

Определение оптимального размера конечного элемента

Введение

В настоящее время существует множество различных численных методов определения напряженно-деформированного состояния (НДС) объектов. Наибольшее распространение получил метод конечных элементов в перемещениях (МКЭ).

Суть метода заключается в том, что объект разбивается на некоторое число малых, но конечных по размерам подобластей. Последние носят название конечных элементов (КЭ), а сам процесс разбивки – дискретизацией.

МКЭ имеет кроме обычных ошибок округления также ошибки, связанные непосредственно с дискретизацией конечно элементной сетки.

Ошибки дискретизации уменьшаются с увеличением числа КЭ и соответственно с уменьшением их размеров, причем ошибки стремятся к нулю, когда размер КЭ стремится к нулю. Однако в этом случае время решения задачи стремится к бесконечности.

Для получения результатов с приемлемым уровнем ошибок за удовлетворительное время необходимо определить оптимальный размер КЭ.

Машинный эксперимент

Для определения оптимального размера КЭ было проведено 2 машинных эксперимента: расчет **патрубка** и **вмятины**. Ниже представлены основные этапы каждого эксперимента:

1. В системе трехмерного твердотельного и поверхностного проектирования Autodesk Inventor была создана поверхностная модель (рис. 1.1, рис. 2.1);

2. Поверхностная модель была импортирована в универсальную программную систему конечно-элементного анализа ANSYS;

3. В ANSYS импортированная модель была разбита на КЭ с использованием SHELL181 (рис. 1.2, рис. 2.2);

4. Для конечно-элементной модели были заданы граничные условия (внутреннее давление и закрепления) (рис. 1.3, рис. 2.3);

5. Были проведены расчеты с изменением размера КЭ 10t, 8t, 6t, 4t, 2t, t, где t = 20 мм – толщина стенки модели. Для размера КЭ = 4t выведены карты распределения эквивалентных напряжений (SINT) (рис. 1.4, рис. 2.4) и суммарных перемещений (USUM) (рис. 1.6, рис. 2.6);

6. Был проложен «путь», вдоль которого были построены карты распределения (рис. 1.8, рис. 2.8) и графики (рис. 1.9, рис. 2.9) SINT для различных размеров КЭ. Для размера КЭ = 4t построены графики зависимости значения SINT (рис. 1.5, рис. 2.5) и USUM (рис. 1.7, рис. 2.7) вдоль «пути»;

8. Были проанализированы результаты (рис. 1.10, 2.10) и сделаны выводы об оптимальном размере КЭ для оценки НДС.

Расчет патрубка

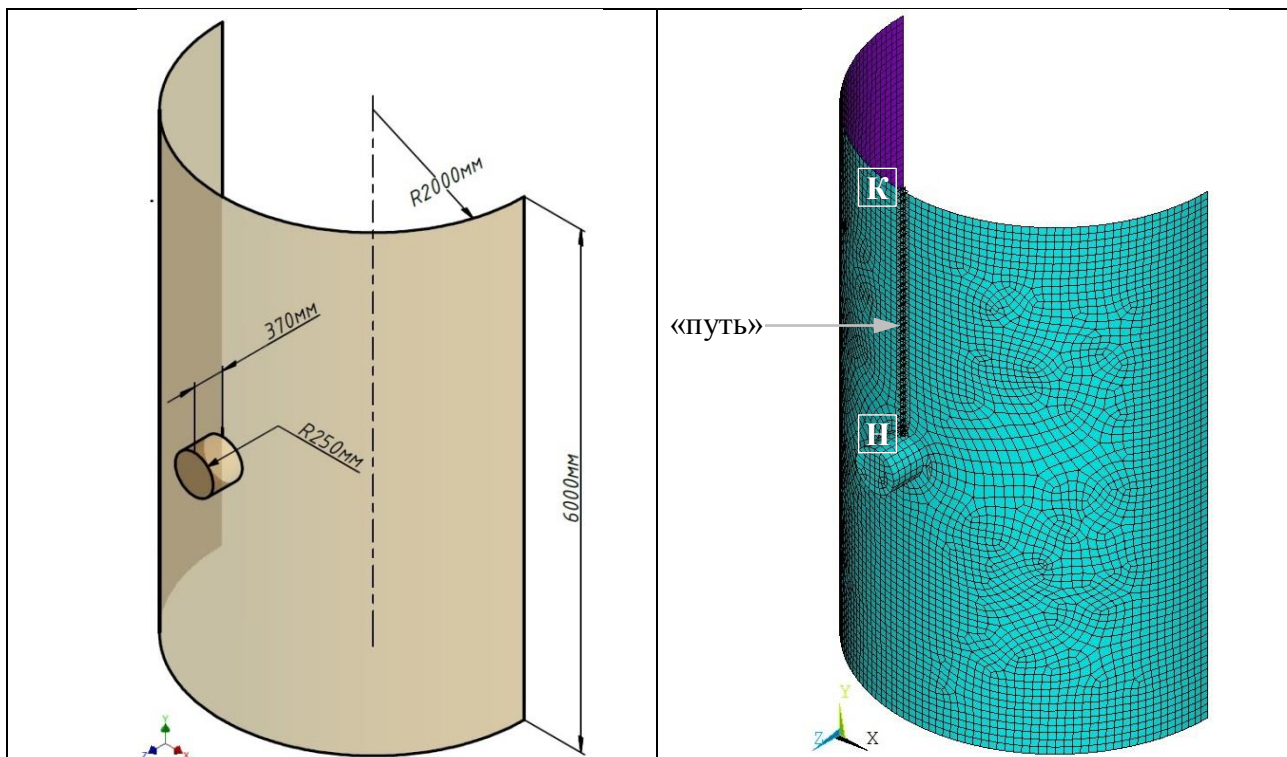


Рис. 1.1. Геометрия поверхностной модели

Рис. 1.2. Расположение «пути»
(Н – начало, К – конец)

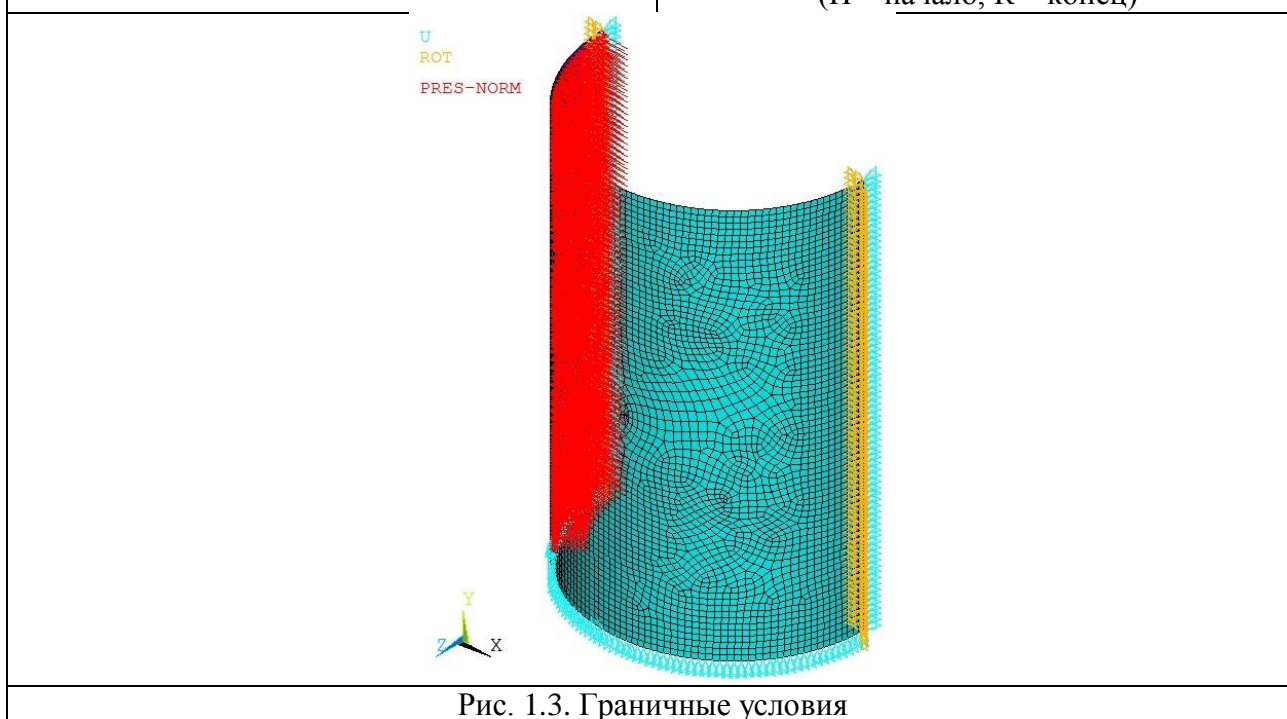


Рис. 1.3. Граничные условия

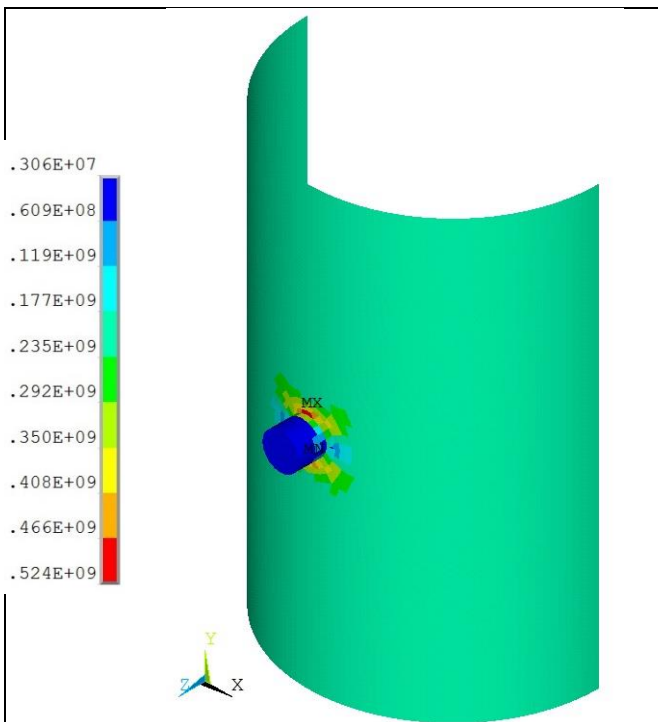


Рис. 1.4. Карта распределения SINT, [Па]

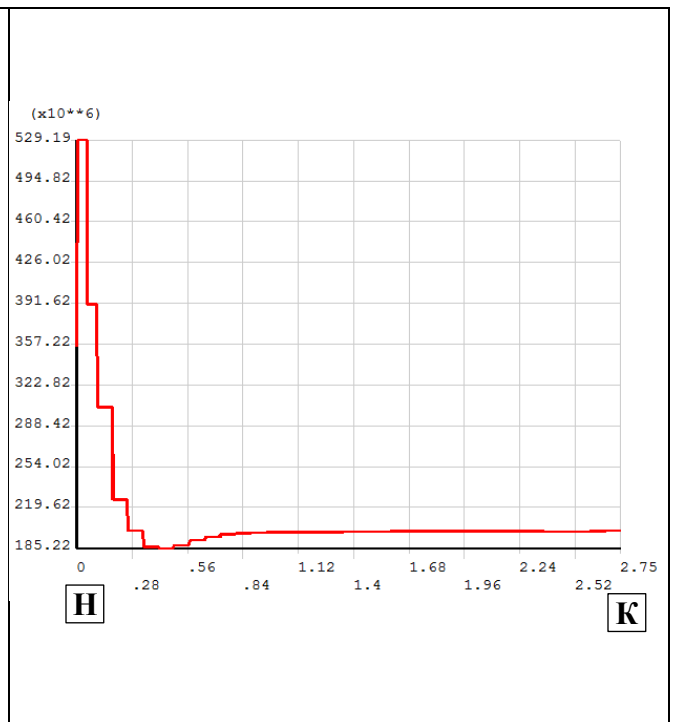


Рис. 1.5. График зависимости значения SINT вдоль «пути», [Па/м]

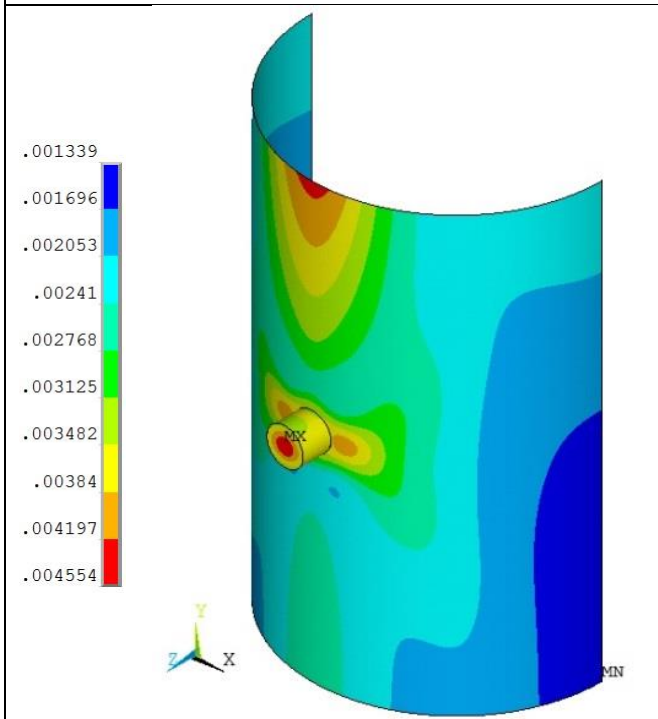
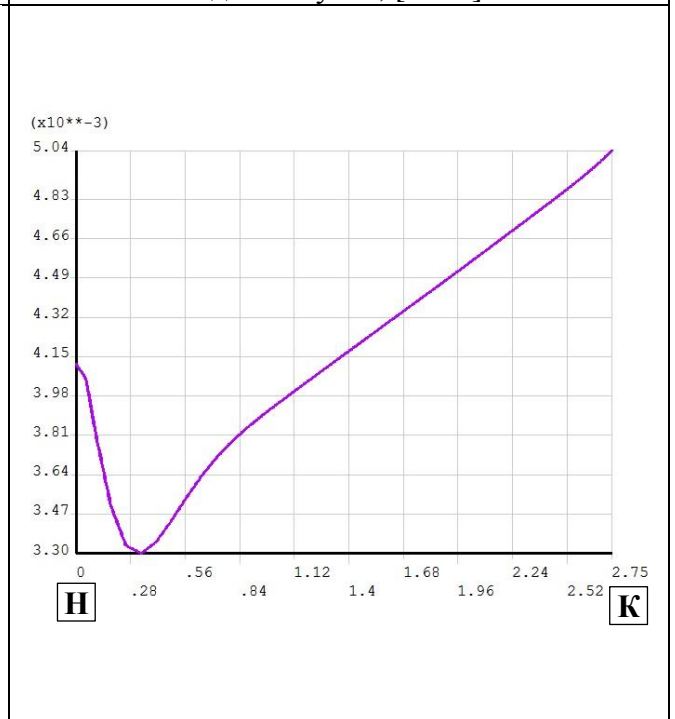
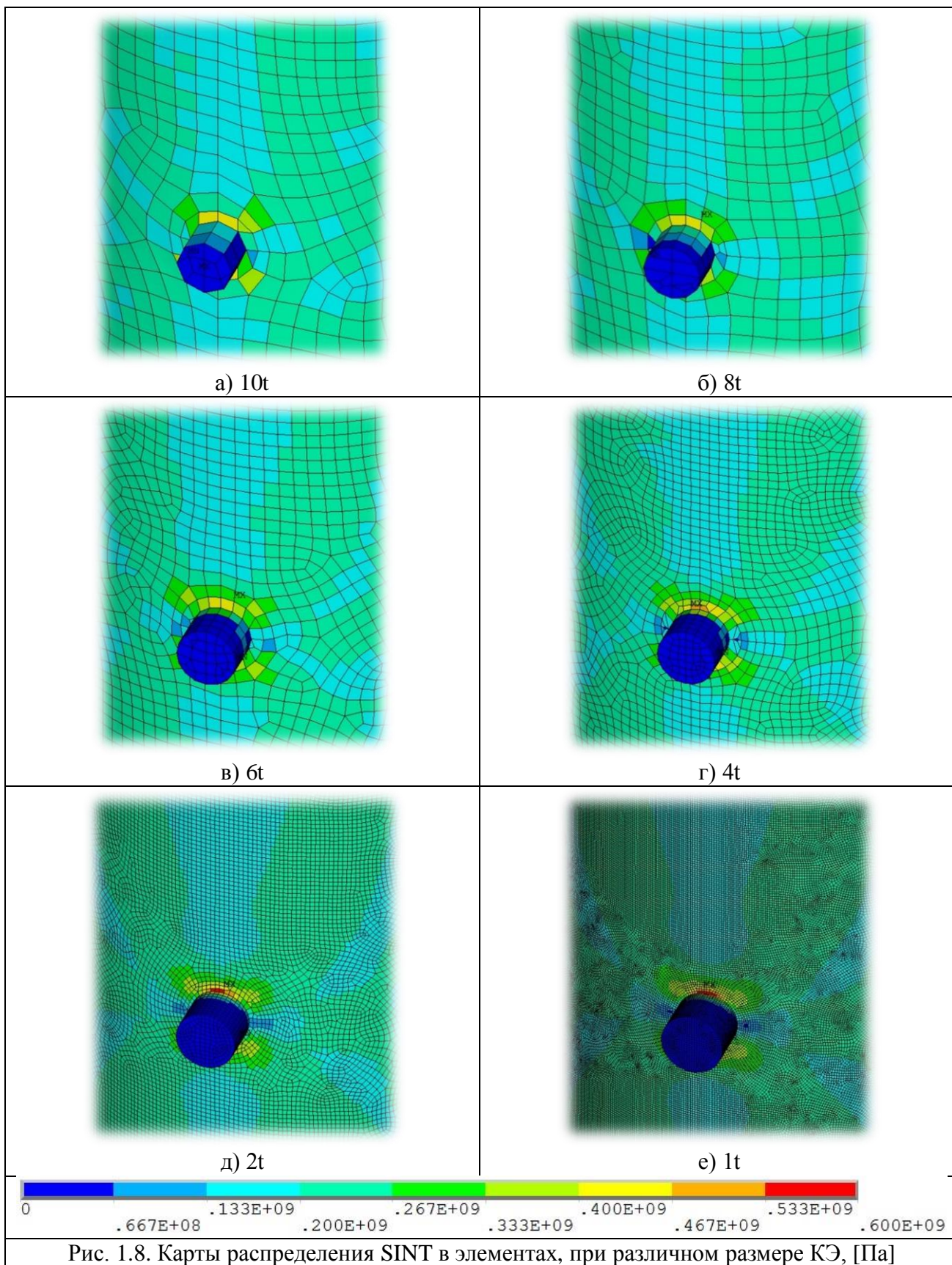
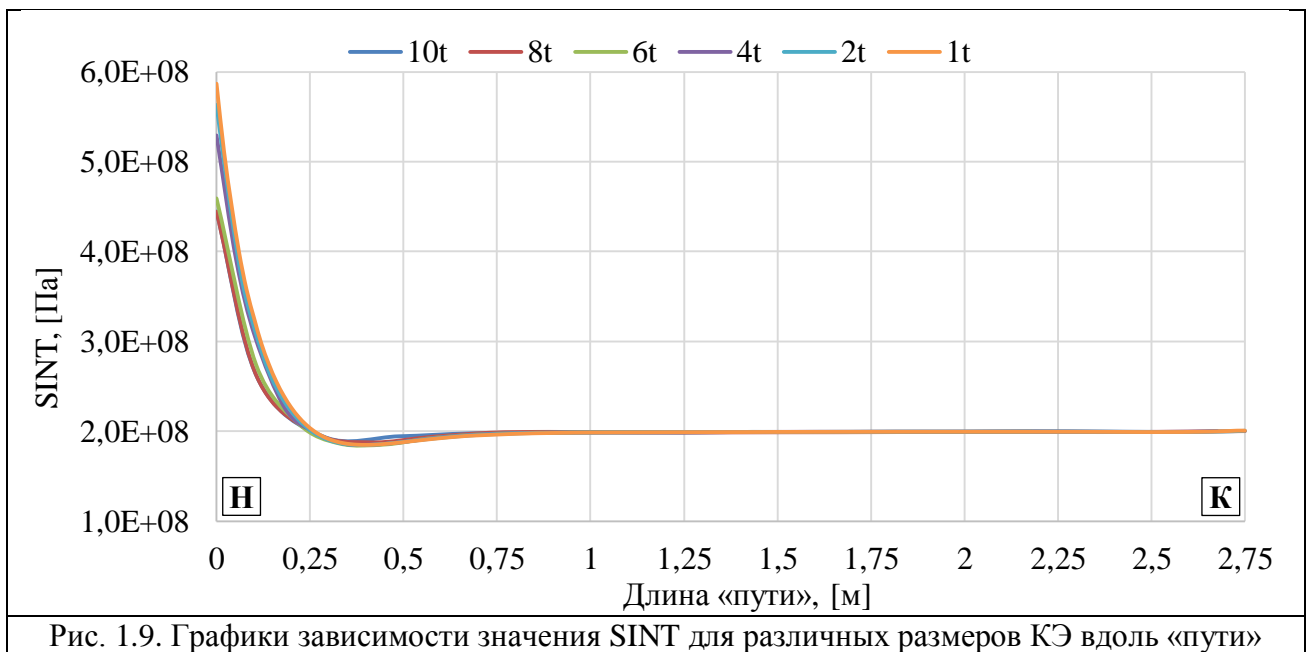


Рис. 1.6. Карта распределения USUM, [м]



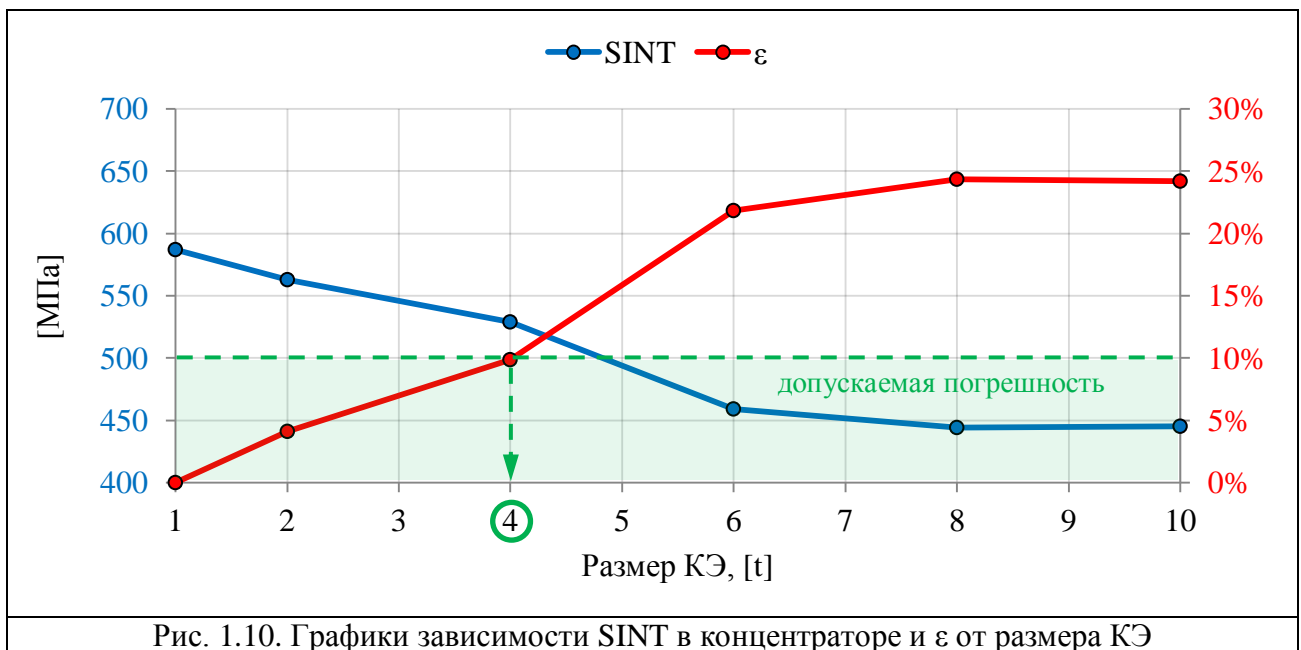
1.7. График зависимости значения USUM вдоль «пути», [м/м]





Был получен график зависимости SINT в концентраторе (МХ) и относительная погрешность ε от размера КЭ (рис. 1.10). Относительная погрешность ε была определена по формуле:

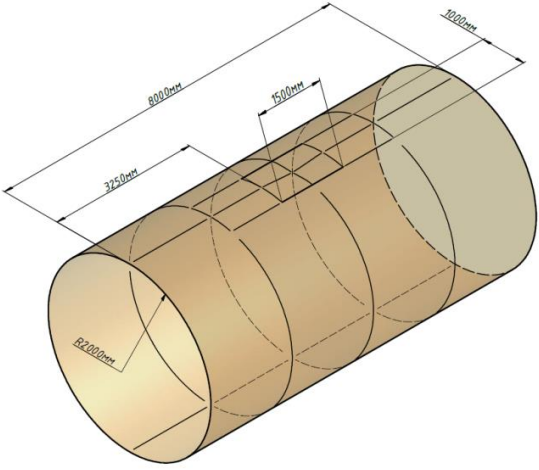
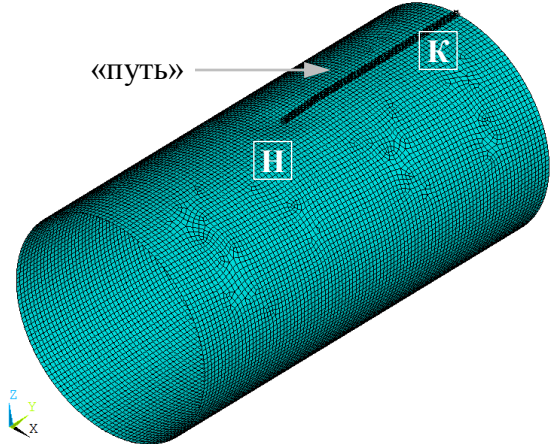
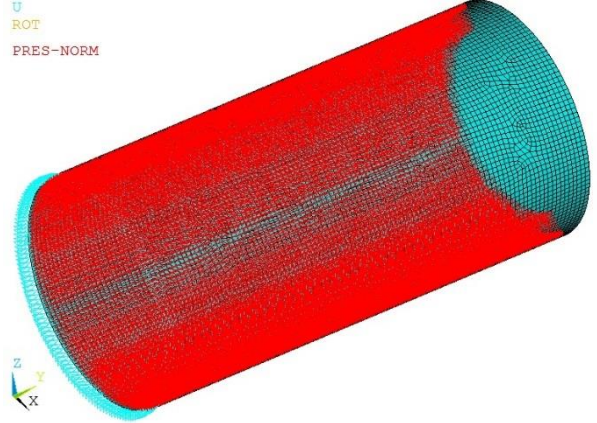
$$\varepsilon = (SINT_n - SINT_t) / SINT_t, \text{ где } n = 10t, 8t, 6t, 4t, 2t, t.$$



Выводы:

- 1) Оптимальный размер КЭ для оценки НДС подобных элементов равен 4t.
- 2) Размер КЭ существенно не влияет на значение напряжений не в концентраторе и зону их распространения.

Расчет вмятины

	
<p>Рис. 2.1. Геометрия поверхностной модели</p>	<p>Рис. 2.2. Расположение «пути» (Н – начало, К – конец)</p>
	
<p>Рис. 2.3. Граничные условия</p>	

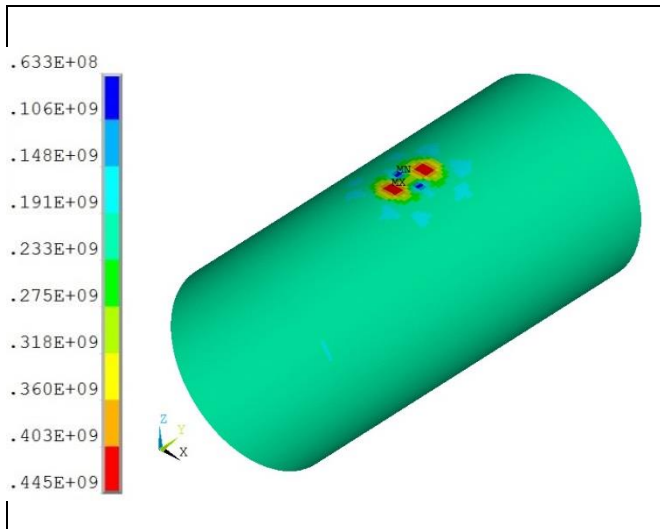


Рис. 2.4. Карта распределения SINT, [Па]

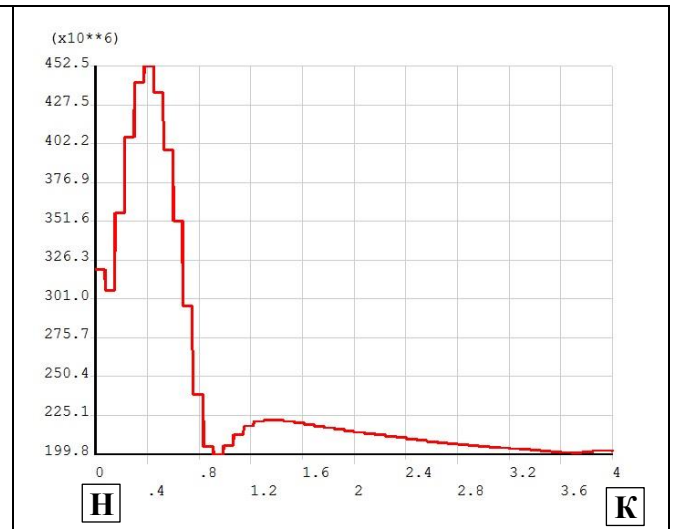


Рис. 2.5. График зависимости значения SINT вдоль «пути», [Па/м]

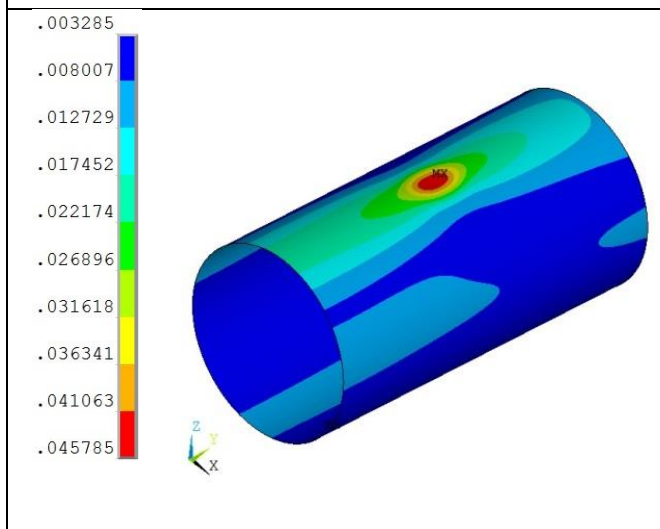


Рис. 2.6. Карта распределения USUM, [м]

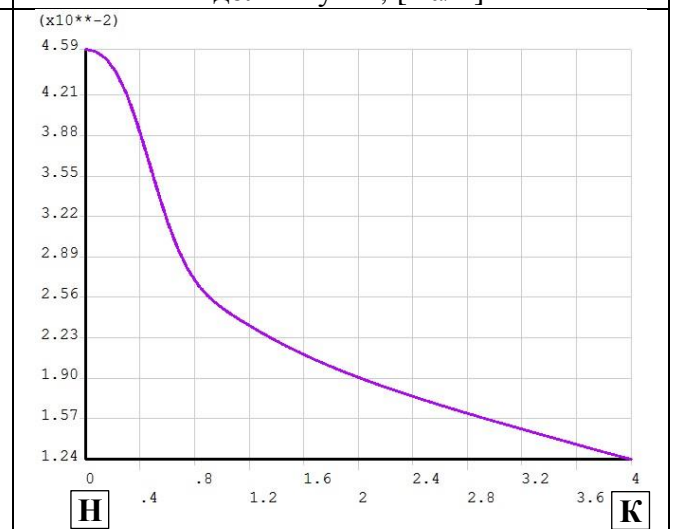
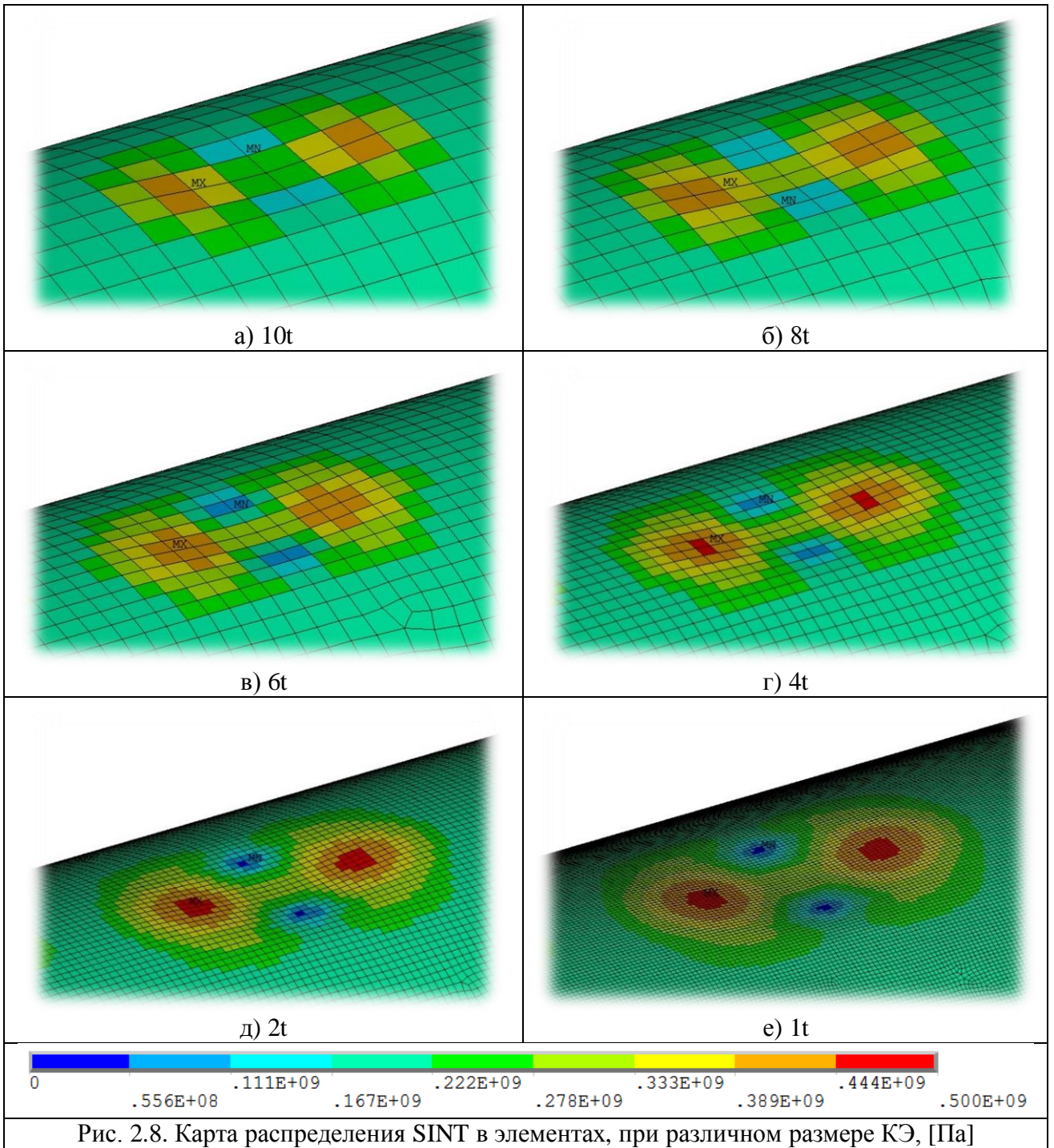


Рис. 2.7. График зависимости значения USUM вдоль «пути», [м/м]



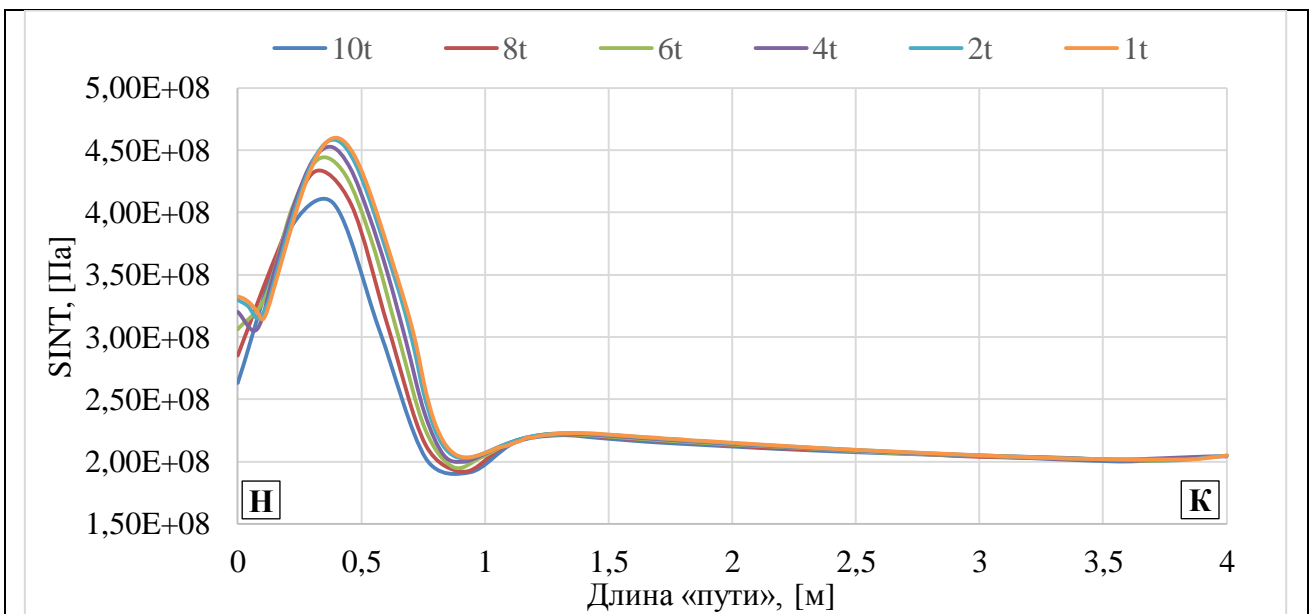


Рис. 2.9. Графики зависимости значения SINT для различных размеров КЭ вдоль «пути»

Был получен график зависимости SINT в концентраторе (МХ) и относительная погрешность ε от размера КЭ (рис. 2.10).

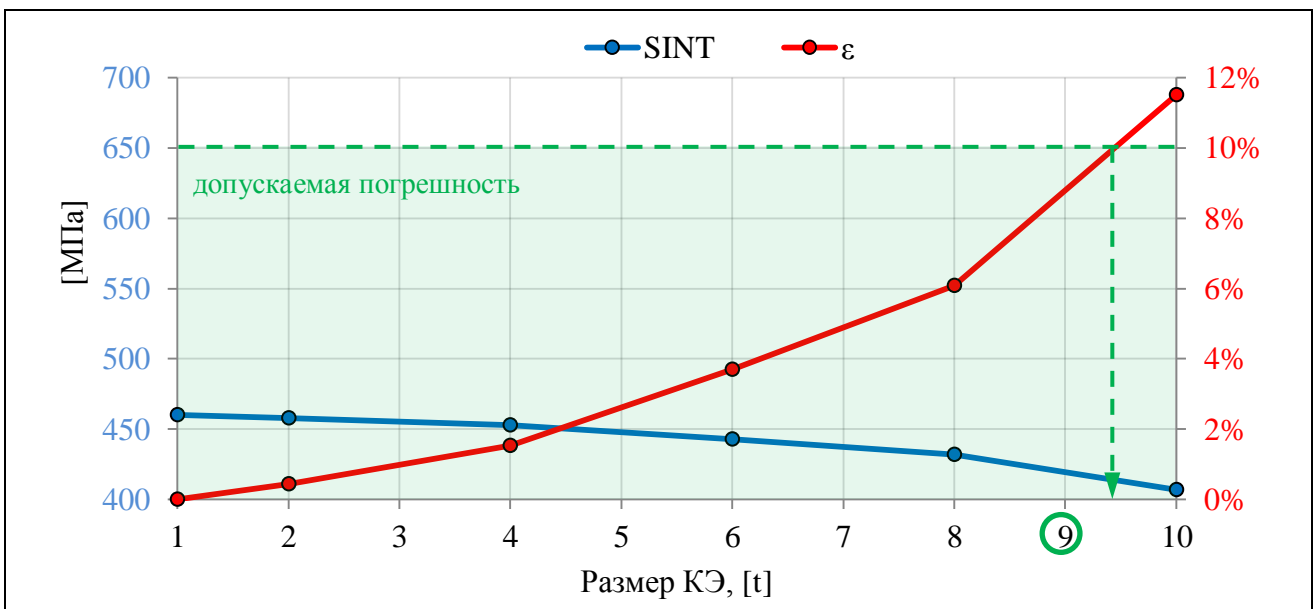


Рис. 2.10. Графики зависимости SINT в концентраторе и ε от размера КЭ

Выводы:

- 1) Оптимальный размер КЭ для оценки НДС подобных элементов равен 9t.
- 2) Размер КЭ существенно не влияет на значение напряжений не в концентраторе и зону их распространения.

Заключение

- 1) Для оценки напряжений в концентраторах с резким изменением геометрии формы, такие как патрубки, необходимо применение мелкой сетки КЭ (4t). Если геометрия поверхности меняется плавно, как например во вмятине, то возможно применение более грубой сетки (9t).
- 2) В любом случае для более корректной оценки НДС рекомендуется проводить субмоделирование с использованием объемных элементов SOLID.