|  |  |
| --- | --- |
|  | **Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  **высшего образования**  **«Московский государственный технический университет**  **имени Н.Э. Баумана**  **(национальный исследовательский университет)»**  **(МГТУ им. Н.Э. Баумана)** |

ФАКУЛЬТЕТ «Фундаментальные науки»

КАФЕДРА «Вычислительная математика и математическая физика» (ФН-11)

**РАСЧЁТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**

**к курсовой работе на тему:**

*Исследование и решение задачи напряжённо-деформированного состояния в средах компьютерного моделирования Ansys и Manipula*

Дисциплина: *Механика сплошной среды*

Студент группы ФН11-71Б Н.С. Бородин

(Подпись, дата) (И.О.Фамилия)

Руководитель курсовой работы,

доктор физ.-мат. наук, профессор Ю.И. Димитриенко

(Подпись, дата) (И.О.Фамилия)

Оценка: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Москва, 2023

**СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Руководитель курсовой работы |  | Ю.И. Димитриенко |
|  | (Подпись, дата) | (И.О.Фамилия) |
| Исполнитель |  | Н.С. Бородин |
|  | (Подпись, дата) | (И.О.Фамилия) |

**СОДЕРЖАНИЕ**

[**ВВЕДЕНИЕ** ……………………………………………………………………….**4**](#_Toc153034790)

[**1** **Теоретическая часть** ………………………………………………………...**5**](#_Toc153034791)

[**1.1 Постановка задачи теории упругости 5**](#_Toc153034792)

[**1.2 Вариационная постановка задачи теории упругости 6**](#_Toc153034793)

[2 **Практическая часть** ……………………………………………………......**10**](#_Toc153034794)

[**2.1 Условие задачи 10**](#_Toc153034795)

[**2.2 Аналитическое решение 11**](#_Toc153034796)

[**2.3 Численное решение 16**](#_Toc153034797)

[**2.3.1 Создание геометрии 16**](#_Toc153034798)

[**2.3.2 Построение сетки и постановка задачи в Ansys 19**](#_Toc153034799)

[**2.3.3 Построение сетки и постановка задачи в Manipula 25**](#_Toc153034800)

[**2.3.4 Сравнение результатов расчетов численных решений 29**](#_Toc153034801)

[**2.4 Сравнение численного и аналитического решений 40**](#_Toc153034802)

[**ЗАКЛЮЧЕНИЕ** ………………………………………………………………...**43**](#_Toc153034803)

[**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ** ………………………..**44**](#_Toc153034803)

[**ПРИЛОЖЕНИЕ А** ……………………………………………………………...**45**](#_Toc153034804)

# ВВЕДЕНИЕ

Курсовая работа для студентов МГТУ им. Н.Э. Баумана является обязательной частью основной образовательной программы высшего образования, одной из форм организации учебного процесса.

Курсовая работа – вид учебной работы, направленный на развитие практических навыков и умений, а также формирование компетенций обучающихся в процессе выполнения определенных видов заданий, связанных с будущей профессиональной деятельностью. Таким образом, курсовая работа позволяет подготовить студента к написанию статей и других научных работ и является неотъемлемой частью процесса обучения.

Целью курсовой работы является решение задачи теории упругости, для получения углубленного и полного понимания предмета.

Задачами курсовой работы являются:

* изучение способов получения аналитических решений для перемещений и напряжений для простейших задач;
* ознакомление с программными комплексами “Ansys”, “Manipula” и “SolidWorks”;
* моделирование и решение задачи напряжённо-деформированного состояния изотропного тела с помощью программных комплексов «Ansys» и “Manipula”;
* сравнение полученных результатов.

# 1 Теоретическая часть

* 1. **Постановка задачи теории упругости**

Выпишем постановку линейно задачи теории упругости.

Уравнение равновесия:

где – тензор напряжений,

– плотность массовых сил,

– плотность тела.

Определяющие соотношения:

где – компонента тензора деформаций.

Соотношения Коши:

где – вектор перемещений.

Систему (1) - (3) замыкают граничные условия, индивидуальные для каждой задачи.

На границе может задаваться вектор усилий:

Или перемещение:

## 1.2 Вариационная постановка задачи теории упругости

Основанием для вариационной постановки задачи является вариационный принцип Лагранжа.

Полная потенциальная энергия упругой системы равна:

где – энергия деформаций,

– работа внешних сил.

Энергия деформации задается формулой:

Область тела разбивается на конечные элементы, характеризующиеся количеством узлов и функциями формы . Тогда в каждом конечном элементе перемещения выражаются следующим образом:

где = – координатный столбец в любой точке конечного элемента;

= – перемещения в узлах конечного элемента;

­– матрица функций формы.

Неравномерность распределения перемещений будем определять антиградиентом.

где

В данной работе в качестве конечных элементов выступают тэтраэдальные симплекс элементы. Для тетраэдального симплекс элемента:

Функции формы записываются в следующем виде:

Запишем:

Тогда получаем:

Деформации связаны с напряжениями через физические соотношения (закон Гука):

Где – матрица упругих характеристик. Для трехмерного изотропного материала она имеет вид:

где – модуль упругости,

– коэффициент Пуассона.

Внешние нагрузки в данном случае представляются в виде работы поверхностных сил:

где – компоненты вектора напряжений, параллельные координатным осям .

Подставим в формулу для потенциальной энергии:

Минимизируем потенциальную энергию, продифференцировав по и приравняв результат к нулю:

Это уравнение можно записать для отдельного элемента в виде:

где – локальная матрица жёсткости,

– локальный вектор правой части,

где – сила, приложенная к правому торцу стержня,

– длина стержня,

– площадь правого торца стержня,

– площадь грани тэтраэдра, к которой приложен момент.

На левом торце стрежня задана заделка. Это означает, что при построении глобальной матрицы жёсткости, внедиагональные элементы строк и столбцов, соответствующие узлам, лежащим на левом торце, обнуляются.

### 2 Практическая часть

## 2.1 Условие задачи

Конструкция: цилиндр с круговым сечением (Геометрия № 5);



Рисунок 1 – Примерное изображение геометрии (круговое сечение цилиндра)

Габариты сечения: внешний радиус – 0,25 м., толщина стенки – 0,016 м.;

Длина стержня: м.

Таблица 1 – Условие задачи

| № | Вариант геометрии | Внешнее давление | Внутреннее  давление | Граничные условия  левого торца | Граничные условия  правого торца | Сила на правом торце  z=L | | | Момент на правом торце  z=L | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | № | p+ | p- | z=0 | z=L | Fx | Fy | Fz | Mx | My |
| 3 | 5 | 0 | 0 | Uz=Uy=Ux=0 | нет | F | 0 | 0 | 0 | 0 |

## 2.2 Аналитическое решение

В качестве расчётной схемы рассмотрим одномерную задачу на прямой изгиб бруса при жёстком закреплении левого торца и действии силы на правом торце.

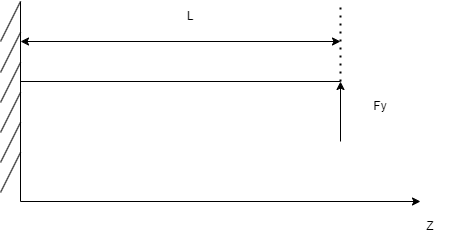


Рисунок 2 – Расчётная схема задачи

Тогда в брусе возникают продольные нормальные напряжения , одинаково распределенные в поперечных сечениях, параллельных координатной плоскости . Формула для расчета изгибных напряжений [1]:

где – расстояние от рассматриваемой точки до нейтральной линии;

– момент инерции относительно оси поперечного сечения;

– внутренний изгибающий момент, возникающий в поперечных сечениях.

Так как рассматривается прямой изгиб, то внутренним силовым фактором будет .

Чтобы вычислить 𝐽y, рассмотрим поперечное сечение стержня (Рисунок 3).



Рисунок 3 – Поперечное сечение стержня

Момент инерции для тонкостенного стержня:

В результате вычислений получено следующее значение момента инерции . Координата центра масс = . Полученные значения совпадают со значениями, полученными в программе SolidWorks для сечения стержня (Рисунок 5).

Подставляя полученные значения в выражение (22) строим эпюру:

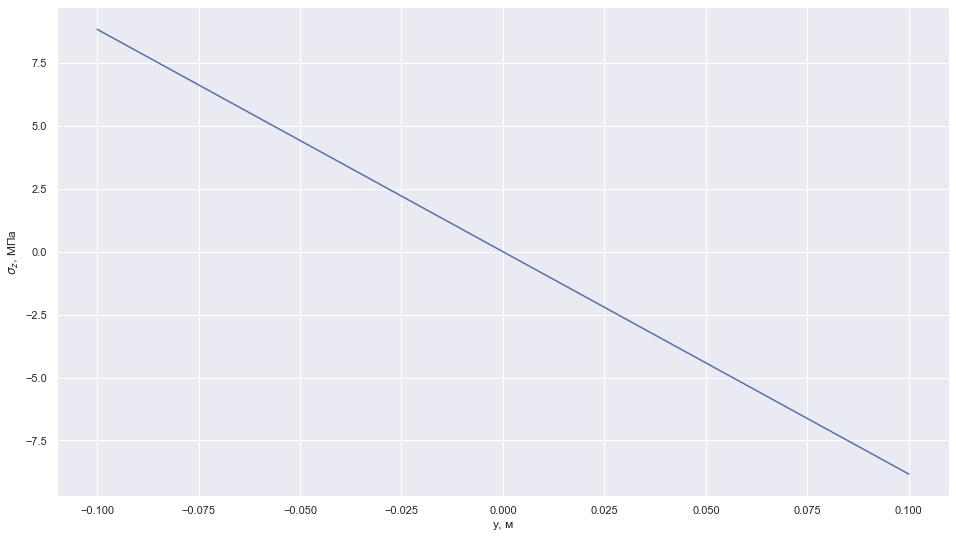


Рисунок 4 - Эпюра напряжений в зависимости от координаты точки

Деформации рассчитываются по следующей формуле:

Рассчитаем максимальные напряжение и деформацию, возникающие в брусе:

Модуль Юнга был взят , так как сталь с такими характеристиками будет использоваться для вычисления численного решения поставленной задачи.

Формула для вычисления прогиба по длине бруса:

Так как рассматривается случай малых перемещений, то уравнение можно упростить до следующего вида:

Решением уравнения и граничными условиями при условии жёсткой заделки будут:

Окончательно, получаем:

## 2.3 Численное решение

### 2.3.1 Создание геометрии

Создание геометрии заданной конструкции производится в программе SolidWorks. Осевая координата – это координата z. Вначале работы с программой нужно задать систему единиц измерения МКС (Рисунок 7). Геометрия сохраняется в файл формата IGES (.igs), который будет в дальнейшем импортирован в Ansys и Manipula. При сохранении задаём определённые опции (Рисунок 8) для совместимости геометрии с Manipula.

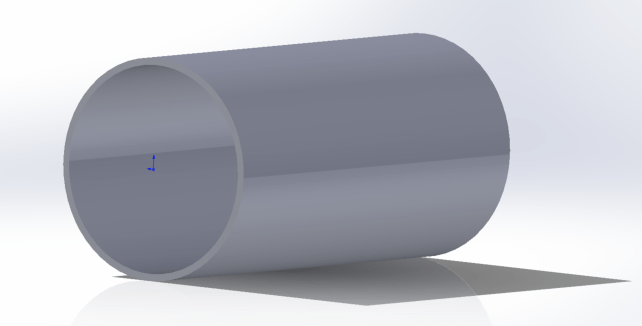


Рисунок 5 – Построенная конструкция



Рисунок 6 – Данные поперечного сечения цилиндра

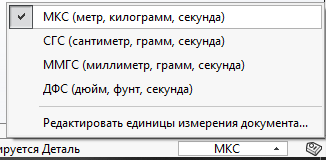


Рисунок 7 – Выбор системы единиц измерения в SolidWorks

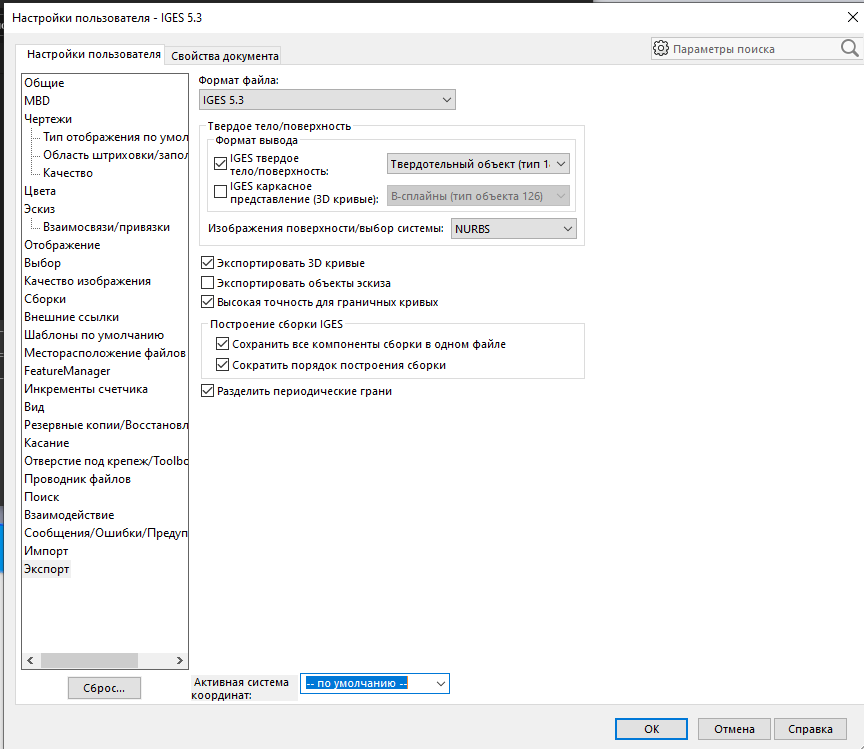


Рисунок 8 – Опции сохранения геометрии в SolidWorks

### 2.3.2 Построение сетки и постановка задачи в Ansys

Создаём проект в Ansys и перетаскиваем в рабочую область блок Static Structural, далее импортируем в добавленную задачу файл геометрии в формате IGES (Рисунок 9).

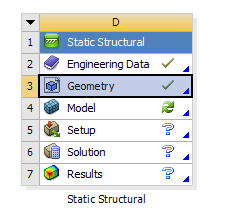


Рисунок 9 – Задача с добавленной геометрией в Ansys

Заходим в модуль Model. Выбираем в качестве материала тела Structural Steel (Рисунок 10) (обычно выбран по умолчанию). Запомним характеристики данного материала для дальнейшего выбора идентичного материала в программе Manipula (Рисунок 11).

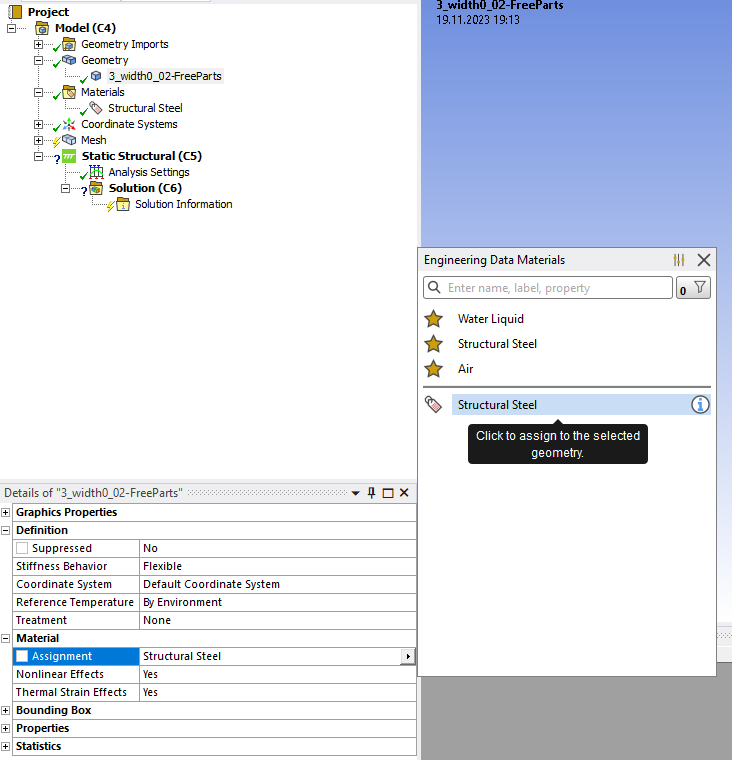


Рисунок 10 – Выбор материала тела в Ansys

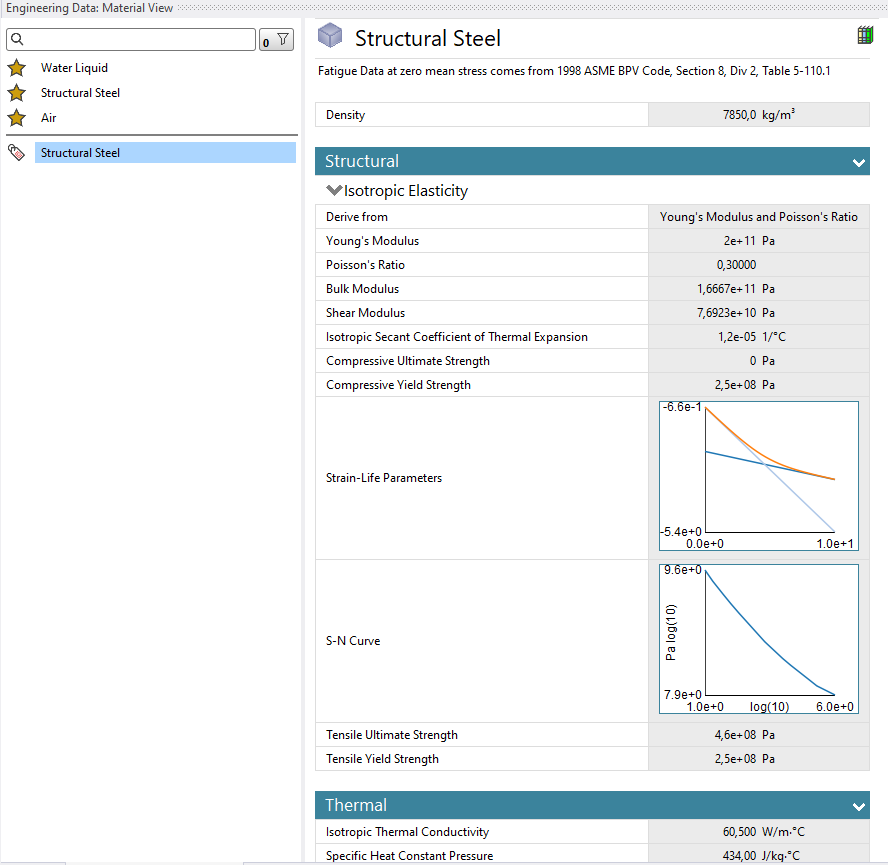


Рисунок 11 – Основные характеристики материала Structural Steel в Ansys

Далее добавляем в пункт Mesh элементы Method и Sizing (Рисунок 12). Выбираем метод триангуляции – с помощью тетраэдров, тип аппроксимации – линейный (Рисунок 13), а размер одного элемента – 0,005 м (Рисунок 14). После этого генерируем сетку с указанными параметрами (Рисунок 15).

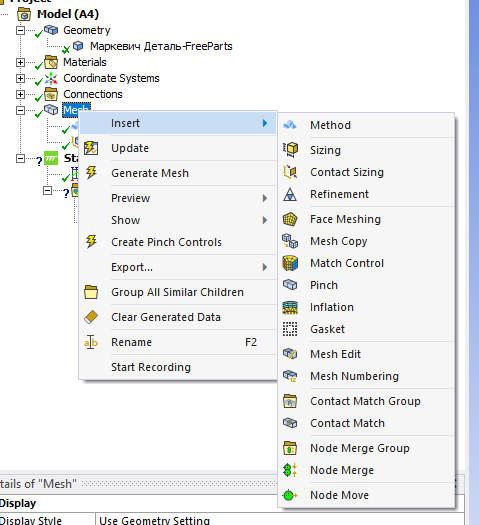


Рисунок 12 – Добавление элементов Method и Sizing в пункт Mesh

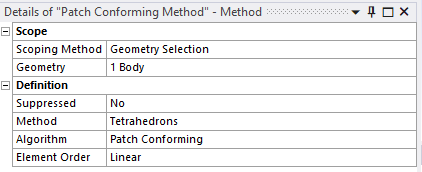


Рисунок 13 – Свойства элемента Method в Ansys

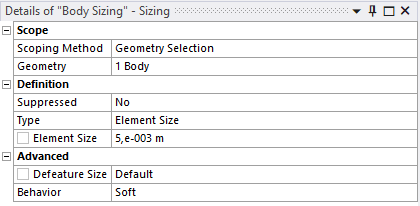


Рисунок 14 – Свойства элемента Sizing в Ansys



Рисунок 15 – Сгенерированная в программе Ansys сетка

Свойства сформированной в программе Ansys сетки приведены в Таблица 2.

Таблица 2 – Свойства сетки в Ansys

|  |  |
| --- | --- |
| *Свойство* | *Значение* |
| Количество узлов | 100711 |
| Количество конечных элементов | 377152 |

Для дальнейшего импорта сетки из Ansys в Manipula требуется разметить грани, на которых будут задаваться граничные условия. Для этого добавим в модель элемент под названием Named Selection (Рисунок 16) После этого добавляем такое выделение для всех граней, на которых мы планируем в будущем задавать граничные условия (Рисунок 17) и сохраняем сетку в формате Ansys Fluent (.msh).

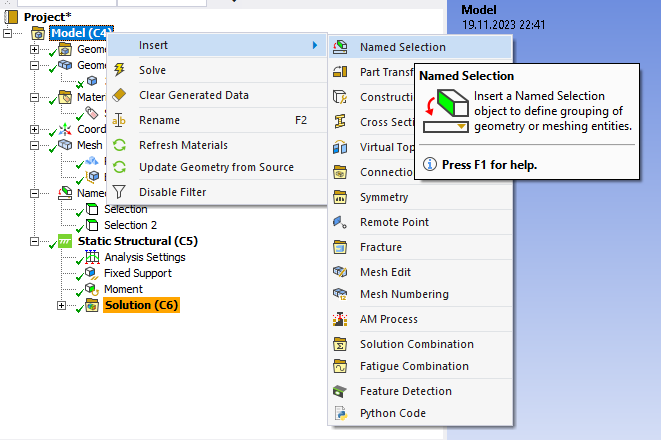


Рисунок 16 – Разметка граней у сетки в программе Ansys

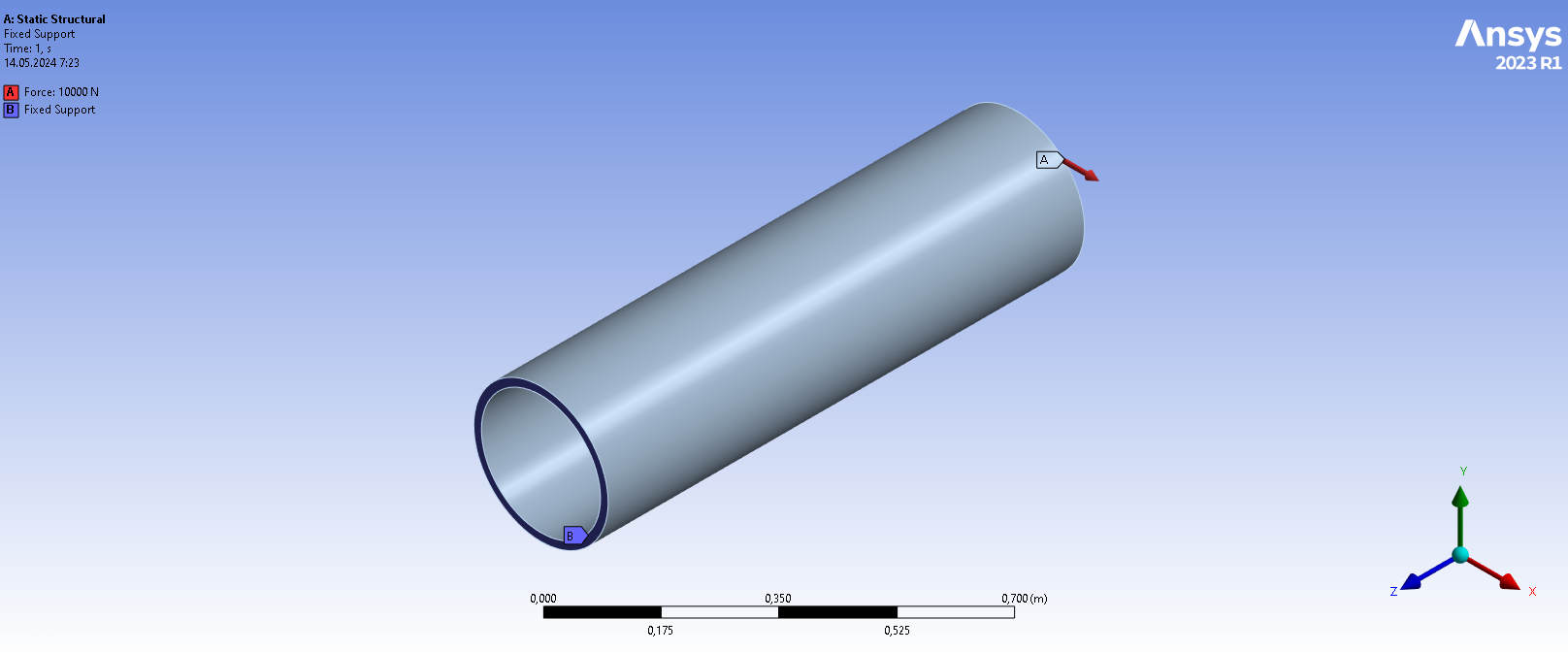


Рисунок 17 – Размеченные грани у сетки в программе Ansys

Далее задаем граничные условия: нулевые перемещения на левом торце (Рисунок 18) и силу по оси y величиной Н на правом торце (Рисунок 19).

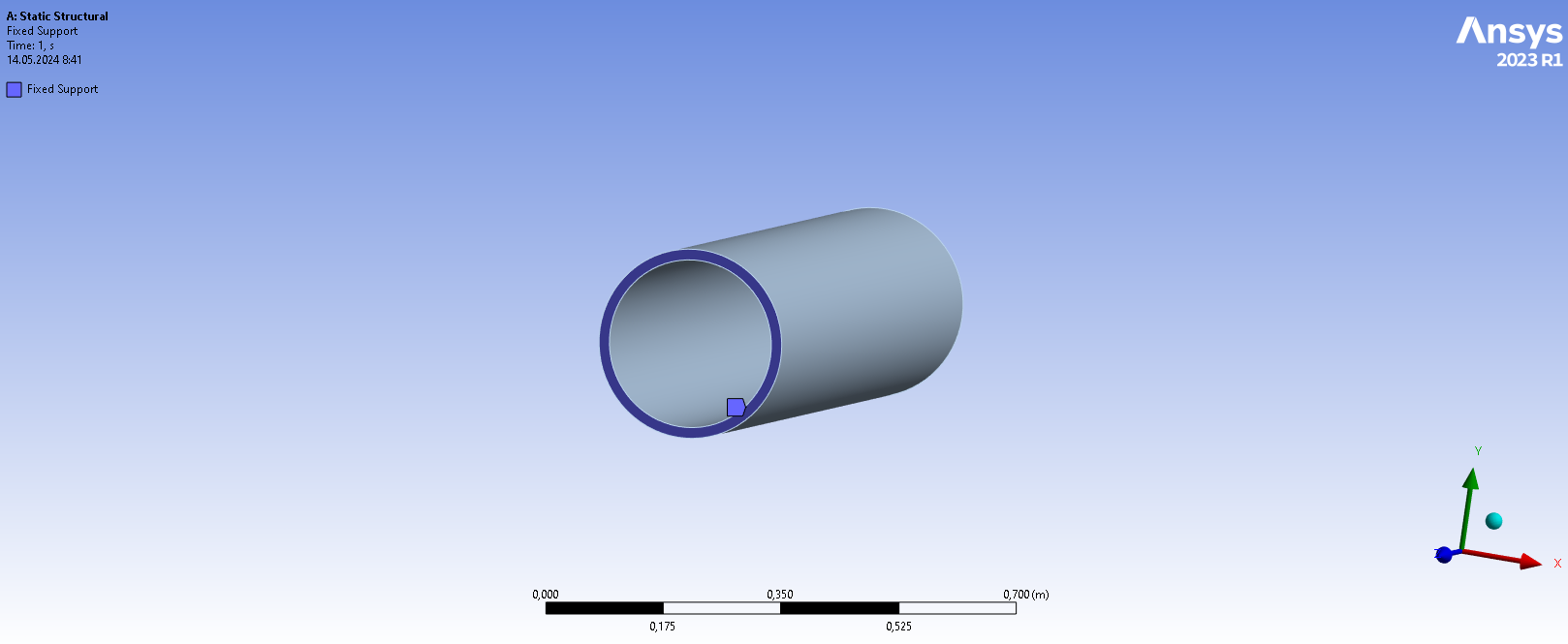


Рисунок 18 – Граничные условия левого торца в Ansys

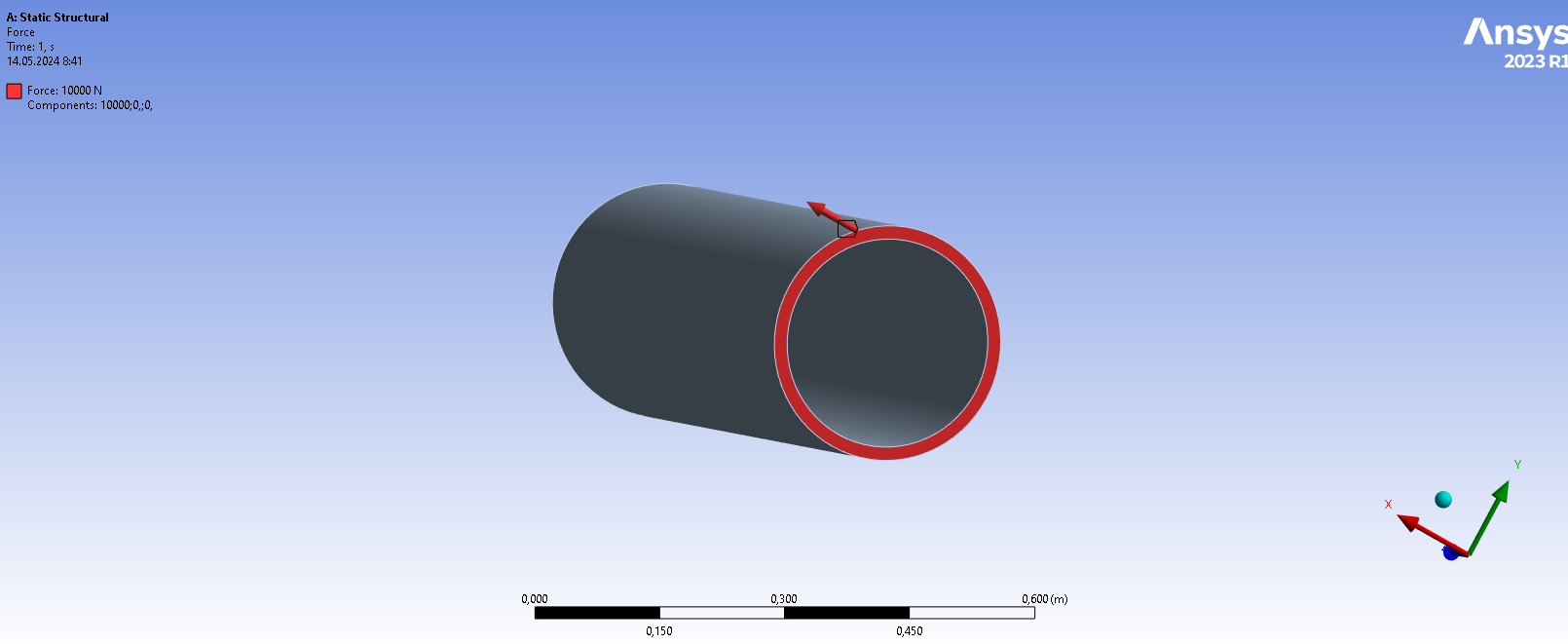


Рисунок 19 – Граничные условия правого торца в Ansys

Для получения непосредственного решения поставленной задачи задаем те параметры, которые мы хотим получить, а именно: перемещения по осям (Directional Deformation), нормальные и сдвиговые деформации по осям (Normal/Shear Elastic Strain), нормальные и сдвиговые напряжения (Normal/Shear Stress) и интенсивность тензора напряжений (Stress Intensity) (Рисунок 20).



Рисунок 20 – Параметры, вычисляемые в ходе решения в программе Ansys

### 2.3.3 Построение сетки и постановка задачи в Manipula

Создаём проект в Manipula и переносим в рабочую область два блока “Задача линейной упругости”. Соединяем их модули Свойства взаимосвязью, что синхронизует базу данных материалов (Рисунок 21). В первом блоке скрываем модуль “Геометрия”, в этом блоке мы будем решать задачу с сеткой, построенной в Ansys. Во втором блоке будет рассмотрена задача с сеткой, построенной в Manipula.

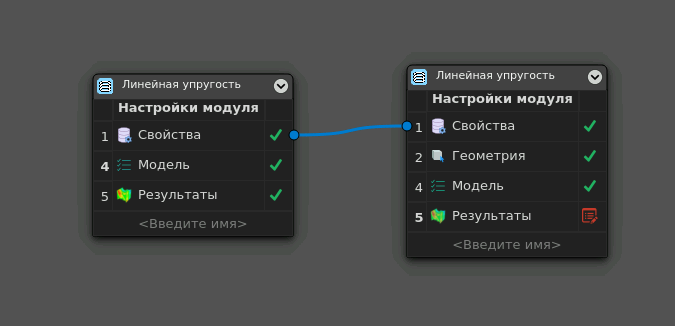


Рисунок 21 – Структура проекта в Manipula

В одном из блоков требуется выбрать материал в модуле “Свойства”. Выбираем материал “Сталь” и сверяем его характеристики с характеристиками материала, выбранного в Ansys, и убеждаемся, что эти материалы идентичны (Рисунок 22) для того, чтобы сравнение решений задач в Ansys и Manipula было корректно.

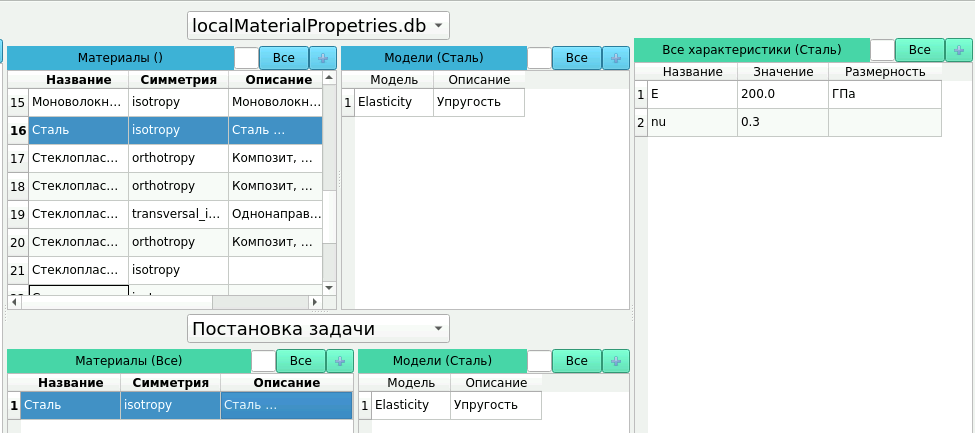


Рисунок 22 – Выбранный материала и его свойства в Manipula

В блоке со скрытым модулем “Геометрия” заходим в модуль “Модель” и импортируем сетку, созданную в Ansys (Рисунок 23).



Рисунок 23 – Импортированная сетка из Ansys в Manipula

В другом блоке импортируем геометрию, созданную в SolidWorks, и строим сетку (Рисунок 24) с типом конечных элементов “Тетраэдр” и размером элемента 0.006 м (такой размер был подобран эмпирически для того, чтобы свойства сетки, построенной в Manipula, были близки к свойствам сетки, построенной в программе Ansys).



Рисунок 24 – Сетка, построенная в Manipula

Сравним полученные свойства сеток, сгенерированных в программах Ansys и Manipula в Таблица 3.

Таблица 3 – Сравнение свойств сеток, построенных в программах Ansys и Manipula

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *Свойство* | *Значение для сетки в Ansys* | *Значение для сетки в Manipula* |
| Размер элемента | 0,005 м | 0,006 м |
| Количество узлов | 100711 | 190852 |
| Количество конечных элементов | 377152 | 923067 |

В обоих модулях выбираем материал тела “Сталь”, задаем граничные условия левого (Рисунок 25) и правого (Рисунок 26) торца через одноименный пункт в левом меню и добавляем в пункт “Решение” все то же, что было добавлено в Ansys.

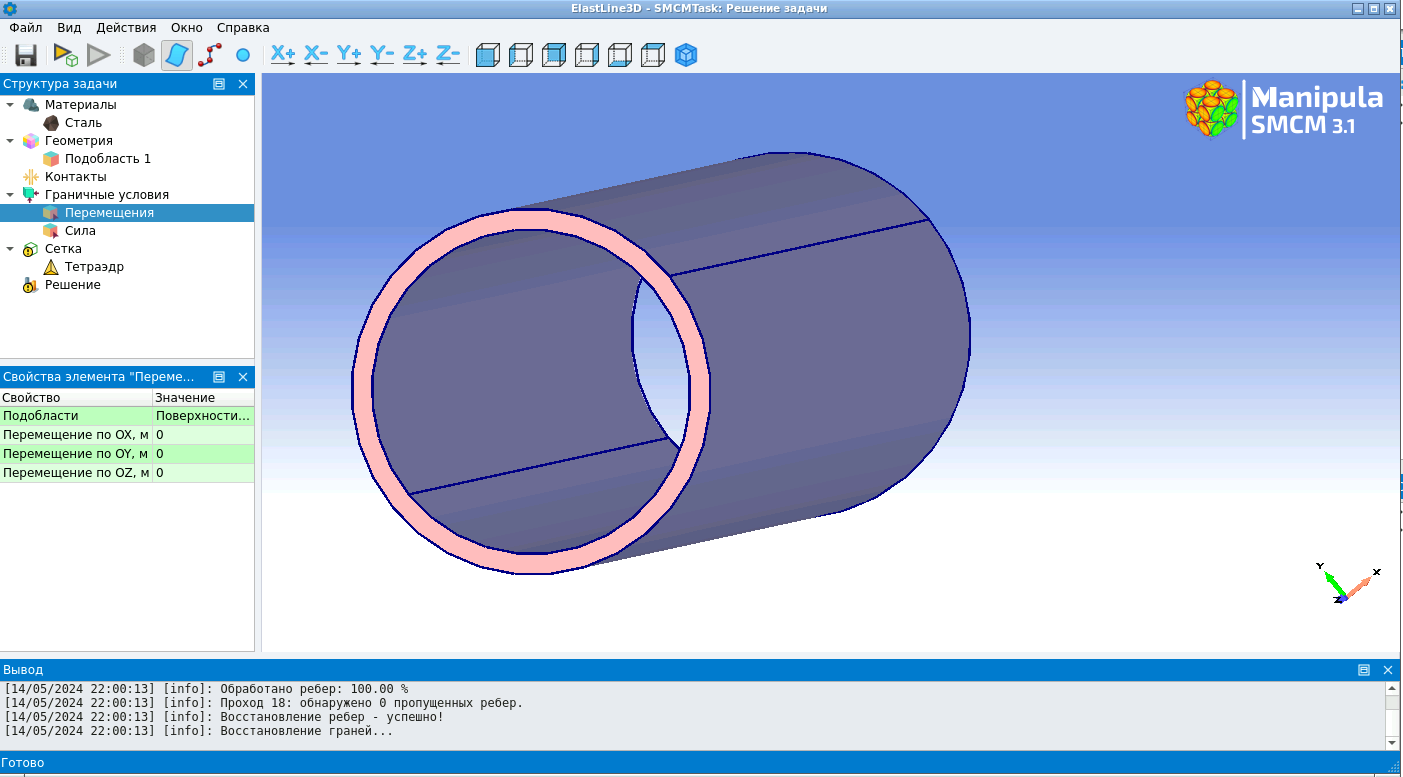


Рисунок 25 – Граничные условия левого торца в Manipula

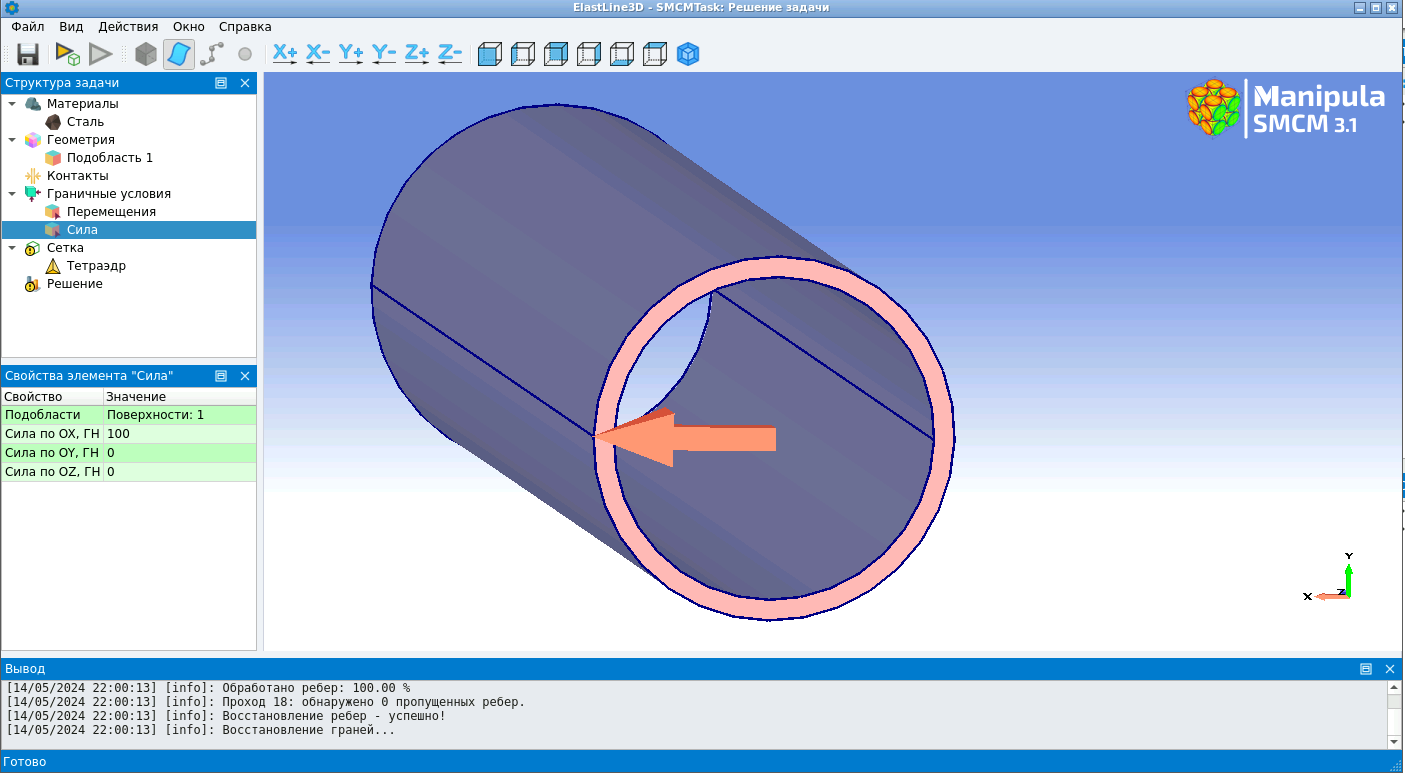


Рисунок 26 – Граничные условия правого торца в Manipula

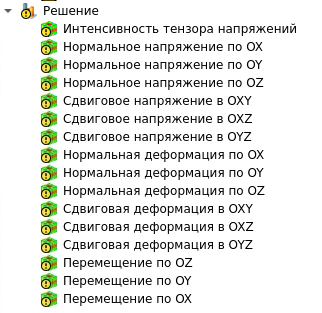


Рисунок 27 – Параметры, вычисляемые в ходе решения в программе Manipula

### 2.3.4 Сравнение результатов расчетов численных решений

При сравнении результатов расчетов на всех изображениях тело изображено свободным торцом к наблюдателю.

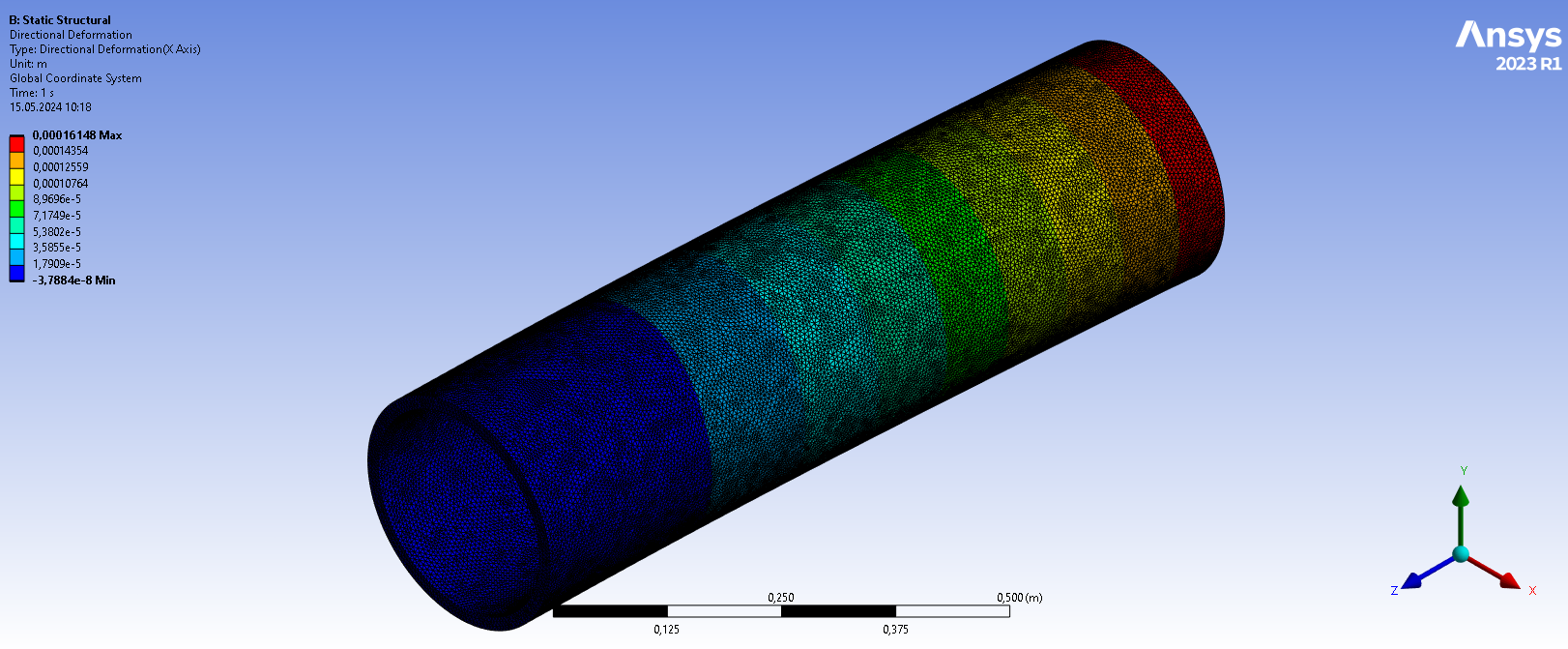


Рисунок 28 – Перемещения по Ox в Ansys, в Manipula с сеткой из Ansys и в Manipula с сеткой из Manipula

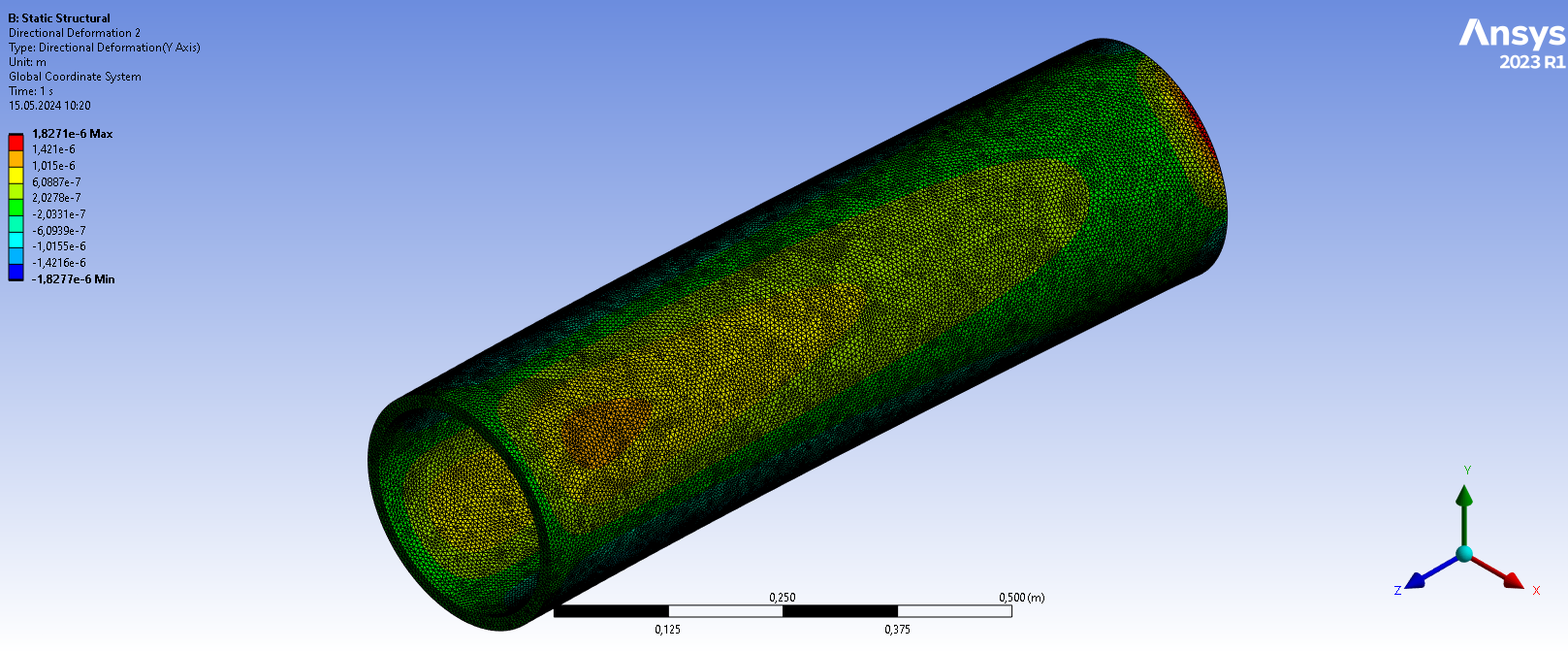


Рисунок 29 – Перемещения по Oy в Ansys, в Manipula с сеткой из Ansys и в Manipula с сеткой из Manipula

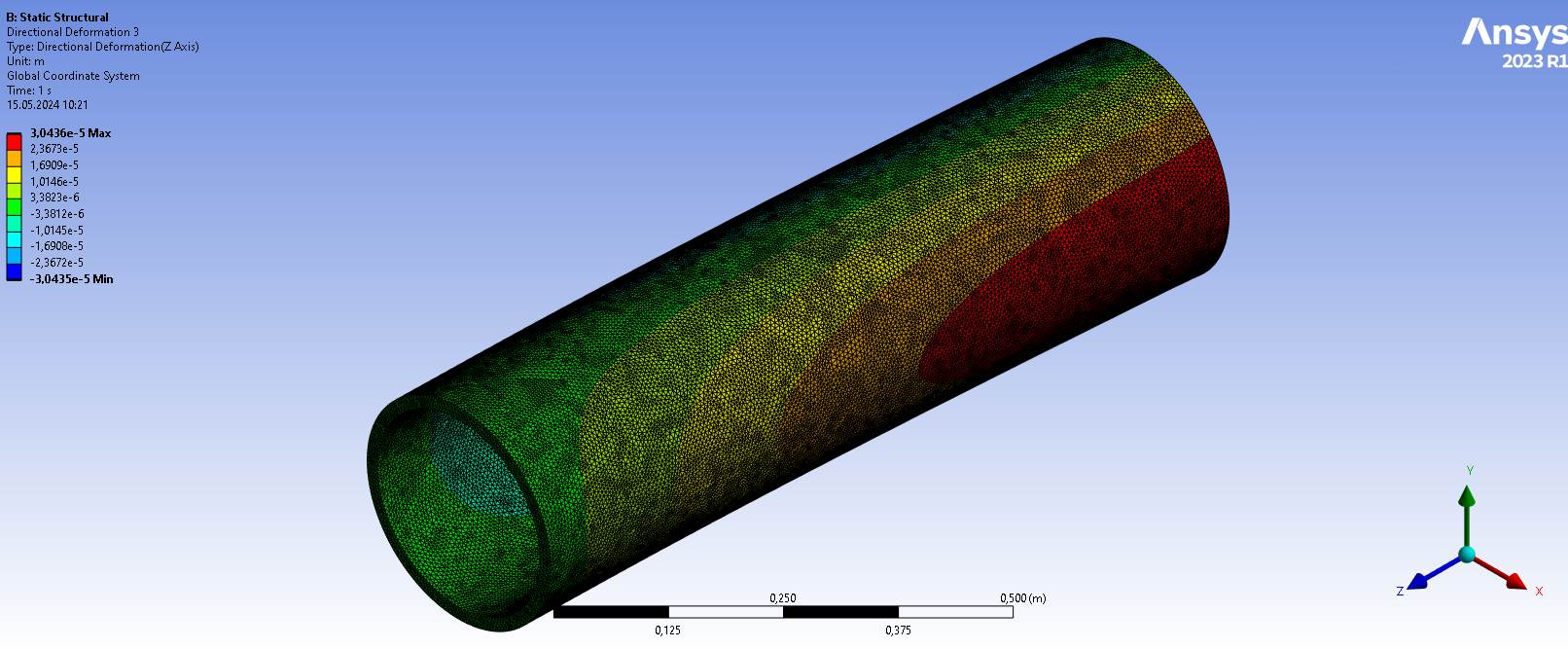


Рисунок 30 – Перемещения по Oz в Ansys, в Manipula с сеткой из Ansys и в Manipula с сеткой из Manipula

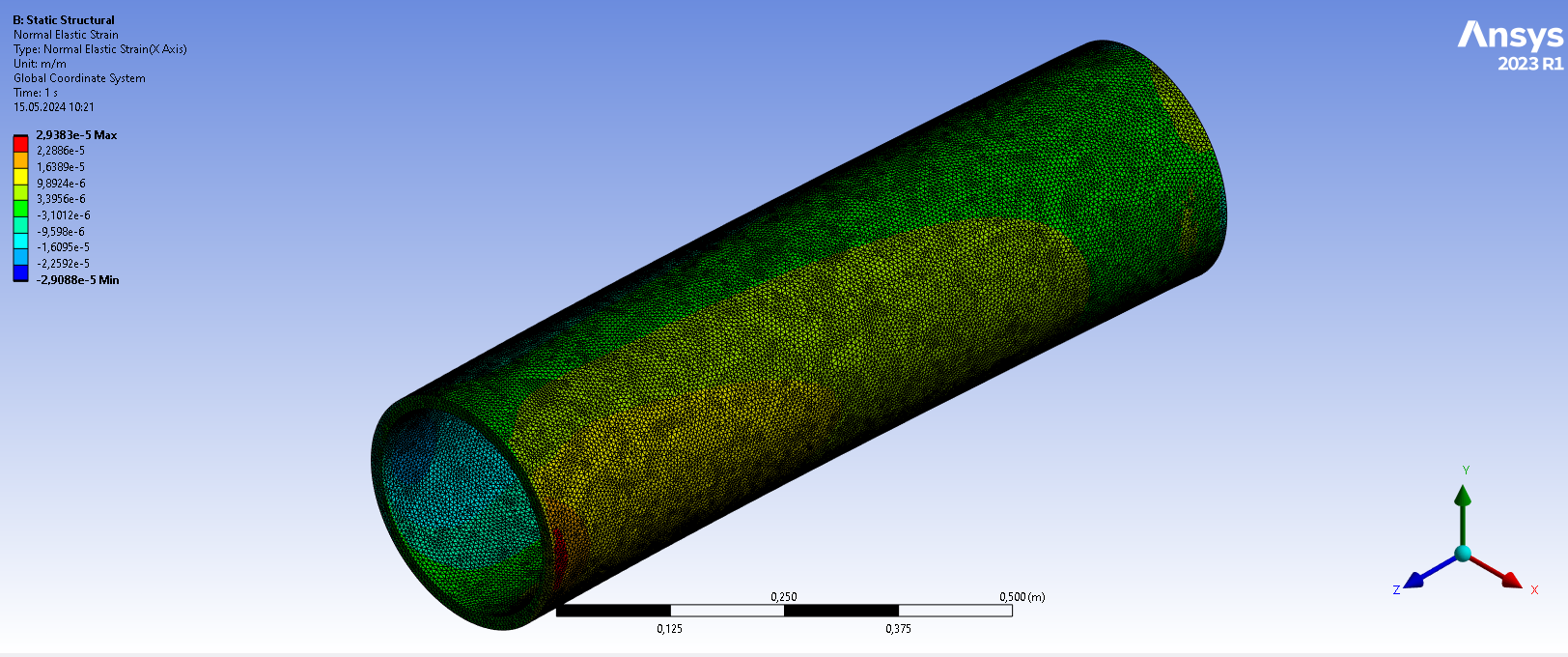


Рисунок 31 – Нормальные компоненты тензора деформаций по Ox в Ansys, в Manipula с сеткой из Ansys и в Manipula с сеткой из Manipula

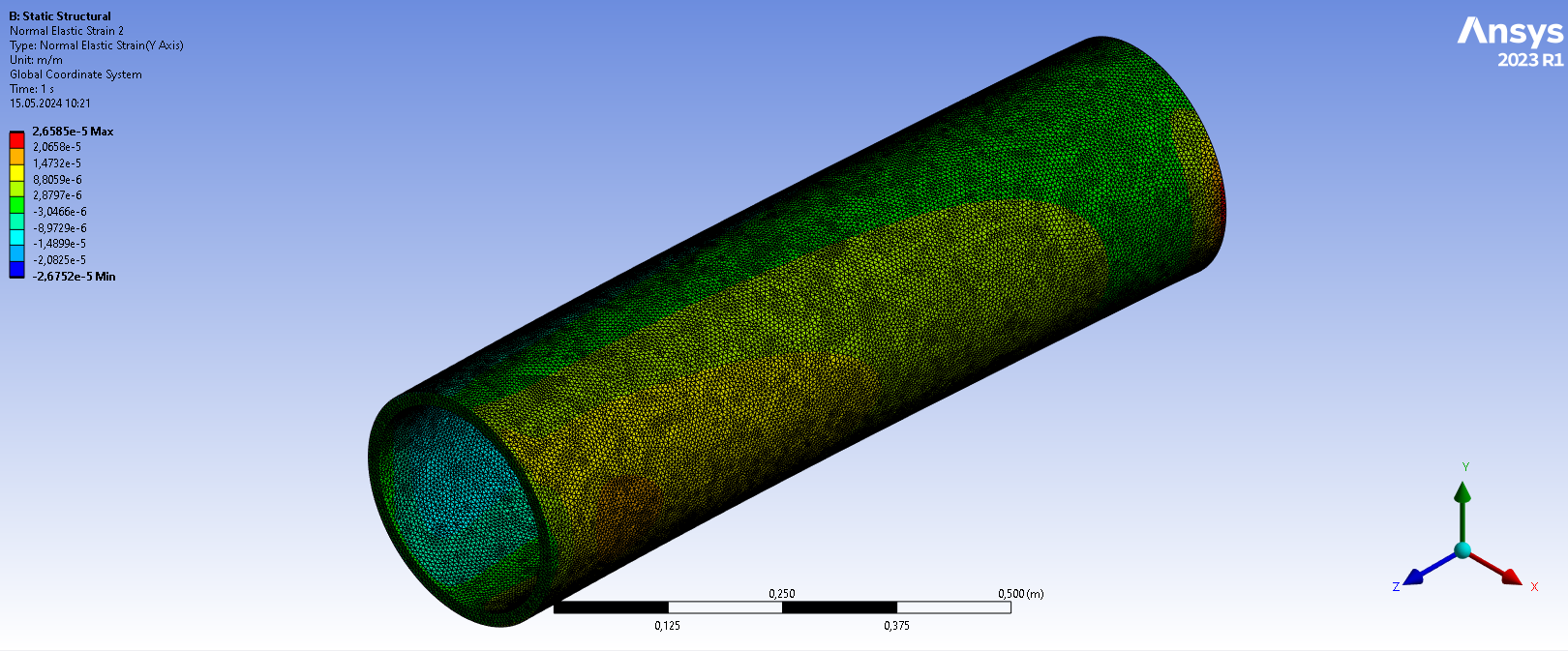


Рисунок 32 – Нормальные компоненты тензора деформаций по Oy в Ansys, в Manipula с сеткой из Ansys и в Manipula с сеткой из Manipula

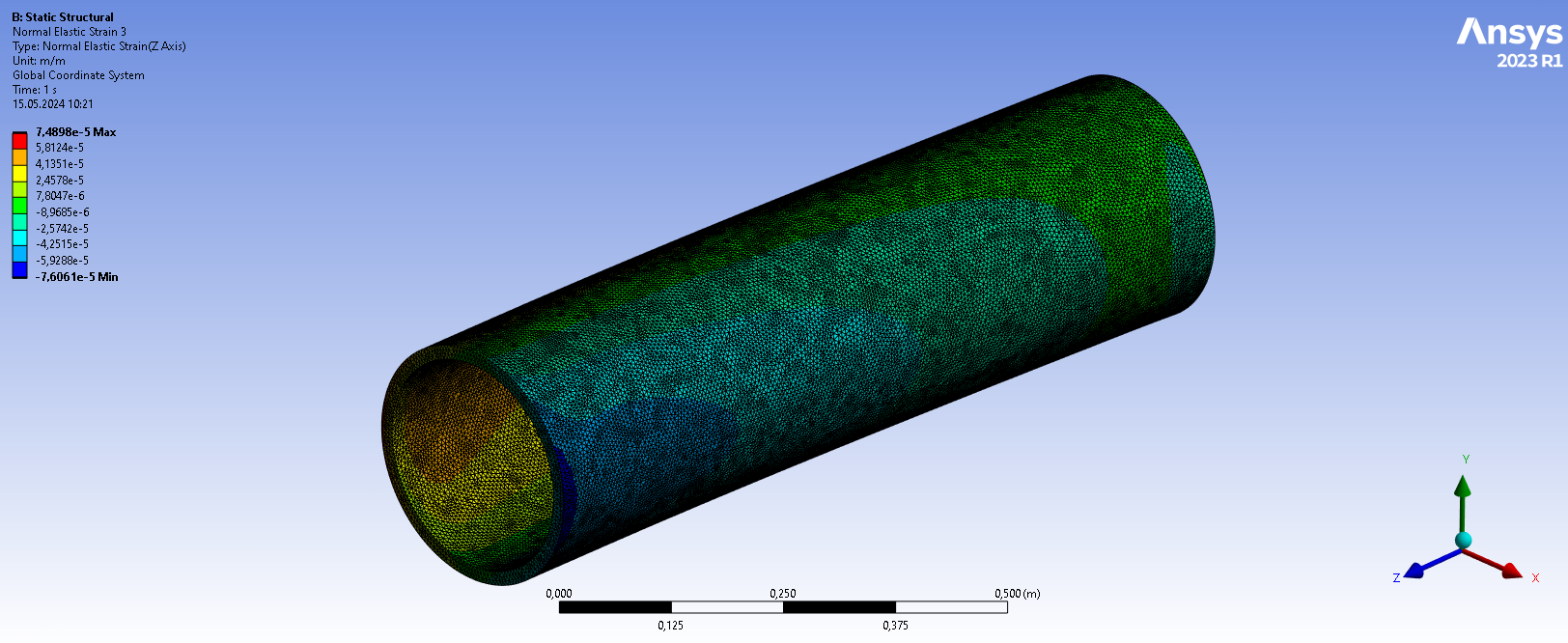


Рисунок 33 – Нормальные компоненты тензора деформаций по Oz в Ansys, в Manipula с сеткой из Ansys и в Manipula с сеткой из Manipula

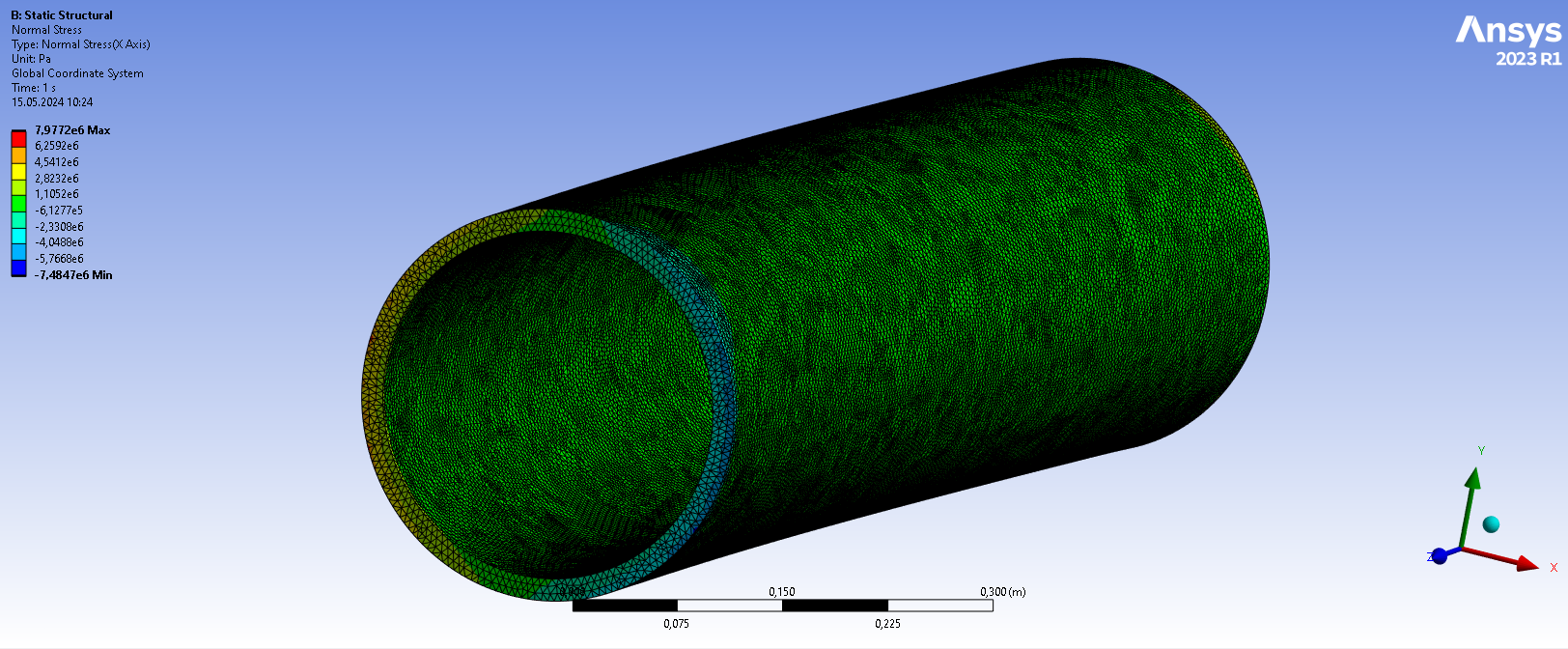


Рисунок 34 – Нормальные компоненты тензора напряжений по Ox в Ansys, в Manipula с сеткой из Ansys и в Manipula с сеткой из Manipula

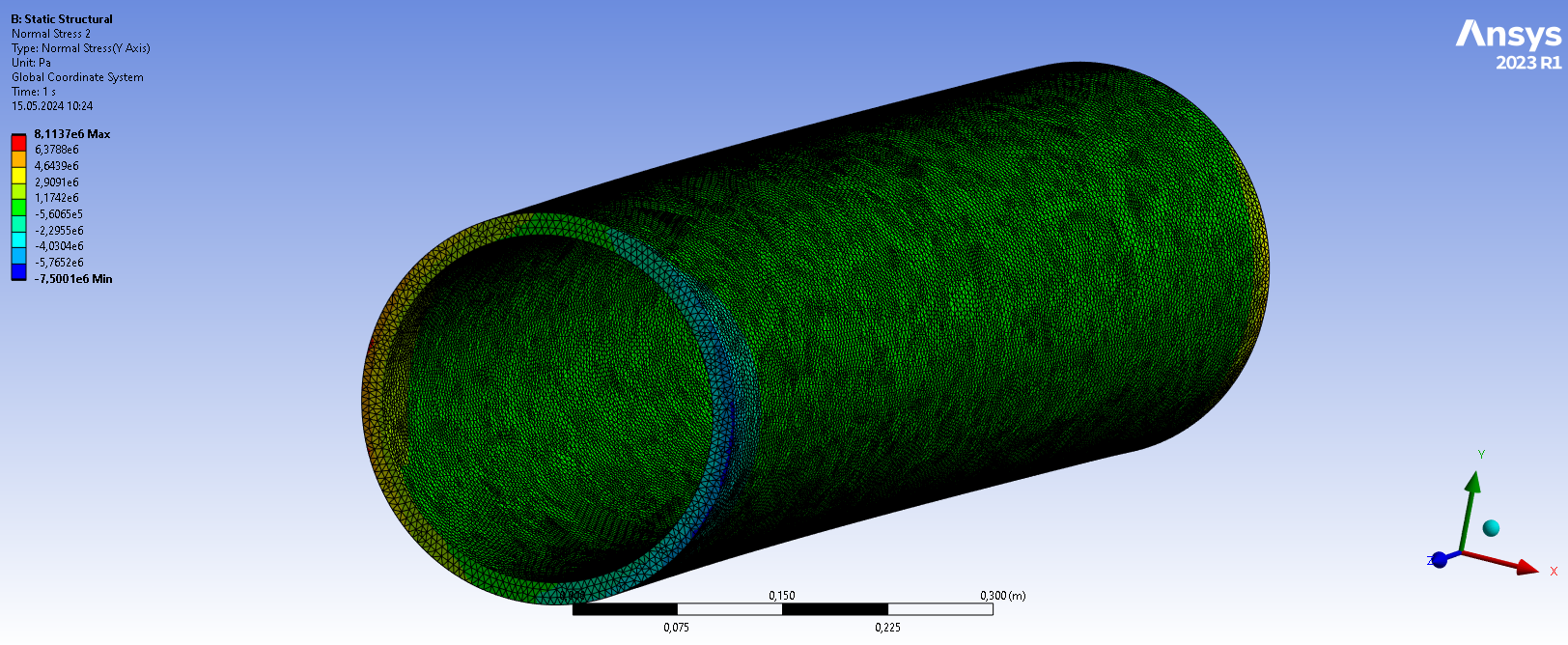


Рисунок 35 – Нормальные компоненты тензора напряжений по Oy в Ansys, в Manipula с сеткой из Ansys и в Manipula с сеткой из Manipula

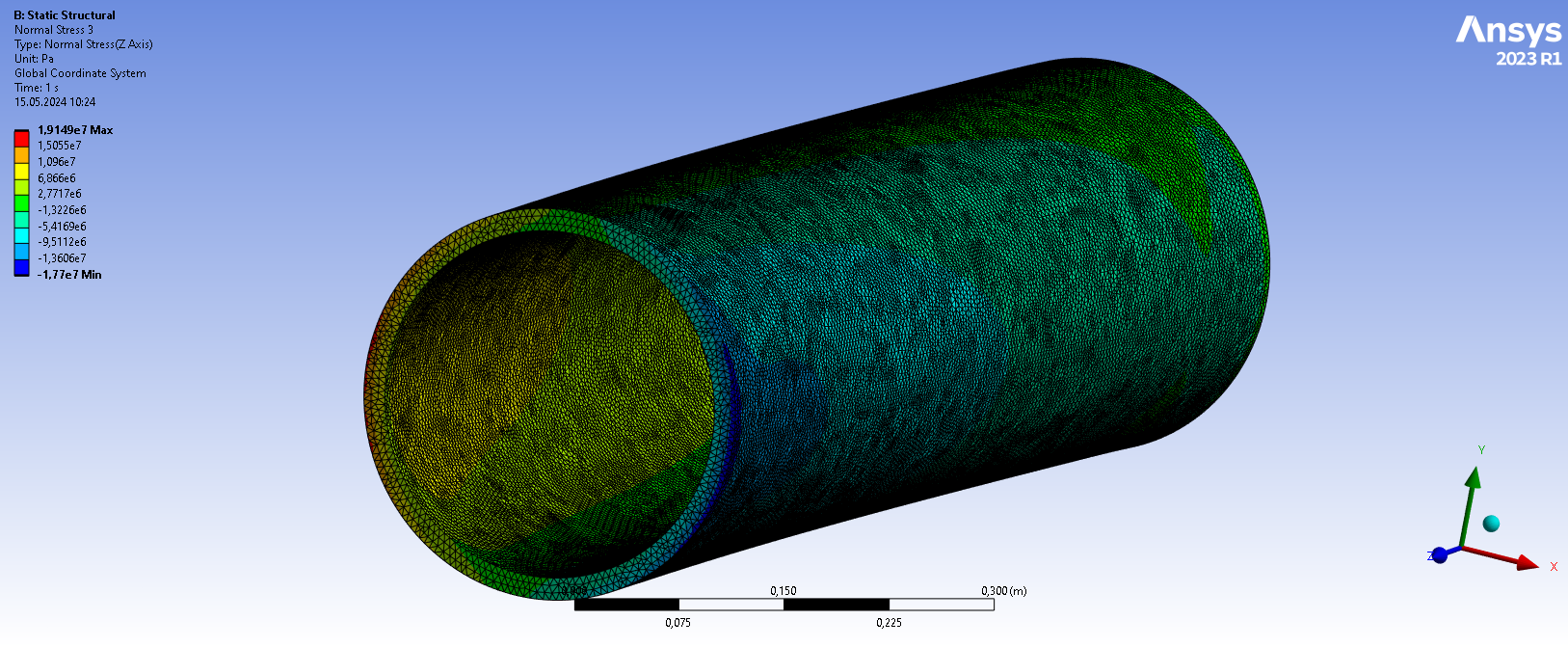


Рисунок 36 – Нормальные компоненты тензора напряжений по Oz в Ansys, в Manipula с сеткой из Ansys и в Manipula с сеткой из Manipula

Таблица 4 – Сводная таблица результатов расчетов

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Данные | | Ansys | Manipula | |
| Сетка Ansys | Сетка Manipula |
| Перемещения по Ox, м | min | -3,2554e-008 m | -3.788415e-08 | -6,8610e-06 |
| max | 1,5343e-004 m | 0.000161 | 6,8538e-06 |
| Перемещения по Оy, м | min | -1,6718e-006 m | -1.8276529651219512e-06 | -7,9623e-08 |
| max | 1,6708e-006 m | 1.8271254238287263e-06 | 2,0263e-04 |
| Перемещения по Оz, м | min | -2,8891e-005 m | -3.043528875905772e-05 | -2,6171e-05 |
| max | 2,8896e-005 m | 3.0436459124923835e-05 | 2,1144e-05 |
| Нормальные деформации по Ox, м/м | min | -2,8074e-005 m/m | -2.9088325767831889e-05 | -3,8588e-05 |
| max | 2,8314e-005 m/m | 2.9382746974603798e-05 | 4,5887e-05 |
| Нормальные деформации по Oy, м/м | min | -2,4257e-005 m/m | -2.6751614470639974e-05 | -4,8710e-05 |
| max | 2,4367e-005 m/m | 2.6584674387256418e-05 | 2,2600e-05 |
| Нормальные деформации по Oz, м/м | min | -6,7939e-005 m/m | -7.6061421382528564e-05 | -7,5639e-05 |
| max | 6,7823e-005 m/m | 7.4897578760424417e-05 | 6,5085e-05 |
| Сдвиговые деформации в XY, м/м | min | -2,6491e-005 m/m | -1.4255984573148384e-05 | -2,4506e-05 |
| max | 2,6501e-005 m/m | 1.4385013659640612e-05 | 2,5242e-05 |
| Сдвиговые деформации в YZ, м/м | min | -1,9677e-005 m/m | -1.1632382617099245e-05 | -0,866e-05 |
| max | 2,1029e-005 m/m | 1.0158021201849922e-05 | 3,2613e-05 |
| Сдвиговые деформации в XZ, м/м | min | -4,4923e-005 m/m | -2.4789523853396231e-05 | -3,2709e-05 |
| max | 6,8663e-006 m/m | 4.6207195796048015e-06 | 3,0894e-05 |
| Нормальные напряжения по Ox, Па | min | -6,6452e+006 Pa | -0.0074847453785386901 | 0,8264e+07 |
| max | 7,8007e+006 Pa | 0.007977203081004372 | 0,9392e+07 |
| Нормальные напряжения по Oy, Па | min | -6,5169e+006 Pa | -0.0075001072411328999 | -1,1173e+07 |
| max | 7,7046e+006 Pa | 0.0081136736639316528 | 0,5313e+07 |
| Нормальные напряжения по Oz, Па | min | -1,6831e+007 Pa | -0.017699825280824005 | -1,9648e+07 |
| max | 1,7929e+007 Pa | 0.019148874373981238 | 1,5821e+07 |
| Сдвиговые напряжения в XY, Па | min | -2,1321e+006 Pa | -0.0021932283958689823 | -3,7701e+06 |
| max | 2,1329e+006 Pa | 0.0022130790245600942 | 3,8834e+06 |
| Сдвиговые напряжения в YZ, Па | min | -1,5837e+006 Pa | -0.0017895973257075759 | -1,3333e+06 |
| max | 1,6925e+006 Pa | 0.0015627724925922958 | 5,0173e+06 |
| Сдвиговые напряжения в XZ, Па | min | -3,6156e+006 Pa | -0.0038137729005224977 | -5,0322e+06 |
| max | 5,5263e+005 Pa | 0.00071087993532381556 | 4,7529e+06 |
| Интенсивность тензора напряжений, Па | min | 1,1716e+005 Pa | 0.00018659641554737822 | 3,0440e+05 |
| max | 1,5505e+007 Pa | 0.01484064090836543 | 1,4922e+07 |

## 2.4 Сравнение численного и аналитического решений

Теперь сравним найденные численные и аналитические решения задачи. Для этого приведём совместные графики нормального напряжения 𝜎𝑧 на ребрах, параллельных оси 𝑂𝑌, расположенных на передней и задней грани бруса, а также прогиб 𝑢𝑦 для ребра, параллельного оси OZ.

Далее показаны совместные графики решений:

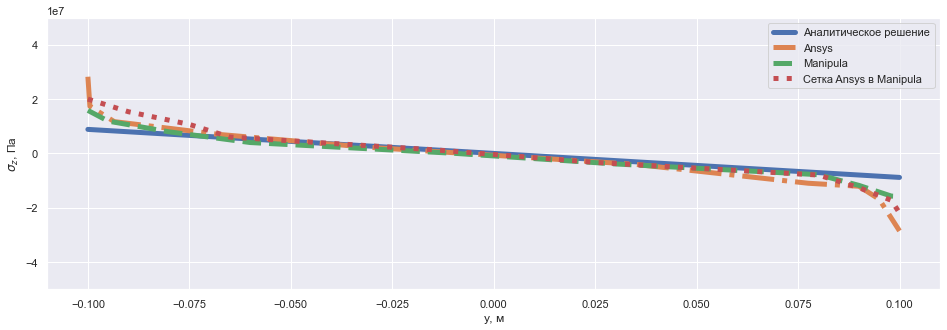


Рисунок 40 – График на левом торце бруса

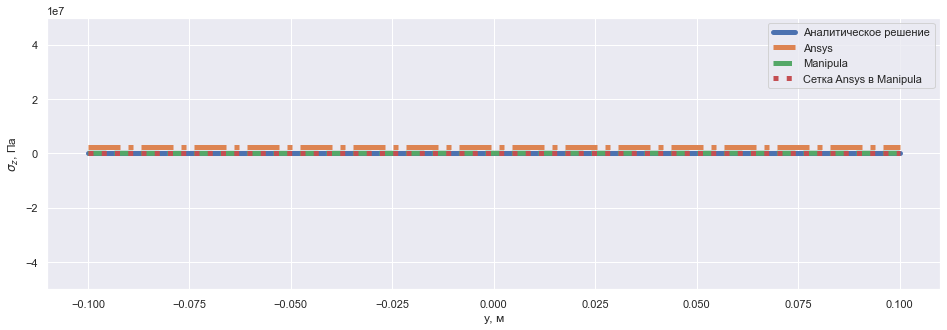


Рисунок 41 – График на правом торце бруса



Рисунок 42 – График на ребре бруса, параллельном оси OZ

Как видим из полученных графиков, численные решения для на левой стенке бруса и для получились очень близкими между собой. Краевые эффекты для на левой стенке бруса наблюдаются при 𝑦<~−0,075 м и при 𝑦> ~0,075 м. Вне этого диапазона значения численных и аналитических решений получились практически идентичными. Численные решения для прогибов практически совпадают по всей длине бруса. Большая погрешность численных решений по сравнению с аналитическим связана с несоответствием между реальным телом и принятой моделью, так как длина бруса по условию задачи сопоставима с его шириной и высотой.

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения курсовой работы была рассмотрена задача о расчете напряжённо-деформированного состояния цилиндрического тела при наличии заделки на одном конце и момента, приложенного к незакреплённому торцу. Для соответствующего анализа были проведены сравнительные расчеты по 3 способам: с помощью Ansys, Manipula с сеткой из Ansys и Manipula с собственной сеткой. Далее было произведено сравнение полученных численных решений с аналитическим для напряжений , деформаций и перемещений по Ox.

По итогу было достигнуто следующее:

* в рамках программного комплекса САПР “SolidWorks” была построена и проанализирована геометрия цилиндрического стрежня трапецеидального сечения;
* была решена задача напряжённо-деформированного состояния в рамках систем компьютерного моделирования “Ansys” и “Manipula”;
* эта же задача была решена аналитическим способом для напряжений , деформаций и перемещений по Ox;
* был произведен сравнительный анализ полученных результатов.

# СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Димитриенко, Ю. И. Механика сплошной среды : учебное пособие : в 4 томах / Ю. И. Димитриенко. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011 — Том 4 : Основы механики твердых сред — 2013. — 623 с;
2. Нотация Фойгта – URL: https://ru.zahn-info-portal.de/wiki/Voigt\_notation;
3. ГОСТ 8.417-2002 «Единицы величин»;

4. ГОСТ 7.12-93 «Библиографическая запись. Сокращение слов на русском языке. Общие требования и правила»;

5. ГОСТ 7.54-88 «Представление численных данных о свойствах веществ и материалов в научно-технических документах. Общие требования»;

6. ГОСТ 25123-82 (СТ СЭВ 1625-79) «Техническое задание. Порядок построения, изложения и оформления»;

7. ГОСТ 19.101-77 «Виды программ и программных документов»;

8. ГОСТ 2.105-95 «Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам».

# ПРИЛОЖЕНИЕ А

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**

**высшего образования**

**«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана**

**(национальный исследовательский университет)»**

**(МГТУ им. Н.Э. Баумана)**

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой ФН-11

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Ю.И. Димитриенко

«2 » сентября 2023 г.

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение курсовой работы**

по дисциплине «Механика сплошной среды»

Студент группы ФН11-71Б Маркевич Д.С.

Тема курсовой работы: *Исследование и решение задачи напряжённо-деформированного состояния в средах компьютерного моделирования Ansys и Manipula*

Направленность КР: учебная

Источник тематики: кафедра

График выполнения работы: 25% к 5 нед., 50% к 8 нед., 75% к 11 нед., 100% к 14 нед.

***1. Задание***

* 1. Создать конструкцию в программе SolidWorks, согласно варианту.
  2. Загрузить конструкцию в программу Ansys, построить сетку, сохранить ее. Далее произвести расчет напряжений и деформаций в программе Ansys.
  3. Загрузить сетку из Ansys в программу Manipula, произвести расчет напряжений и деформаций.
  4. Загрузить конструкцию из SolidWorks в Manipula, построить сетку и произвести расчет напряжений и деформаций
  5. Проделать теоретический расчет задания, используя решение для задачи о цилиндрической конструкции со своим вариантом геометрии и граничных условий.
  6. Сравнить результаты аналитического решения и результаты численного решения, полученных с помощью Ansys и Manipula.

***2. Оформление курсовой работы***

2.1 Расчетно-пояснительная записка объёмом от 20 листов формата А4.

2.2 Перечень графического материала (плакаты, схемы и т.п.) \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

2.3 Электронную версию готовой курсовой работы (формат Word) выслать в электронный архив кафедры – на адрес электронной почты archive-fn@mail.ru

Дата выдачи задания «2» сентября 2023 г.

**Руководитель курсовой работы** \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Ю.И.Димитриенко

**Студент** \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Н.С. Бородин