

Конечно-элементное моделирование с использованием SOLID элементов с вращательными степенями свободы

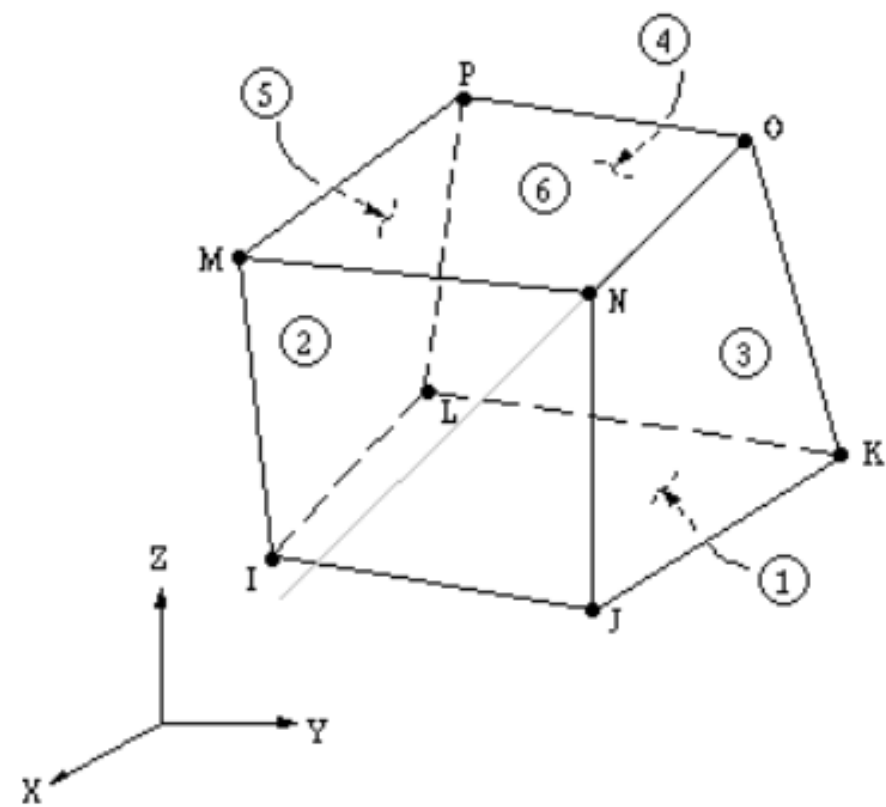
Выпускная квалификационная работа

Студент: Бенюх Максим Александрович, 5030103/90301

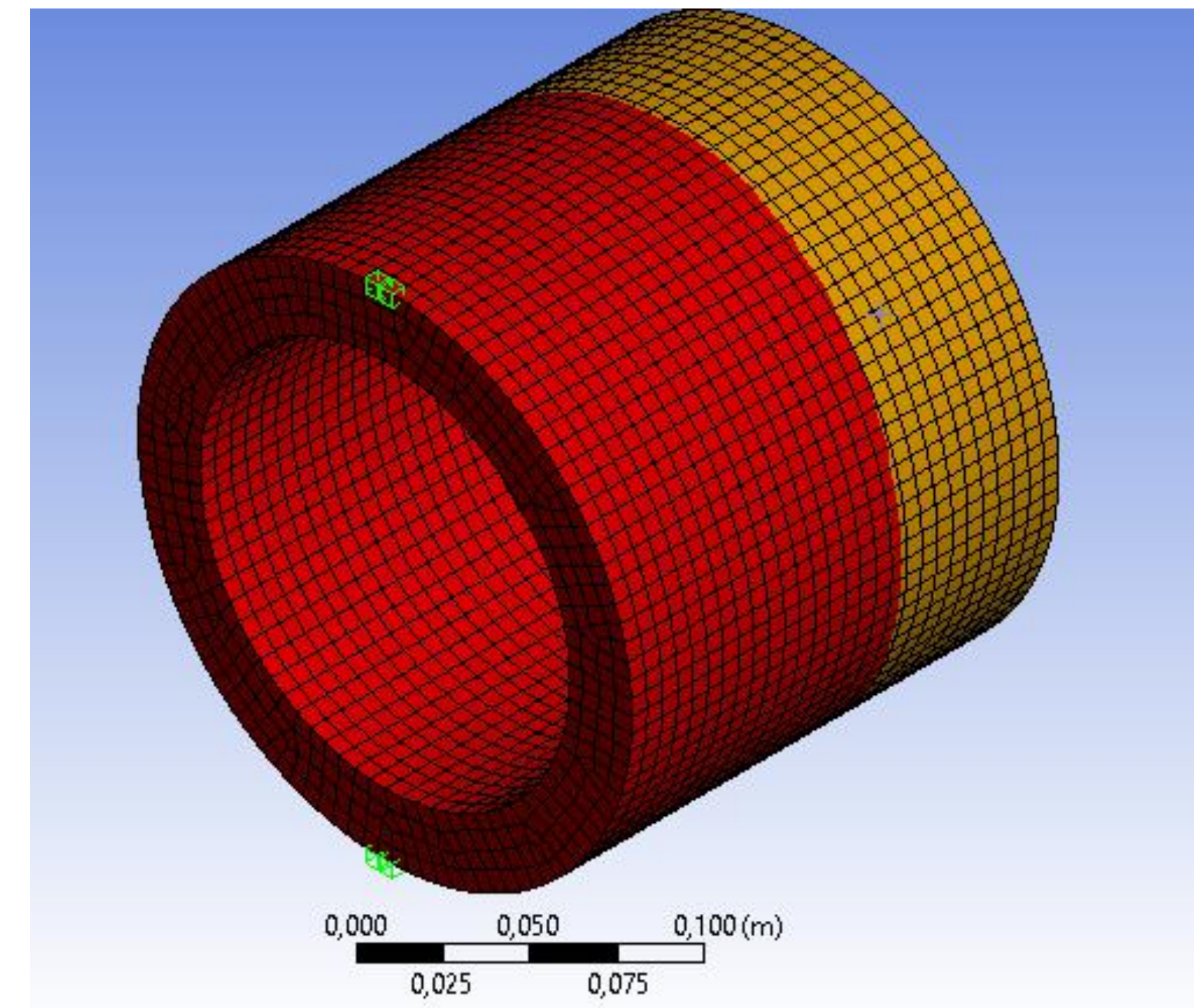
Научный руководитель: Иванова Елена Александровна, профессор ВШТМиМФ, д.ф.-м.н.

Цель работы

Провести исследование результатов моделирования напряженно-деформированного состояния тел с применением SOLID-элементов с вращательными степенями свободы и без них.



Element Name	SOLID73
Nodes	I, J, K, L, M, N, O, P
Degrees of Freedom	UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ



Актуальность

Задача выбора конечного-элемента для проведения численных расчетов конструкций остается актуальной с самого зарождения метода КЭМ, ведь результаты и скорость вычисления зачастую зависят от него. Поэтому сравнительный анализ решения задачи с использованием разных элементов имеет важное значение, так как решает проблему выбора оптимального элемента.

Постановка задачи

В рамках проводимого исследования выполнены следующие задачи:

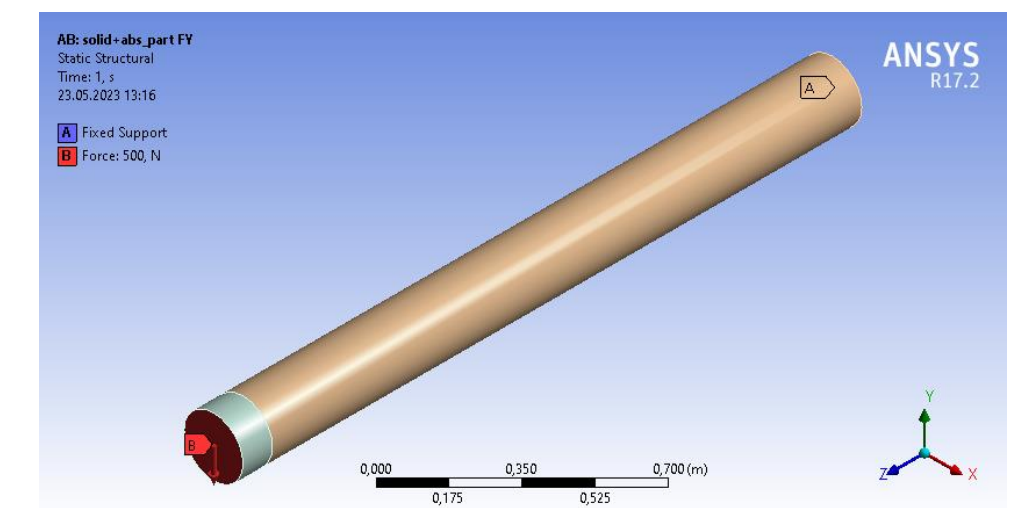
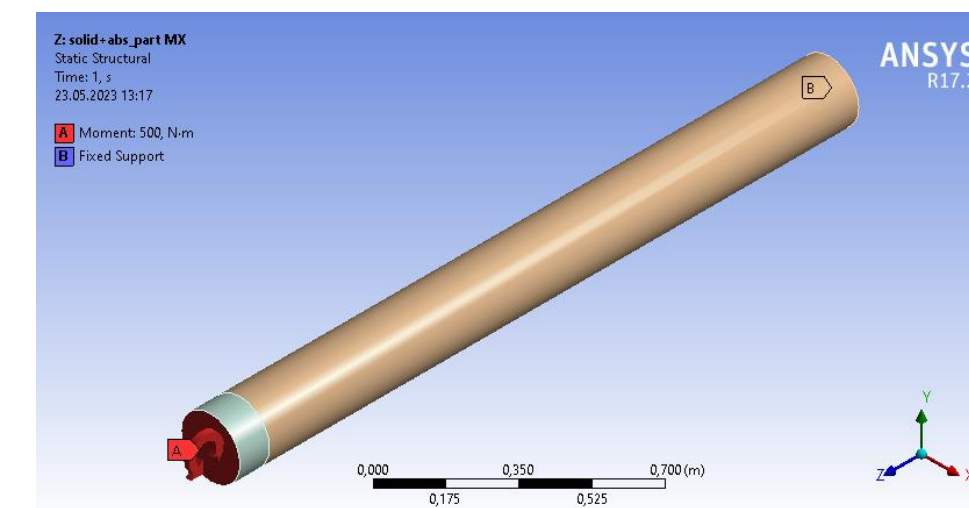
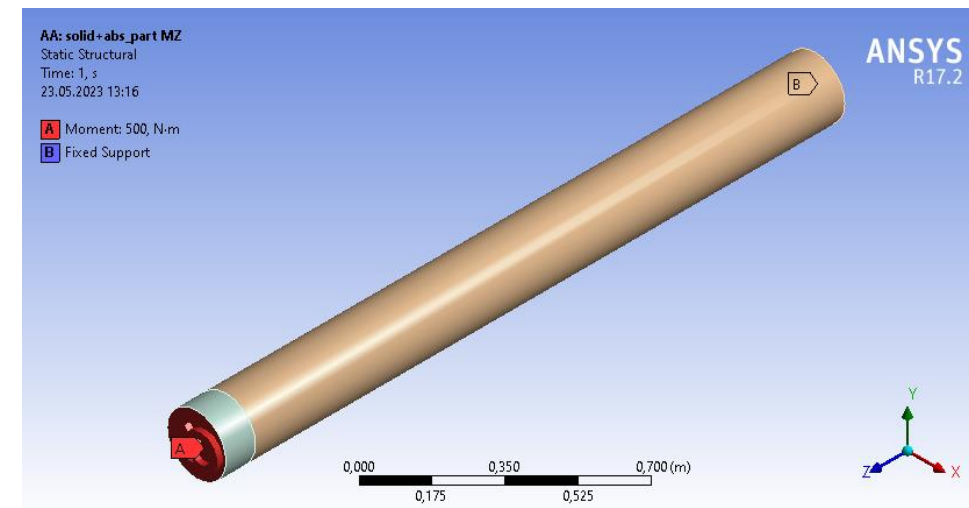
1. Анализ SOLID-элементов с вращательными степенями свободы, представленными в программном пакете Ansys;
2. Исследование моментов, возникающих в SOLID-элементах с дополнительными степенями свободы;
3. Сопоставление результирующих перемещений и напряжений в ходе решения задач с разными типами элементов
4. Анализ влияния абсолютно твердого тела, присоединенного на конце нагружаемого объекта, на напряженно-деформированное состояние вблизи края приложения нагрузки.

Контрольные задачи

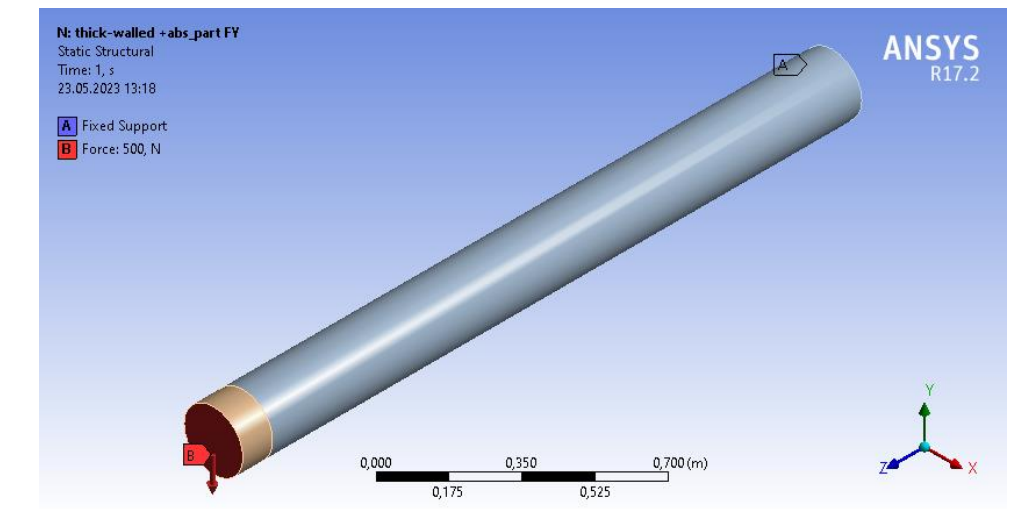
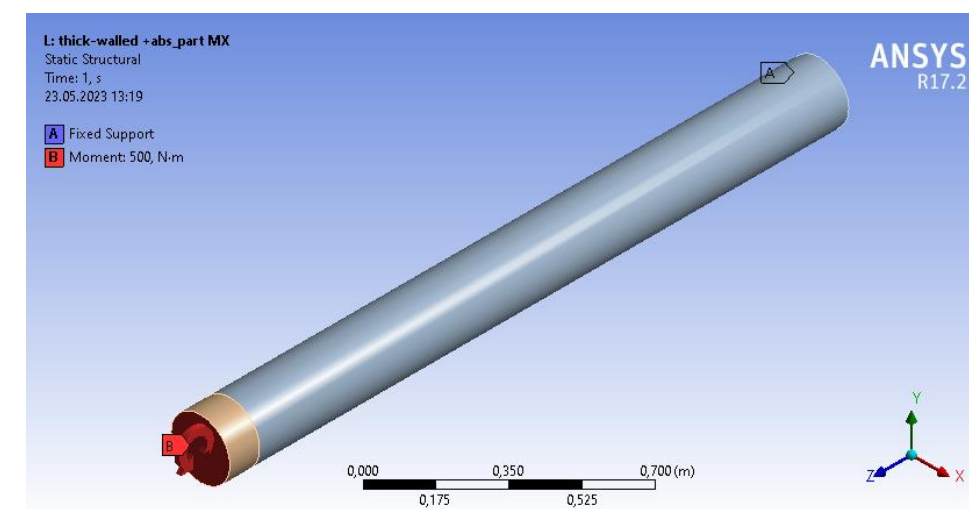
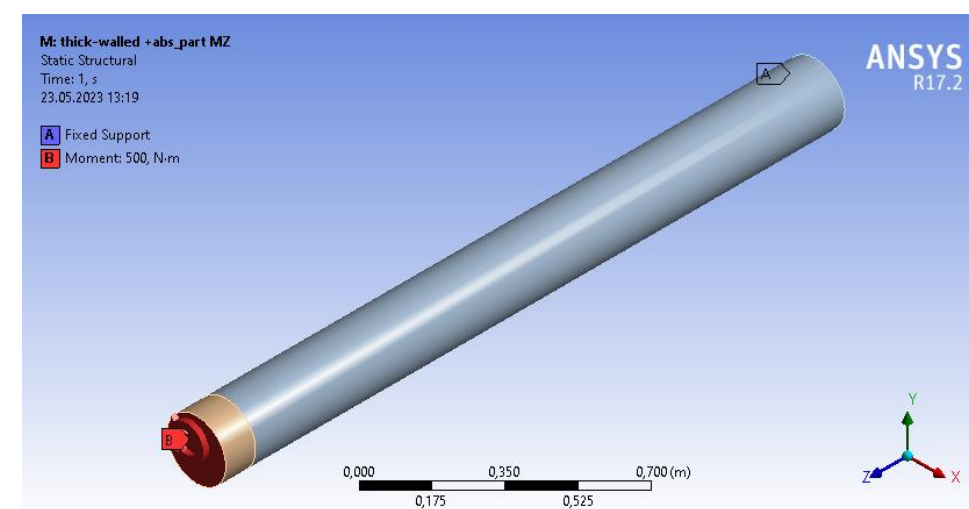
Задача 1, 2, 3

Деформируемое тело с закрепленным на конце абсолютно твердое тело, к которому приложен задача 1: момент закручивающий тело вокруг Z, задача 2: момент изгибающий тело вокруг X, задача 3: вертикальная изгибающая сила.

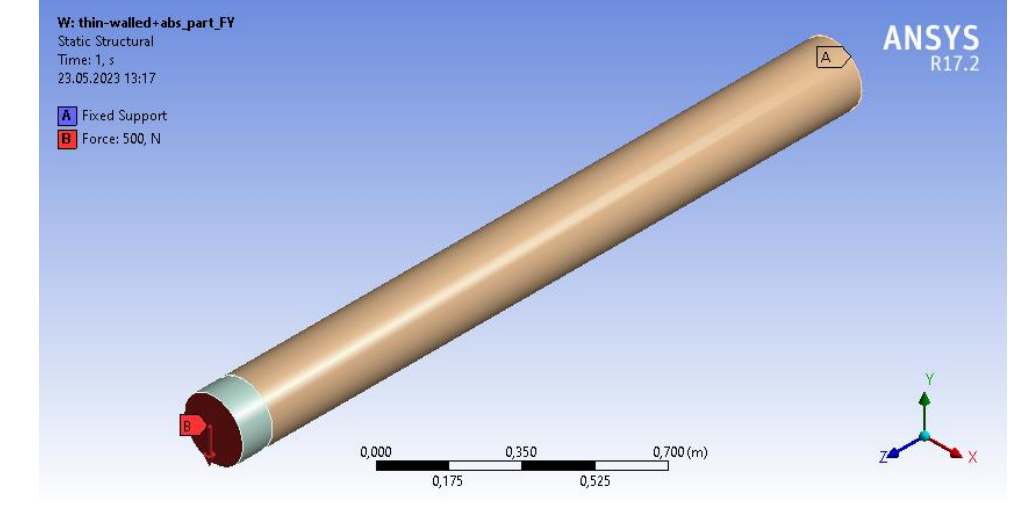
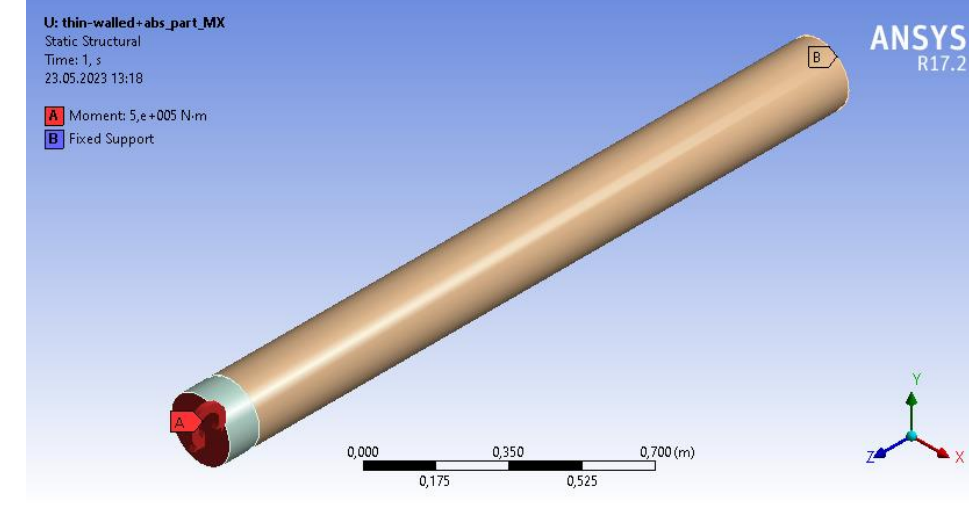
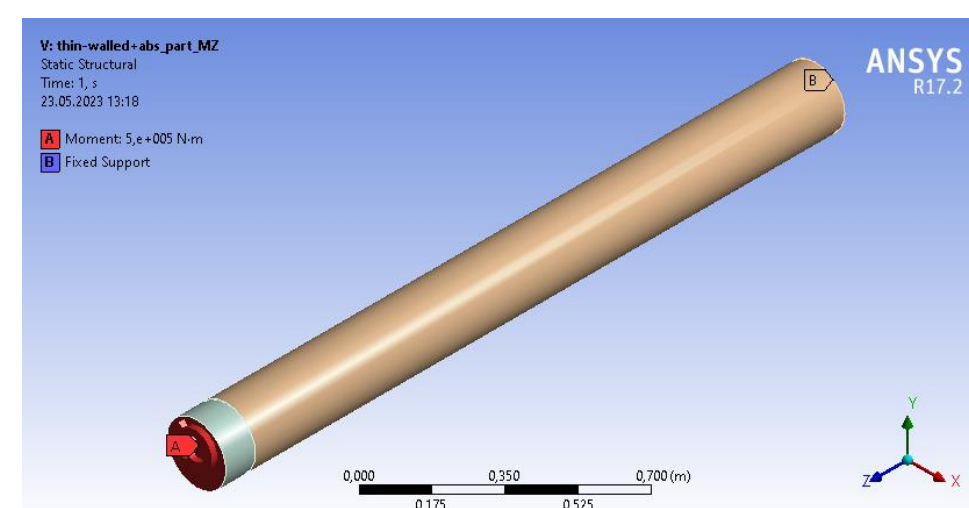
Полный цилиндр →



Толстостенный цилиндр →



Тонкостенный цилиндр →

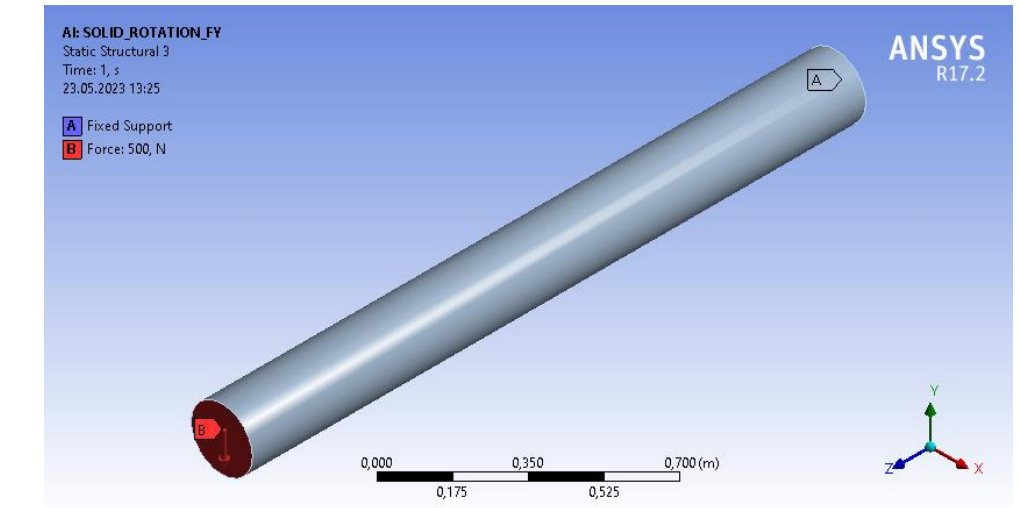
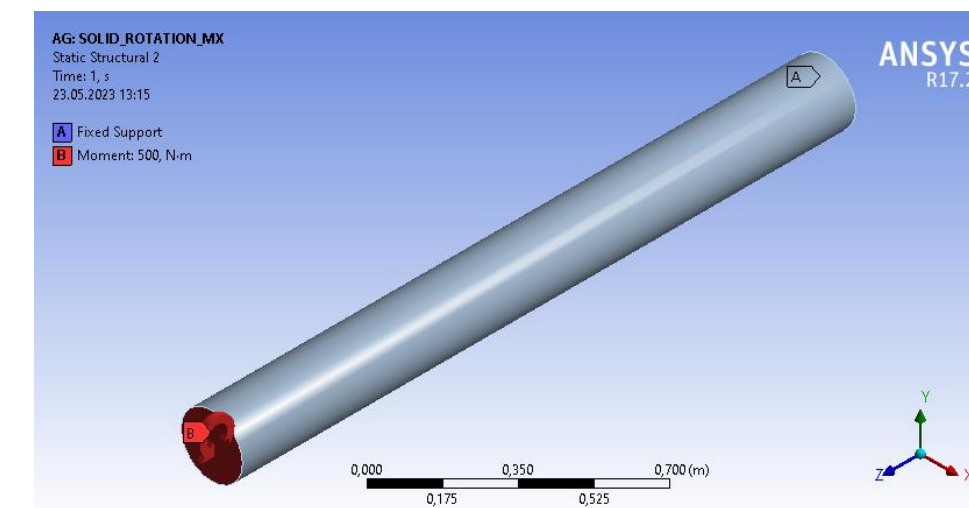
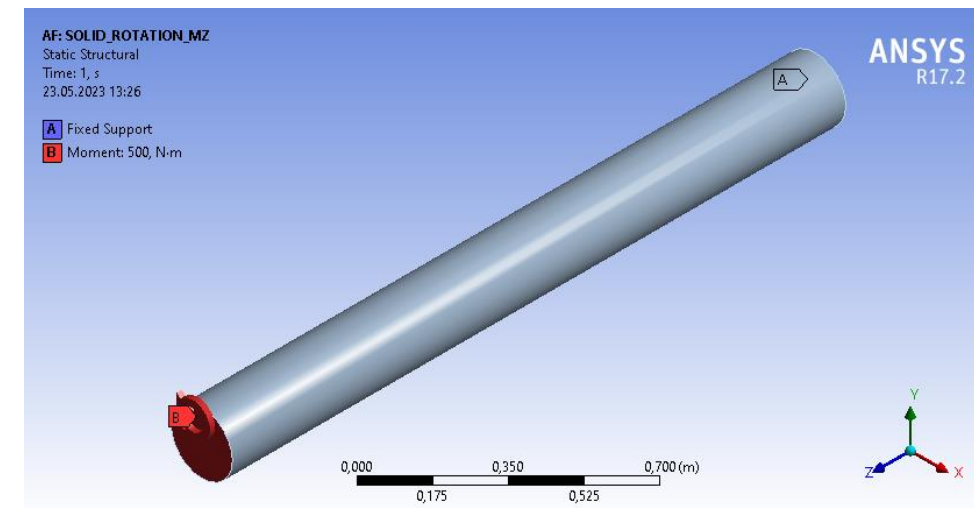


Контрольные задачи

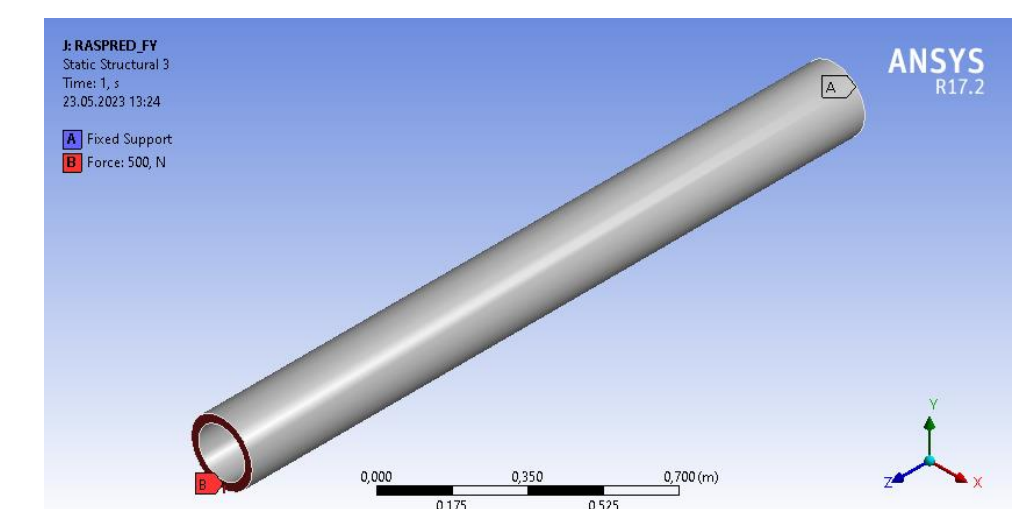
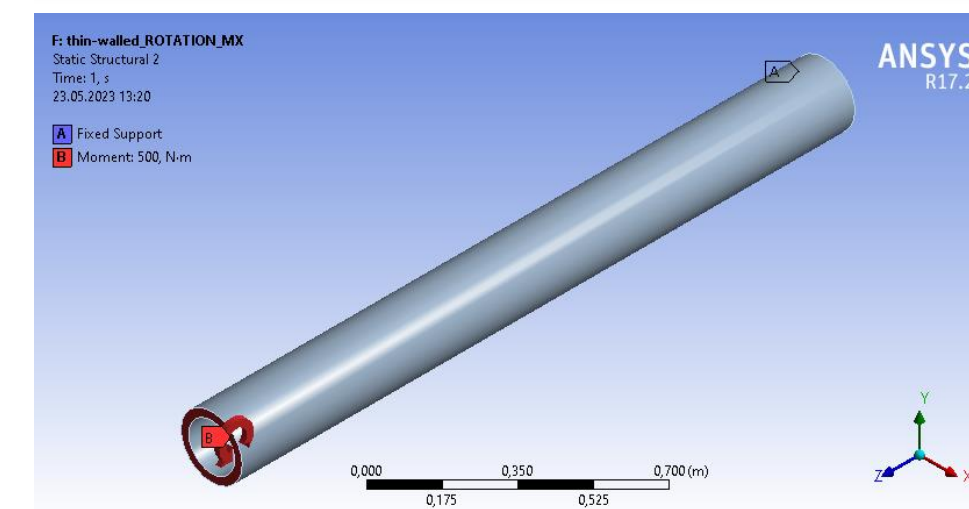
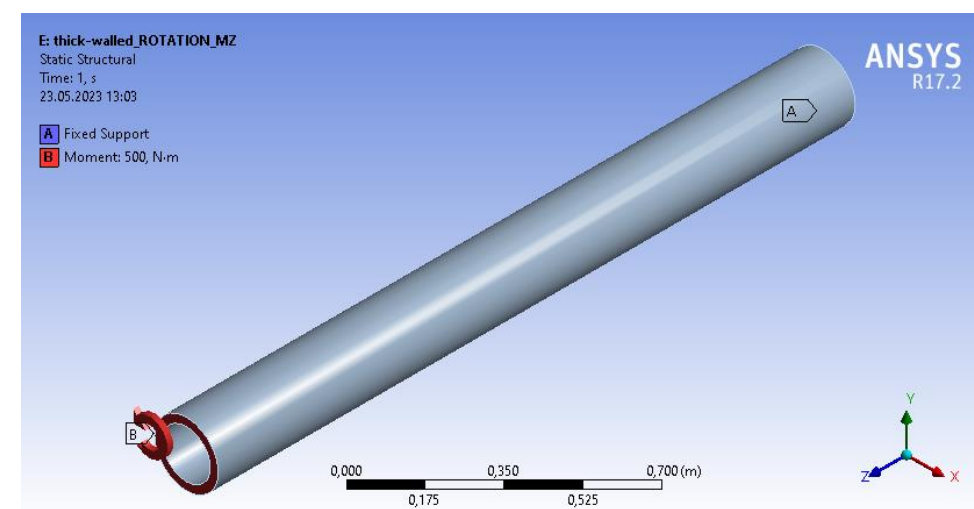
Задача 4, 5, 6

Деформируемое тело к грани которого приложен задача 1: распределенный момент закручивающий тело вокруг Z, задача 2: распределенный момент изгибающий тело вокруг X, задача 3: распределенная вертикальная изгибающая сила.

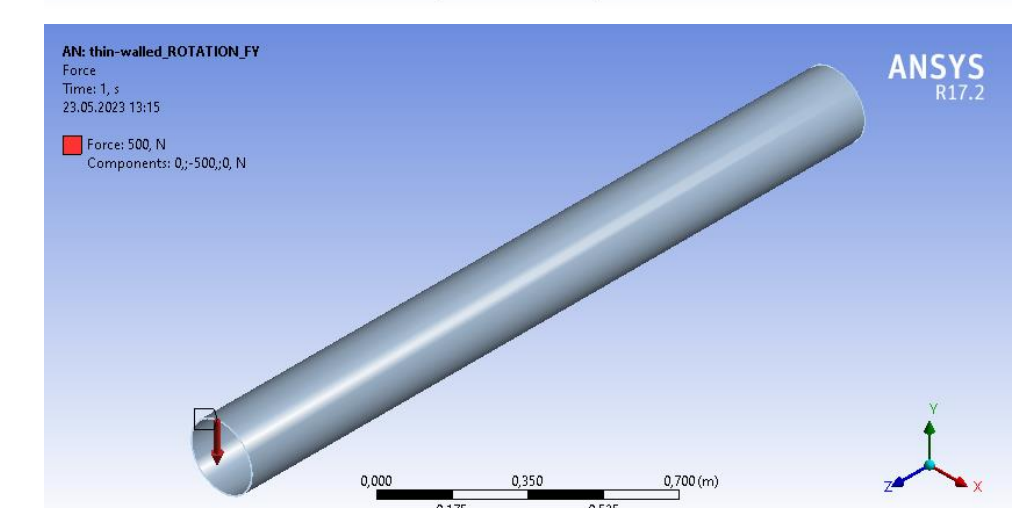
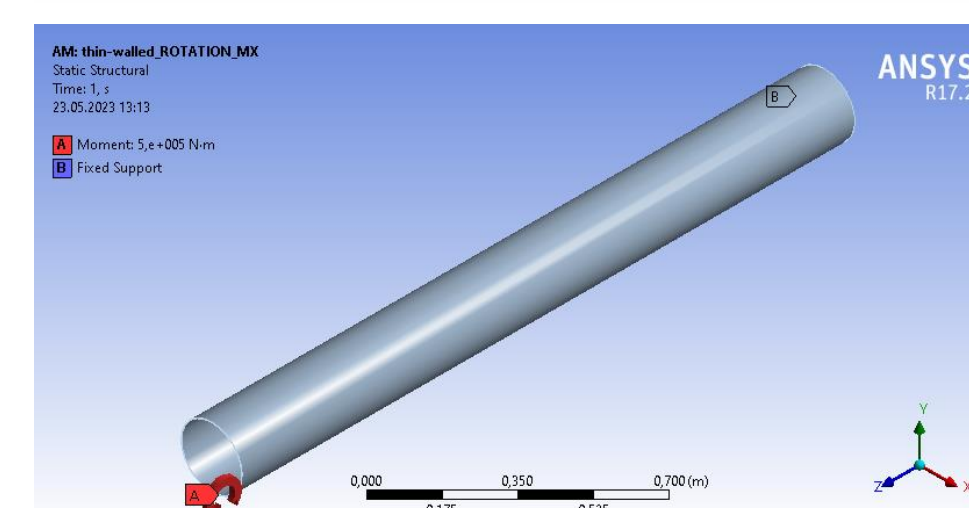
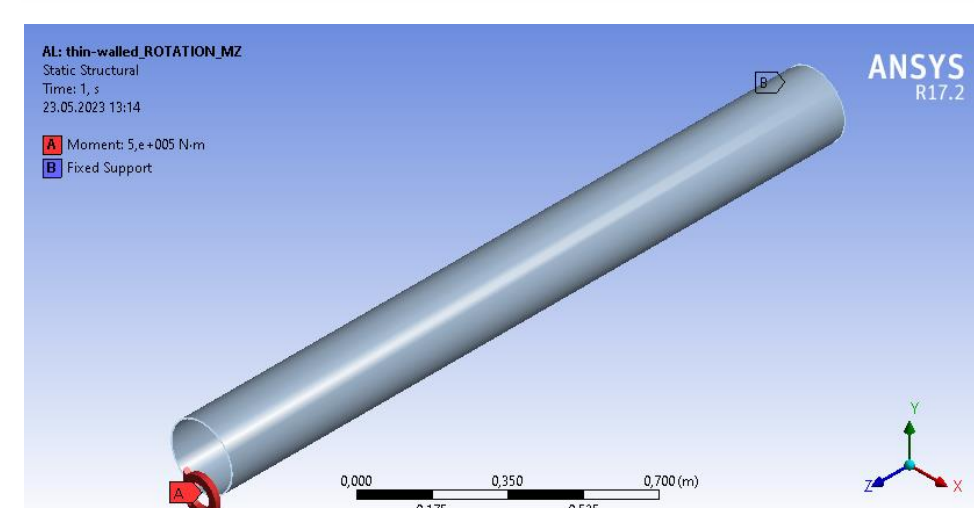
Полный цилиндр →



Толстостенный цилиндр →



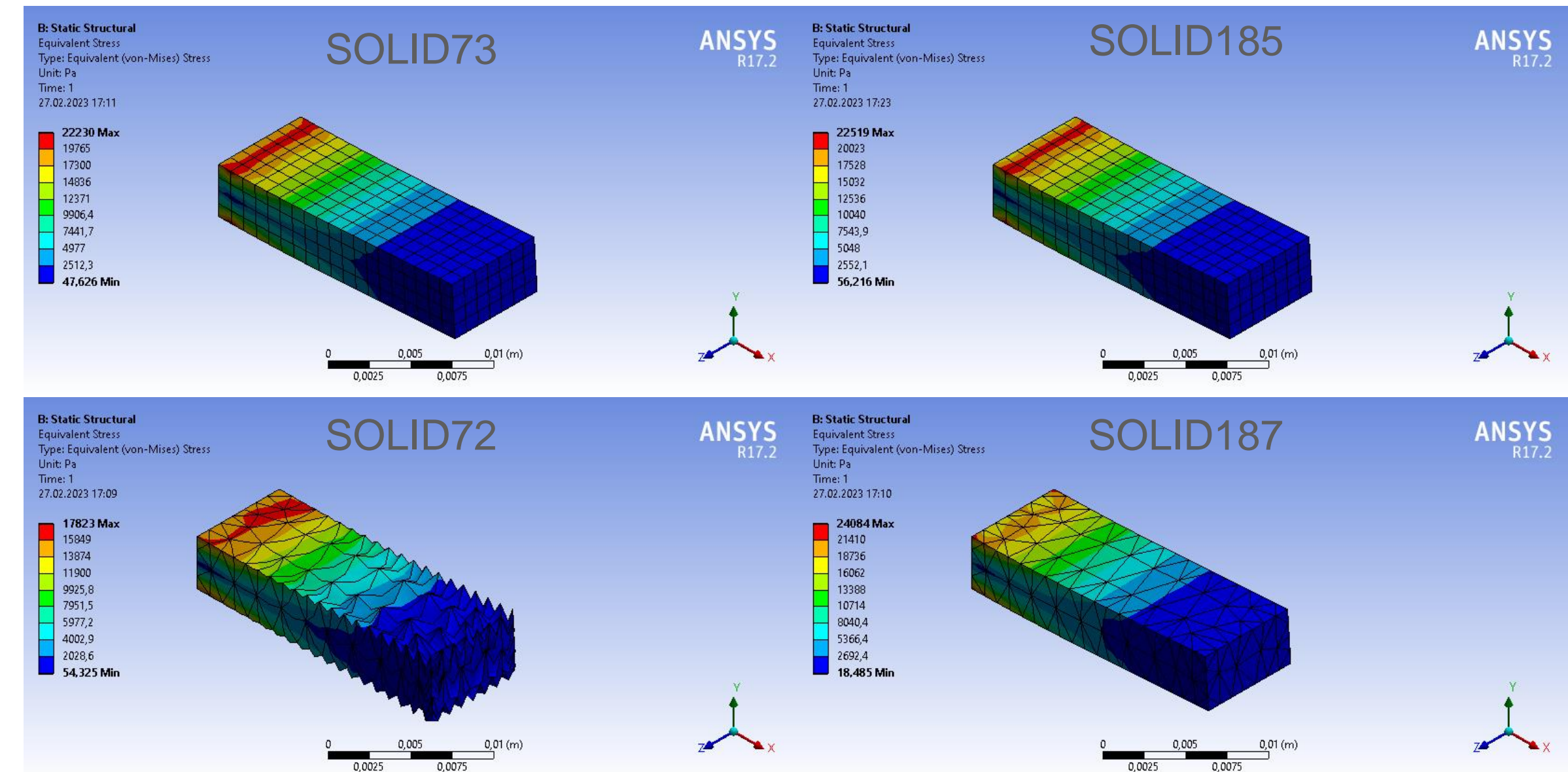
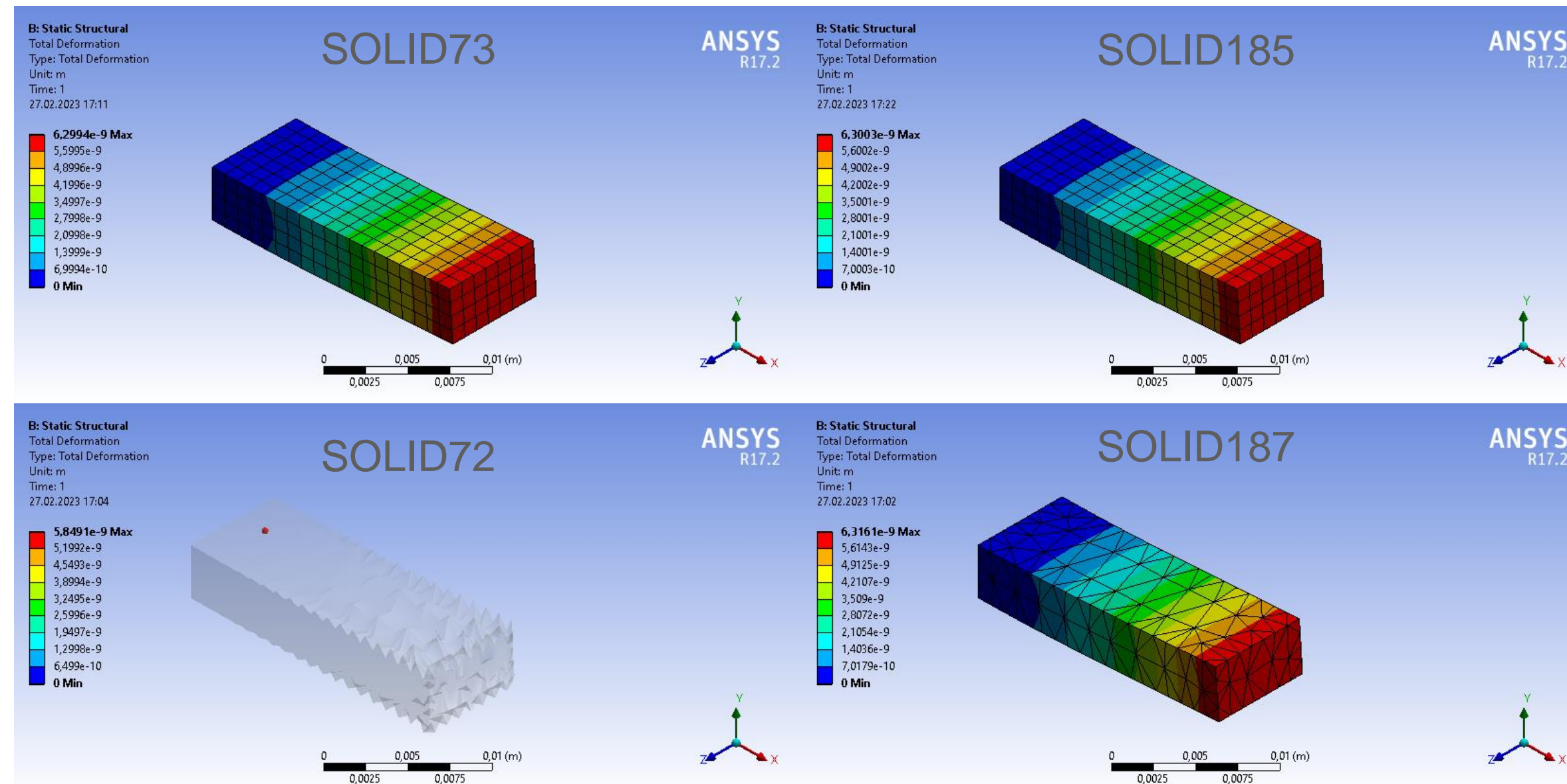
Тонкостенный цилиндр →



Анализ SOLID-элементов с вращательными степенями свободы

Total Deformation

Equivalent Stress

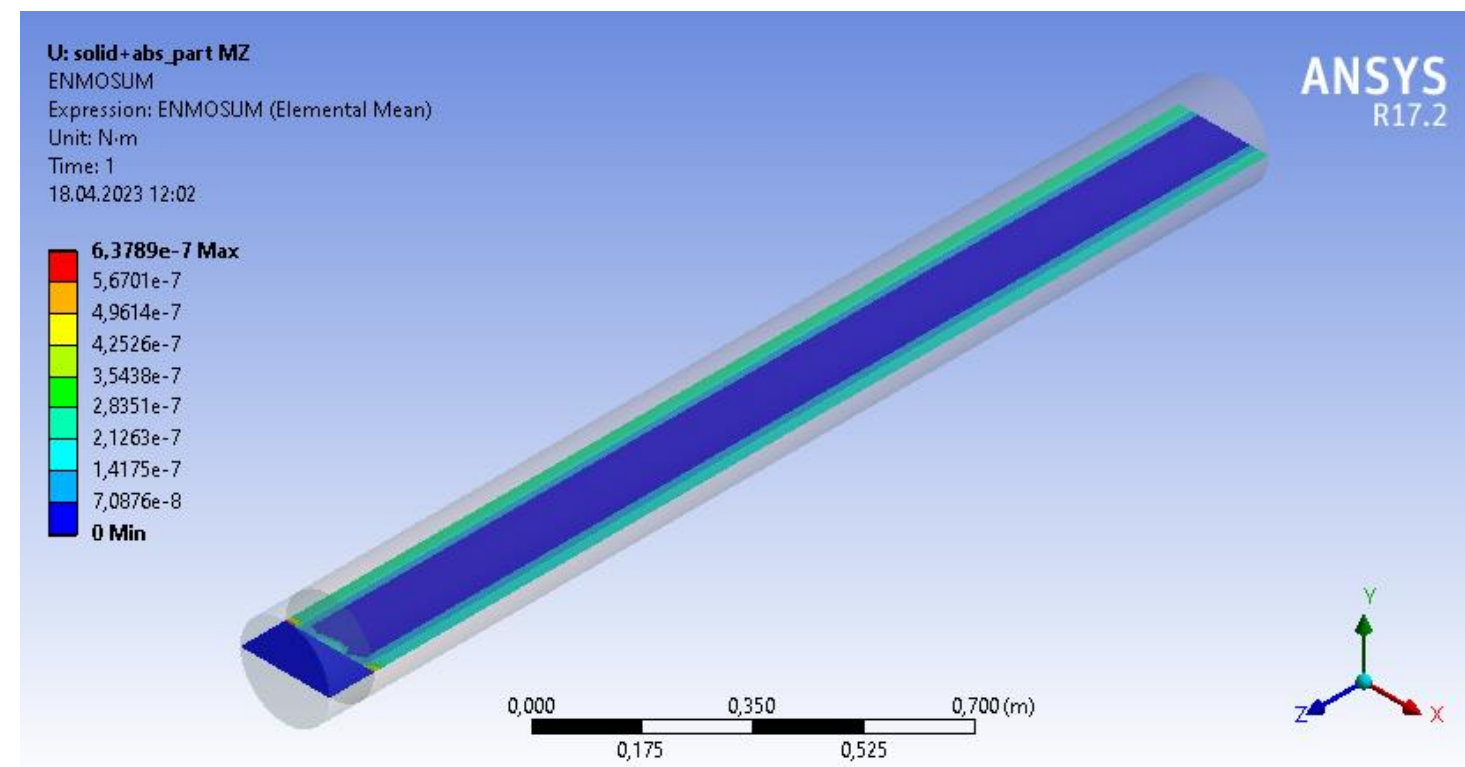


<p>3-D 8-Node Structural Solid 8 nodes 3-D space DOF: UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ</p>	SOLID73	
--	---------	--

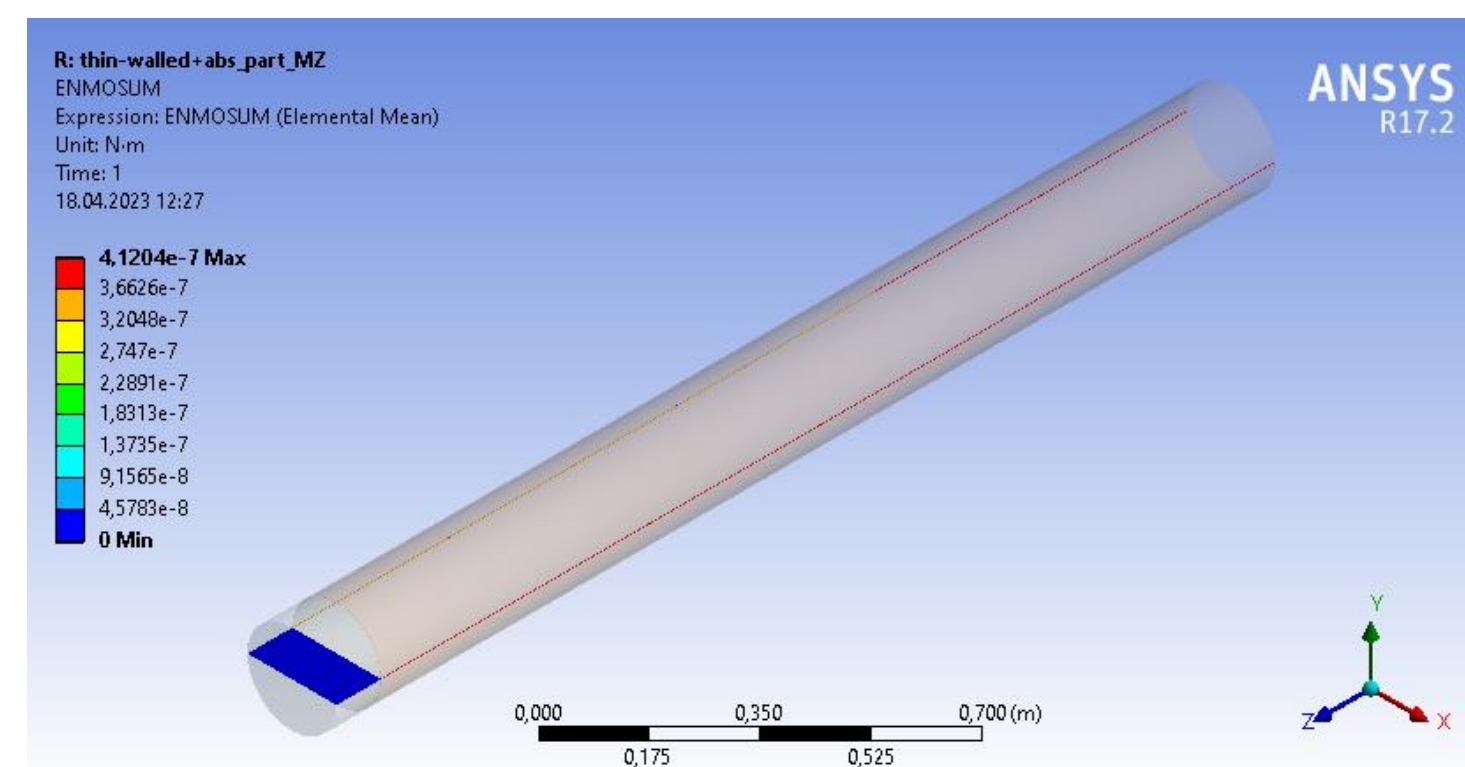
<p>3-D 8-Node Structural Solid 8 nodes 3-D space DOF: UX, UY, UZ</p>	SOLID185	
--	----------	--

Исследование моментов, возникающих в SOLID-элементах

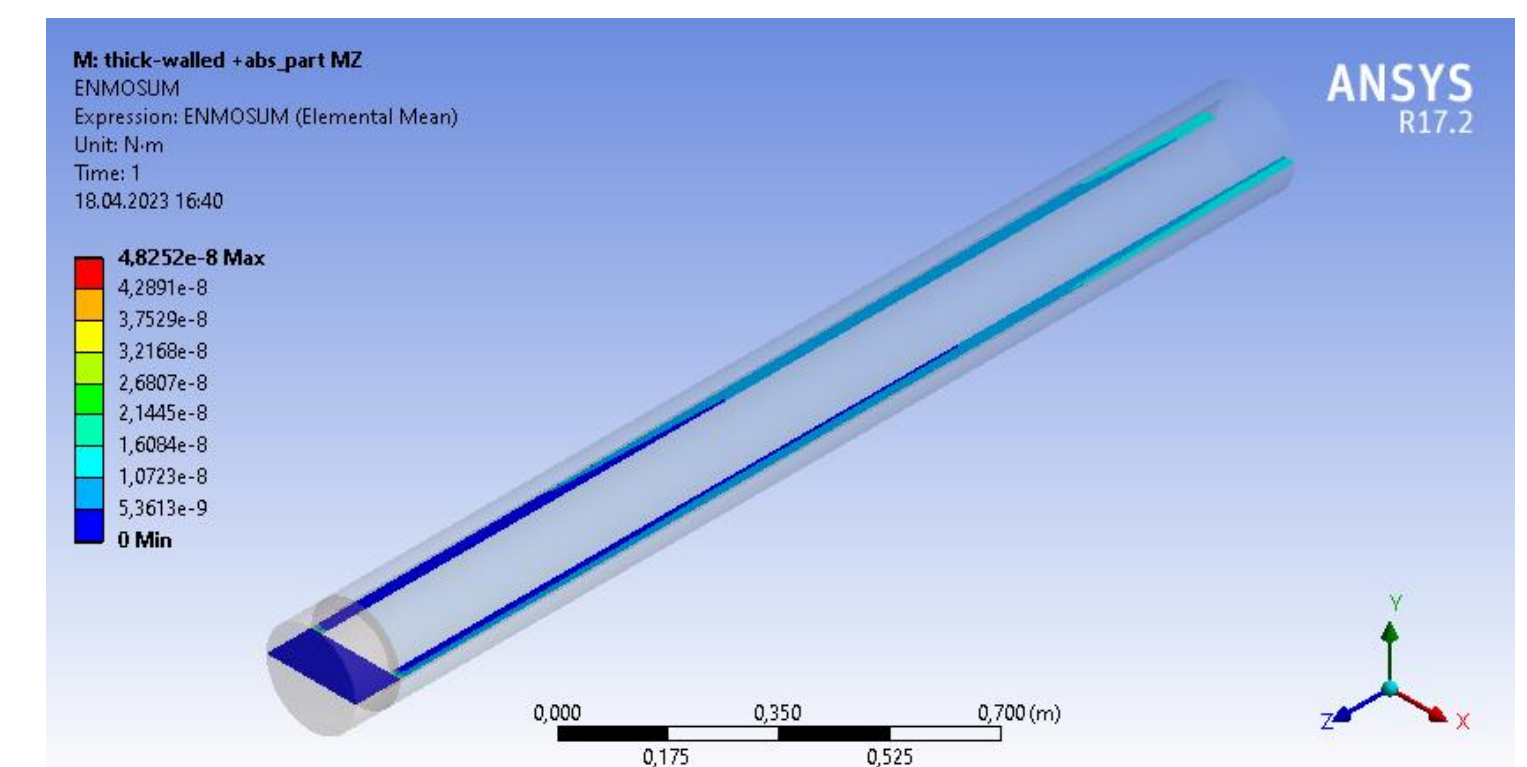
Поле суммарных моментов, вызванное нагрузкой **MZ**



Сечение XZ полного цилиндра



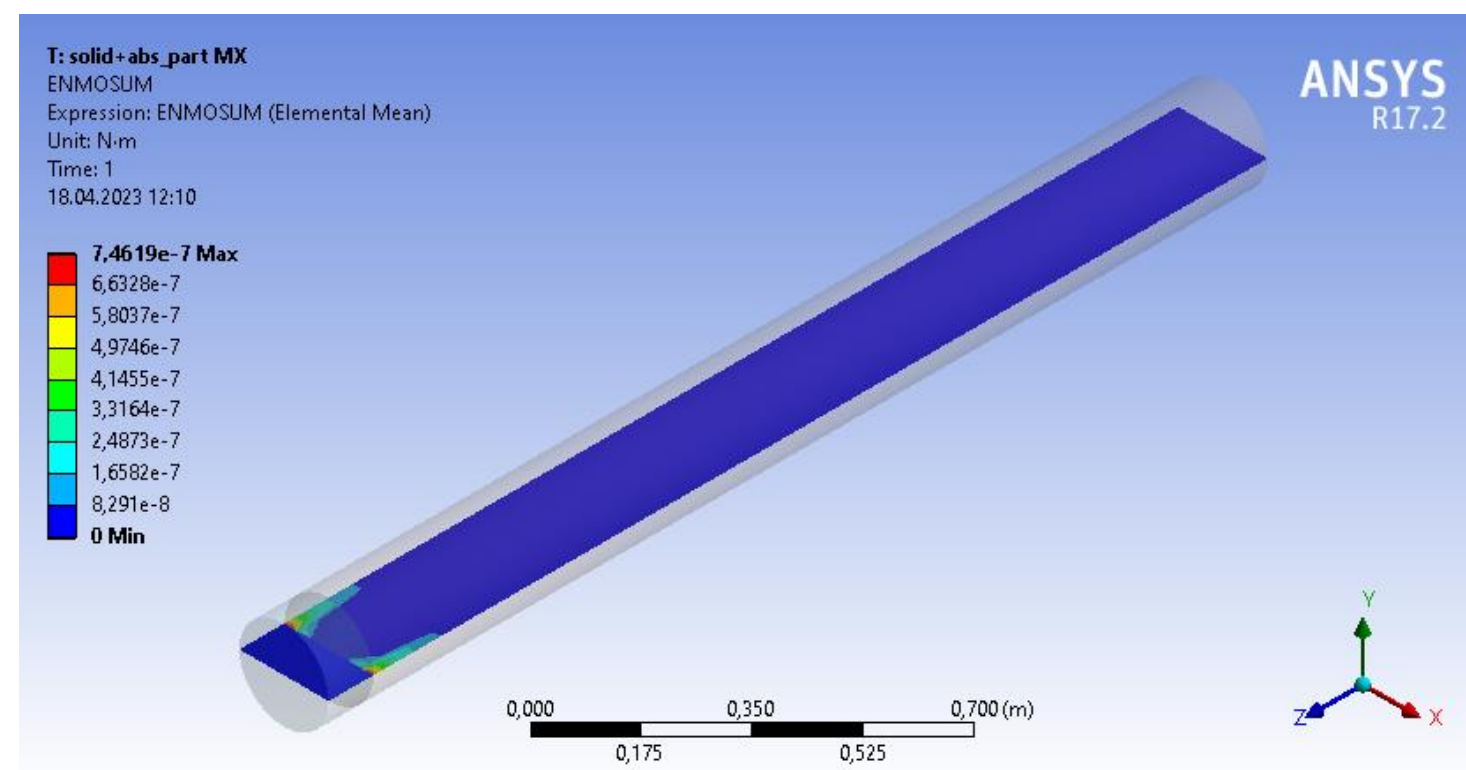
Сечение XZ тонкостенного цилиндра



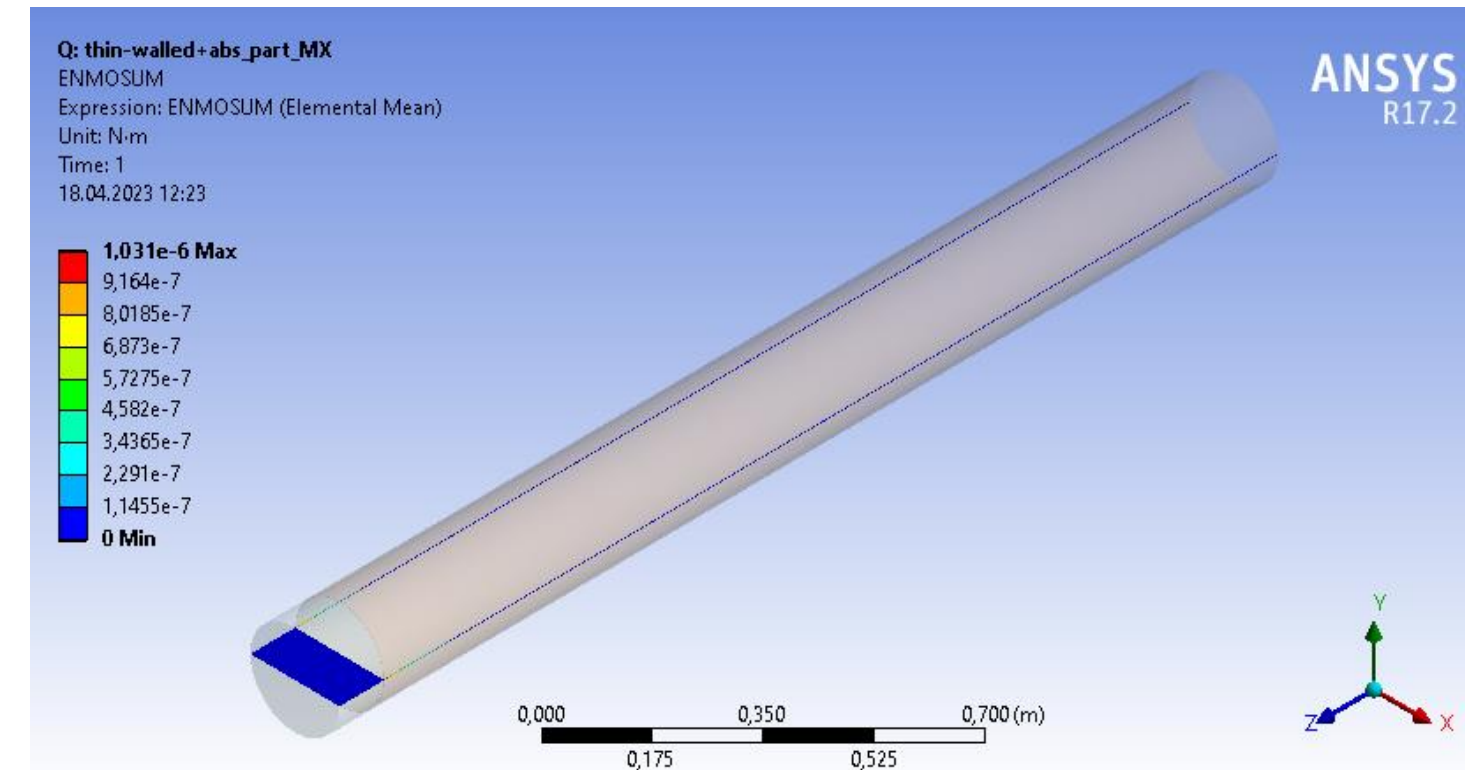
Сечение XZ толстостенного цилиндра

Исследование моментов, возникающих в SOLID-элементах

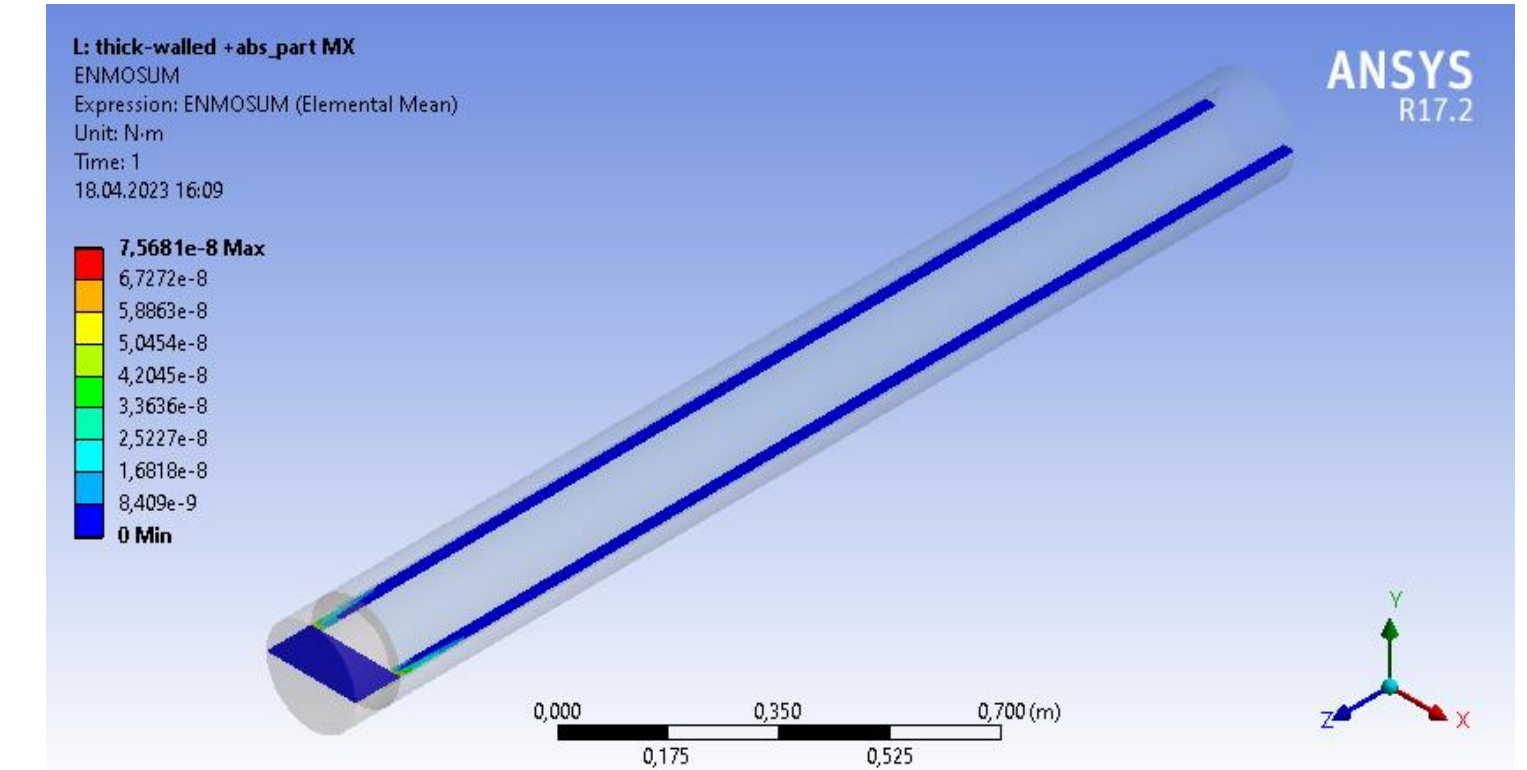
Поле суммарных моментов, вызванное нагрузкой **MX**



Сечение XZ полного цилиндра



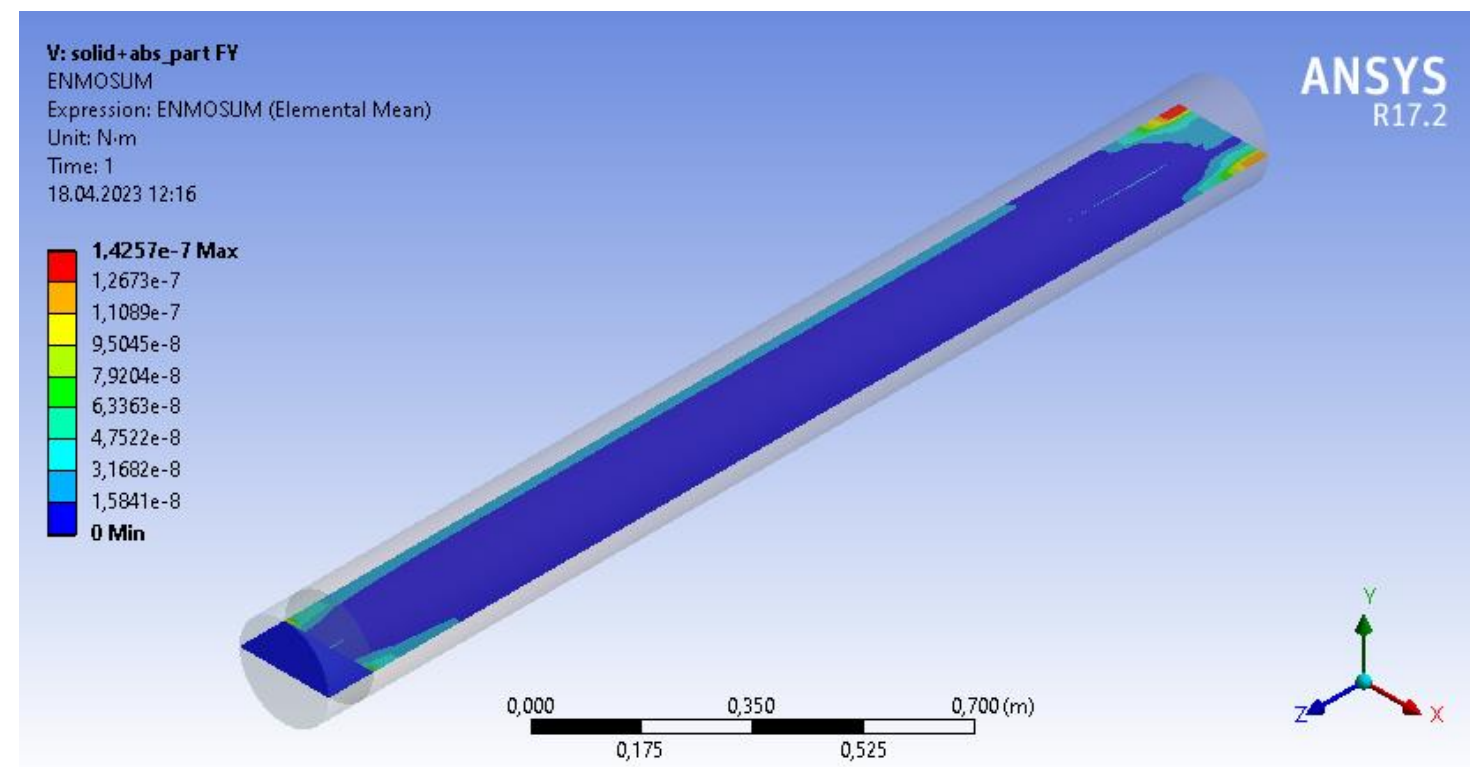
Сечение XZ тонкостенного цилиндра



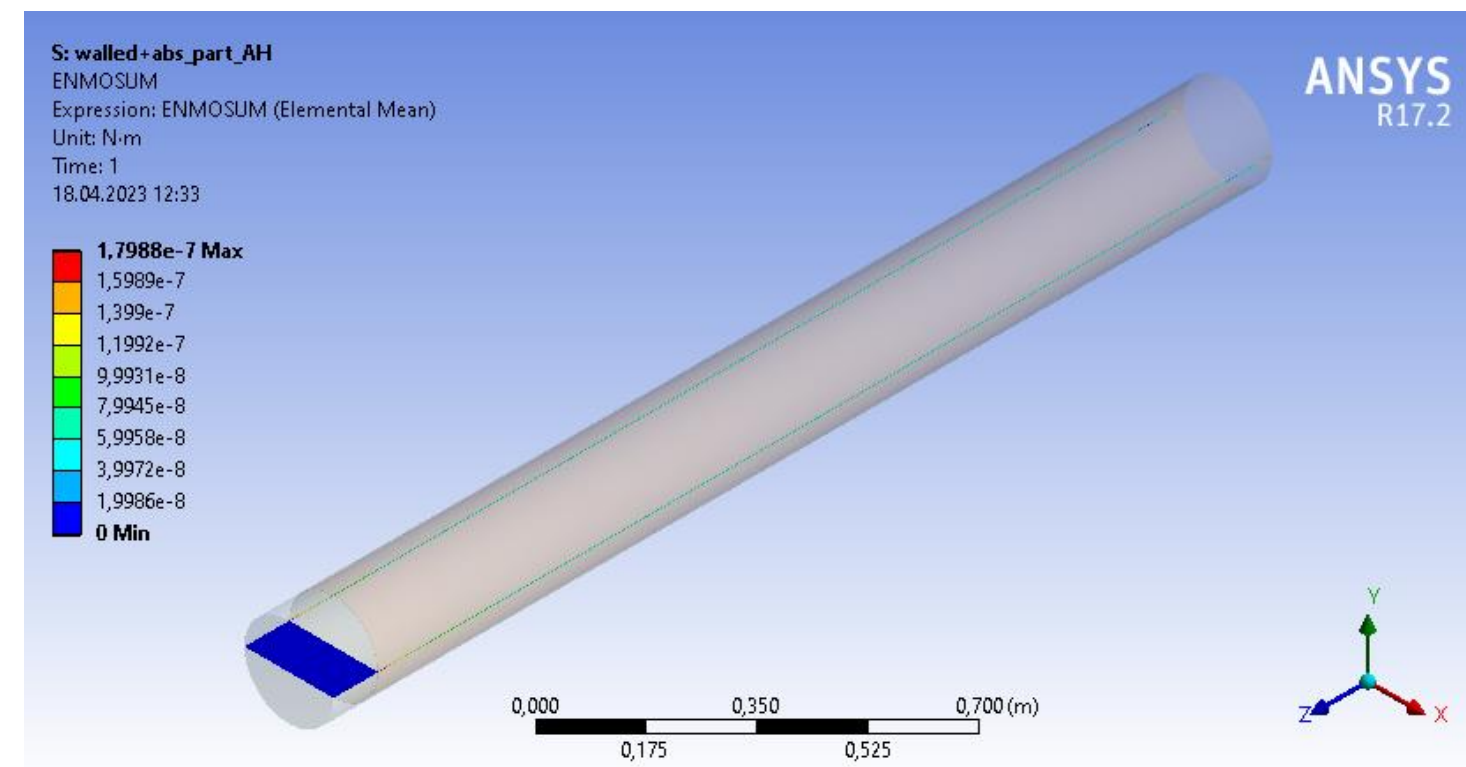
Сечение XZ толстостенного цилиндра

Исследование моментов, возникающих в SOLID-элементах

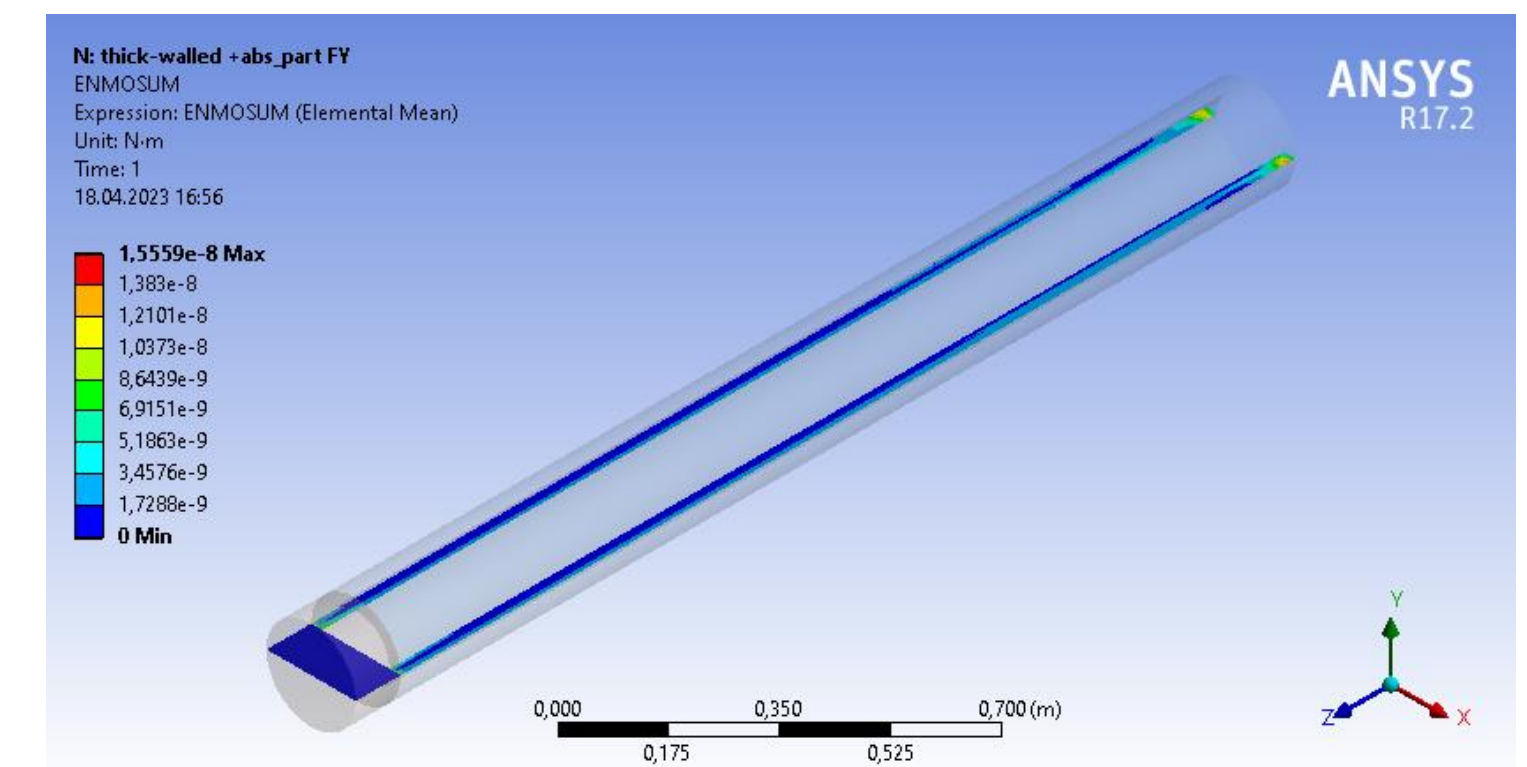
Поле суммарных моментов, вызванное нагрузкой **FY**



Сечение XZ полного цилиндра



Сечение XZ тонкостенного цилиндра

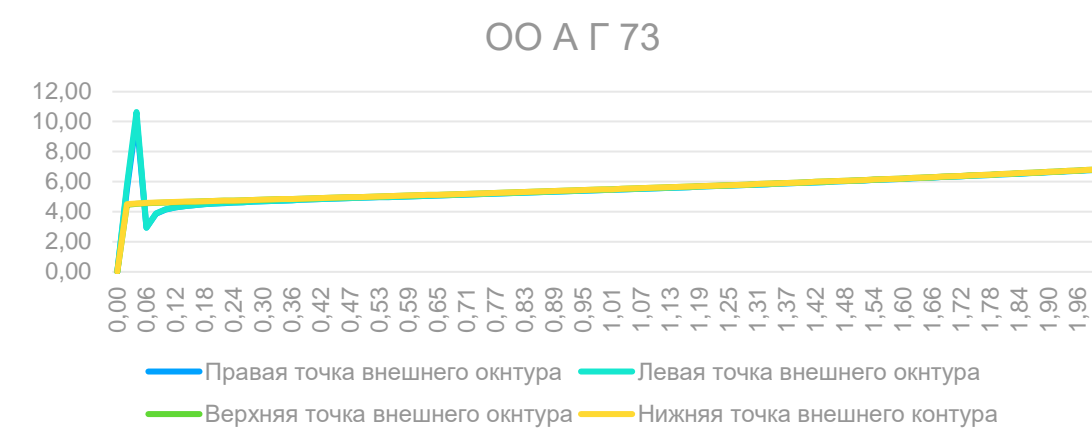


Сечение XZ толстостенного цилиндра

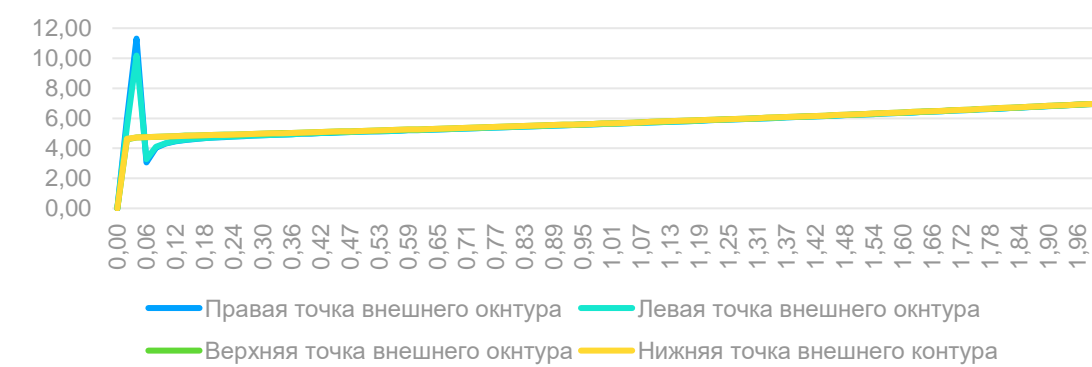
Напряженно-деформируемое состояние с разными типами элементов

Относительная ошибка по перемещениям под действием силы **FY**

Полный цилиндр



ОО АГ 73



относительная ошибка Грань 73/185



относительная ошибка АБС ТвТело



Толстостенный цилиндр



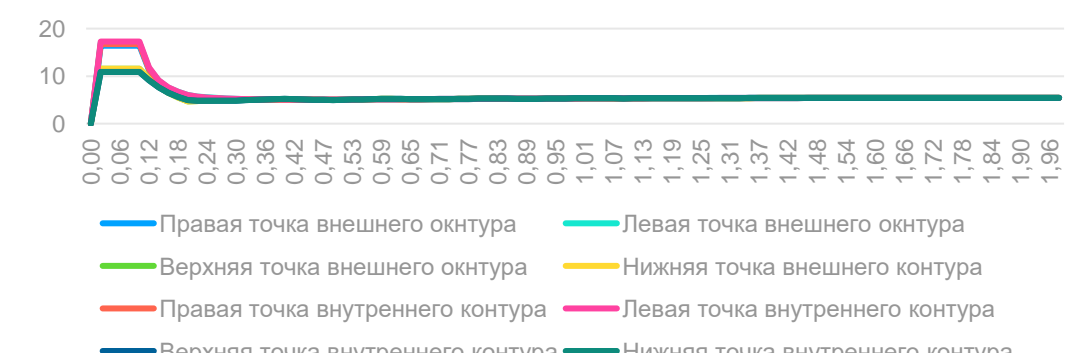
ОО АГ 185



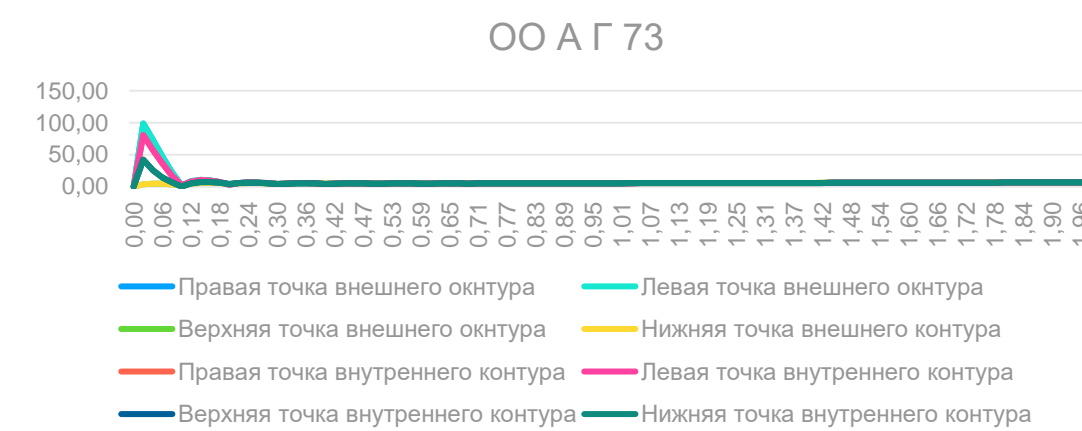
относительная ошибка Грань 73/185



относительная ошибка АБС ТвТело



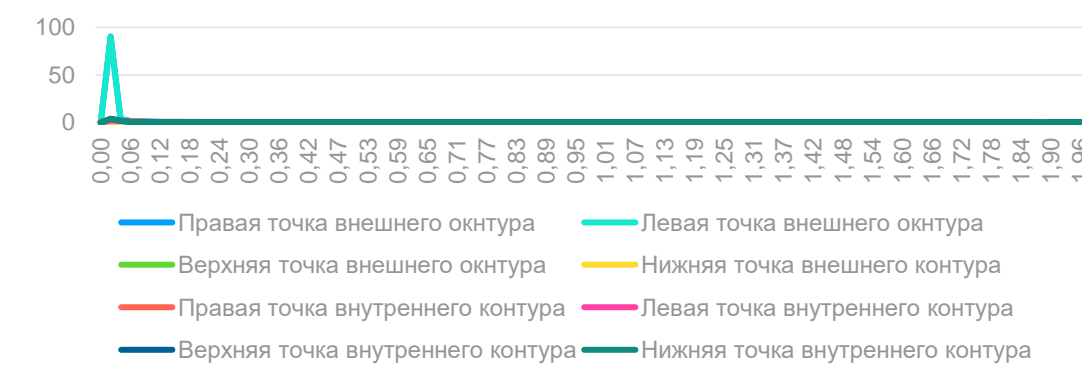
Тонкостенный цилиндр



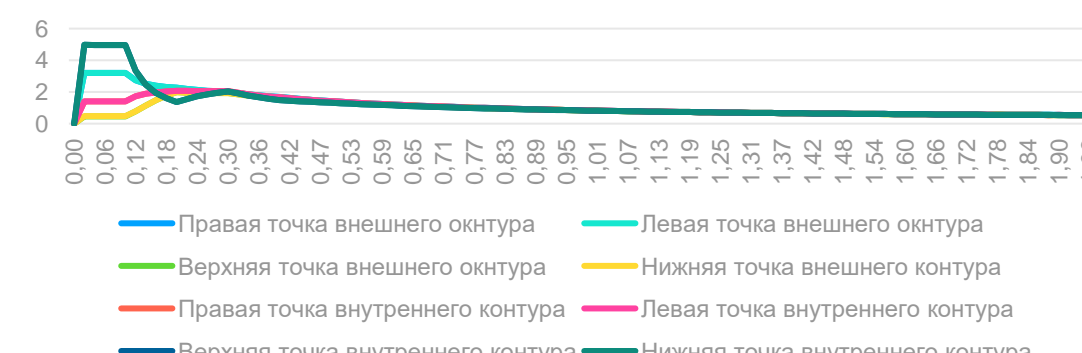
ОО АГ 185



относительная ошибка Грань 73/185



относительная ошибка АБС ТвТело



← Момент приложен к Твердому телу / Грани. Расчет с использованием SOLID73.

← Момент приложен к Твердому телу / Грани. Расчет с использованием SOLID185.

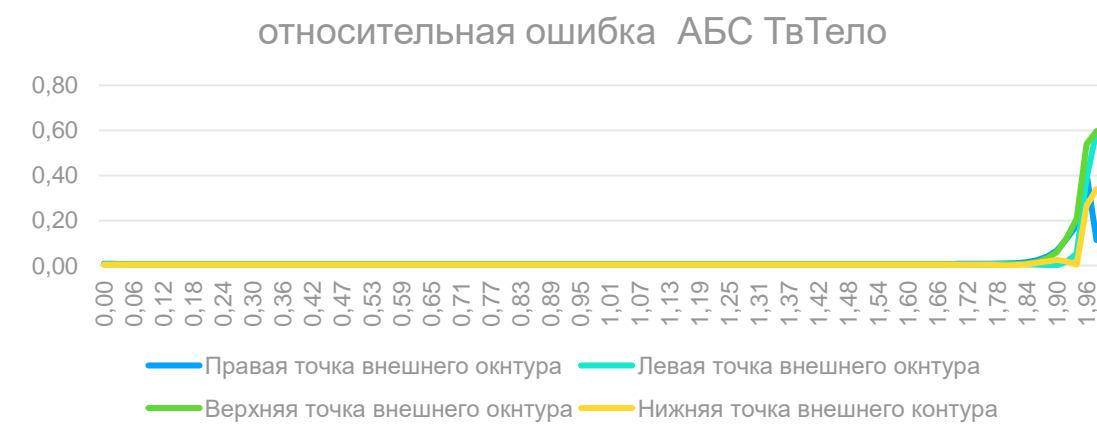
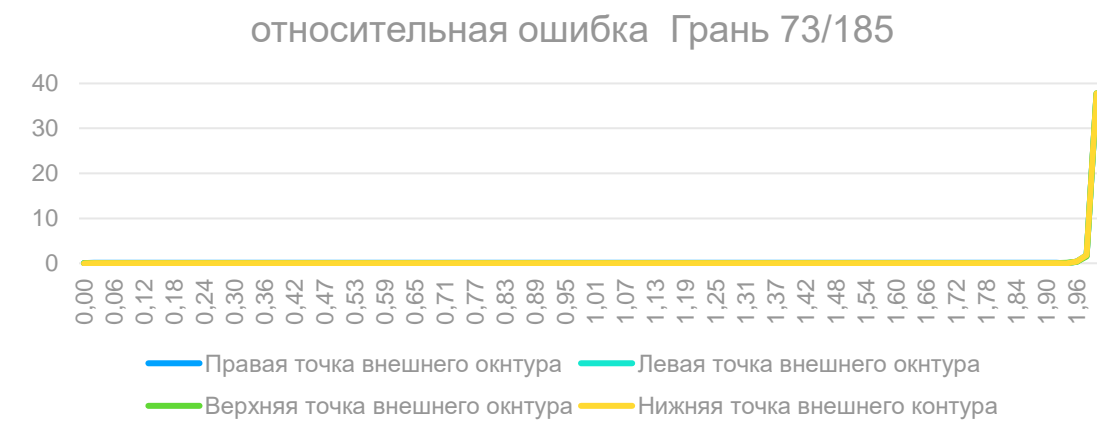
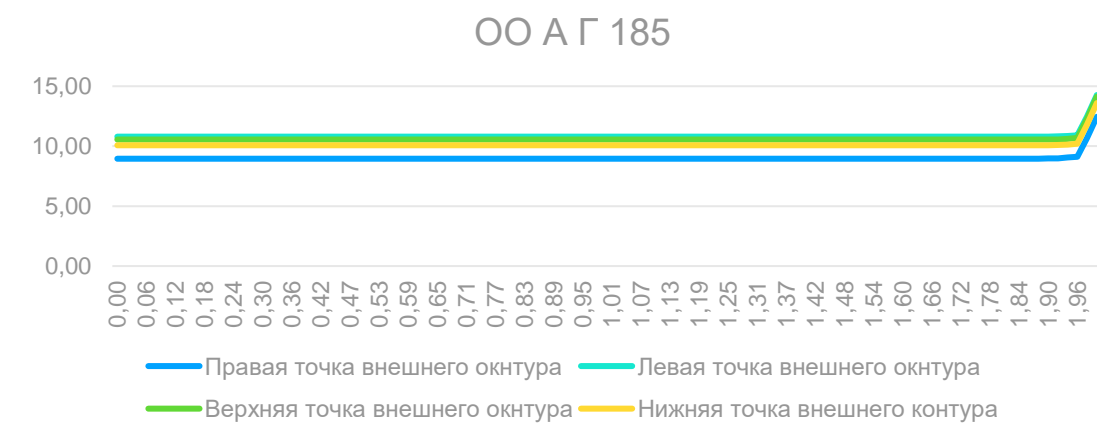
← Момент приложен к Грани. Расчет с использованием SOLID73 / SOLID185

← Момент приложен к Твердому телу. Расчет с использованием SOLID73 / SOLID185

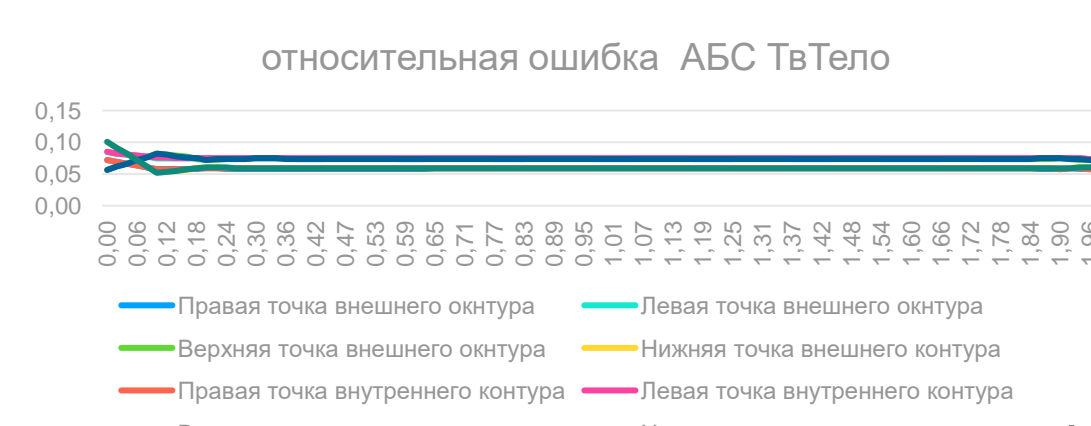
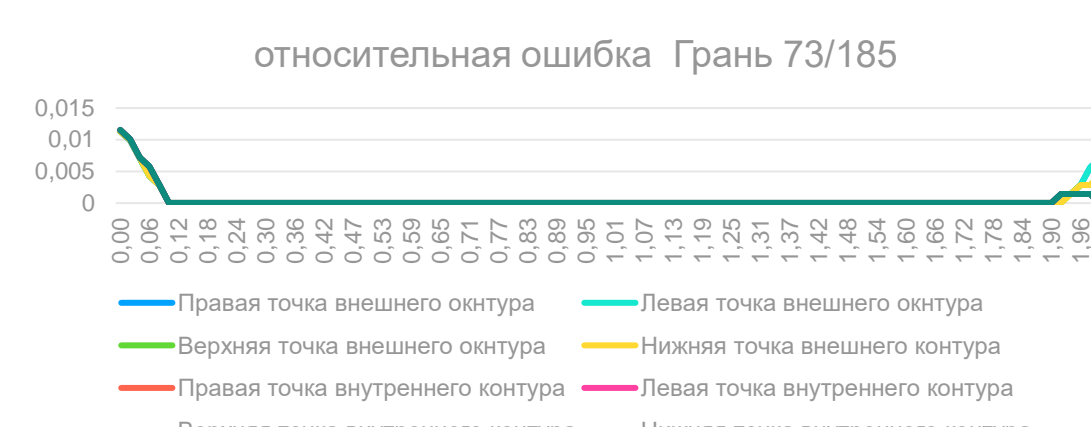
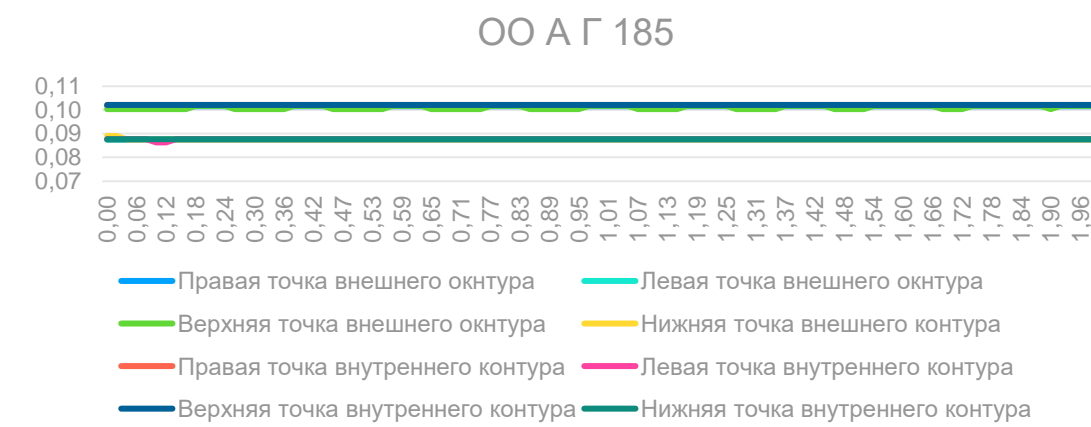
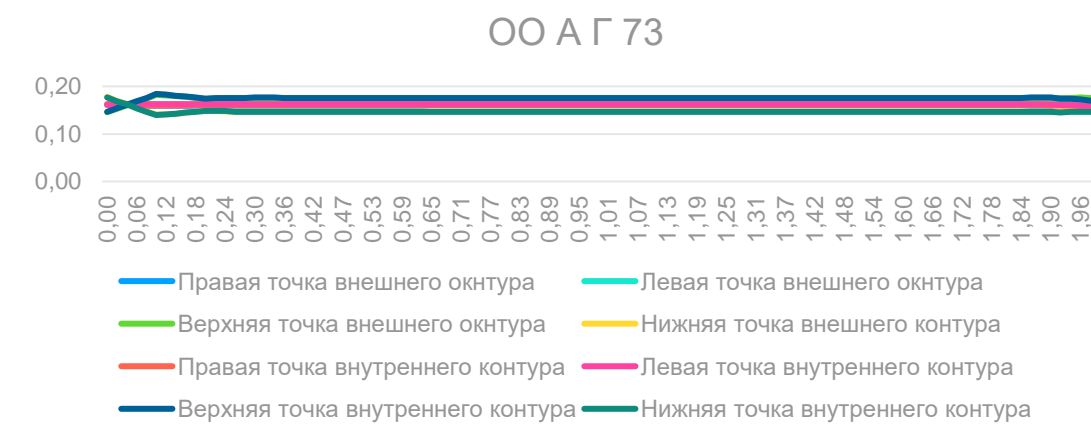
Напряженно-деформируемое состояние с разными типами элементов

Относительная ошибка по напряжениям под действием момента **MZ**

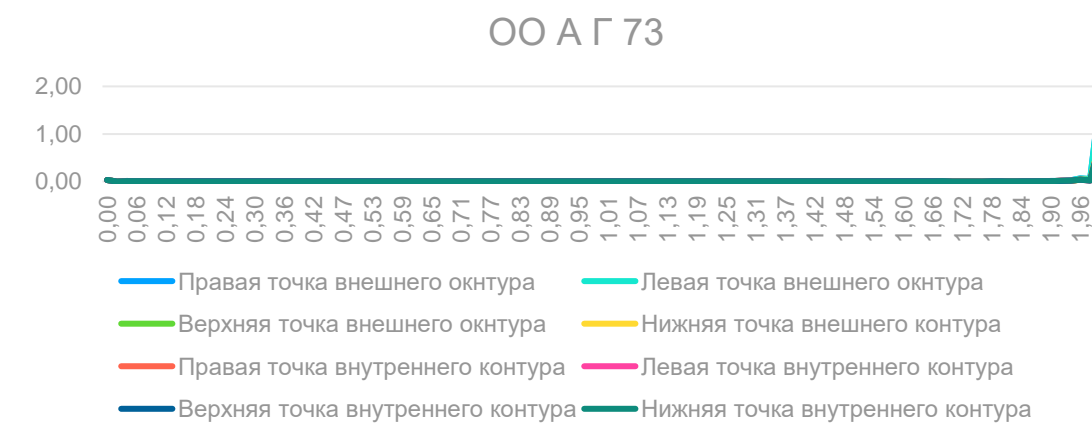
Полный цилиндр



Толстостенный цилиндр



Тонкостенный цилиндр



← Момент приложен к Твердому телу / Грани. Расчет с использованием SOLID73.

← Момент приложен к Твердому телу / Грани. Расчет с использованием SOLID185.

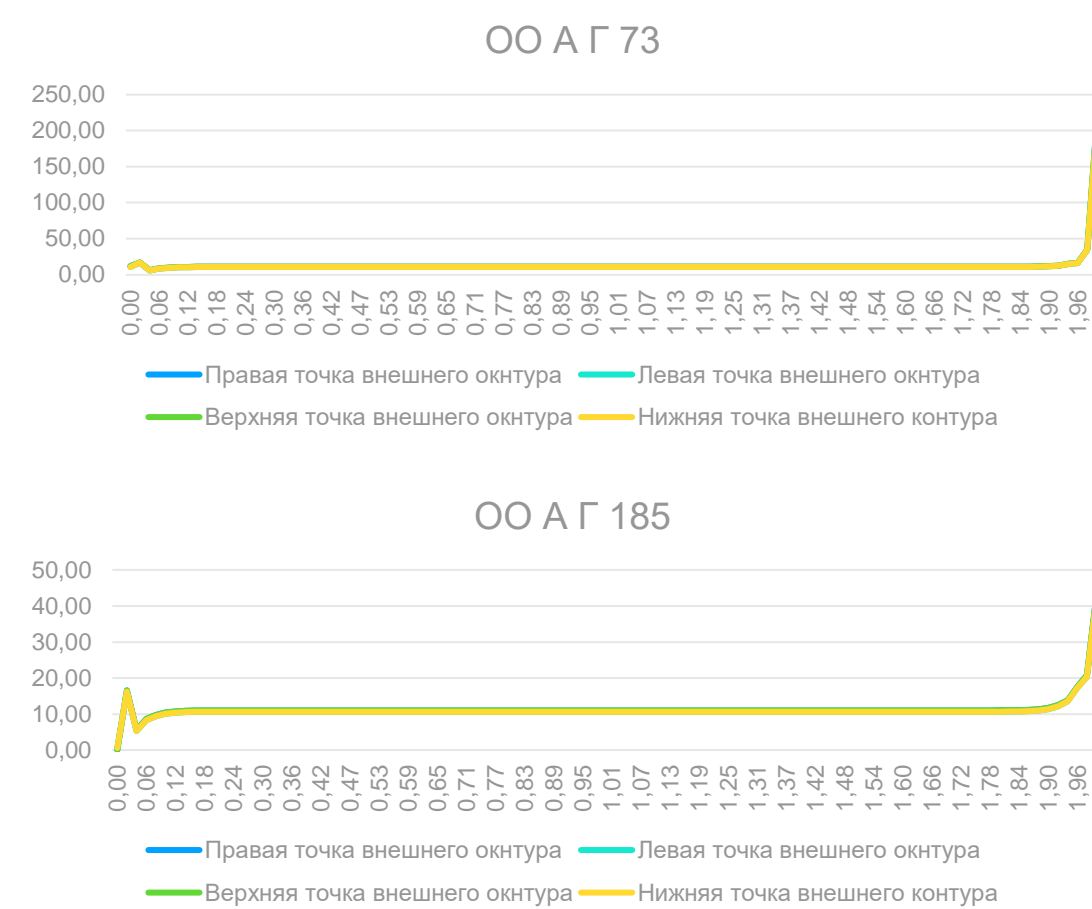
← Момент приложен к Грани. Расчет с использованием SOLID73 / SOLID185

← Момент приложен к Твердому телу. Расчет с использованием SOLID73 / SOLID185

Напряженно-деформируемое состояние с разными типами элементов

Относительная ошибка по напряжениям под действием момента **Mx**

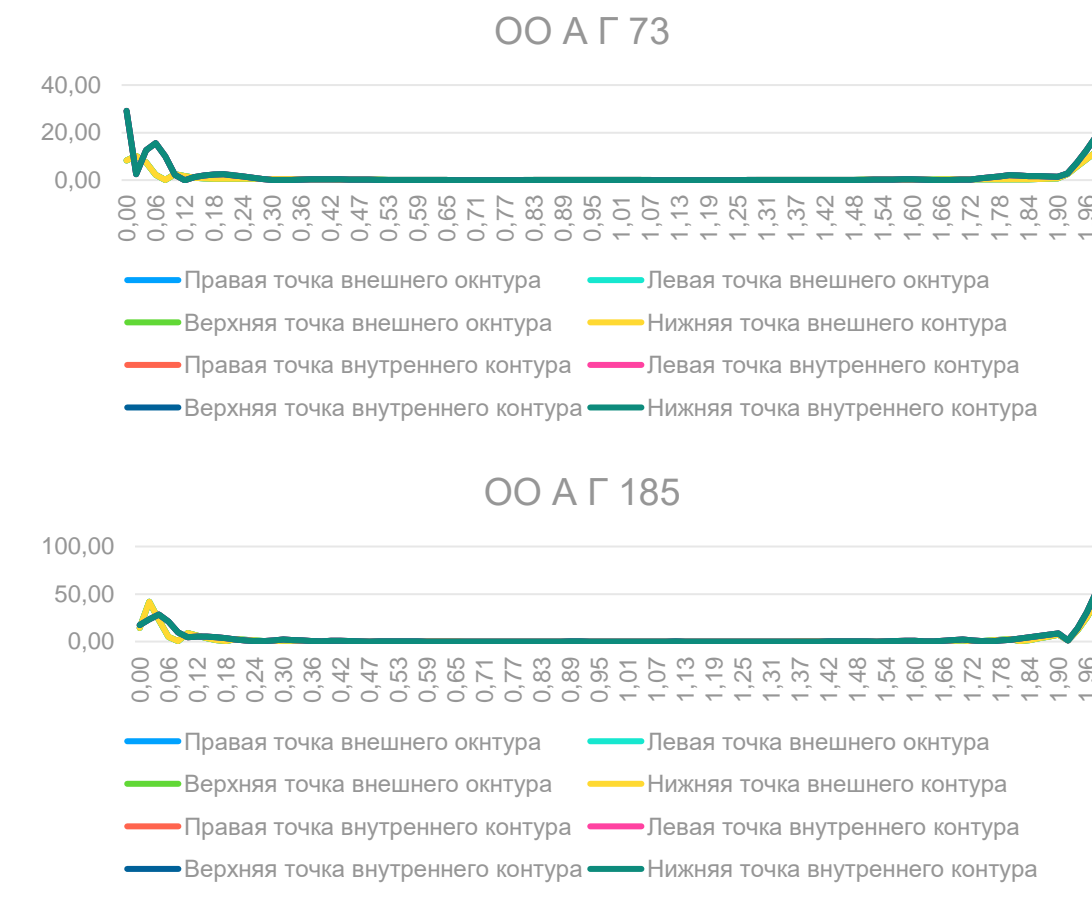
Полный цилиндр



Толстостенный цилиндр



Тонкостенный цилиндр



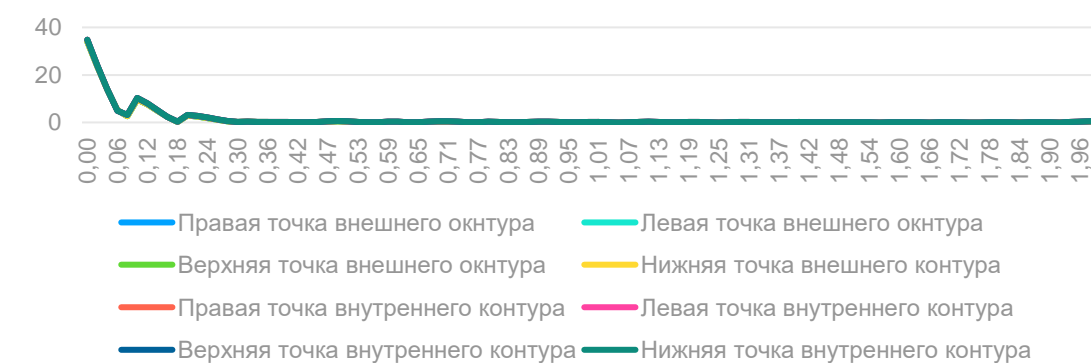
← Момент приложен к
Твердому телу / Грани.
Расчет с использованием
SOLID73.

← Момент приложен к
Твердому телу / Грани.
Расчет с использованием
SOLID185.

относительная ошибка Грань 73/185



относительная ошибка Грань 73/185



относительная ошибка Грань 73/185

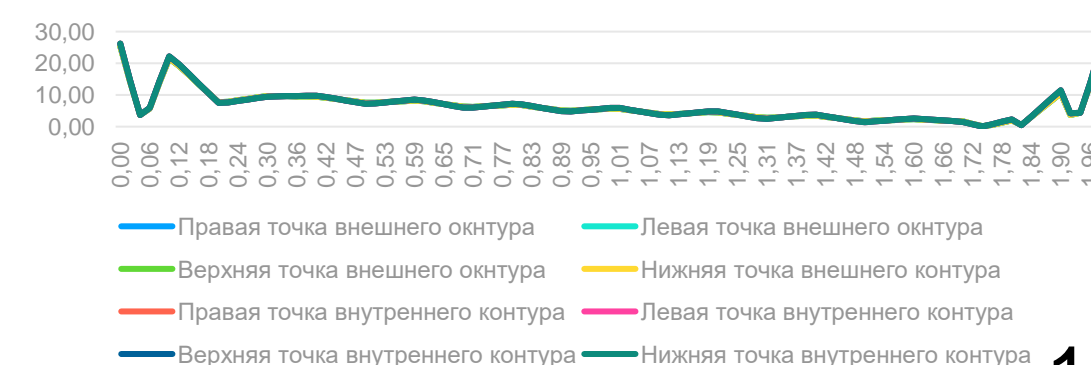


← Момент приложен к
Грани.
Расчет с использованием
SOLID73 / SOLID185

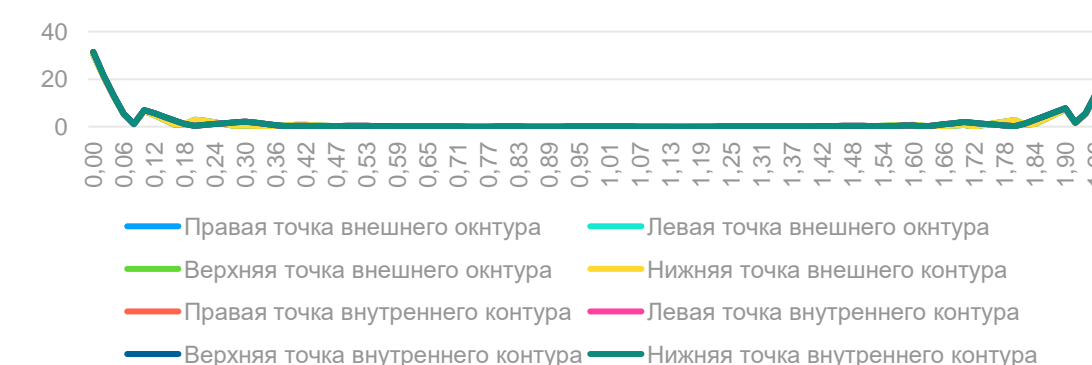
относительная ошибка АБС ТвТело



относительная ошибка АБС ТвТело



относительная ошибка АБС ТвТело



← Момент приложен к
Твердому телу.
Расчет с использованием
SOLID73 / SOLID185

Напряженно-деформируемое состояние с разными типами элементов

Относительная ошибка по напряжениям под действием силы **FY**

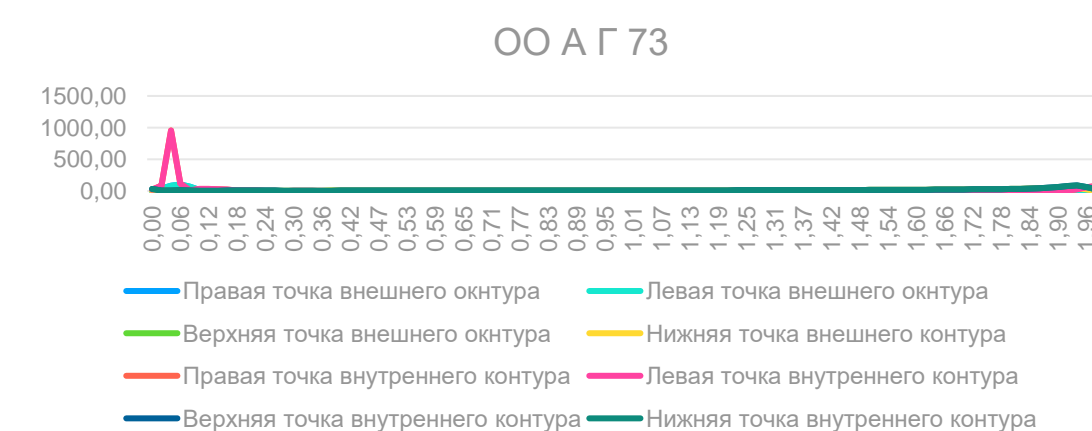
Полный цилиндр



Толстостенный цилиндр

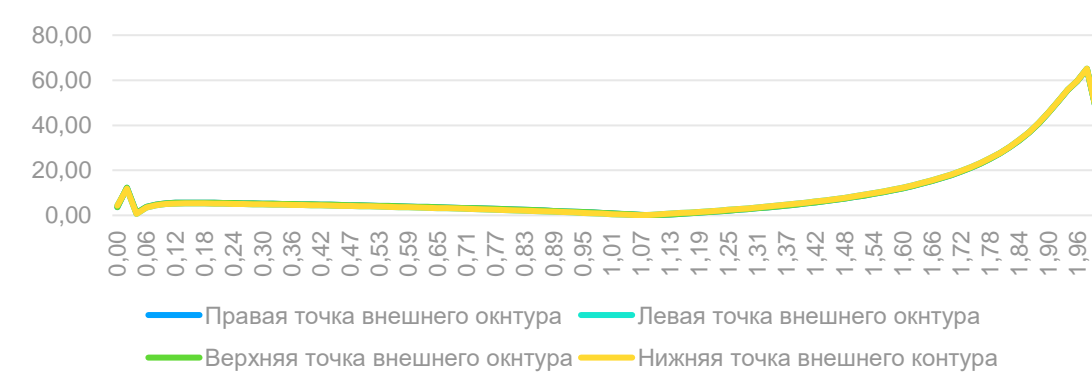


Тонкостенный цилиндр



Момент приложен к Твердому телу / Грани.
Расчет с использованием SOLID73.

относительная ошибка Грань 73/185



относительная ошибка Грань 73/185



Момент приложен к Твердому телу / Грани.
Расчет с использованием SOLID185.

относительная ошибка АБС ТвТело



относительная ошибка АБС ТвТело



Момент приложен к Грани.
Расчет с использованием SOLID73 / SOLID185

относительная ошибка АБС ТвТело



относительная ошибка АБС ТвТело



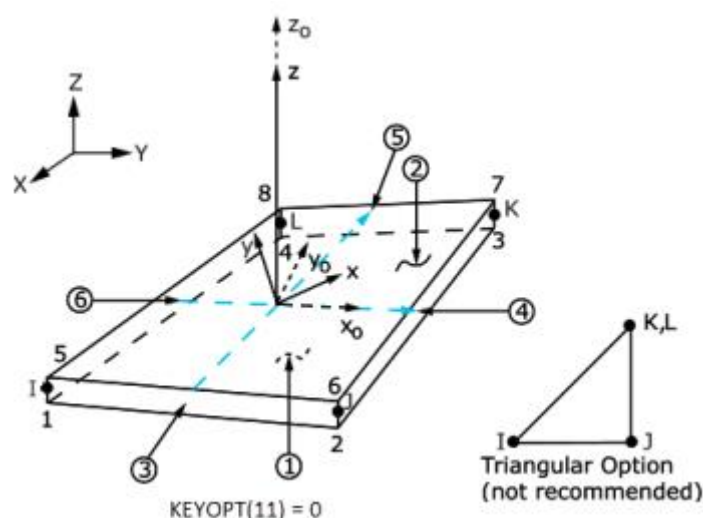
Момент приложен к Твердому телу.
Расчет с использованием SOLID73 / SOLID185

Напряженно-деформируемое состояние с разными типами элементов

Сравнение полученных результатов с принятым за эталон решением

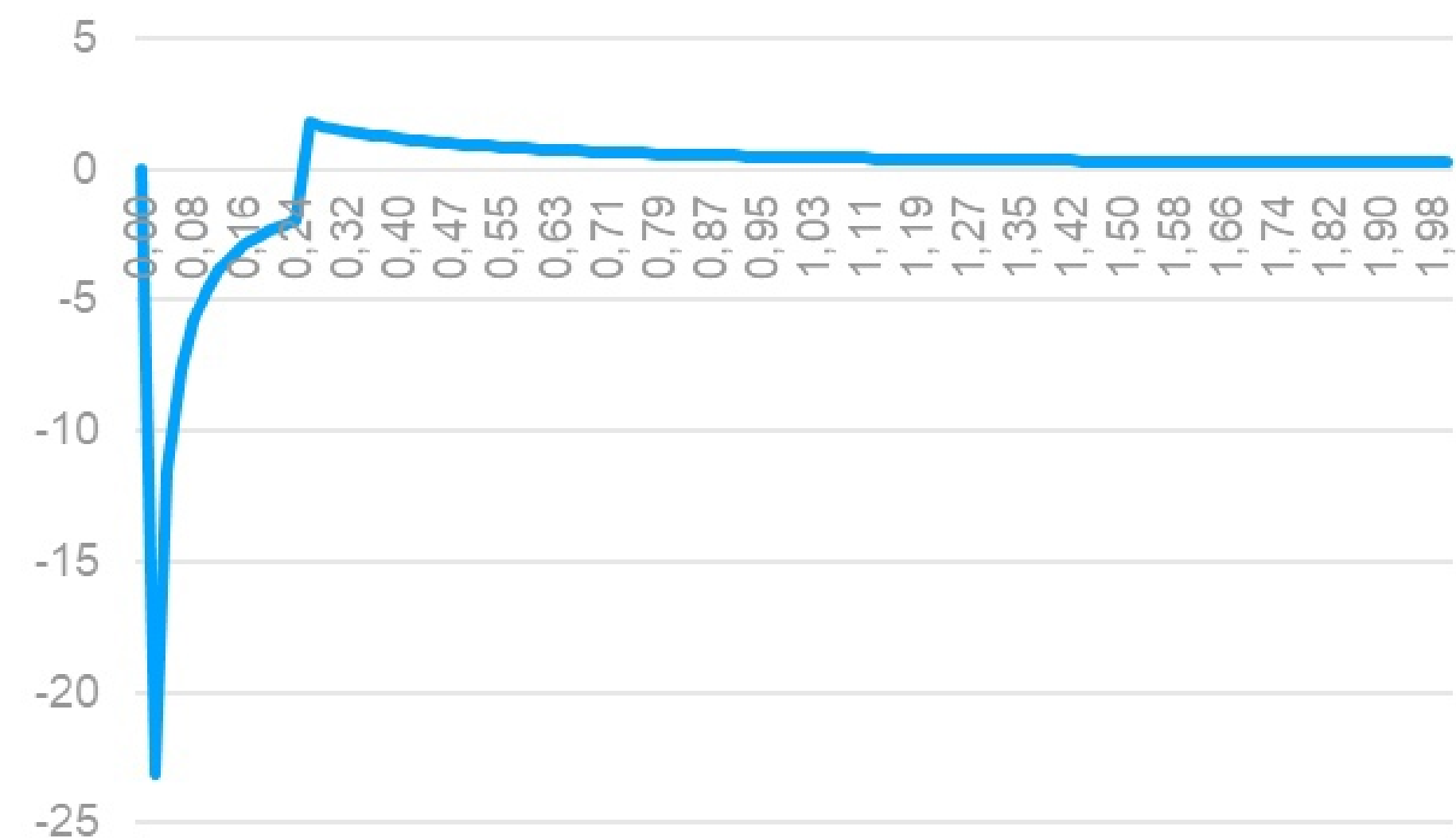
Используйте элементы оболочки для моделирования тонких структур (где одно измерение намного меньше двух других). Элементы оболочки разделяют деформацию на поверхности и деформацию в нормальном направлении, обеспечивая простое и эффективное моделирование тонкой структуры.

SHELL181 подходит для анализа тонких и умеренно толстых оболочечных структур. Это четырехузловой элемент с шестью степенями свободы в каждом узле.



Element Name	SHELL181
Nodes	I, J, K, L
Degrees of Freedom	UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ

Относительная разница процентов ошибка расчетов, полученная с элементами SOLID73 и SOLID185, относительно оболочечного решения



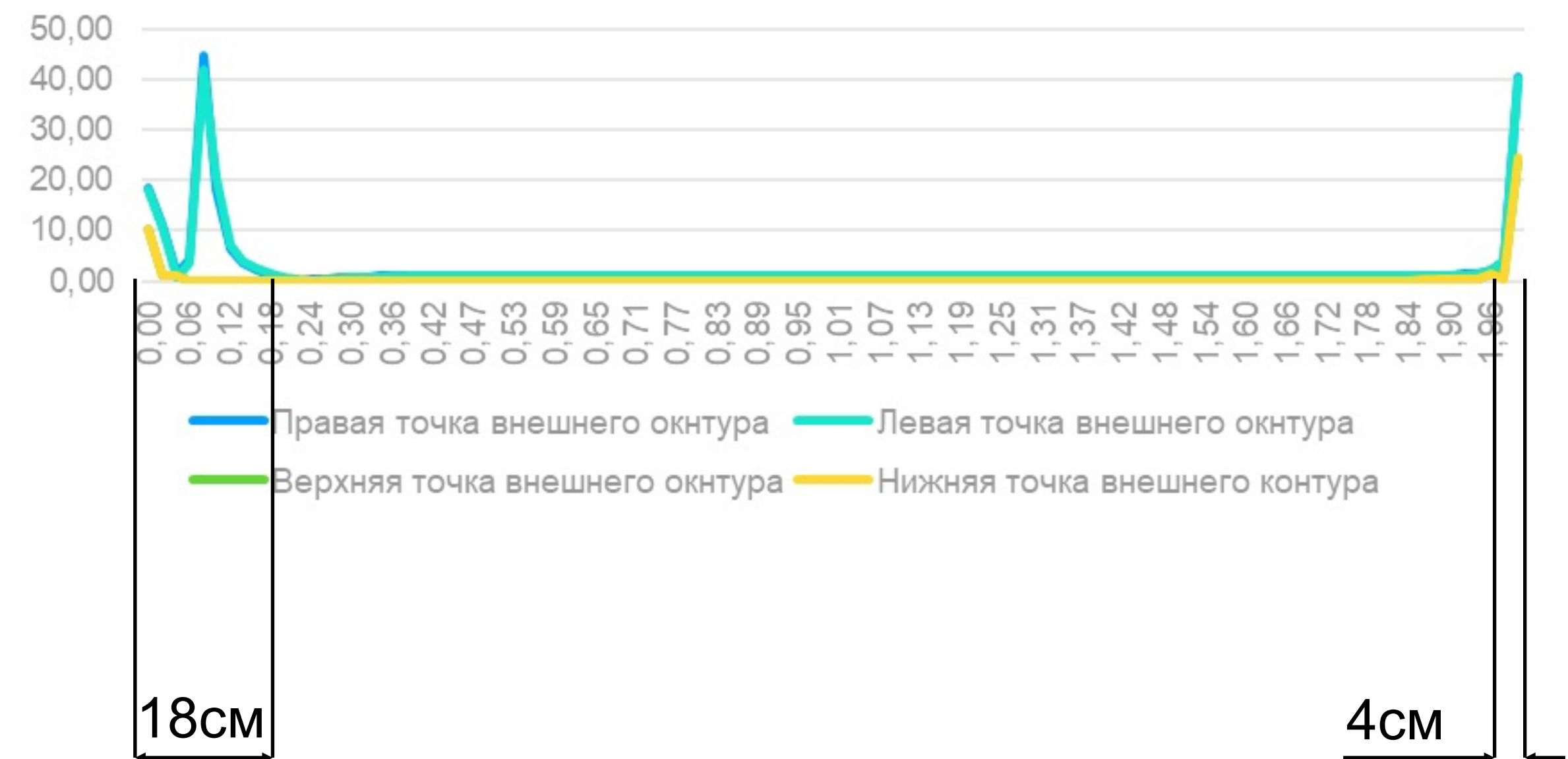
Рекомендации

По результатам сравнения с принятым за эталонное решение – при помощи оболочек, можно сделать вывод о том, что действительно вблизи заделки в среднем с использованием SOLID73 будет получен более точный результат. В среднем размер области составил 18см, что составляет 10% от длины стержня.

Наиболее приближенный график к среднему значению области повышенной ошибки по **перемещениям**



Наиболее приближенный график к среднему значению области повышенной ошибки по **напряжениям**



Результаты и выводы

1. Проведен анализ SOLID-элементов с вращательными степенями свободы:

1. Было получены моменты и напряженно-деформируемое состояние для 3х типов деформируемого твердого тела с применением SOLID73 и SOLID185.

2. Проведено исследование моментов, возникающих в SOLID-элементах:

1. С крутящим моментом наблюдается погранслойный эффект с наибольшими значениями на границе вдоль стержня, меньшие же значения внутри области;
2. При приложении изгибающего момента наблюдается концентрация моментов у конца приложения нагрузки и малые, но значимые значения у заделки, что также свидетельствует о наличии погранслойного эффекта.

3. Получено напряженно-деформируемое состояние с разными типами элементов:

1. Рассматривая перемещения, оказалось, что относительная ошибка независимо от типа элемента имеет большие отклонения у заделки, но при удалении от края эффект рассеивается;
2. Аналогично для напряжений наблюдаем всплеск относительной ошибки у заделки и у края приложения нагрузки;

По результатам сравнения с принятым за эталонное оболочечное решение можно сделать вывод о том, что действительно вблизи заделки в среднем с использованием SOLID73 будет получен более точный результат.

4. Установлено влияния абсолютно твердого тела, присоединенного на конце нагружаемого объекта, на напряженно-деформированное состояние вблизи края:

1. С увеличением прилагаемой силы рост ошибки не происходит.

Спасибо за внимание!