

TOMSK
POLYTECHNIC
UNIVERSITY



ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Основы инженерного анализа

Адаптивная сетка (Adaptive Meshing)

Как понять что задача решена правильно?

13 ноября
2022



1. Сетка

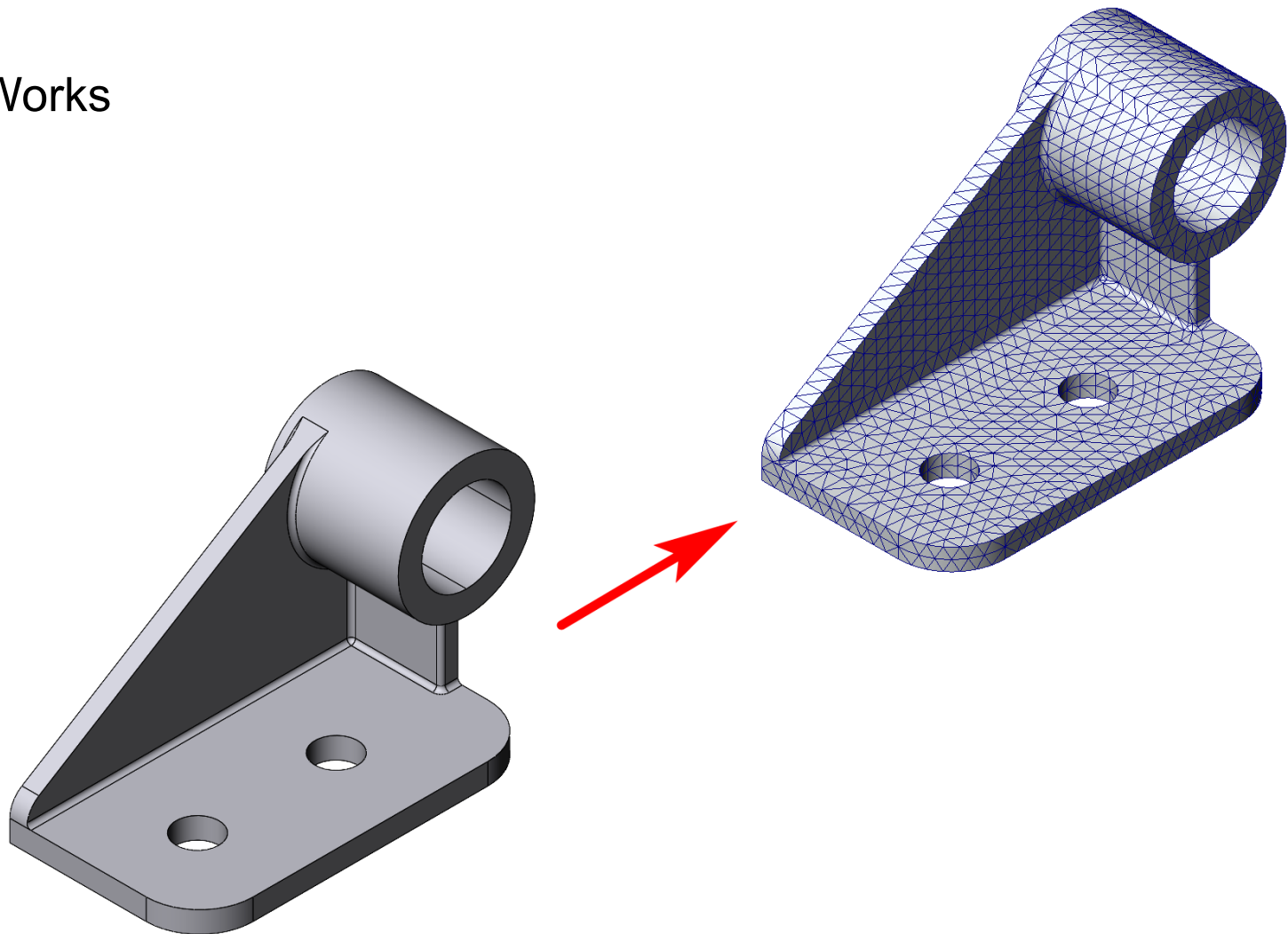
- Типы конечных элементов (КЭ) в SolidWorks
- Качество сетки
- Типы сеток

2. Адаптивная сетка

- Ручной режим
- h-адаптивная
- p-адаптивная

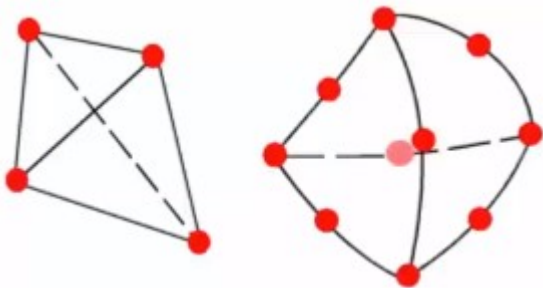
3. Постпроцессор

- Графики сходимости
- Качество сетки

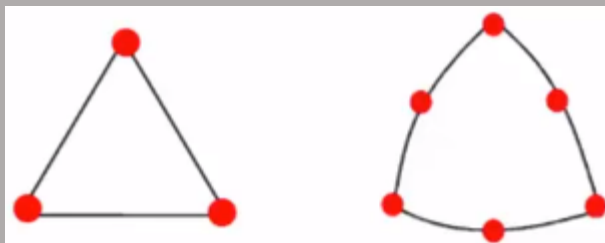




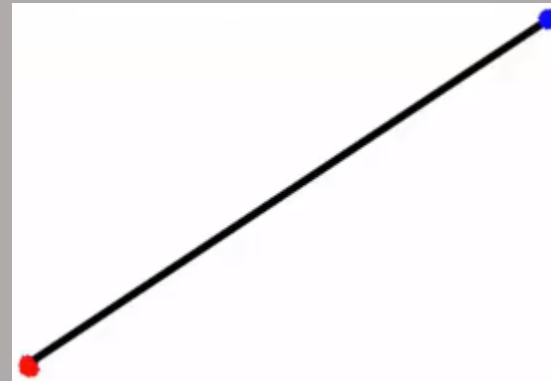
Твердотельные элементы



Оболочечные элементы



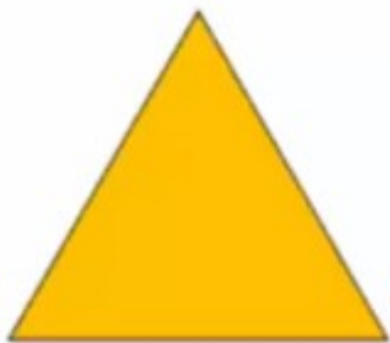
Балочные элементы



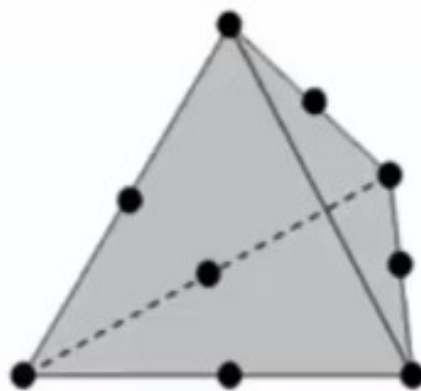


Якобиан - это мера искажения конечного элемента более высокого порядка.

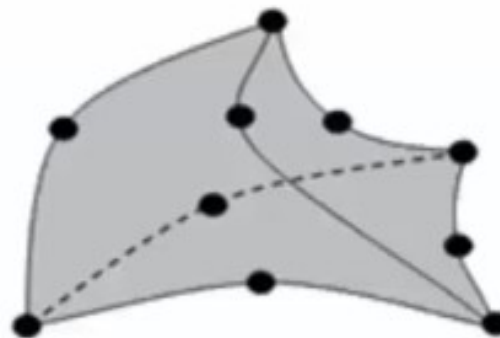
Аспектное соотношение – это соотношение длины к ширине конечного элемента.



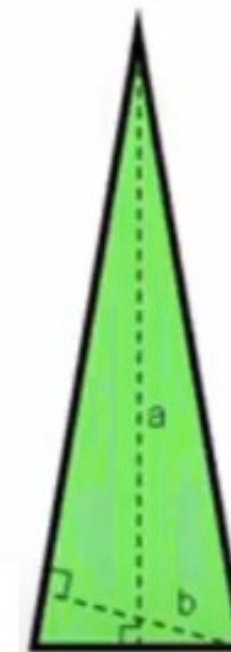
Равносторонний
треугольник



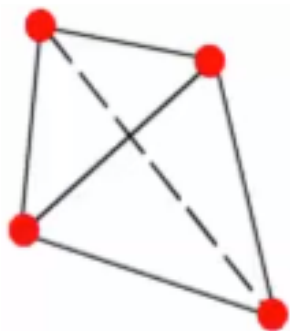
Якобиан = 1



Якобиан $\gg 1$
или отрицательный



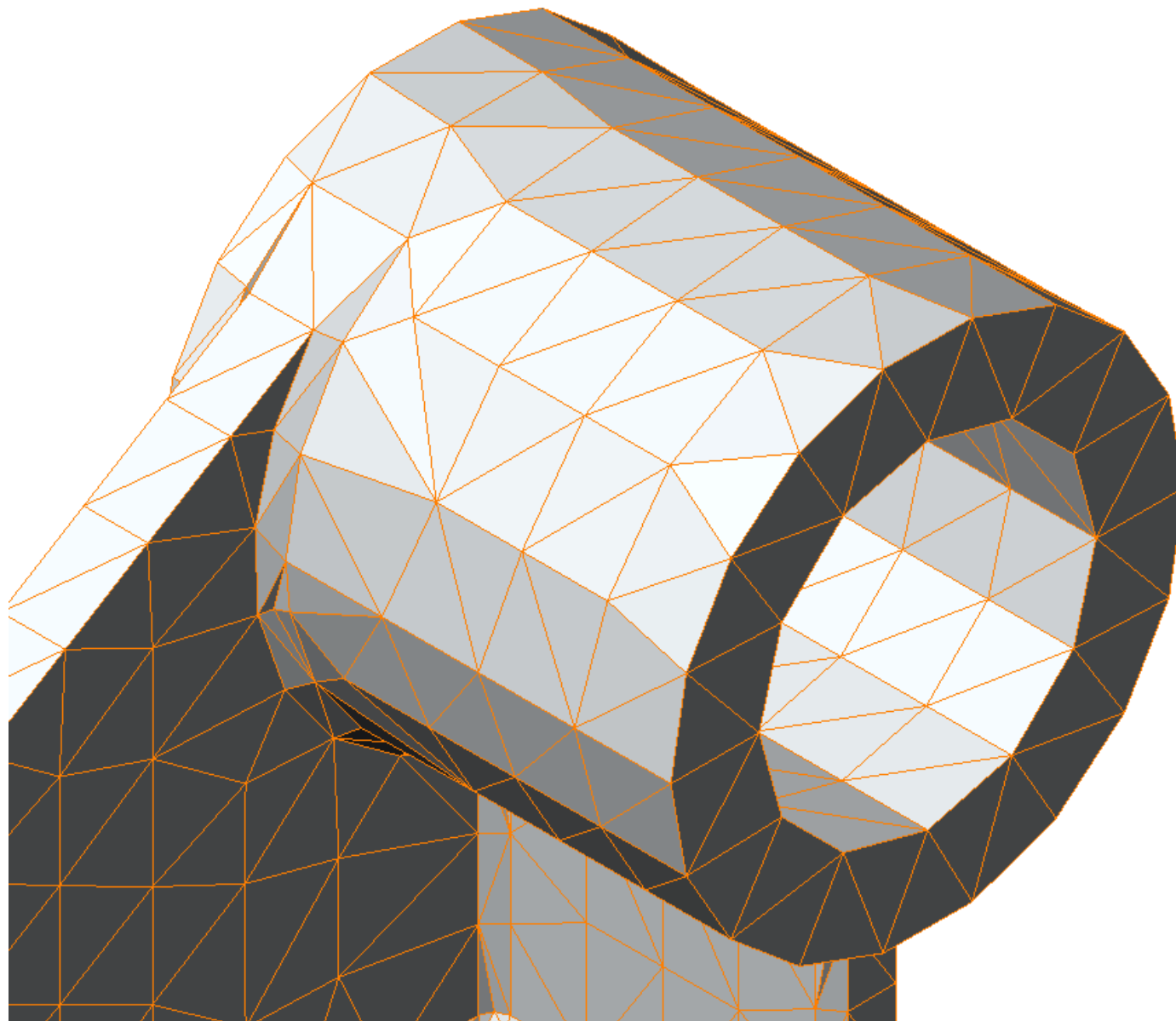
Аспектное
соотношение = a/b

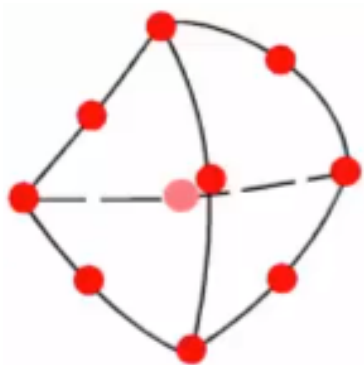


КЭ чернового качества

4 узла

Линейные стороны

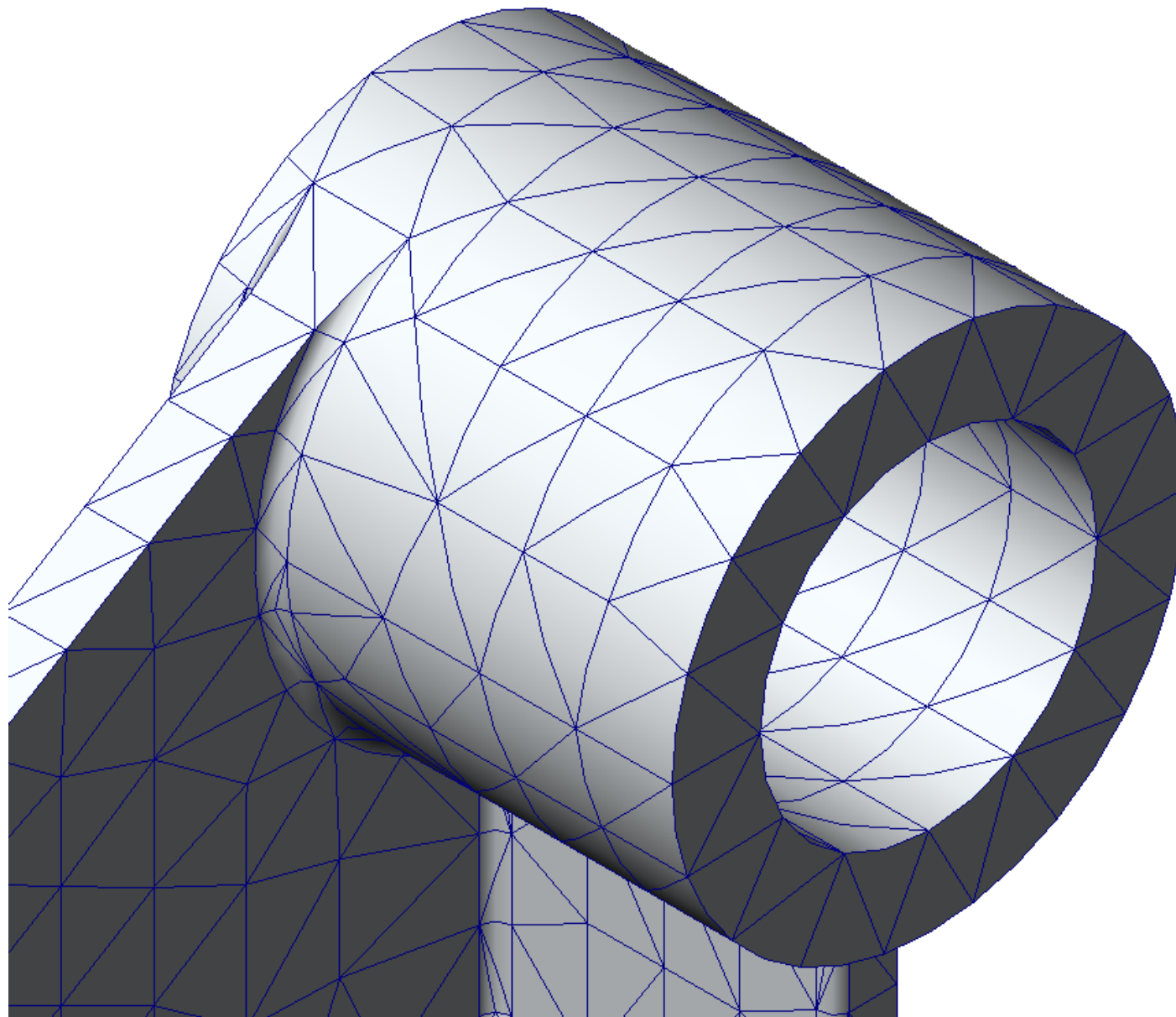


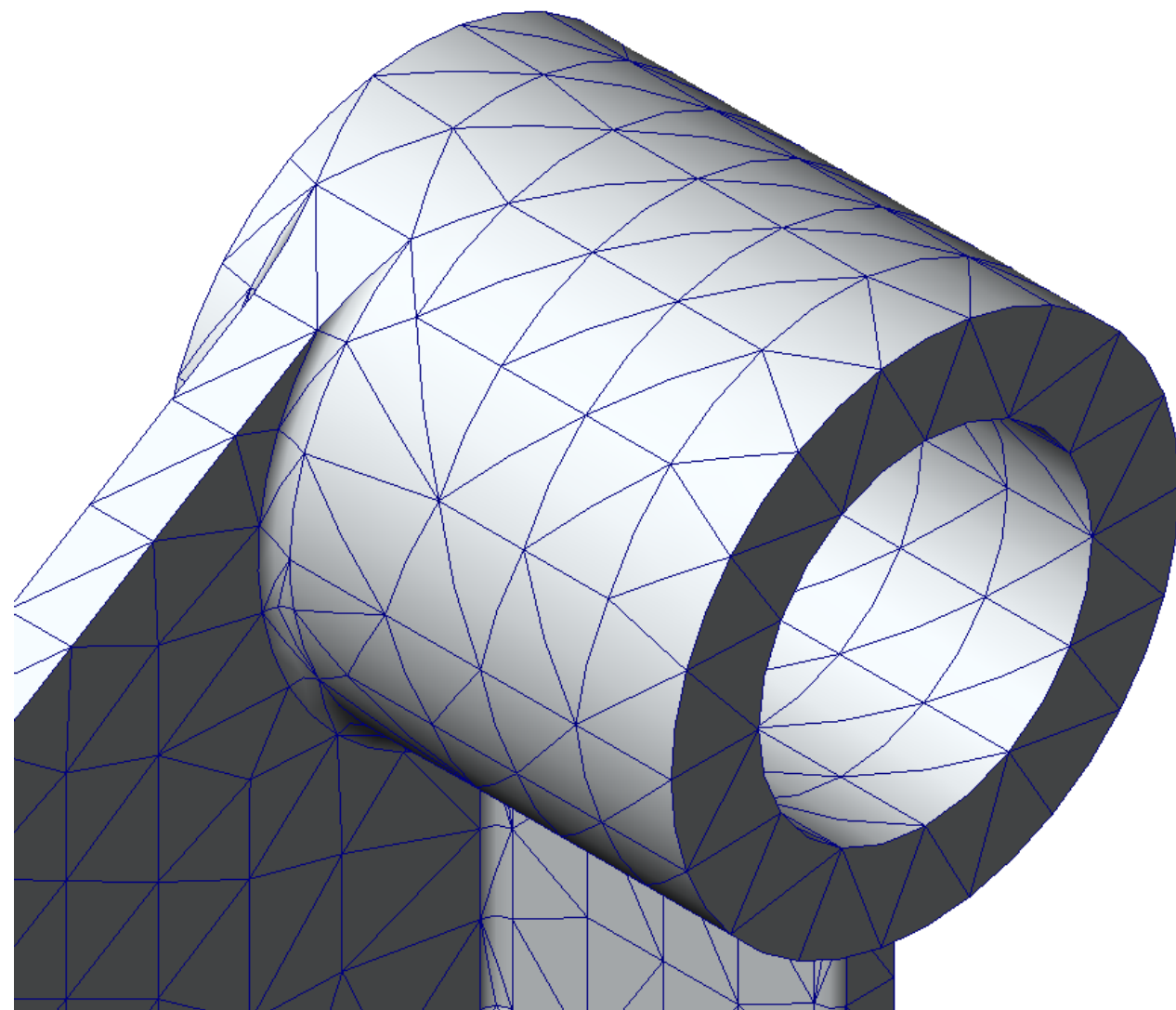
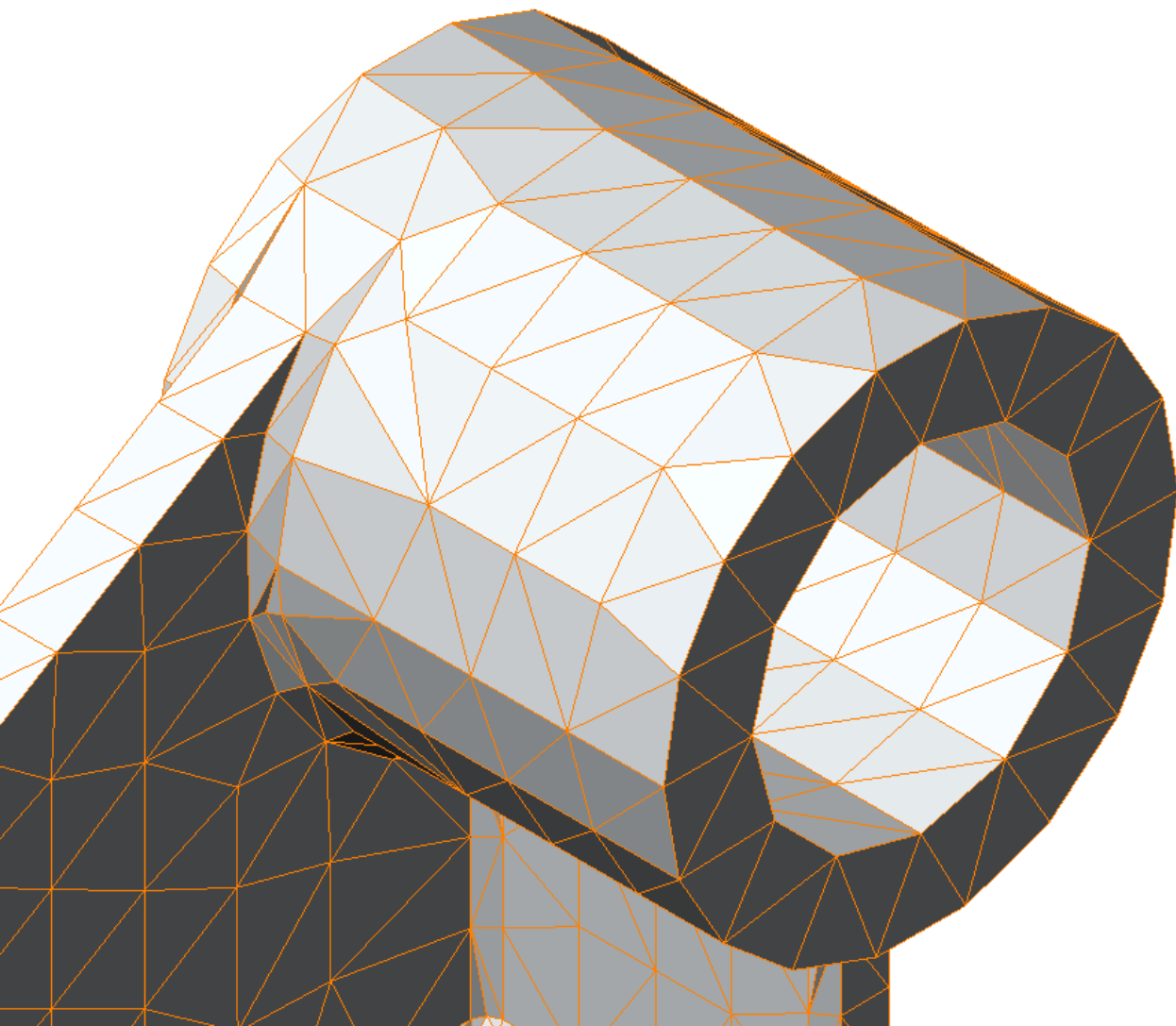


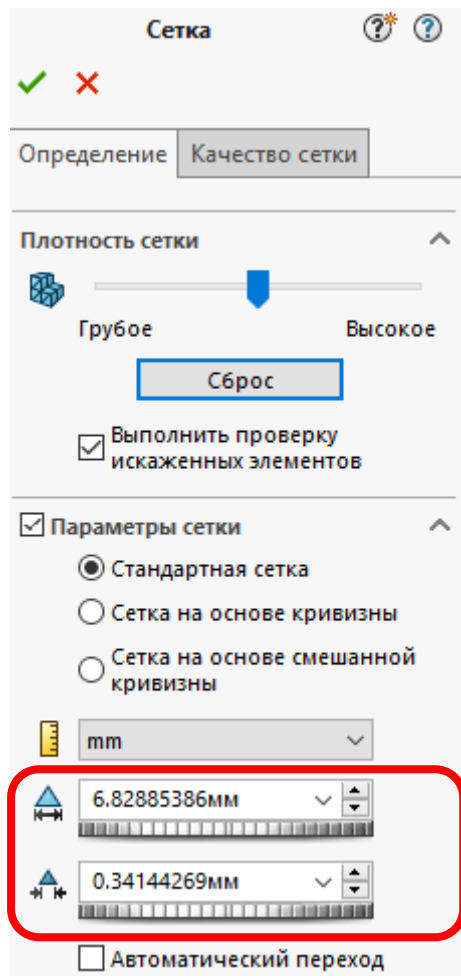
КЭ высокого качества

10 узлов

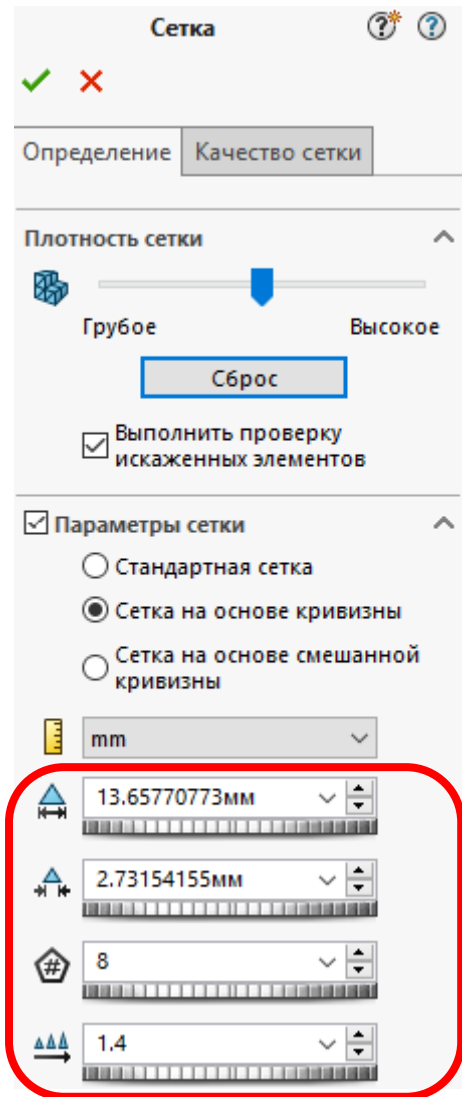
Сторона 2-го порядка



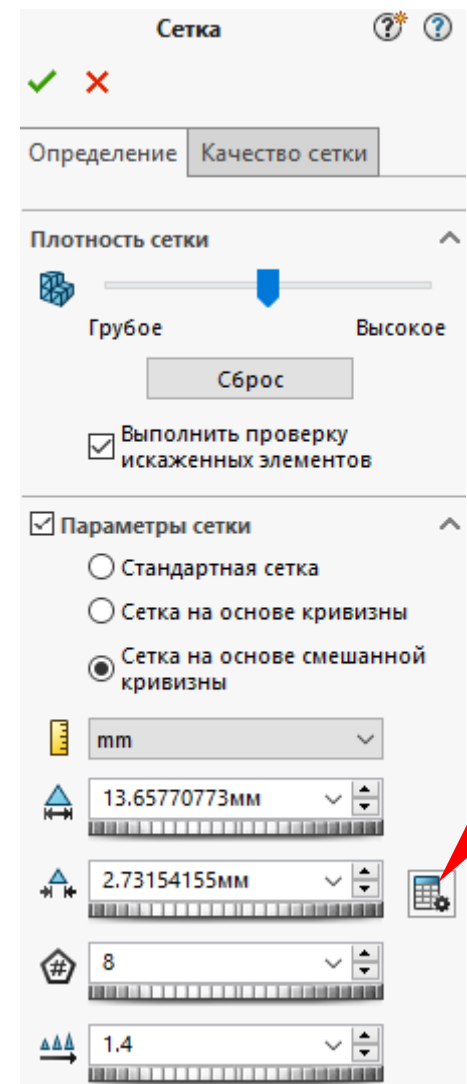




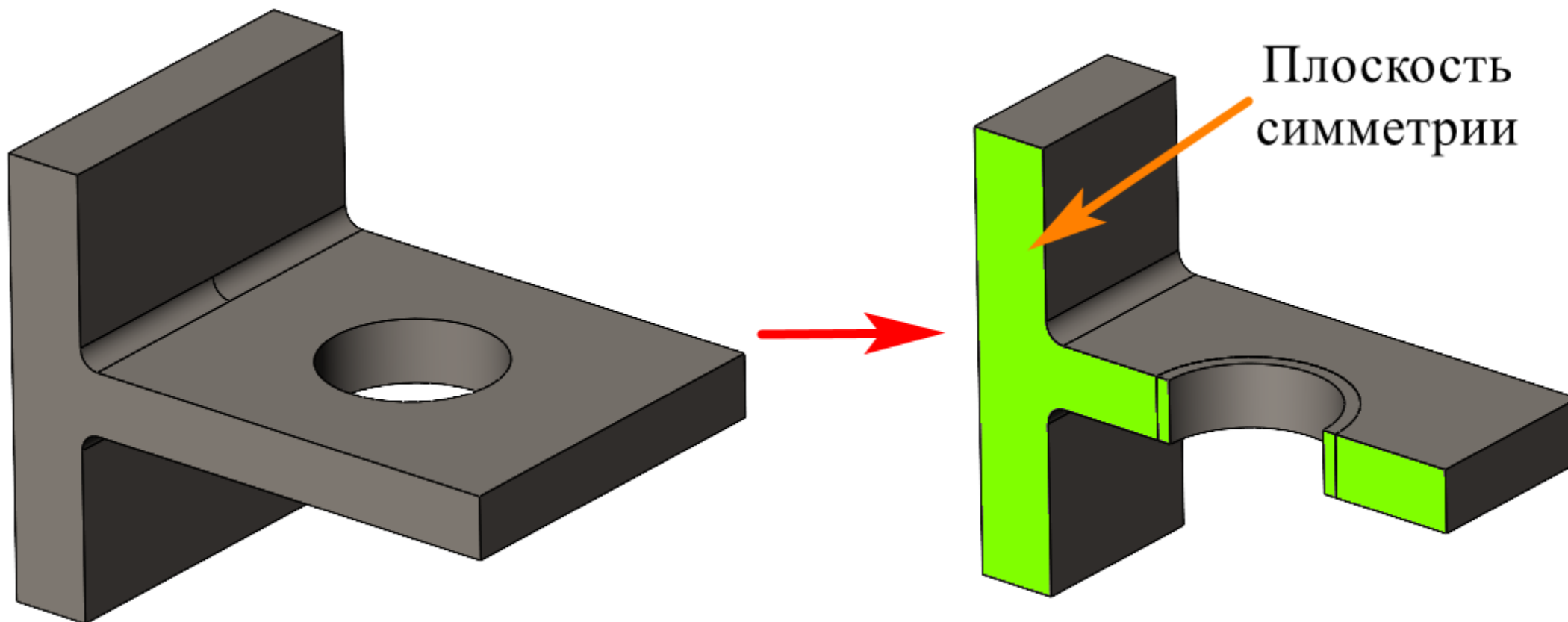
Стандартная сетка



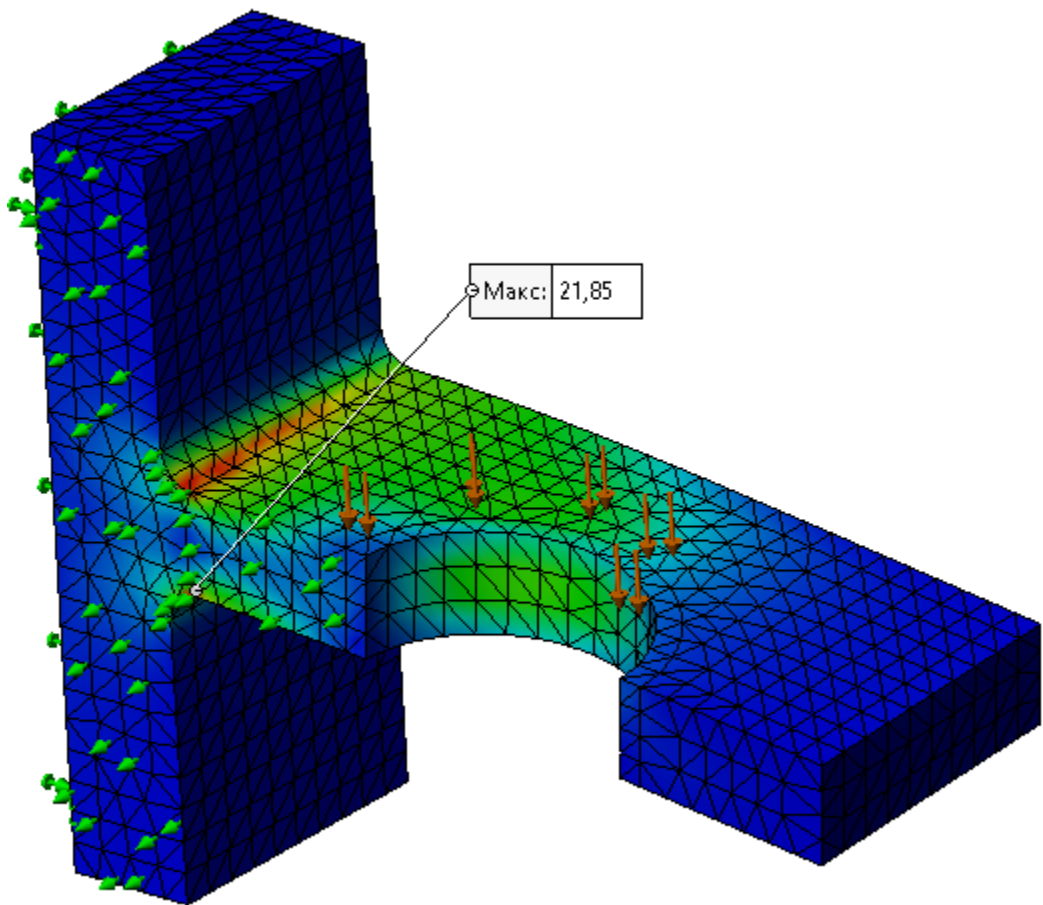
Сетка на основе кривизны



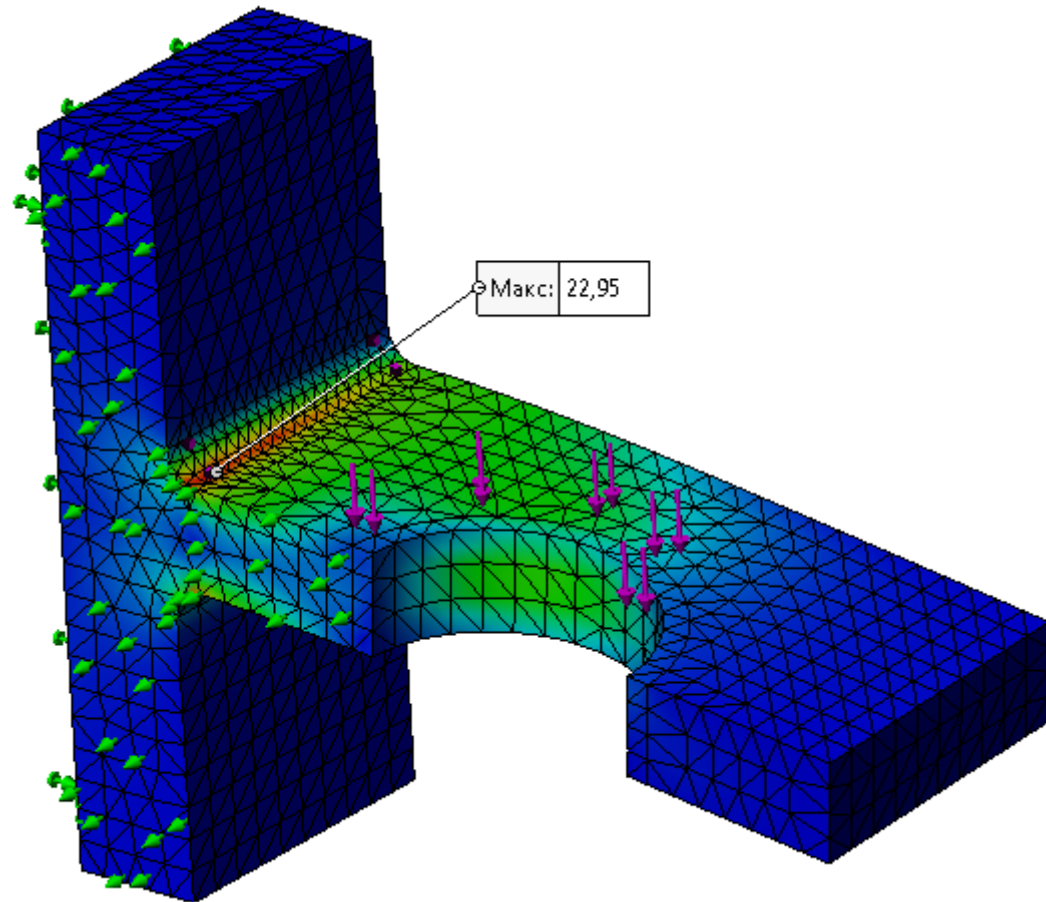
Сетка на основе
смешанной кривизны



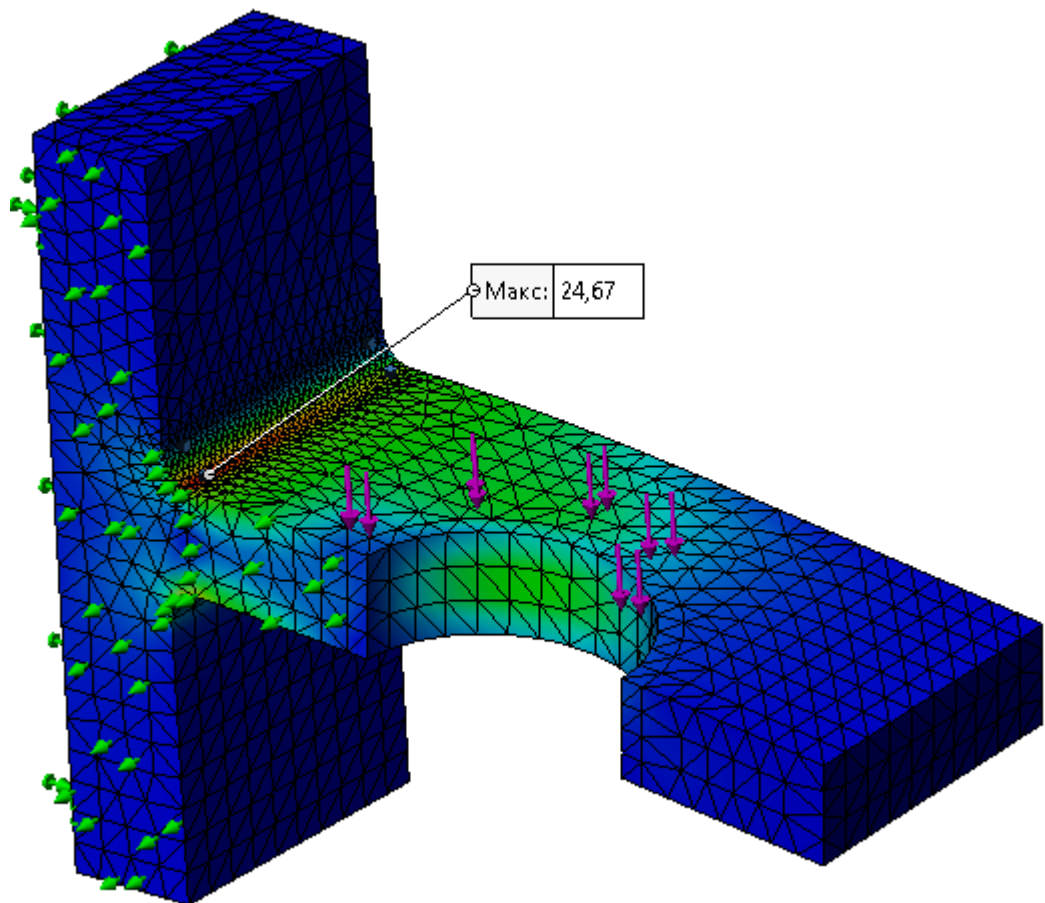
Исследование детали «Опорный кронштейн»



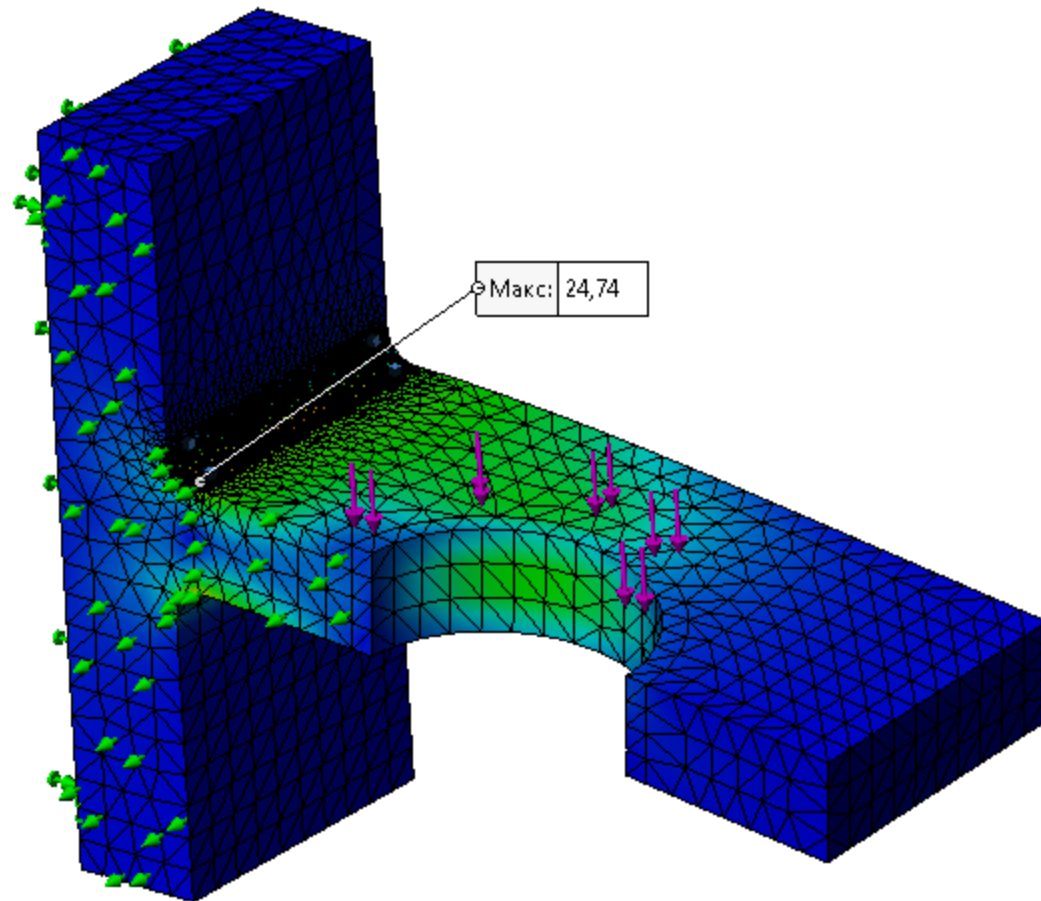
Стандартная сетка
Размер КЭ – 6 мм
Макс. Напряжения 21,85 МПа



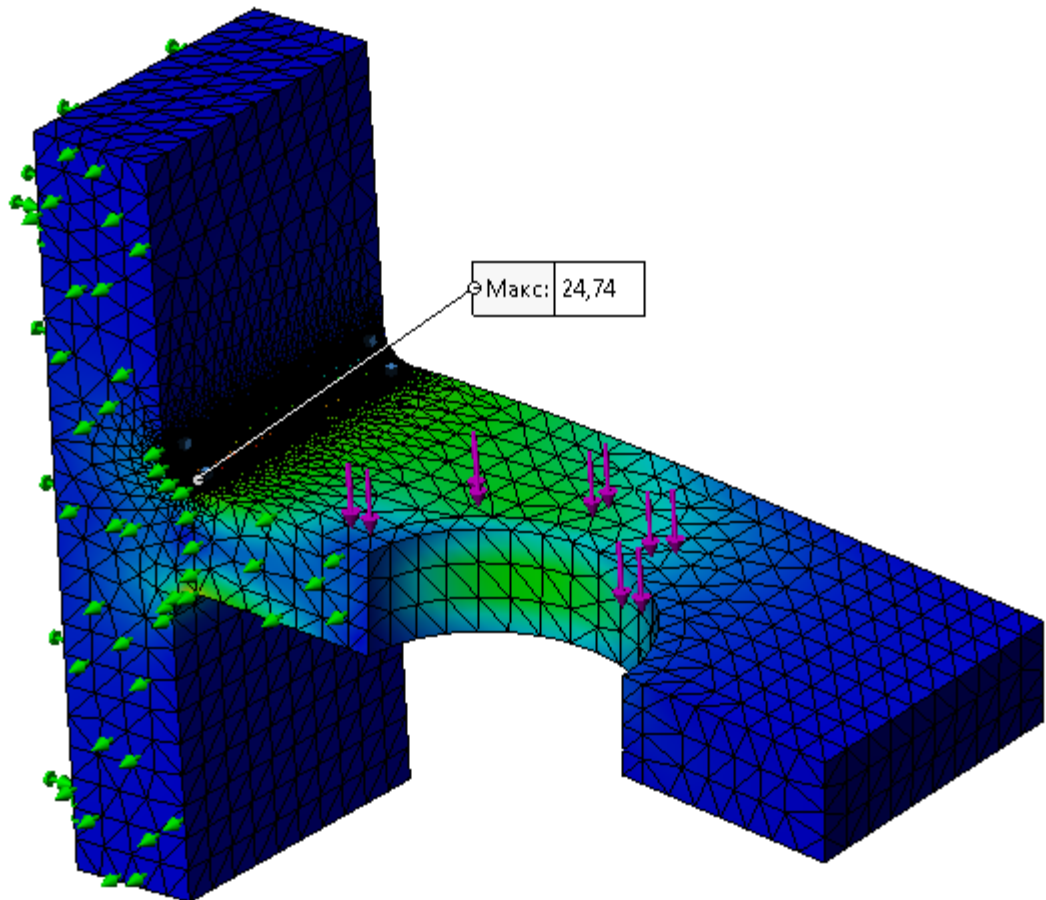
Стандартная сетка
Размер КЭ – 6 мм
Управление сеткой – 3 мм
Макс. Напряжения – 22,95 МПа



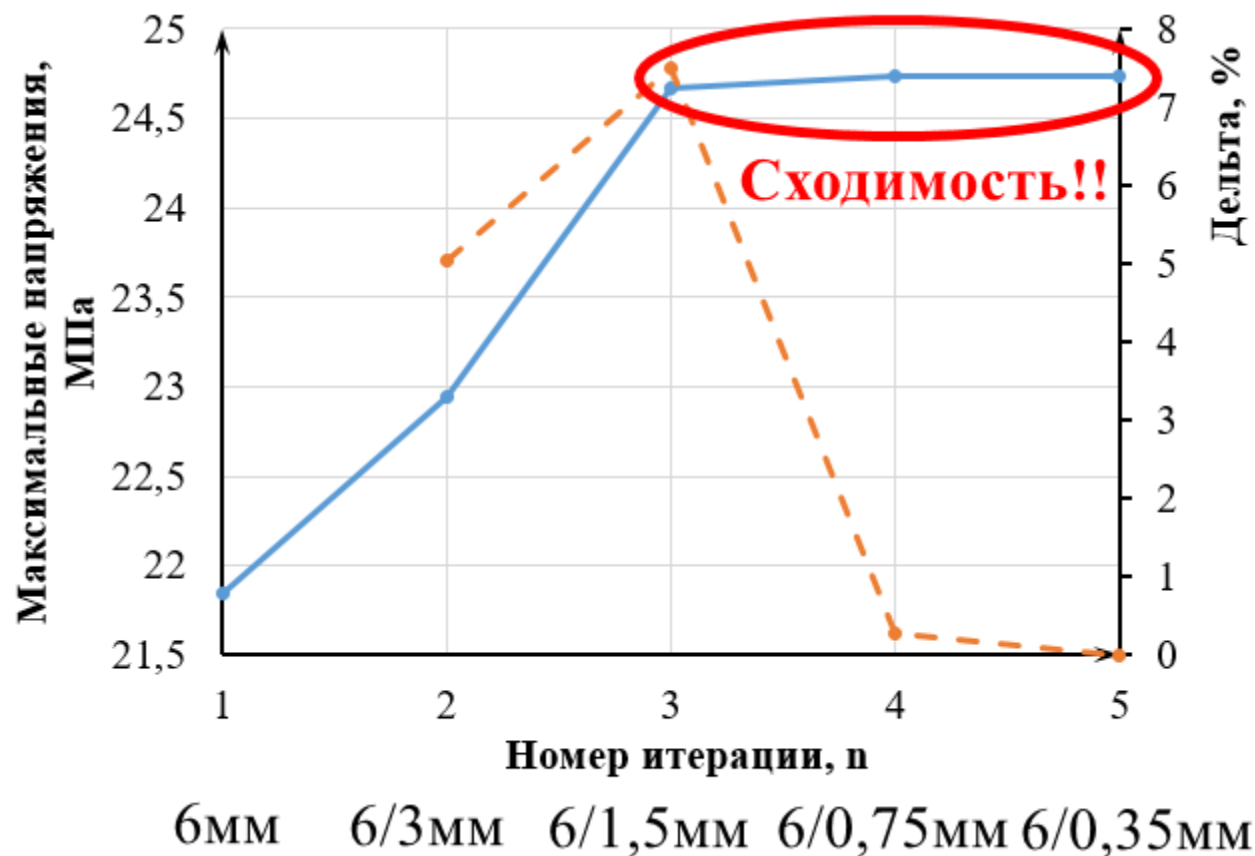
Стандартная сетка
Размер КЭ – 6 мм
Управление сеткой – 1,5 мм
Макс. Напряжения – 24,67 МПа



Стандартная сетка
Размер КЭ – 6 мм
Управление сеткой – 0,75 мм
Макс. Напряжения – 24,74 МПа



Стандартная сетка
Размер КЭ – 6 мм
Управление сеткой – 0,35 мм
Макс. Напряжения – 24,74 МПа



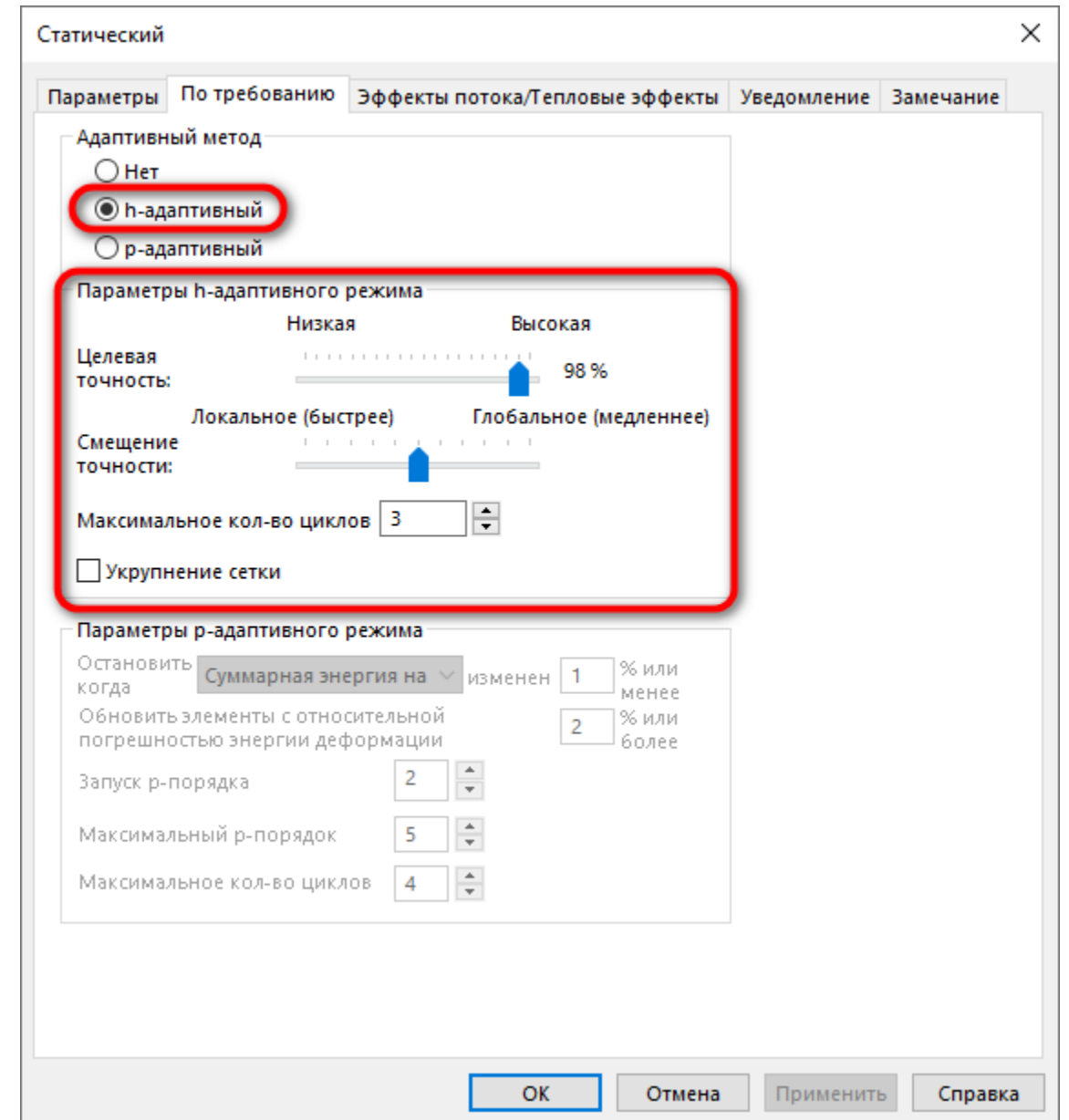


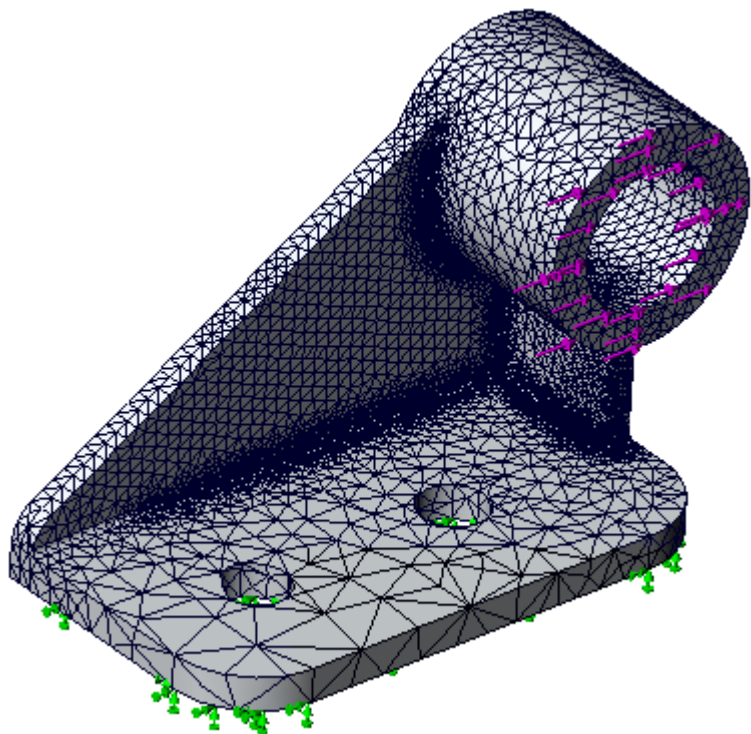
h-адаптивное измельчение сетки автоматически уменьшает размер элемента в областях с высокой ошибкой нормы энергии деформации.

Ползунок целевой точности определяет желаемую ошибку решения.

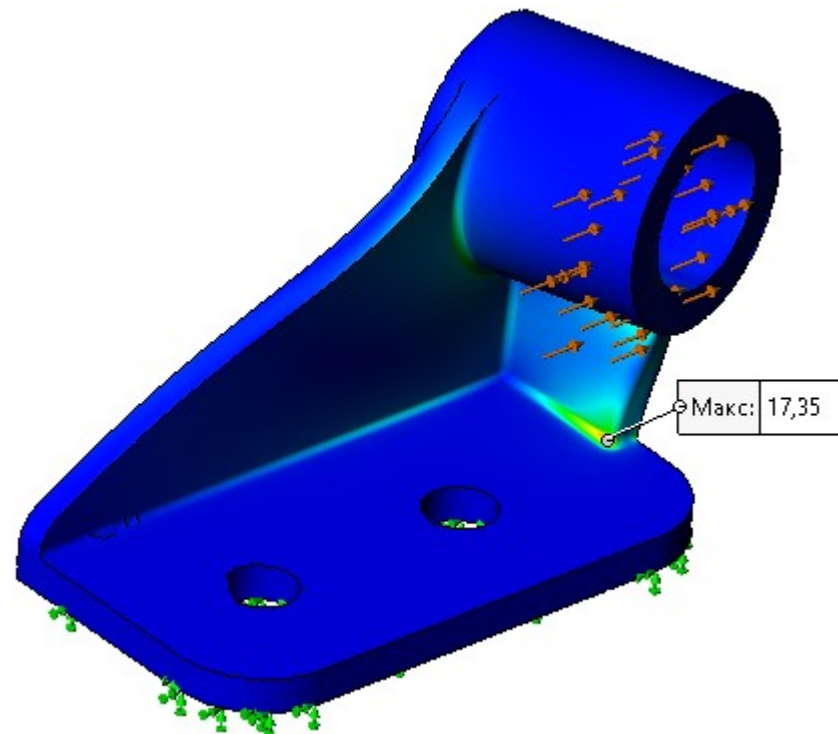
Например, значение 98% на ползунке указывает, что решение должно быть остановлено, когда ошибка нормы энергии деформации в модели меньше 2%.

Максимальное количество циклов, которое можно указать для h-адаптивного исследования, равно 5.

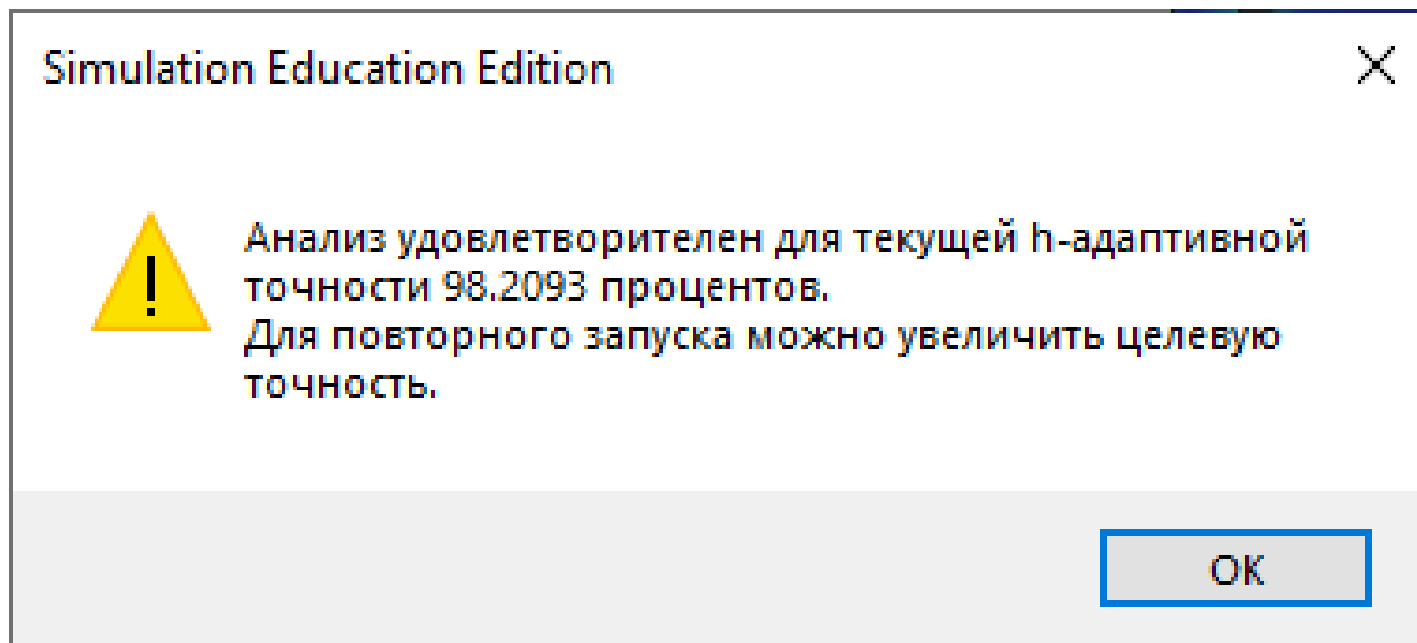


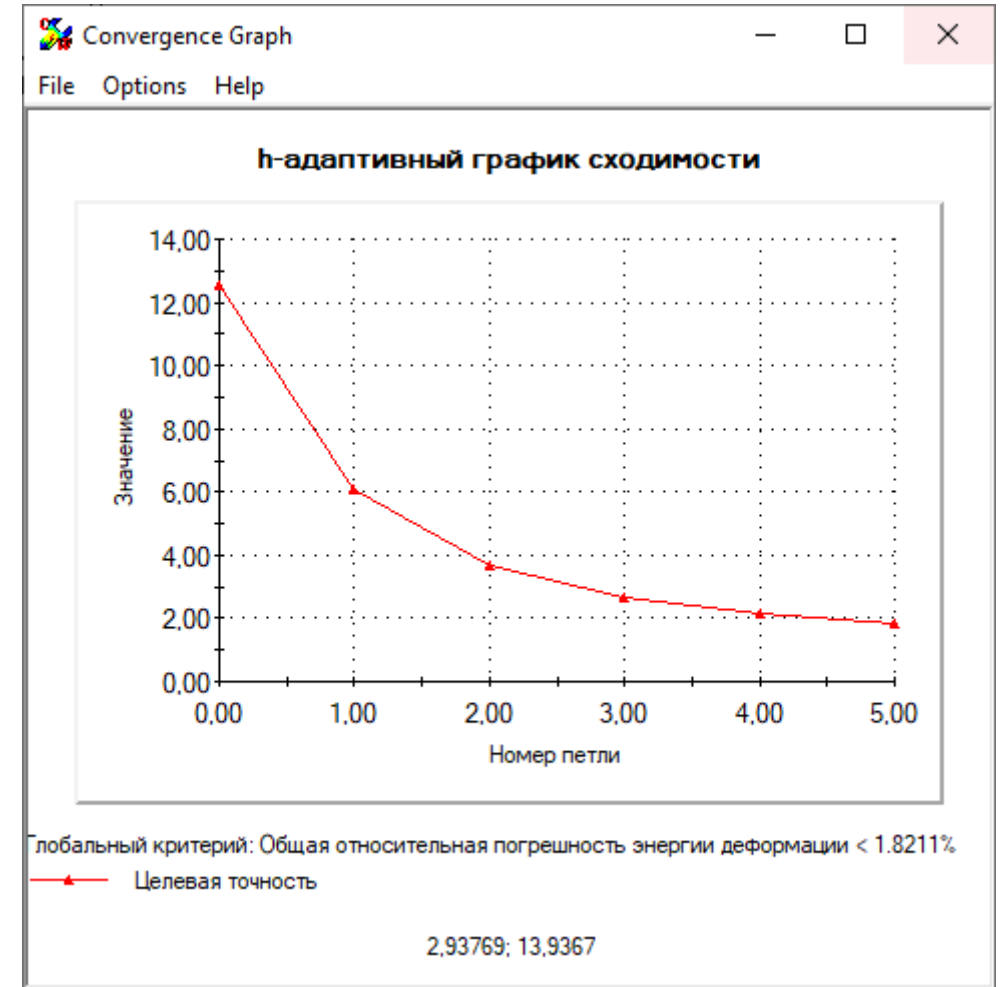
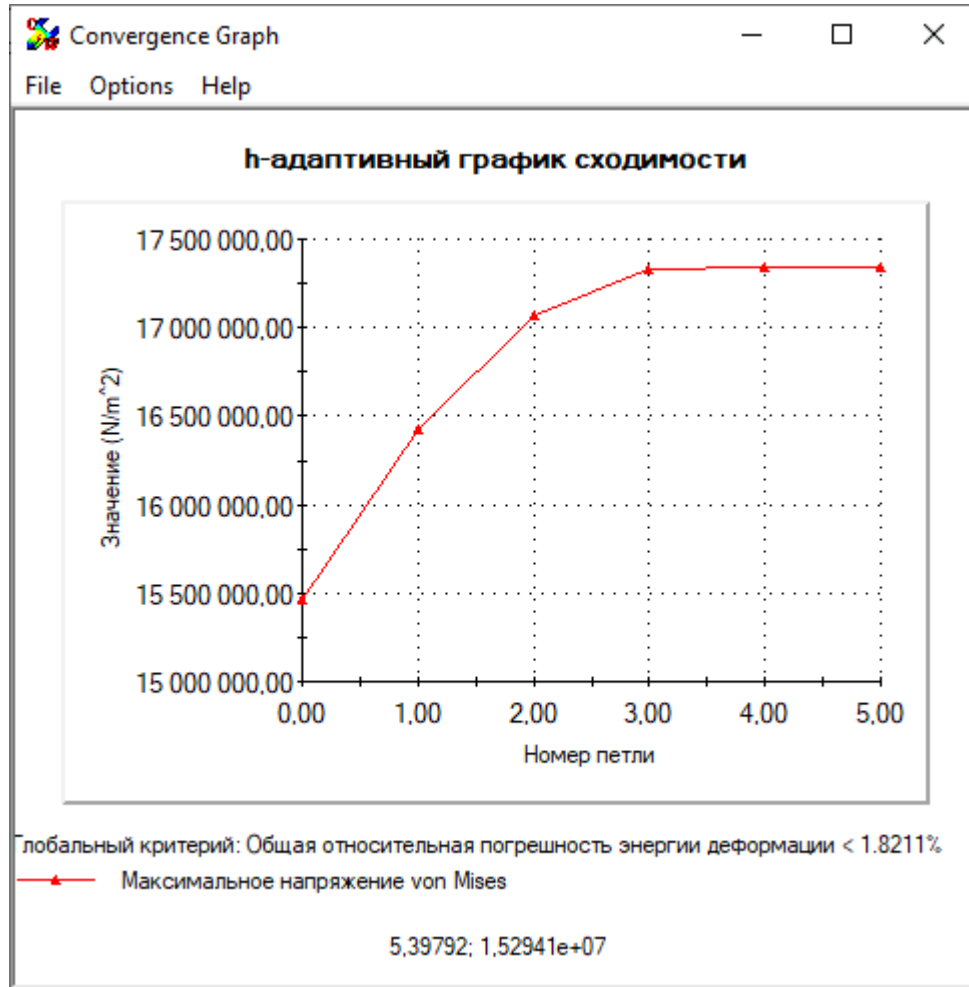


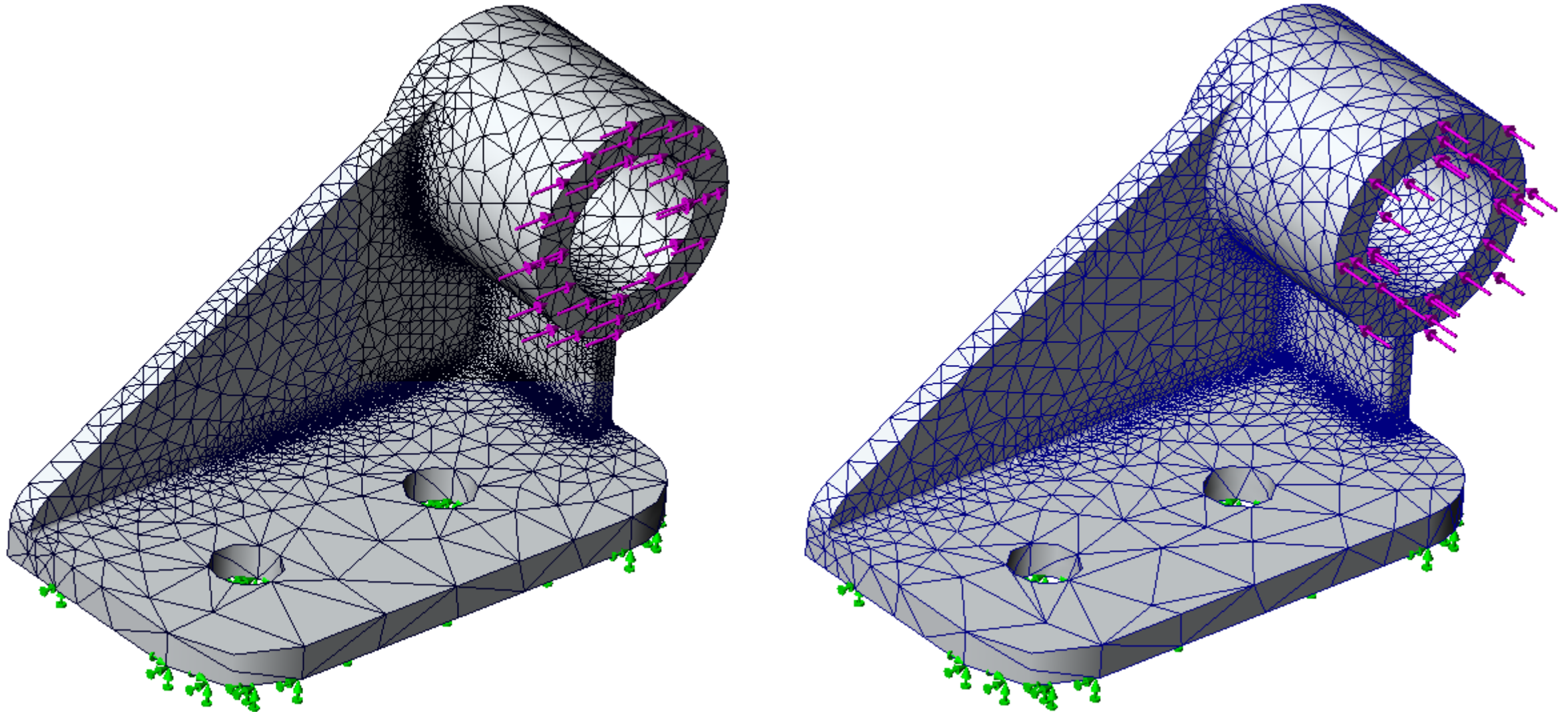
Стандартная сетка
Начальный размер КЭ – 4 мм
h-адаптивное измельчение сетки



Максимальные напряжения – 17,35 МПа







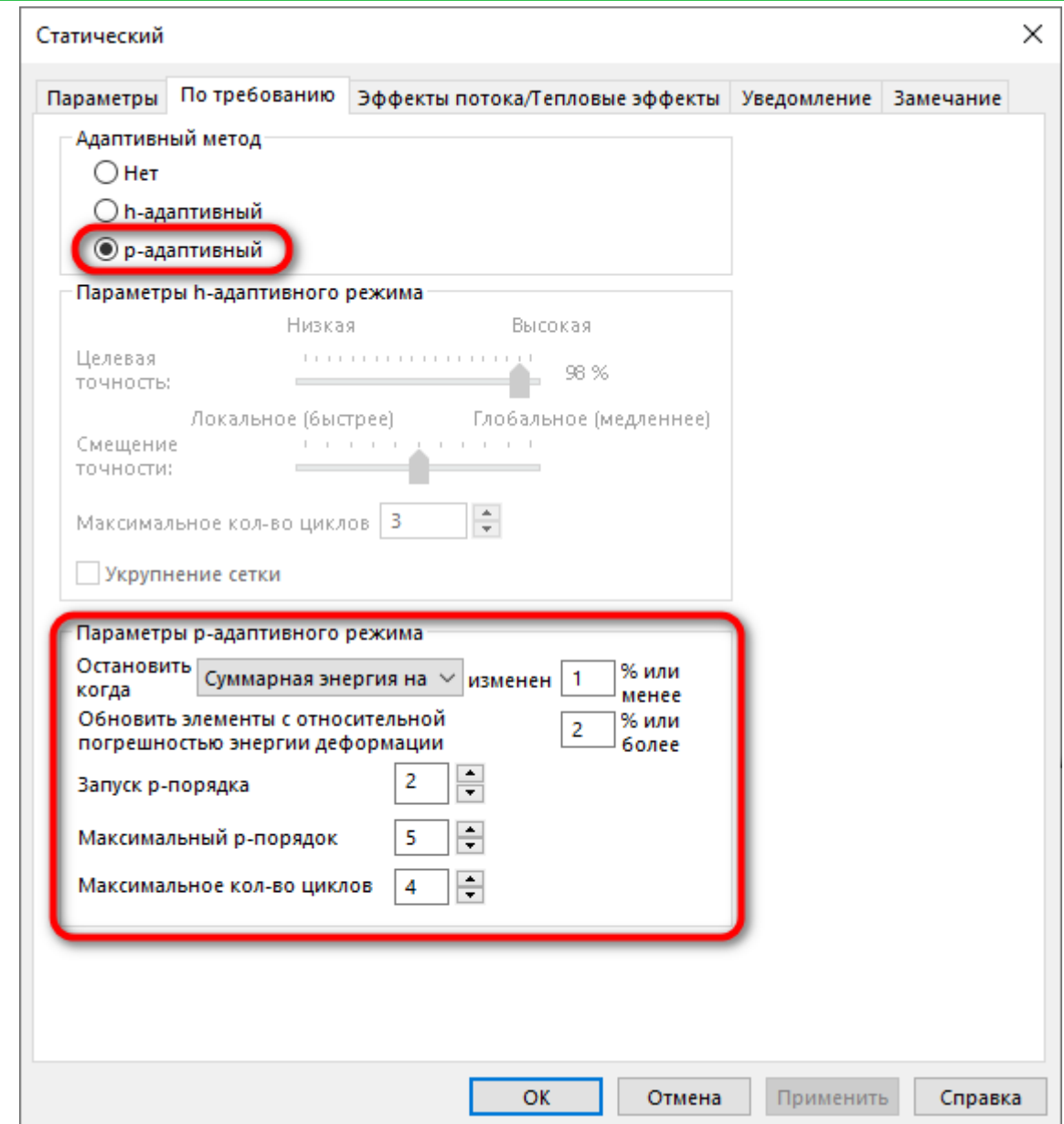
Разное измельчение сетки при разном направлении действия силы



p-адаптивная сетка использует полиномиальные уравнения более высокого порядка в областях с большими ошибками энергии деформации. Для p-адаптивной сетки размер КЭ не меняется.

Решение сходится когда выполняется одно из условий (общая энергия деформации, либо среднеквадратичное значение фон Мизеса, либо среднеквадратичное результирующее смещение).

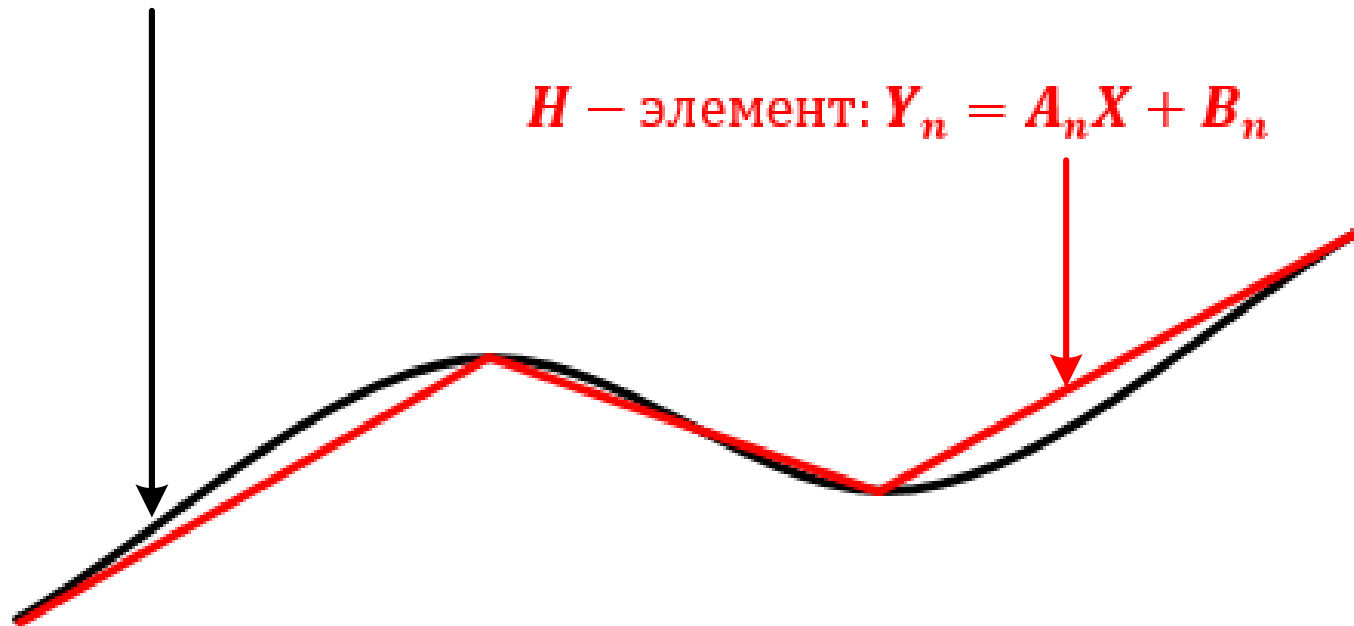
Пользователь определяет начальный полином для первого цикла. Затем устанавливается максимальный p-порядок (максимум 5). Максимальное количество циклов, которое можно указать для p-адаптивного исследования, равно 4.





P – элемент: $Y = A + BX + CX^2 + DX^3 + \dots + ZX^n$

H – элемент: $Y_n = A_nX + B_n$

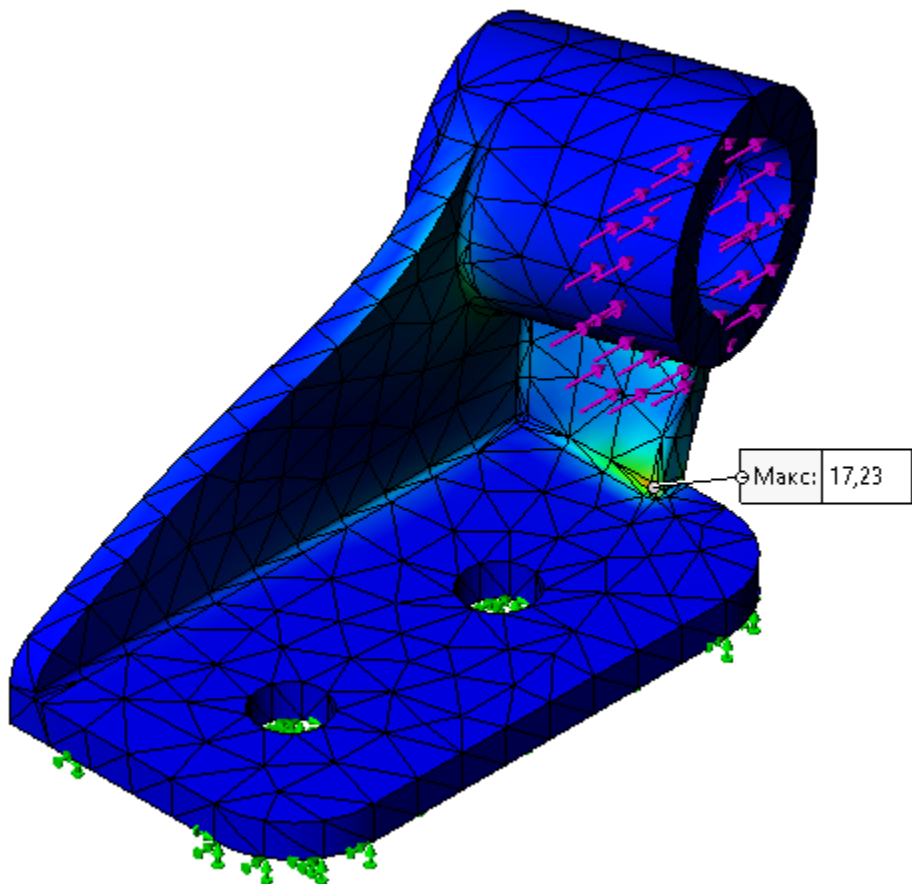


КЭ чернового качества – 1-й порядок граней (Линейные)

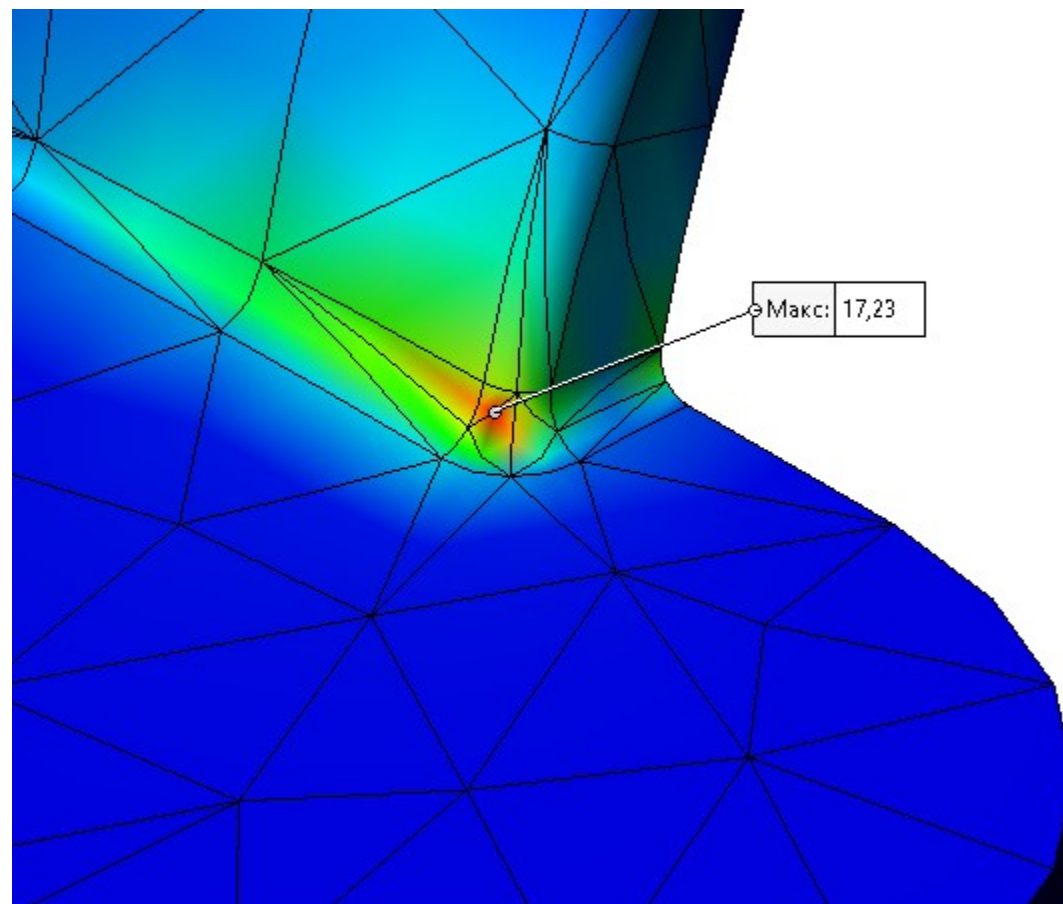
КЭ высокого качества – 2-й порядок граней

P-элементы – До 5-го порядка граней

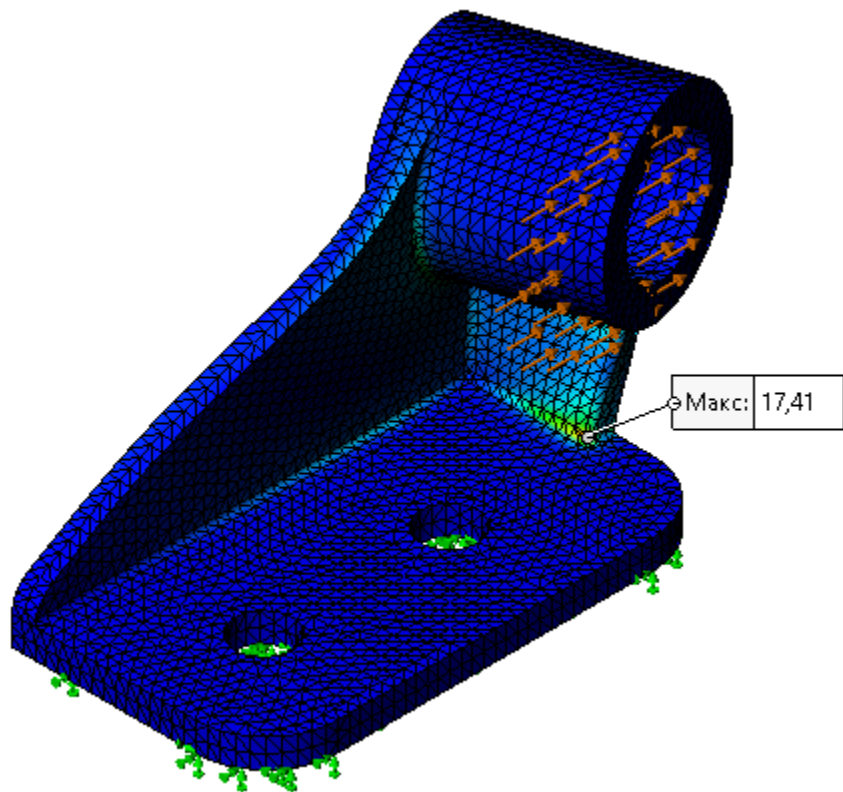
P-элементы могут обнаружить деформации с КЭ большого размера, но требуется больше вычислительных ресурсов по сравнению с h-элементами.



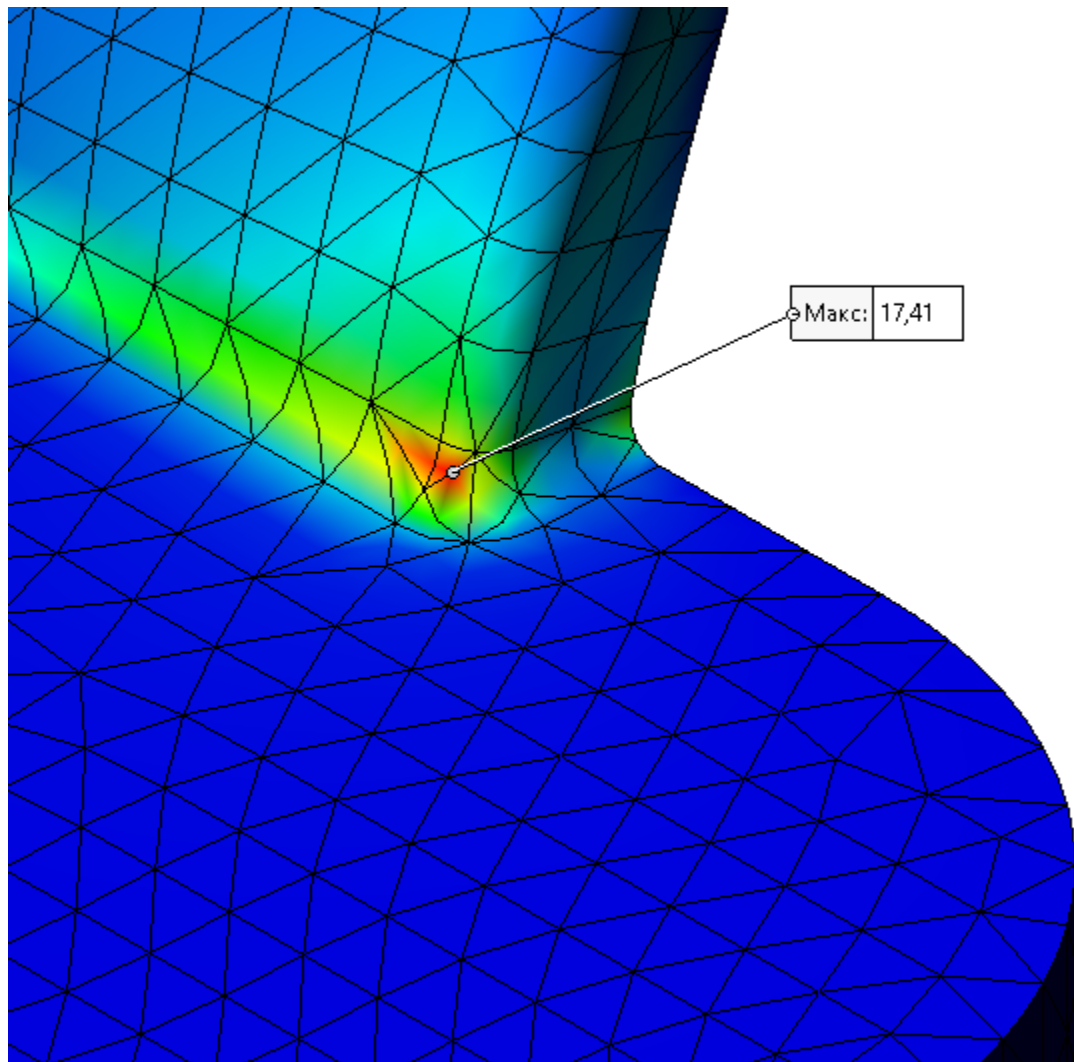
Стандартная сетка
Начальный размер КЭ – 14 мм
p-адаптивное измельчение сетки



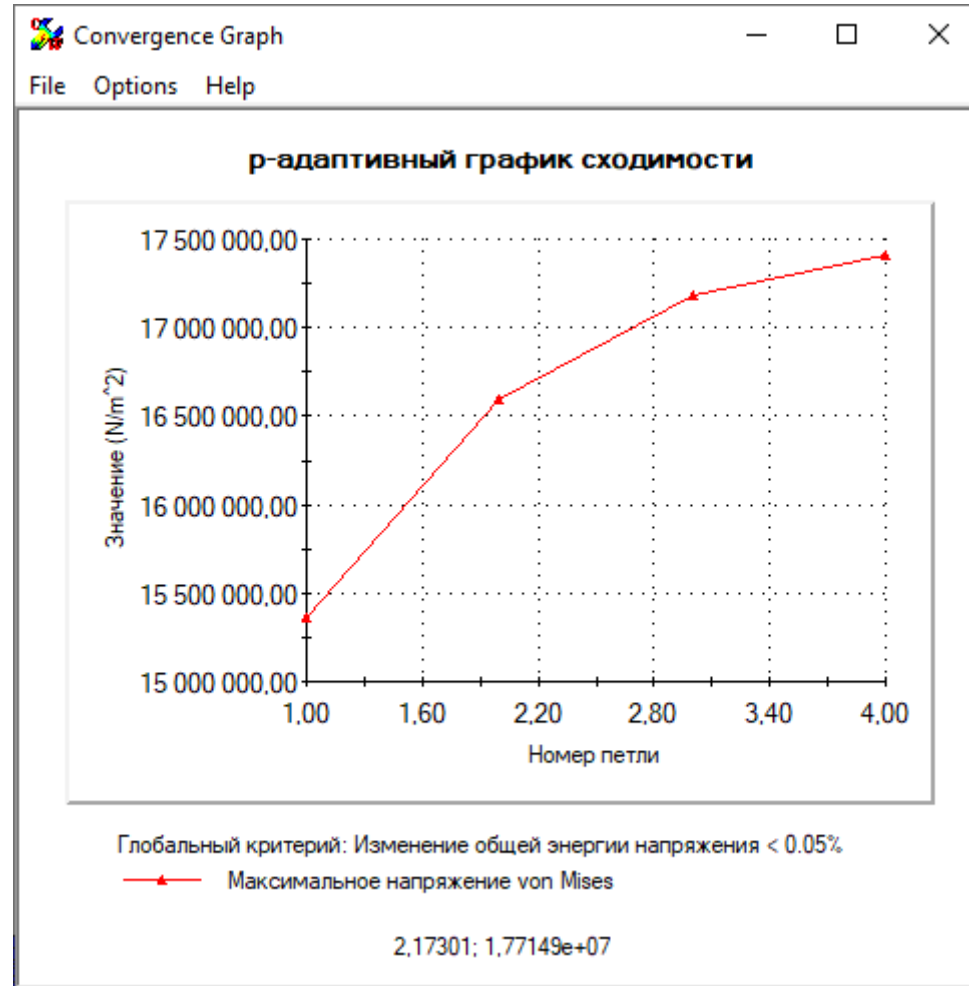
Максимальные напряжения – 17,23 МПа



Стандартная сетка
Начальный размер КЭ – 4 мм
p-адаптивное измельчение сетки



Максимальные напряжения – 17,41 МПа





Как определить, что решение сошлось?

The image shows a software interface with a menu on the left and a settings panel on the right. A red arrow points from the menu item 'Определить адаптивный график сходимости...' to the 'График сходимости' panel. In the panel, the 'Параметры' section is highlighted with a red box, containing checked options for 'Целевая точность' and 'Максимальное напряжение von Mises'. The 'Результаты' folder in the menu is also highlighted with a red box.

Определить адаптивный график сходимости...

Список напряжений, перемещений, деформаций

Список результирующих сил...

Сравнить результаты...

Создать тело из деформированной формы...

Сохранять все эпюры как файлы JPEG

Сохранять все эпюры как eDrawings

Копировать

Создать новую папку

Свернуть элементы дерева

Результаты

Напряжение1 (-vonMises-)

Перемещение1 (-Располож

График сходимости

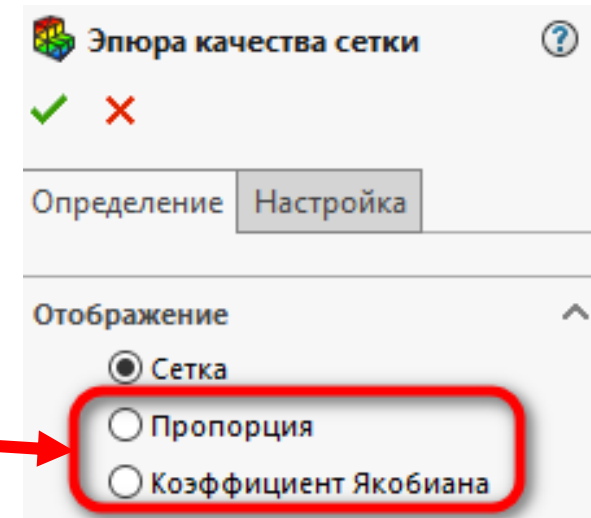
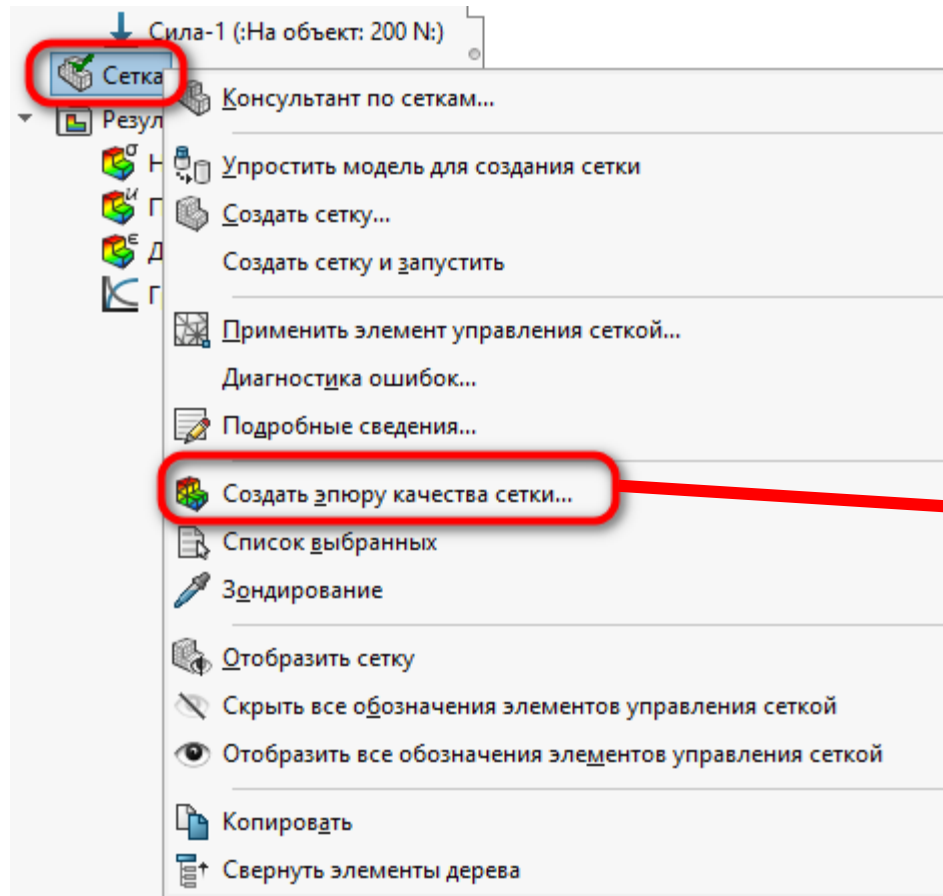
✓ ✗

Параметры

- Целевая точность
- Максимальное напряжение von Mises
- Максимальное результирующее перемещение
- Суммарная энергия напряжения
- Количество узлов

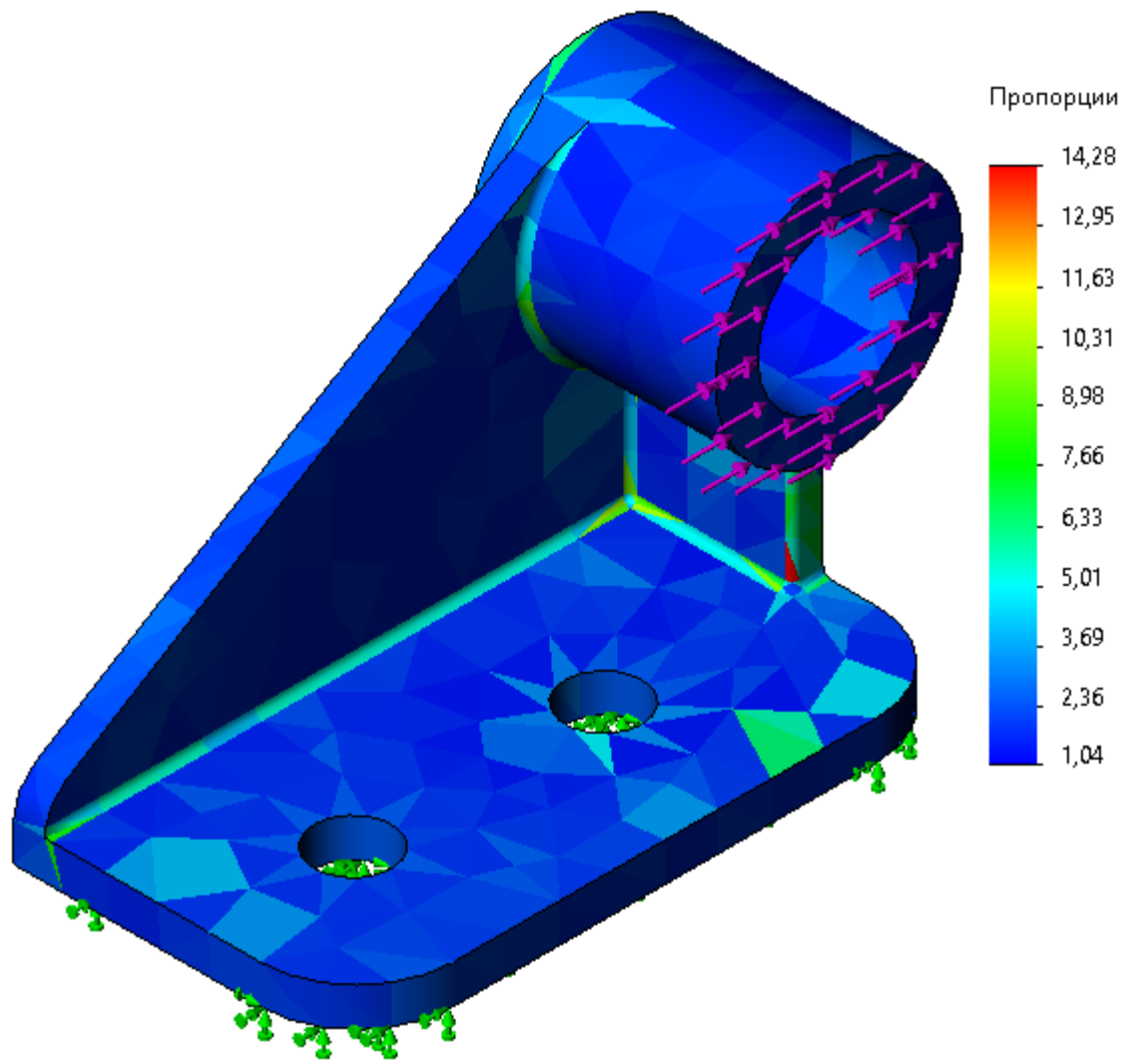


Как определить, что решение сошлось?

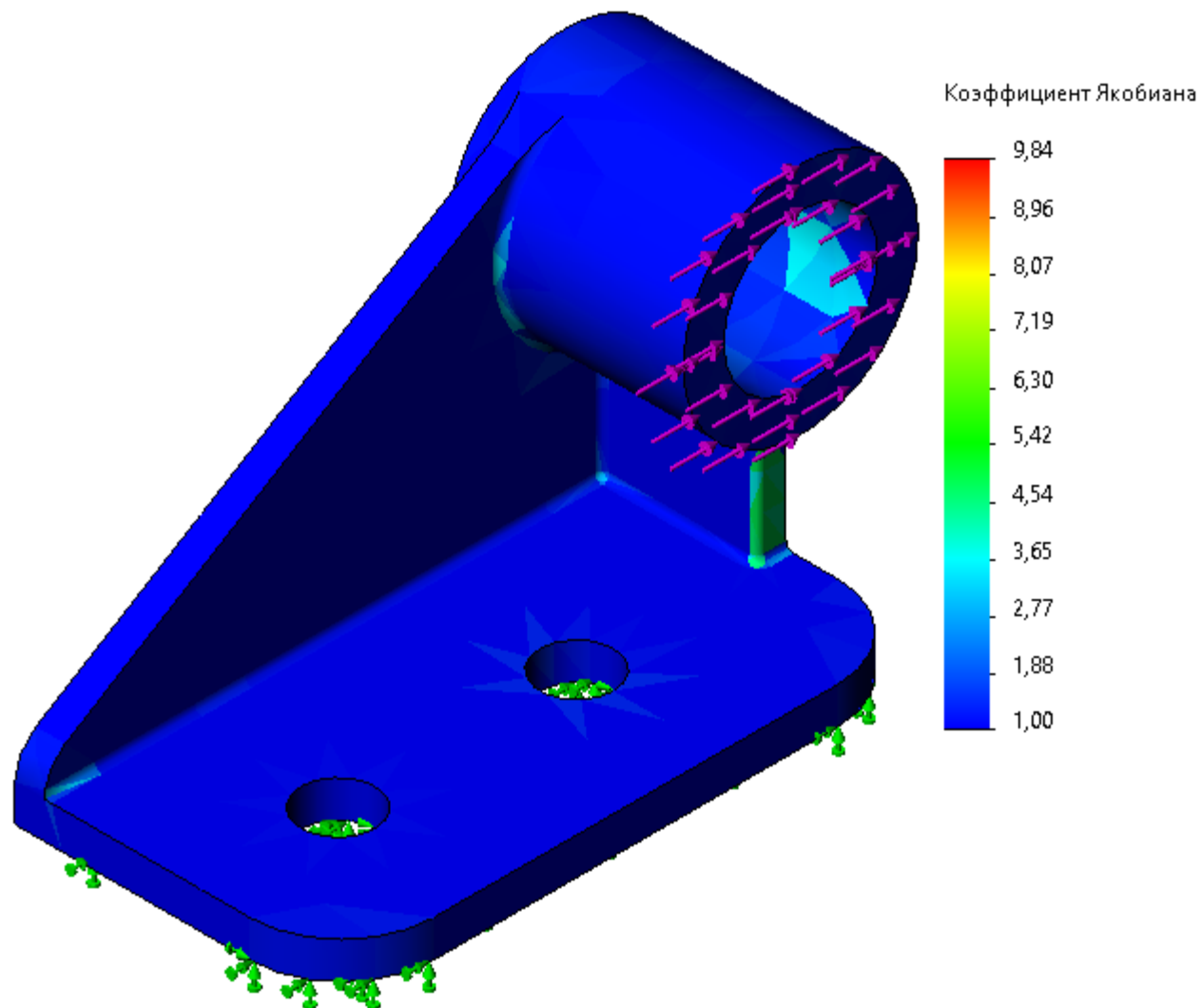




Как определить, что решение сошлось?



Коэффициент пропорциональности



Коэффициент Якобиана