительное представление геометрии CAD с использованием тетраэдров или треугольников
- ЭЛЕМЕНТЫ – Тетраэдры или треугольники в сетке
- УЗЛЫ - Точки, в которых различные элементы соединены вместе; узлы - это места, где будут аппроксимироваться значения неизвестных (обычно это перемещения)



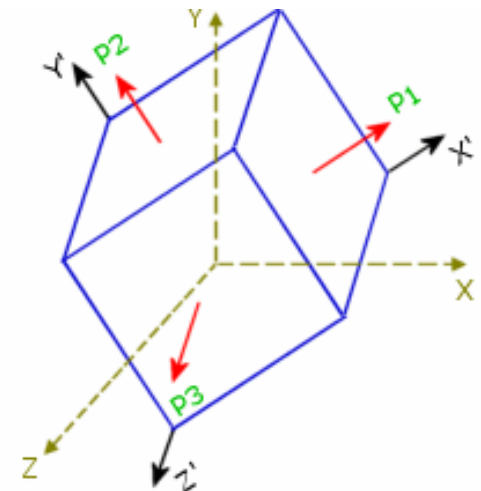
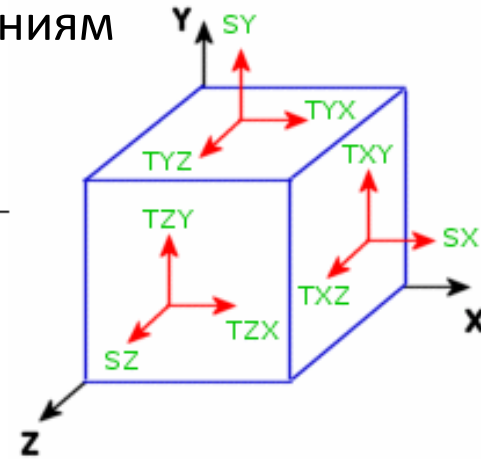
Использование результатов Напряжения для проверки конструкции

- Напряжения в точке определяются по 6 величинам – 3 нормальным напряжениям и 3 касательным напряжениям – зависящим от ориентации системы координат
- Эквивалентные напряжения по Мизесу (VON) =

$$\sqrt{0.5[(S_X - S_Y)^2 + (S_Y - S_Z)^2 + (S_Z - S_X)^2] + 3(T_{XY}^2 + T_{YZ}^2 + T_{ZX}^2)}$$

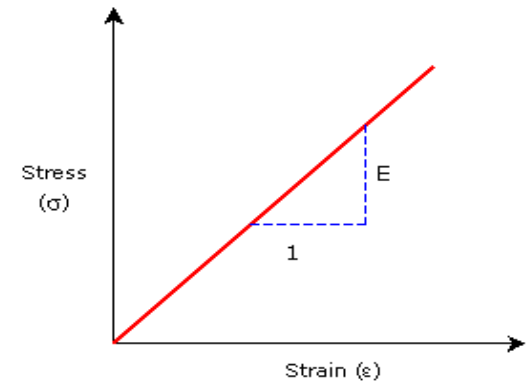
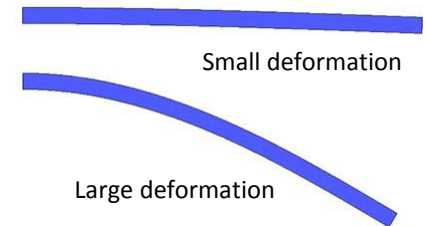
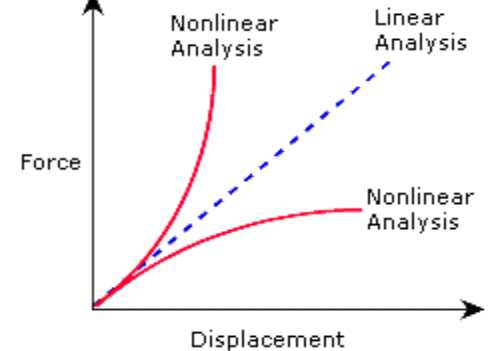
VON не зависит от системы координат

- Главные напряжения – 3 нормальных напряжения указанных в специальной системе координат, для которой касательные напряжения равны нулю
- Коэф. Запаса = $\frac{\text{Ограничивающее напряжение для материала}}{\text{Максимальное напряжение по Мизесу в модели}}$



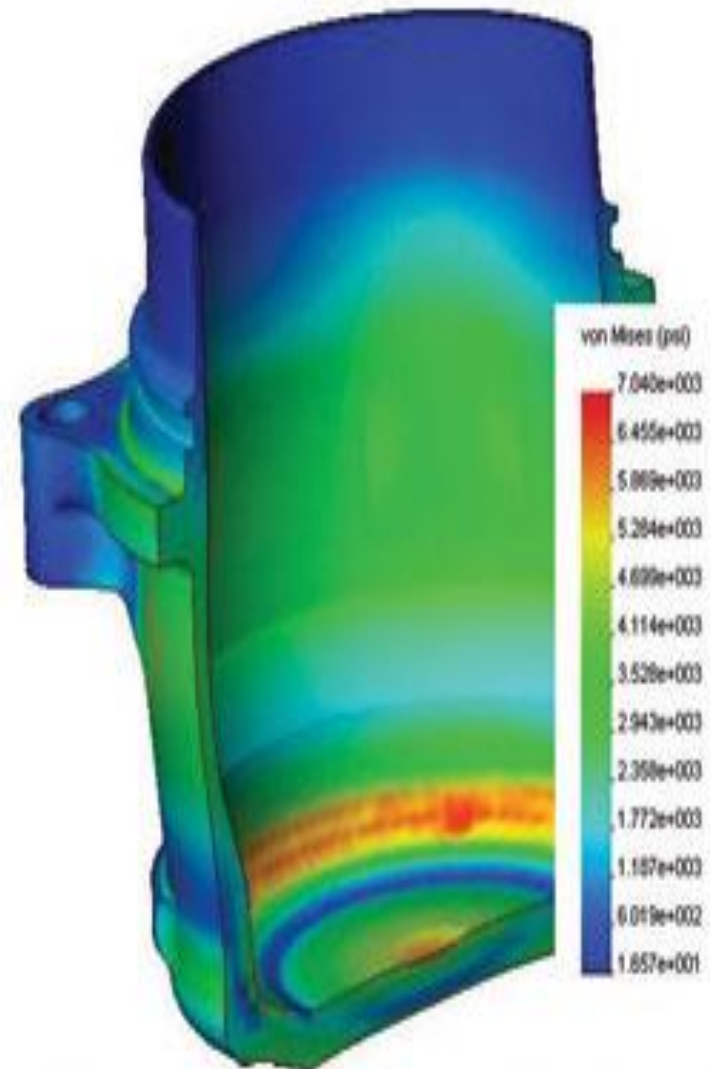
Предположения в линейном статическом анализе

- Реакция системы пропорциональна приложенным нагрузкам
 - Если вы удвоите нагрузку, то деформация также удвоится
 - Если вы снимите нагрузку, модель не имеет остаточных деформации
- Материал является линейно упругим
 - Деталь возвращается к своей первоначальной форме, если снять нагрузки (нет постоянной деформации)
- Нагрузки статические
 - Нагрузки прикладываются медленно и постепенно. Быстро прикладываемые нагрузки вызывают дополнительные перемещения, деформации и напряжения



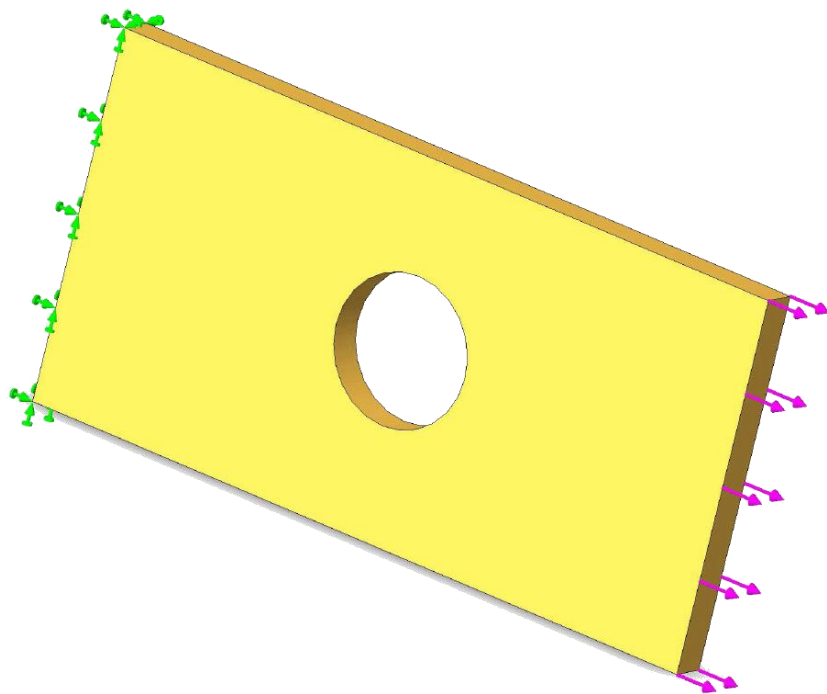
Контрольный список для SolidWorks Simulation

1. Материал?
 - Сталь 1040
2. Физические условия работы?
 - **Давление** или сила
 - **Болты** или сварка
3. Моделирование в SolidWorks Simulation
4. Моя конструкция удовлетворяет требованиям?
 - Коэф. запаса
 - Напряжения



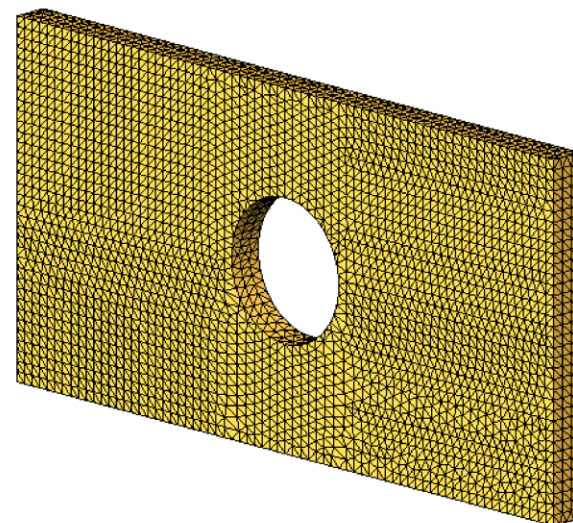
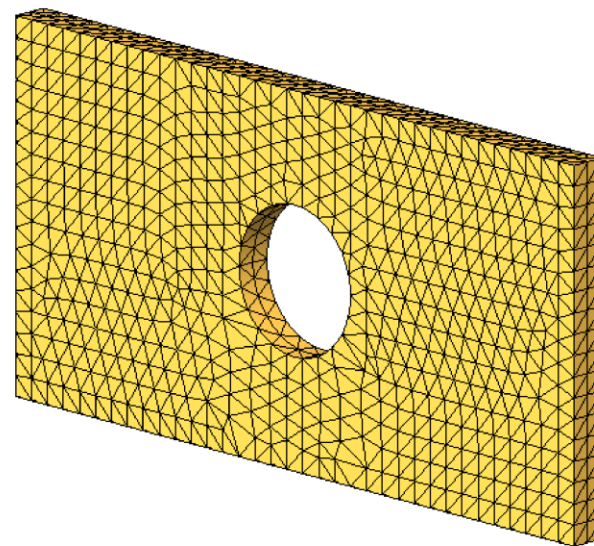
Урок 1

Процессы анализа

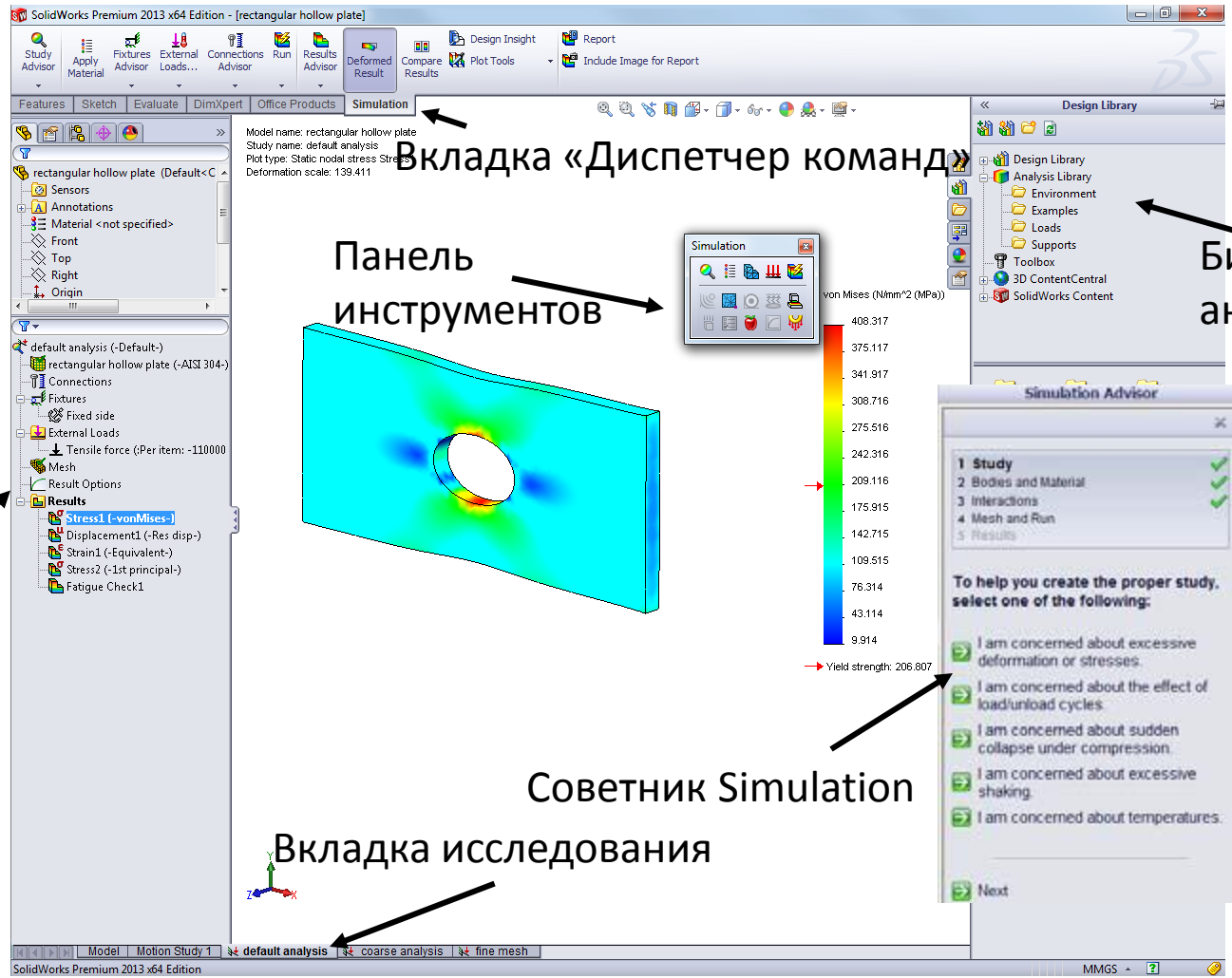


Урок 1 - темы

- Введение в интерфейс Simulation
- Выполнение линейного статического анализа (Статическое исследование)
 - Свойства материалов
 - Ограничения
 - Нагрузки
 - Сетка
 - Запуск
- Влияние плотности сетки на результаты перемещения и напряжения
- Пост-процессинг



Интерфейс SolidWorks Simulation



Вкладка «Диспетчер команд»

Панель инструментов

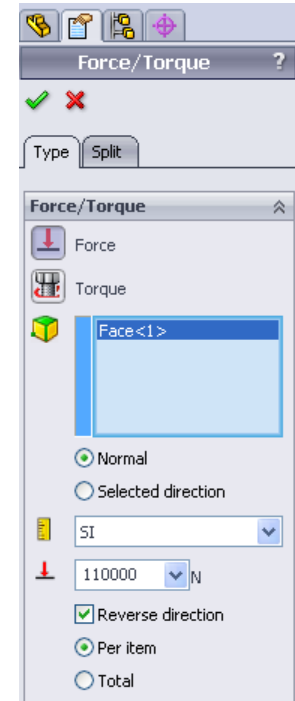
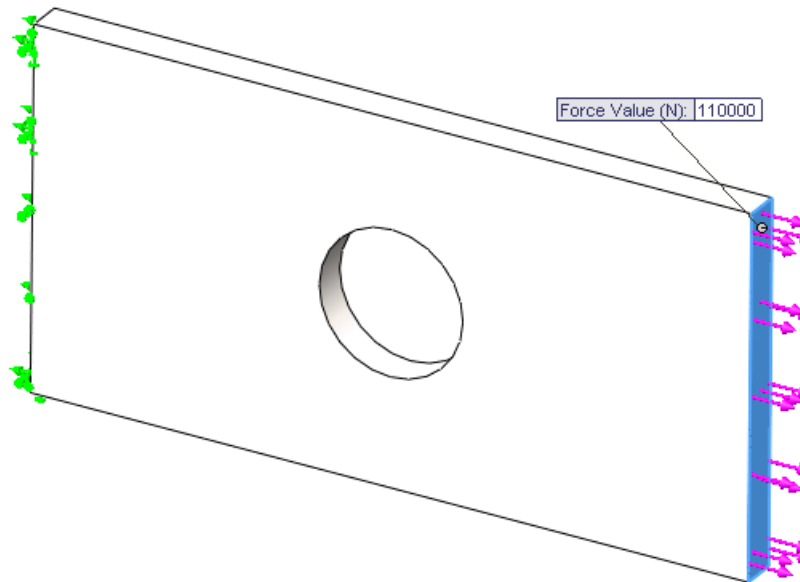
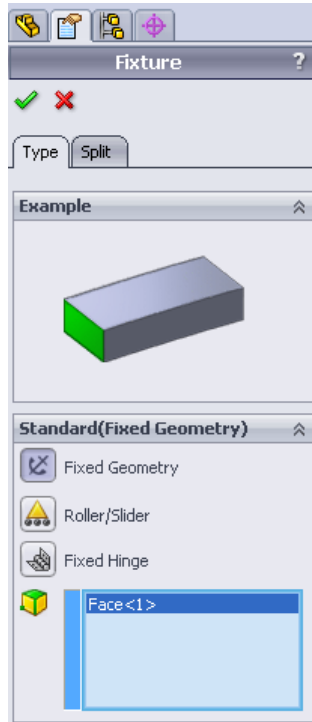
Библиотека анализа

Дерево исследования

Советник Simulation

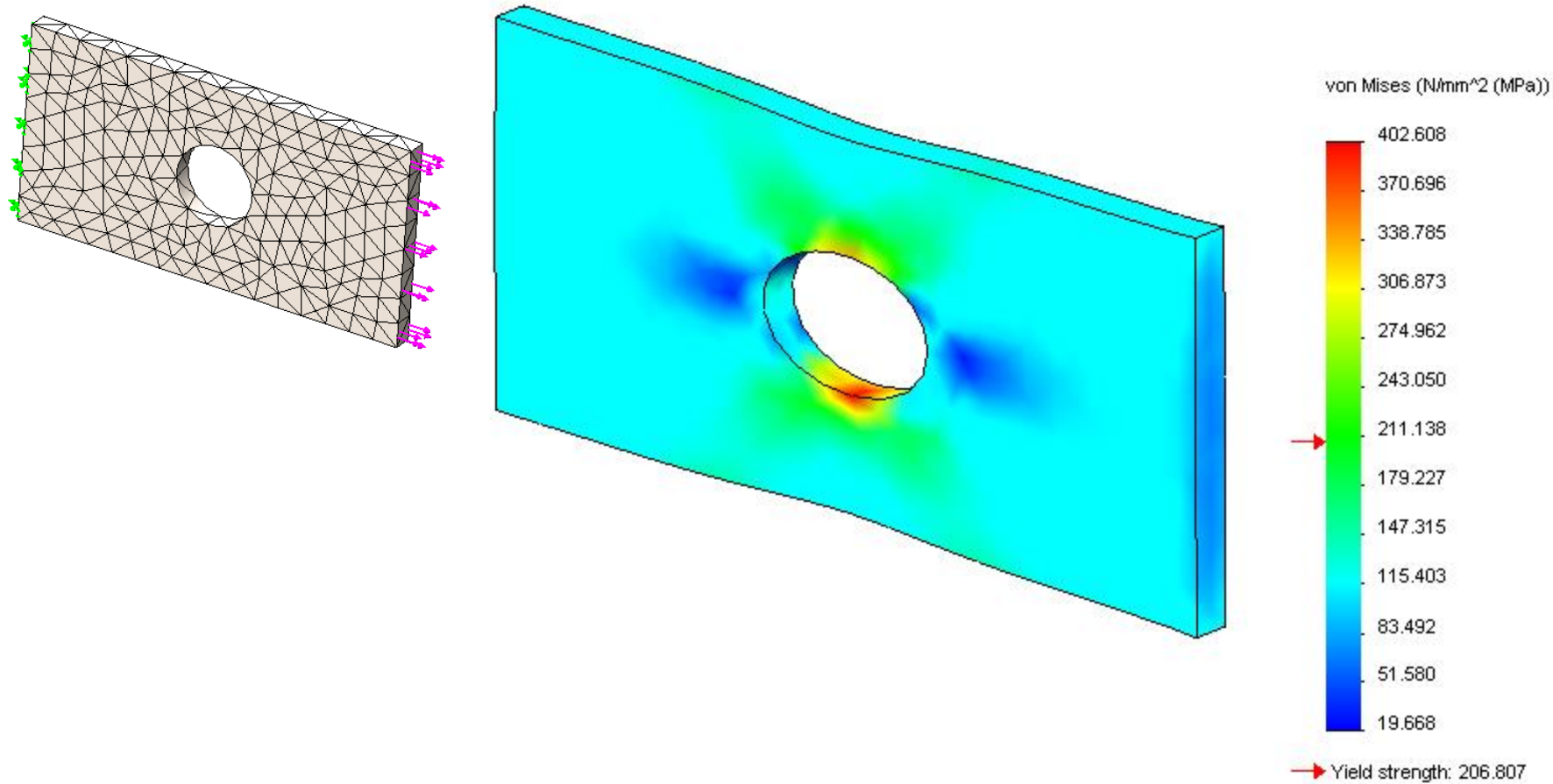
Вкладка исследования

Нагрузки и ограничения



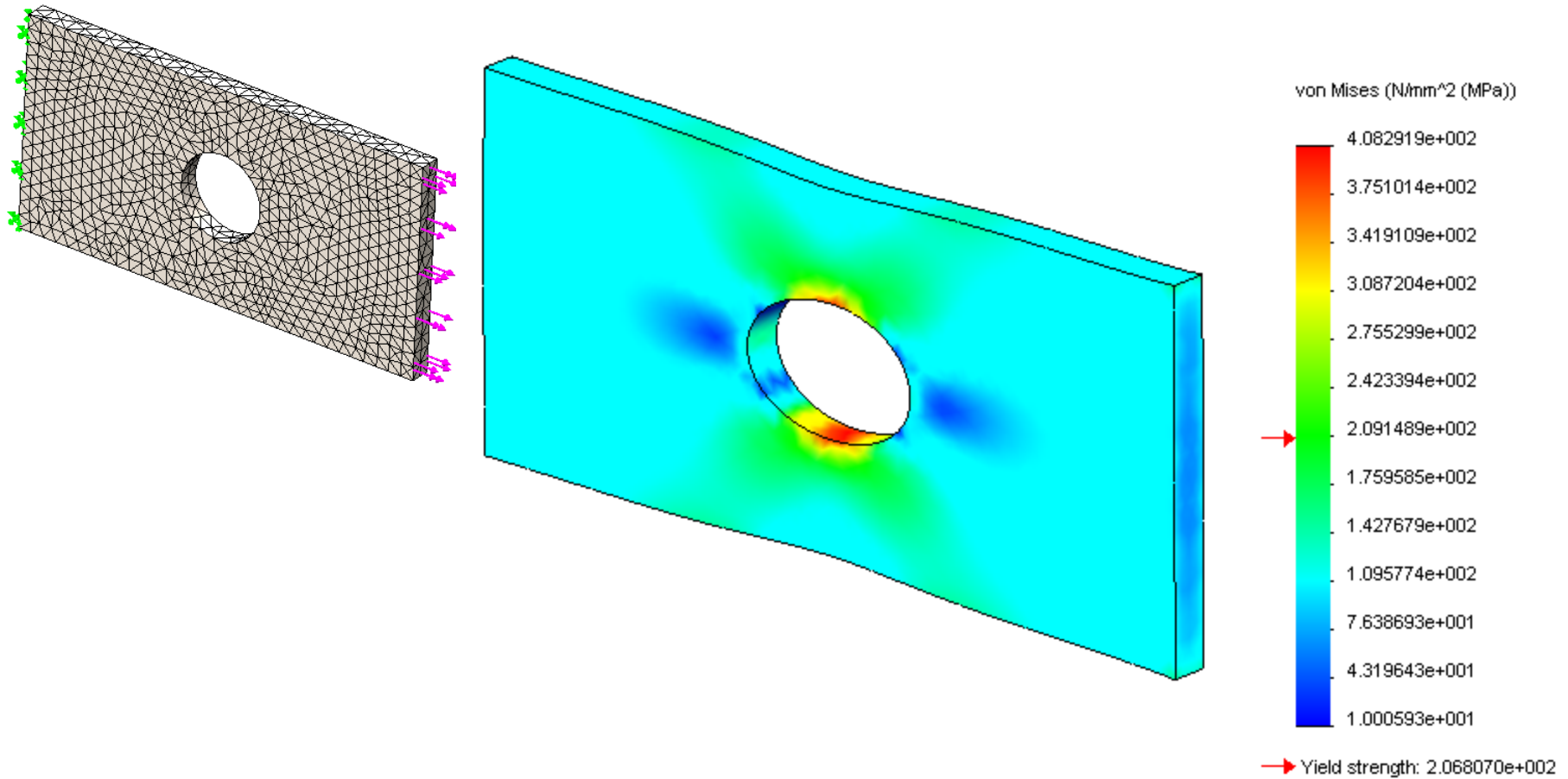
Урок 1: Результаты

Результаты по Мизесу при грубой сетке.



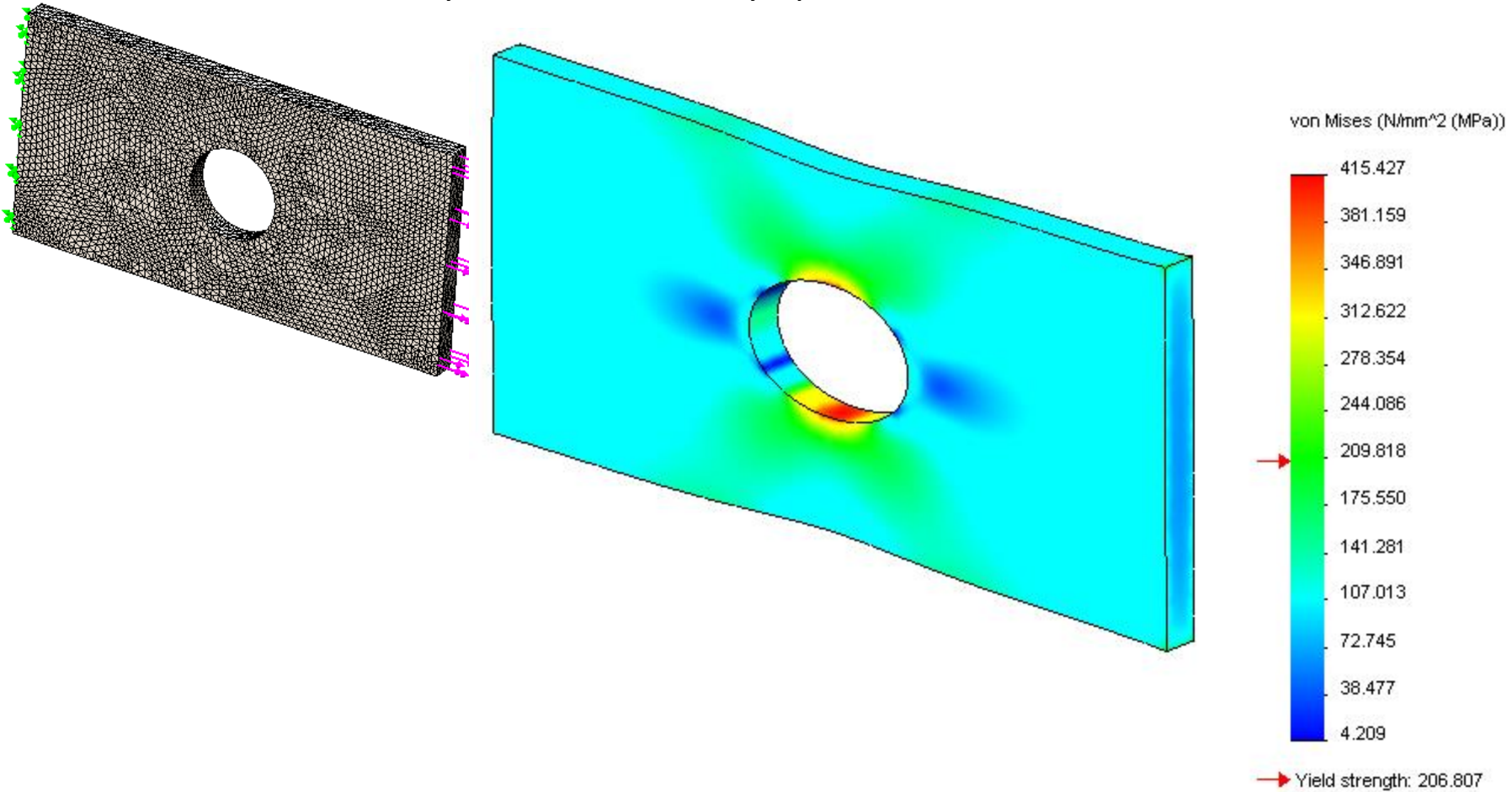
Урок 1: Результаты

Результаты по Мизесу при сетке по умолчанию.



Урок 1: Результаты

Результаты по Мизесу при тонкой сетке.



Урок 1: Результаты

Сводка результатов – исследование сходимости

Mesh density	Max. displacement [mm]	Max. von Mises stress [MPa]	Number of DOF	Number of elements	Number of nodes
coarse analysis	.1432142	402.589	7,128	1,173	2,427
default analysis	.1434665	408.323	44,037	8,677	14,844
fine analysis	.1435111	415.605	310,977	68,511	104,248

Тонкая сетка → Более точные результаты → Больше время вычислений

Урок 1. Результаты

- Сравнение с аналитикой

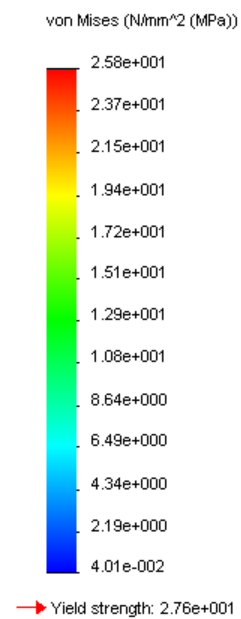
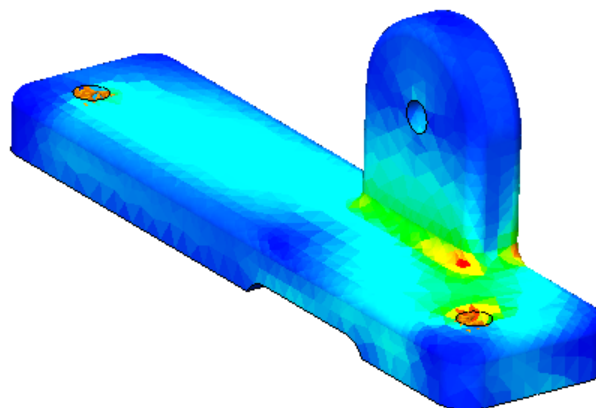
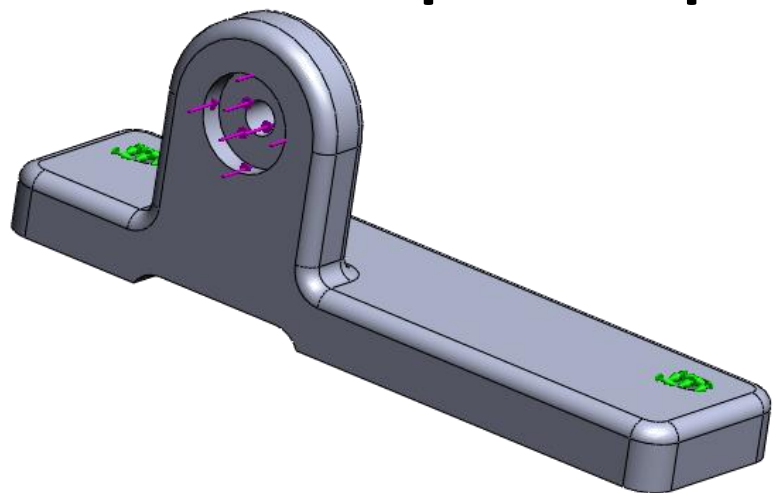
$$\sigma_n = \frac{P}{(W-D) \times T} = \frac{110000}{(100-40) \times 10} = 183.33 \text{ MPa}$$

$$K_n = 3 - 3.13 \left(\frac{D}{W} \right) + 3.66 \left(\frac{D}{W} \right)^2 - 1.53 \left(\frac{D}{W} \right)^3 = 2.23568$$

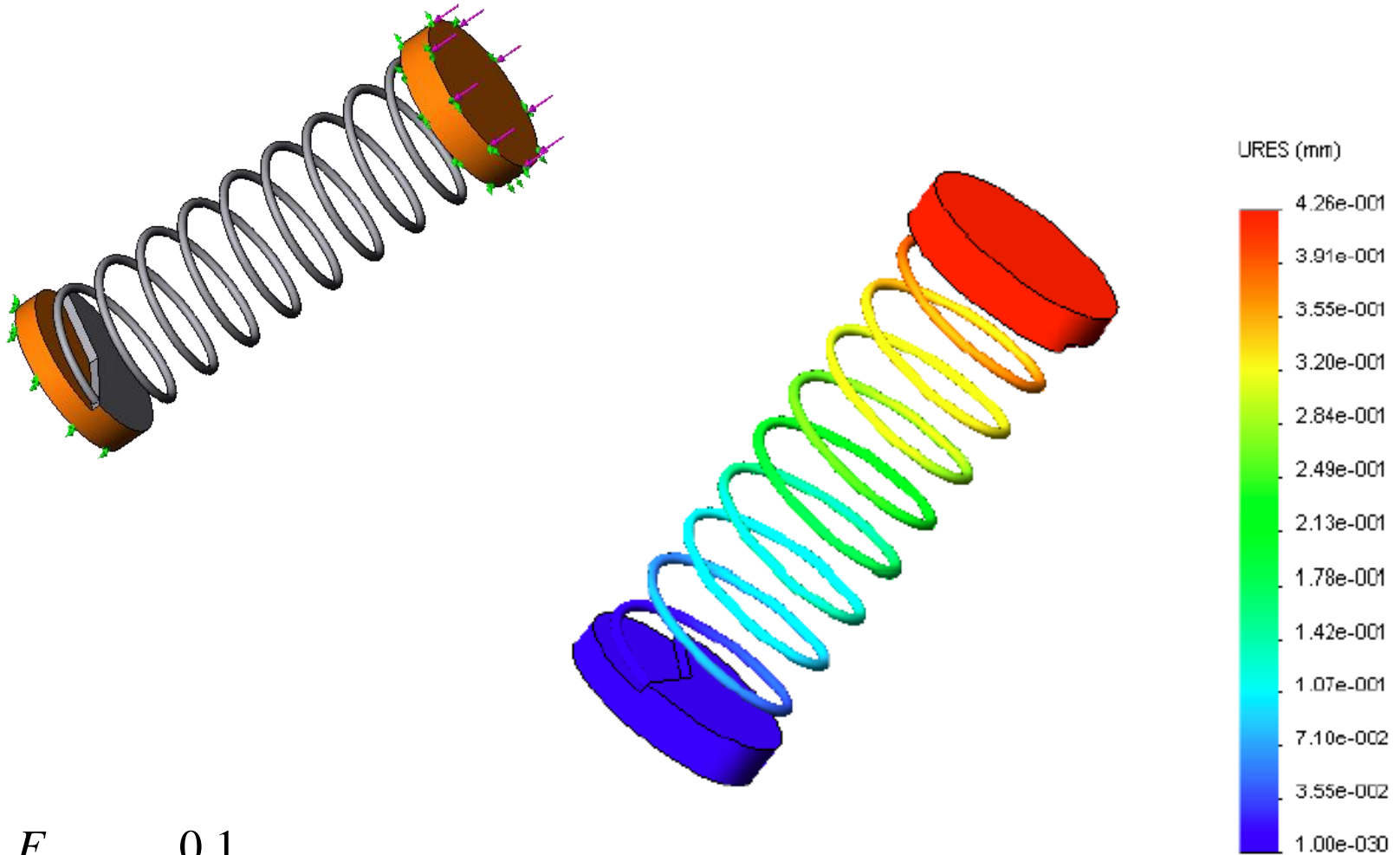
$$\sigma_{\max} = K_n \times \sigma_n = 183.33 \times (2.23568) = 409.87 \text{ MPa}$$

- Какой результат правильный???

Пример 1. Кронштейн



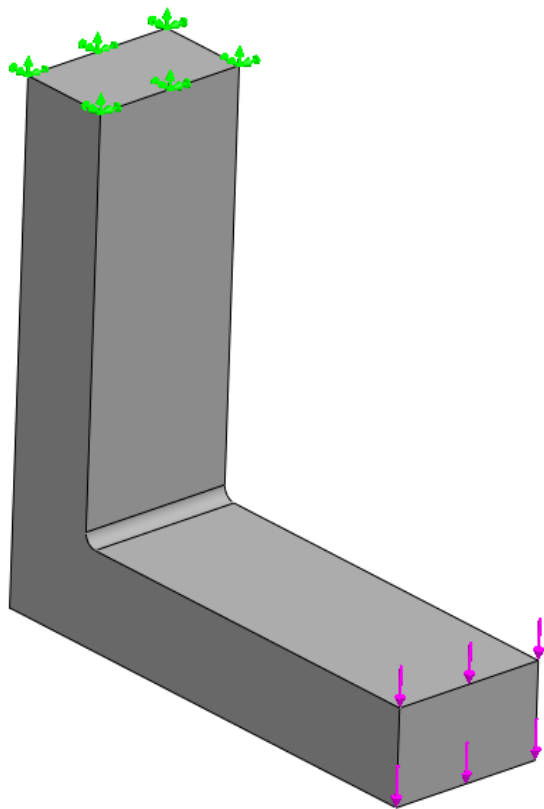
Пример 2. Сжатие пружины.



$$k = \frac{F}{u} = \frac{0.1}{0.426 \cdot 10^{-3}} = 234.7 \text{ H / m}$$

Урок 2

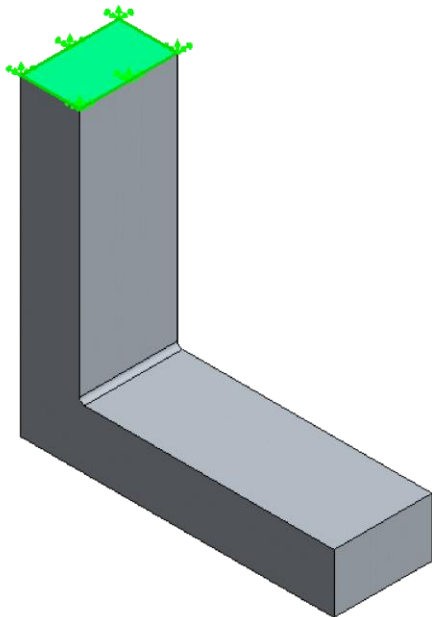
Элементы управления сеткой,
концентрации напряжений и
граничные условия



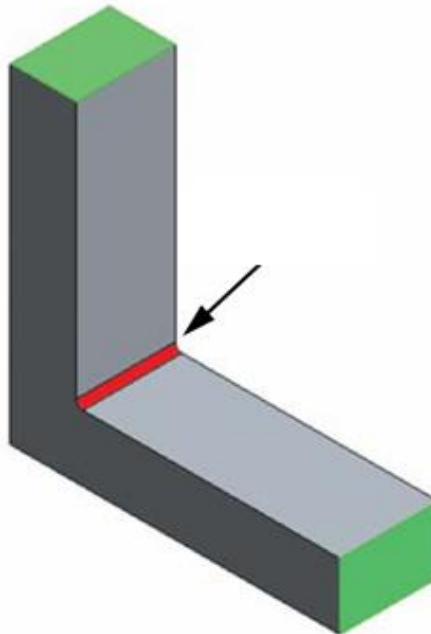
Урок 2 - темы

- Использование SolidWorks конфигурации
- Использование элементов управления сеткой, автоматическое перестроение
- Проблемы сходимости МКЭ
- Различные граничные условия

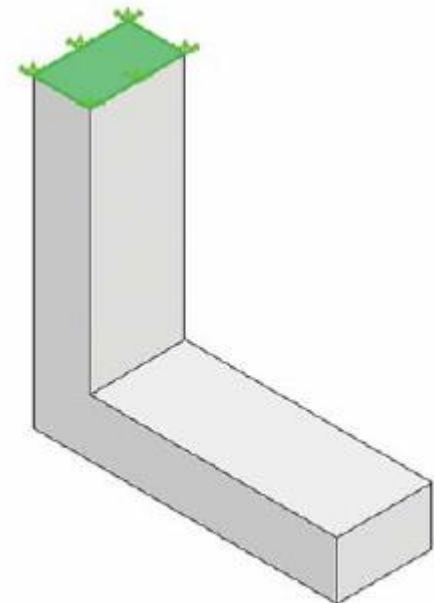
Конфигурация со скруглением



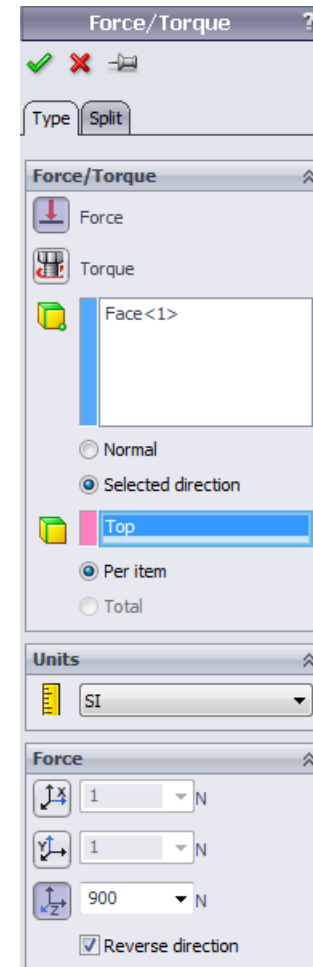
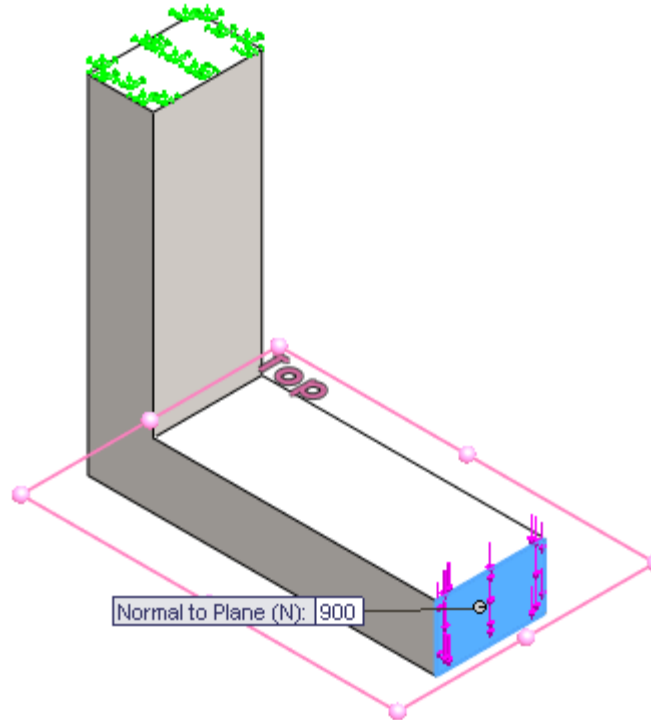
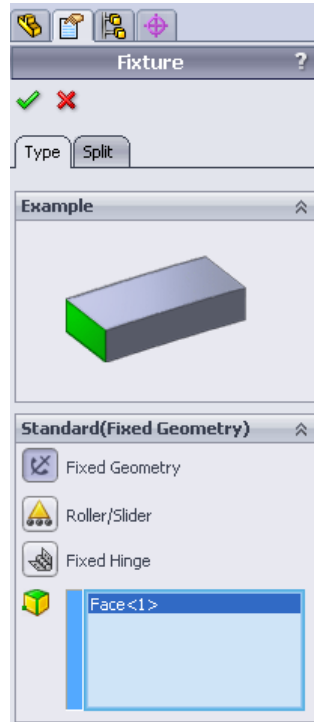
Погашенное скругление



Конфигурация без скругления



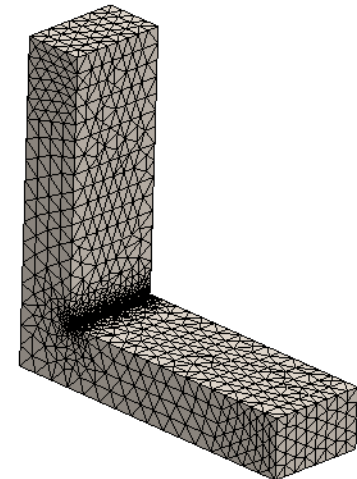
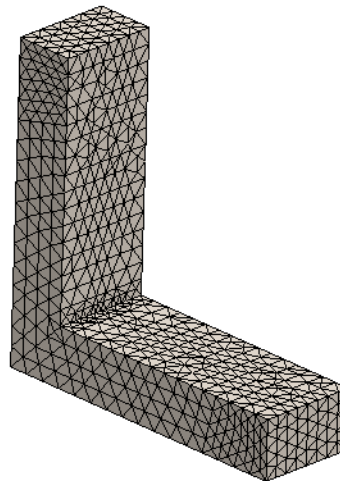
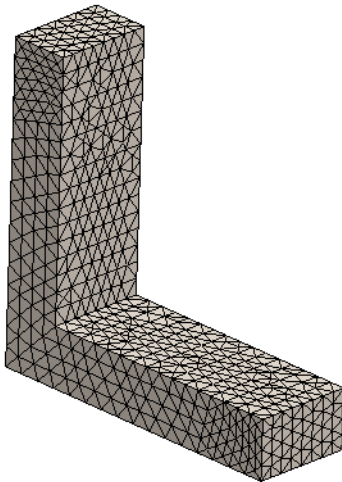
Нагрузки и ограничения



Урок 2. Результаты.

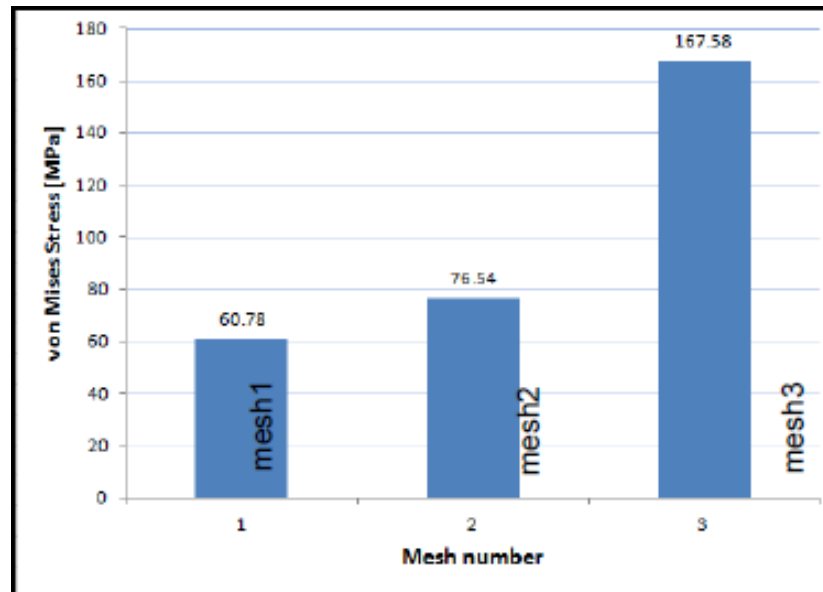
Конфигурация без скругления

Study	Max. displ. [mm]	Increase in max. displ. [mm][%]	Max. Von Mises stress [MPa]	Increase in Von Mises stress [MPa][%]
mesh1	0.28741	-	60.76	-
mesh2	0.288	0.00059 (0.2%)	76.54	15.78 (26%)
mesh3	0.28856	0.00115 (0.4%)	167.58	106.82 (175.8%)



Урок 2. Результаты

Результаты напряжений – mesh1, mesh2 и mesh3

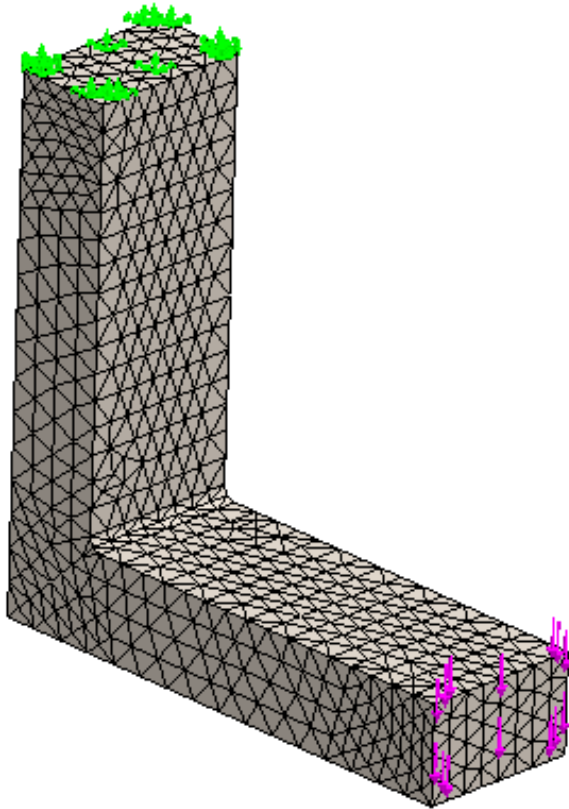


- 1- Будут ли сходиться напряжения при увеличении количества элементов?
- 2- Почему?

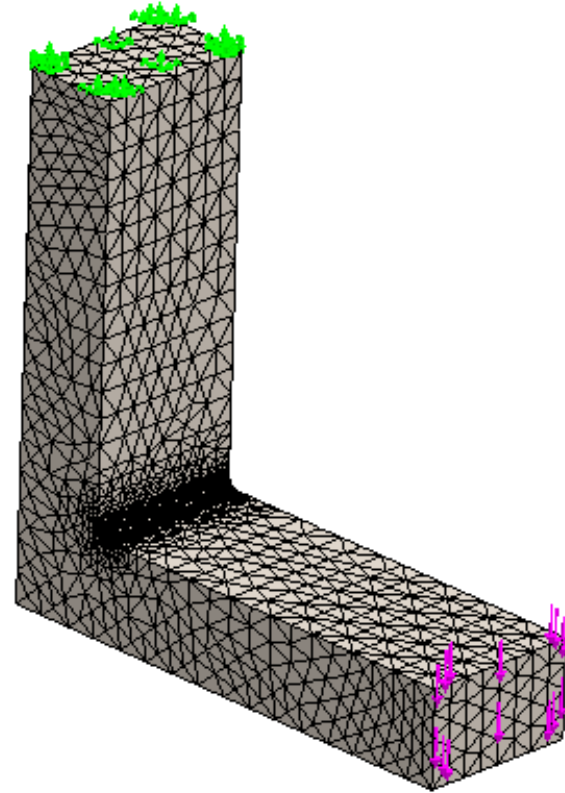


Урок 2. Результаты

Скругление. Управление сеткой.



Нет управления сеткой

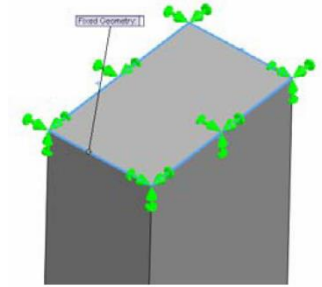
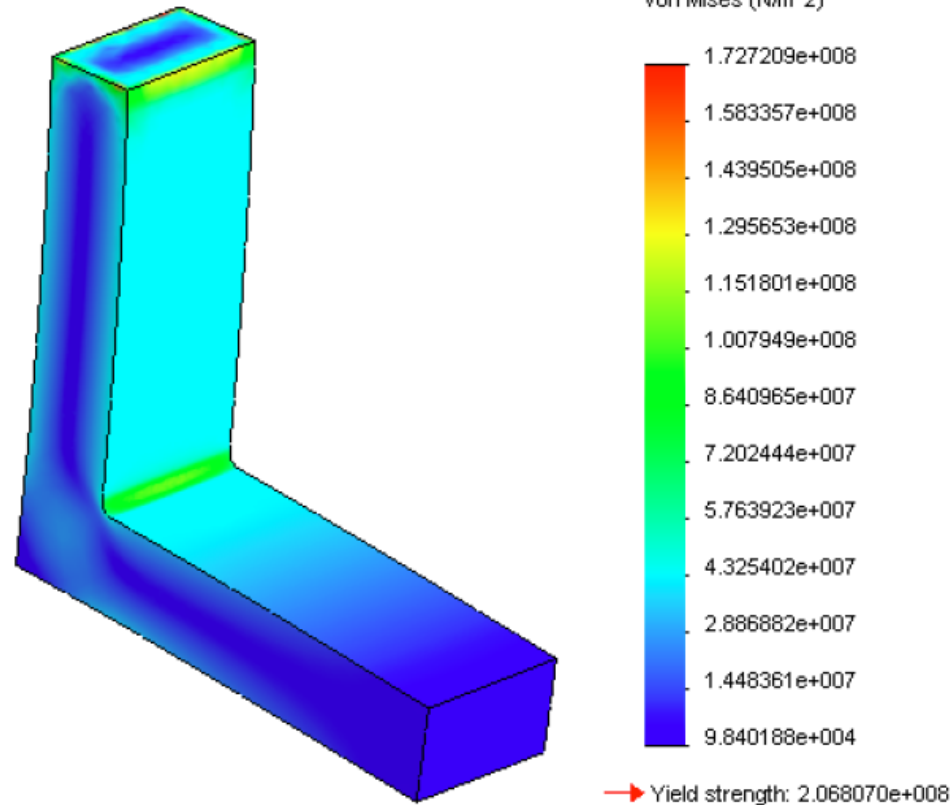


Управление сеткой



Урок 2. Результаты

Сварные граничные условия

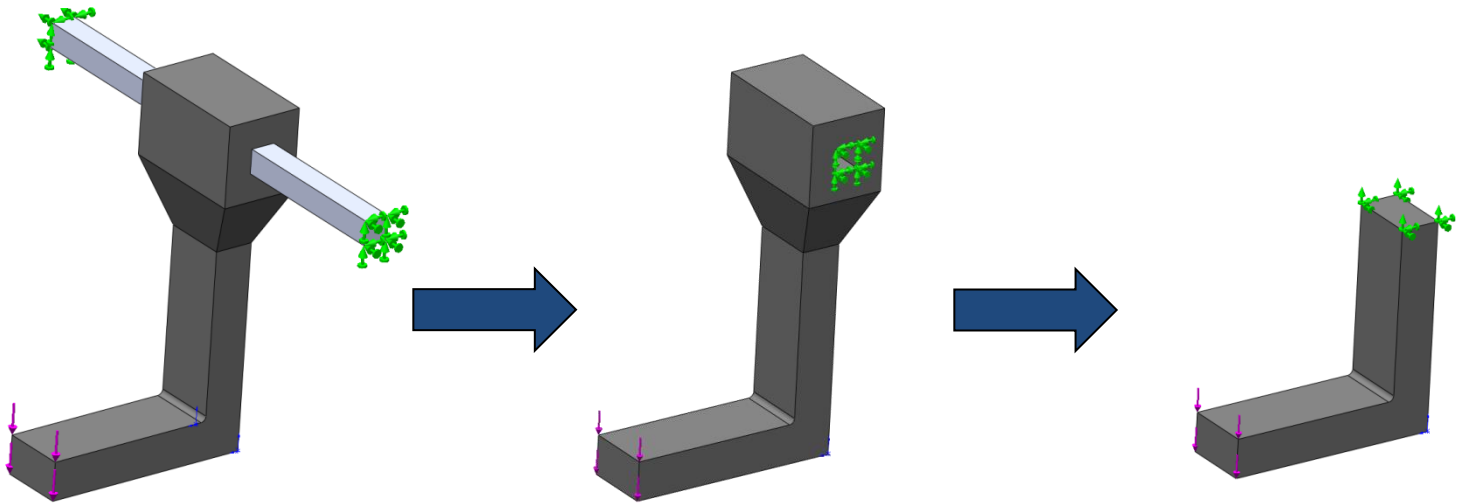


Неподвижное ребро создает нереалистичные напряжения в месте ограничения.

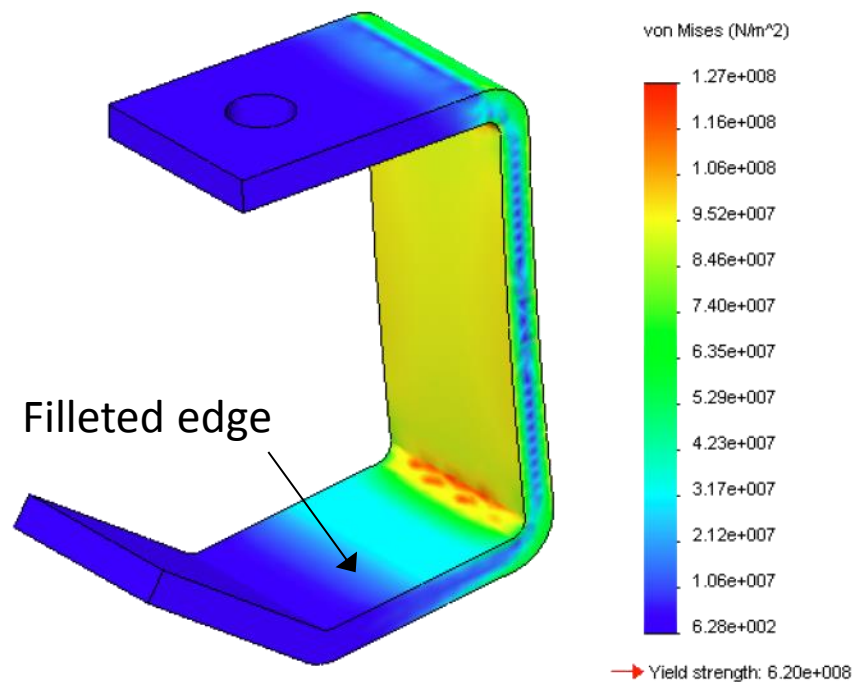
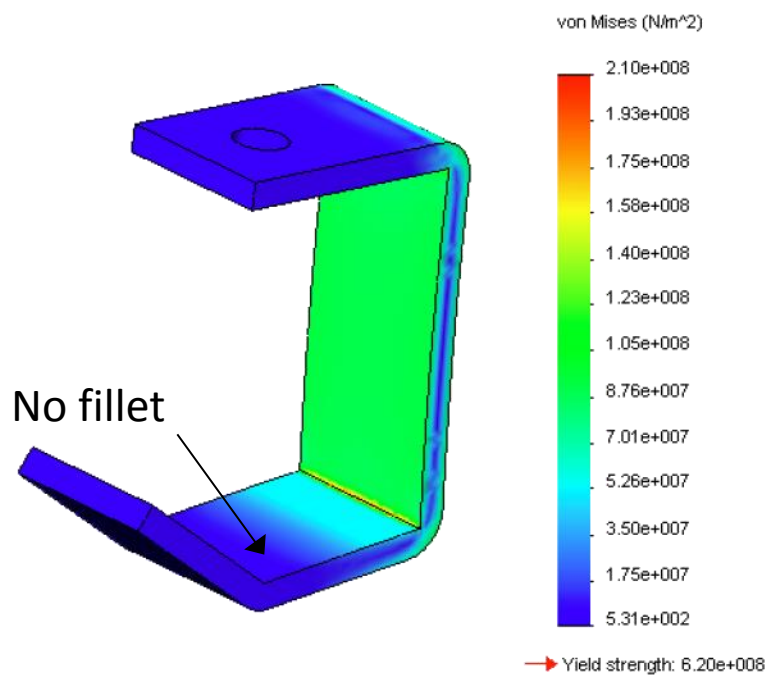


Урок 2. Граничные условия

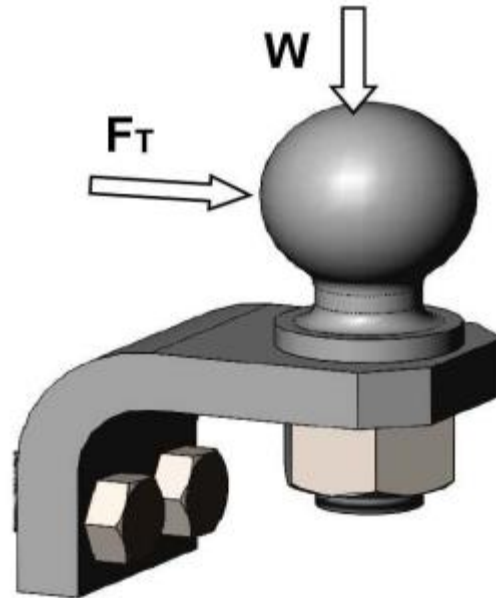
- Могут значительно упростить модель
- Но могут также повлиять на результаты
- Надо знать ваши допущения.



Пример 3: С-кронштейн



Пример 4: Фаркоп



Пример 5: Вал

