

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Механико-математический факультет
Кафедра название

ОТЧЕТ
о прохождении преддипломной практики

Направление/Специальность: 01.03.01 "Математика"

Студент группы ММТ _____ Марокин П.Е.
Руководитель практики, д.т.н., _____ Аптуков В.Н.
Профессор, зав. кафедрой

Сроки прохождения практики с «27» марта 2023 г. по «24» мая 2023 г.

Введение

Прохождение преддипломной практики включает в себя изучение программы ANSYS для решения трехмерных упруго-пластических задач.

ANSYS является программой с многоцелевой направленностью, позволяющей решать различные физико-механические задачи.

Объектом исследования является тубинговая конструкция крепи шахтного ствола.

Предметом исследования является механическое поведение тубинговой крепи ствола.

Цель работы – провести анализ особенностей распределения напряженно-деформированного состояния тубинга под действием горного давления грунта

Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

1. Рассмотреть теоретические аспекты МКЭ и ознакомиться с программным комплексом ANSYS;
2. Поставить и решить упруго-пластическую задачу о действии горного давления на тубинговую крепь;
3. Численно проанализировать влияние геометрических и механических параметров на особенности напряженно-деформированного состояния тубинга.

Актуальность работы

Актуальность построения и анализа математических моделей тубинговой крепи шахтных стволов подтверждается наличием разрушений крепи в тех или иных горно-геологических условиях на практике. Данная задача не может быть решена аналитически, численное моделирование поможет сократить время на проектирование и анализ различных нарушений прочности крепи.

Практическая значимость данной работы состоит в том, что её результаты могут быть использованы при дальнейшем построении более сложных моделей тубинговой крепи, учитывающих большее количество реальных факторов.

Сущность МКЭ

Метод конечных элементов является численным методом решения дифференциальных уравнений с частными производными и интегральных уравнений, которые возникают при решении задач прикладной физики, таких как механика деформируемого твердого тела, теплообмен, гидродинамика и электродинамика.

Главная идея метода заключается в возможности аппроксимировать любую непрерывную величину в заданной области с помощью дискретной модели, состоящей из кусочно-непрерывных функций.

Кусочно-непрерывные функции строятся на основе значений непрерывной величины в узлах. Следовательно, чтобы решить задачу нахождения непрерывной величины, необходимо определить ее значения в узлах.

Основные этапы МКЭ

Основные этапы создания дискретной модели неизвестной величины следующие:

1. В исследуемой области задается конечное число точек, т.е. узлов
2. Значения непрерывной величины в каждом узле считаются неизвестными, они должны быть определены
3. Исследуемая область разбивается на конечное число подобластей
4. Непрерывная величина в каждом элементе аппроксимируется полиномом, который определяется с помощью узловых значений этой величины: для каждого элемента определяется свой полином, но его коэффициенты подбираются так, чтобы сохранялась непрерывность величины на каждой границе элемента

Уравнения МКЭ

В общем виде, для создания конечно-элементной модели, составляются матрицы:

Матрица сил возникающих в узлах, где F_i — подматрица-столбец, с количеством элементов равным количеству степеней свободы узла

$$\{F\}^T = [F_1 \ F_2 \ \dots \ F_m]$$

Матрица перемещения узлов, где δ_i — подматрица-столбец, с количеством элементов равным количеству степеней свободы узла

$$\{\delta\}^T = [\delta_1 \ \delta_2 \ \dots \ \delta_m]$$

Матрица жесткости или квадратичная матрица, где k_{ij} — квадратичные подматрицы размерности $l \times l$, а l — число компонент силы в рассматриваемых узлах.

$$\{k\} = \begin{bmatrix} k_{11} & \dots & k_{1l} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ k_{l1} & \dots & k_{ll} \end{bmatrix}$$

$\{F\}_p$ — силы, уравновешивающие действующие на элемент распределенные нагрузки

$\{F\}_\varepsilon$ — силы в узлах обусловленные начальными деформациями

Уравнения МКЭ

Основное соотношение может быть записано в виде:

$$\{F\} = \{k\} \times \{\delta\} \times \{F\}_p \times \{F\}_\varepsilon$$

Или для напряжения:

$$\{\sigma\} = \{S\} \times \{\delta\} \times \{\sigma\}_p \times \{\sigma\}_\varepsilon$$

$\{\sigma\}$ — матрица напряжения в узлах;

$\{S\}$ — матрица напряжений элемента;

$\{\sigma\}_p$ — напряжения возникающие в узлах под действием внешних нагрузок;

$\{\sigma\}_\varepsilon$ — напряжение в узлах обусловленные начальными деформациями;

Решение МКЭ краевой задачи в ANSYS

Решение МКЭ поставленной краевой задачи в программе ANSYS осуществляется в три этапа,

На первом этапе:

1. Устанавливаются физический тип задачи, производится соответствующая настройка программы
2. Выбирается тип конечного элемента в зависимости от размерности объекта и других его свойств. Могут быть заданы некоторые характеристики элемента.
3. Выбирается материал объекта и указываются все его необходимые свойства. Свойства могут быть заданы с клавиатуры или импортированы из библиотеки ANSYS. Задание свойств определяет модель материала, что влияет на выбор определяющих уравнений МКЭ.
4. Строится геометрическая твердотельная модель объекта. Для этого используется программный модуль PREP7
5. Геометрическая модель разбивается на конечные элементы. При разбивке могут быть заданы различные параметры сетки.

Решение МКЭ краевой задачи в ANSYS

Второй этап – наложение физических условий:

1. Задаются граничные условия – силы, перемещение и т.д.
2. Выбирается тип анализа. Возможен выбор метода решения системы уравнений МКЭ и задания параметров вычислительных процедур.
3. Осуществляется решение системы уравнений, полученной методом МКЭ. В результате формируется файл результатов, который содержит вектор найденных степеней свободы.

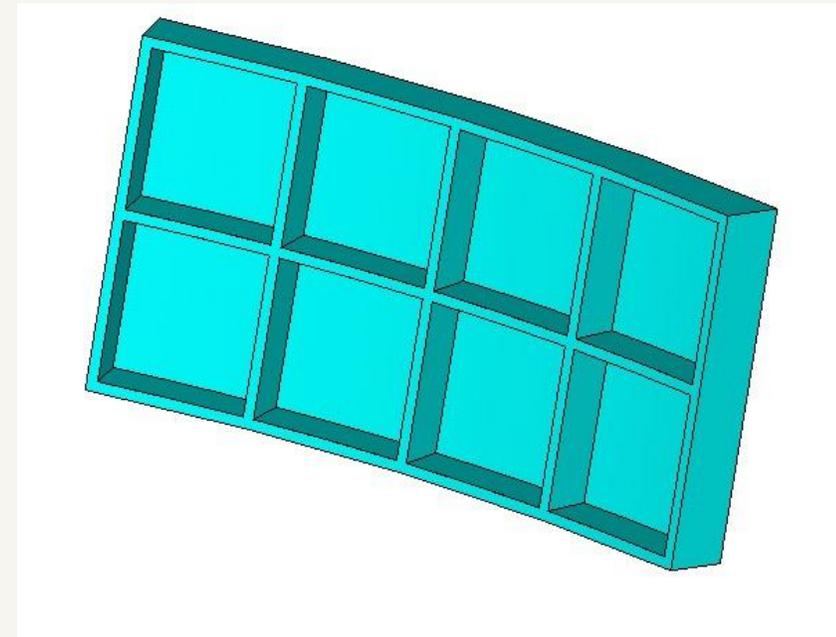
Третий этап – анализ результатов расчета.

Постановка задачи

Необходимо с помощью программного пакета ANSYS построить модель тоннельного тубинга, провести анализ и изучить особенности напряженно-деформированного состояния тубинговой крепи в стволовой шахте на глубине 300 метров.

Тубинговая крепь — сплошная, криволинейного очертания крепь, состоящая из уложенных вплотную друг к другу сегментов-тубингов, образующих окружность, с продольными и поперечными ребрами жесткости на одной стороне и гладкими с другой.

Существует множество различных стандартов тубинговой крепи с разными диаметрами, толщиной, шириной и т.д.

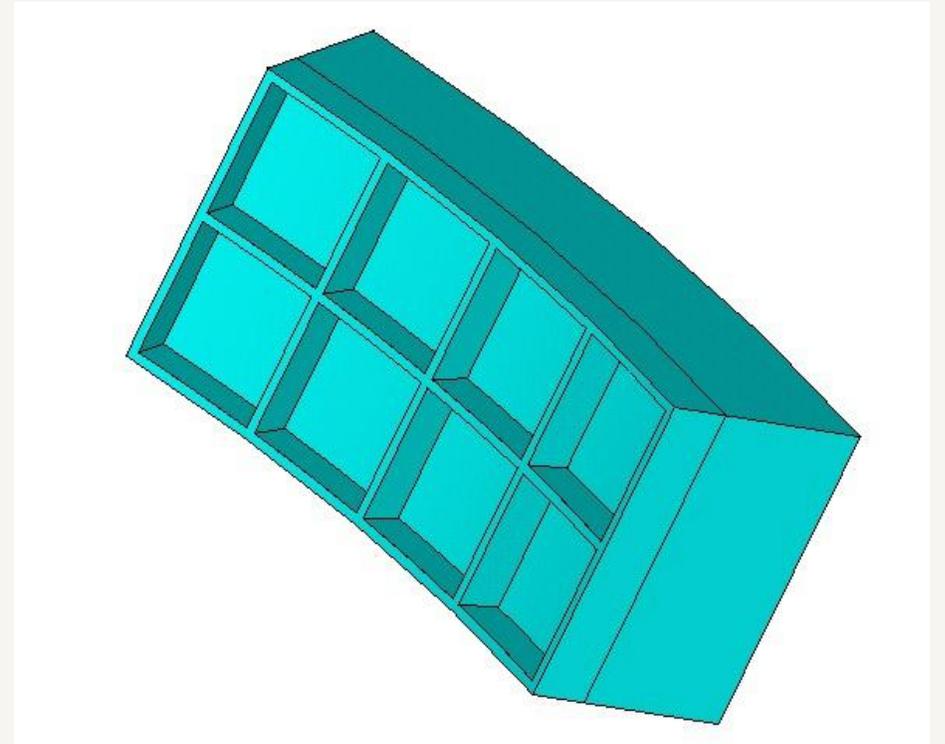


Постановка задачи

По мимо тубинговой крепи, шахта укрепляется 500 мм бетона, что снижает нагрузку на стенки шахты.

Рассмотрим несколько различных по характеристикам тубингов и проведем сравнительный анализ для поиска наиболее подходящих свойств конструкции для нашей задачи.

Геометрическая модель сегмента шахты выглядит следующим образом:



Постановка задачи

Механические свойства материала:

Тюбинг состоит из чугуна СЧ20 свойства которого:

Коэффициент Пуассона: $\nu = 0,3$

Модуль Юнга: $E = 10^5$ Мпа

Бетон маркировки М200:

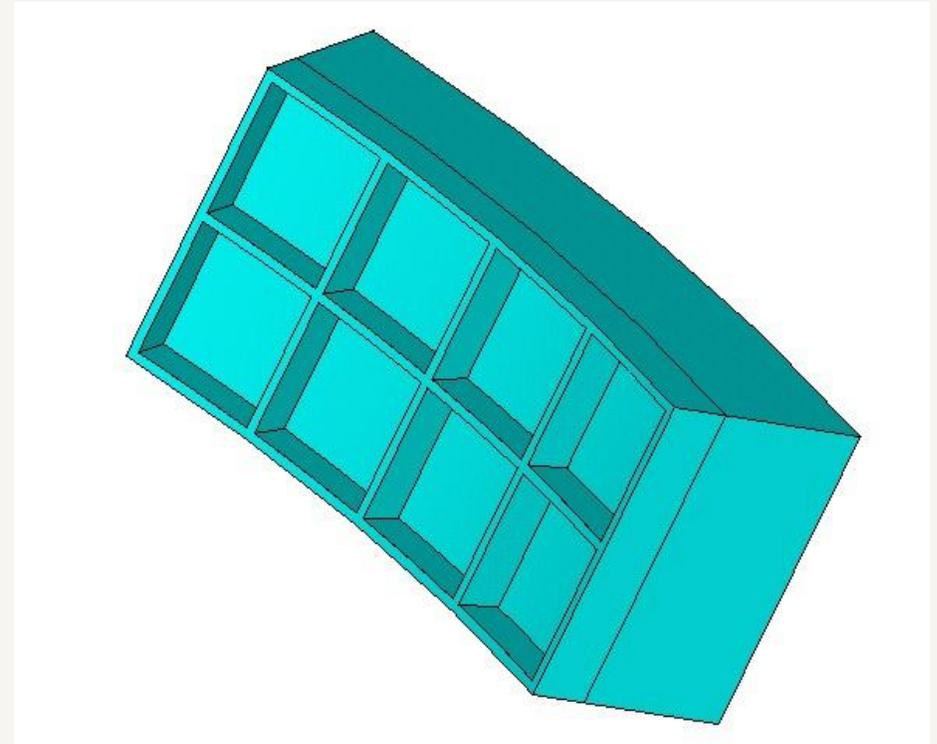
Коэффициент Пуассона: $\nu = 0,17$

Модуль Юнга: $E = 9.5 * 10^3$ Мпа

Грунт:

Коэффициент Пуассона: $\nu = 0,4$

Модуль Юнга: $E = 19$ Мпа



Постановка задачи

Граничные условия:

На нижних плоскостях задается условие: $U_z = 0$

На боковых плоскостях задается условие: $U_{symm} = 0$

На верхней плоскости задается равномерное давление:

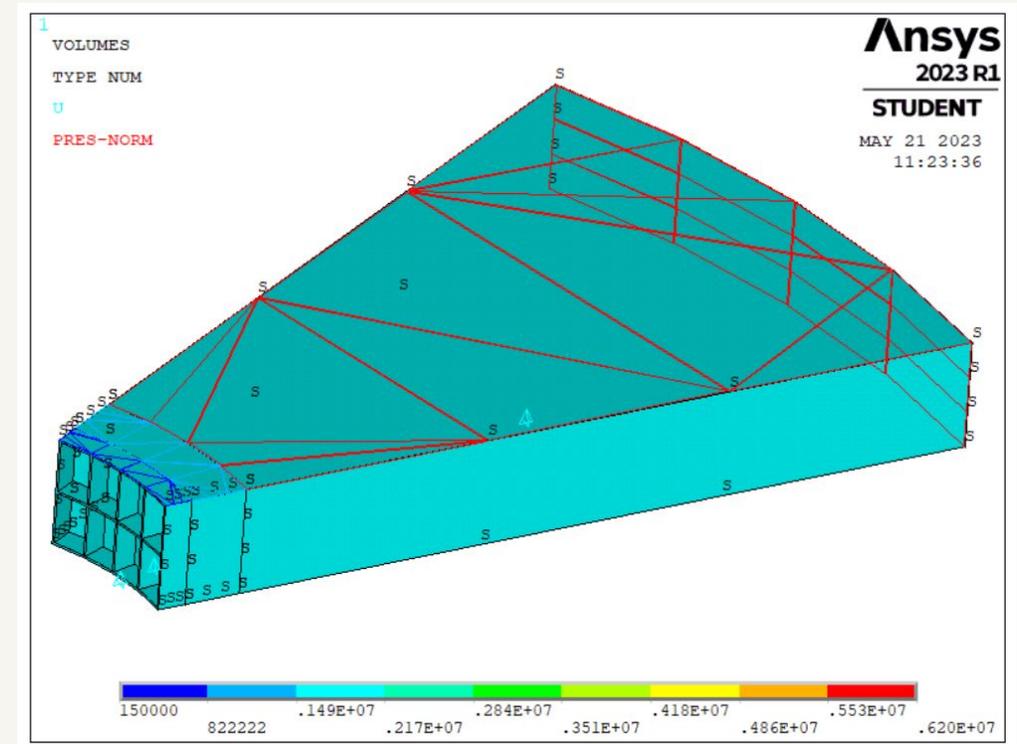
На конструкцию шахты: $q = 50 * \rho * g$ Па

На грунт: $q = 300 * \rho * g$ Па

На задней плоскости задается равномерное давление
на грунт:

$q = 300 * \rho * g$ Па

Проводить анализ будем по сравнению интенсивности
пластических деформаций конструкции

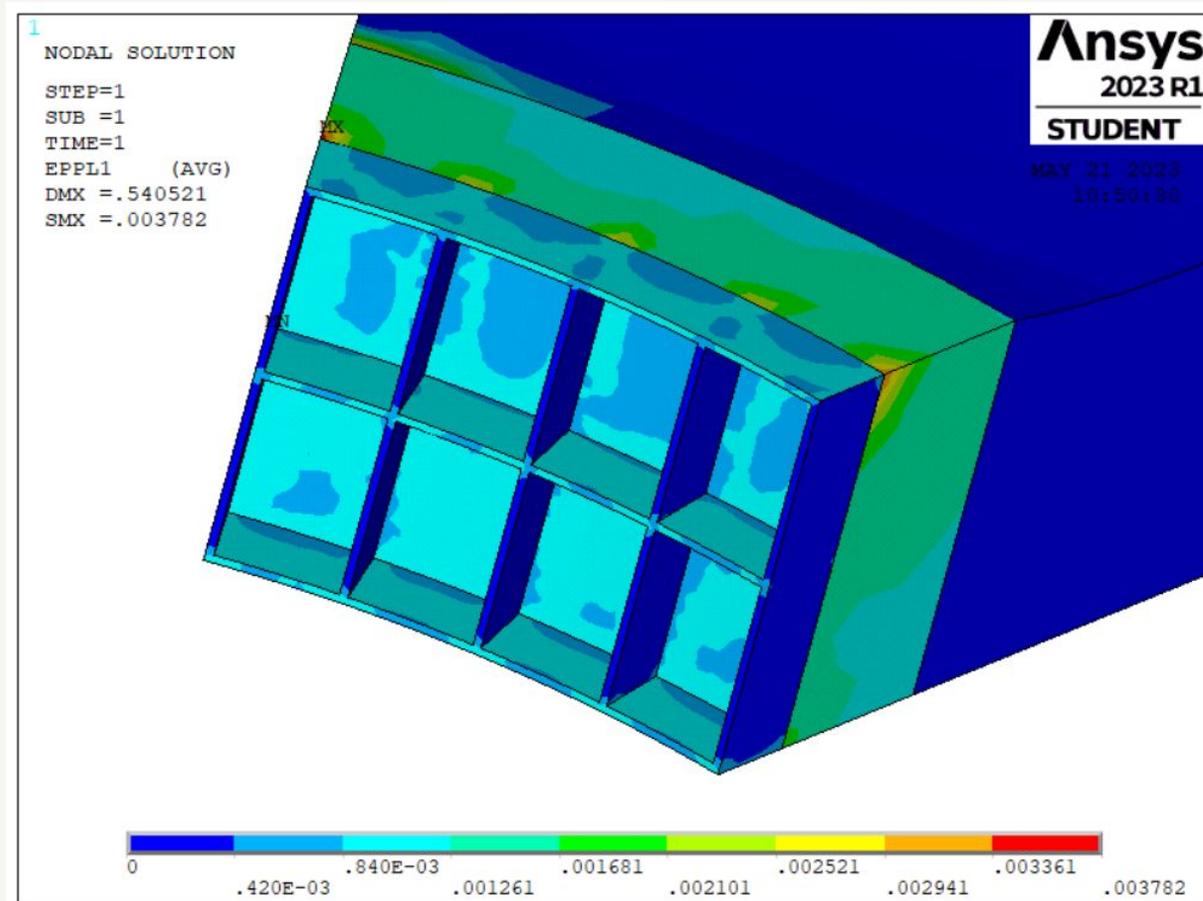


Результаты

- Тюбинг: 5,1-Н-20-1000-л

Характеристики:

- $D_H = 5100$ мм
- $D_H = 5490$ мм;
- $h = 1000$ мм;
- $\varphi = 30$;
- $s = 20$ мм

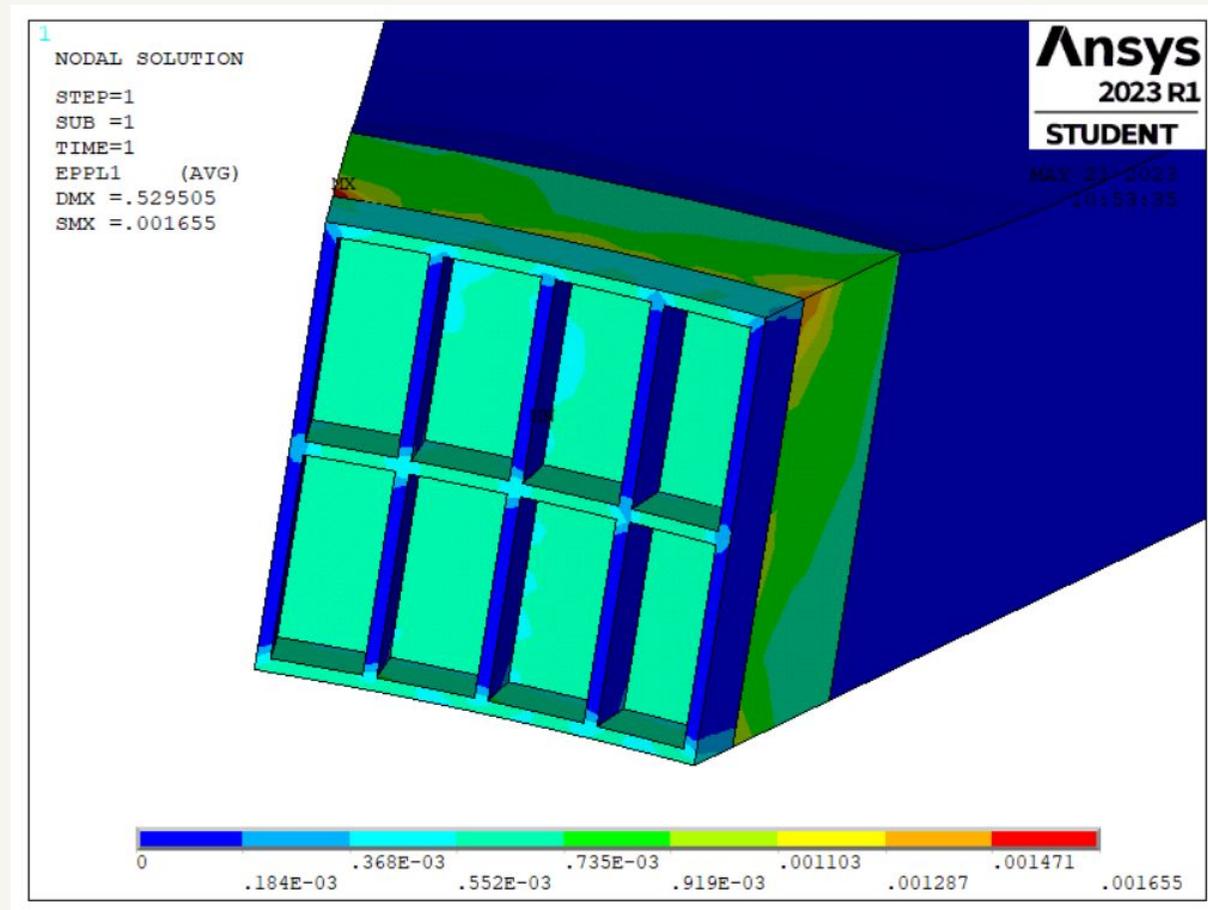


Результаты

- Тюбинг: 5,6-Н-22-1000-л

Характеристики:

- $D_H = 5600$ мм
- $D_H = 6000$ мм;
- $h = 1000$ мм;
- $\varphi = 20$;
- $s = 22$ мм

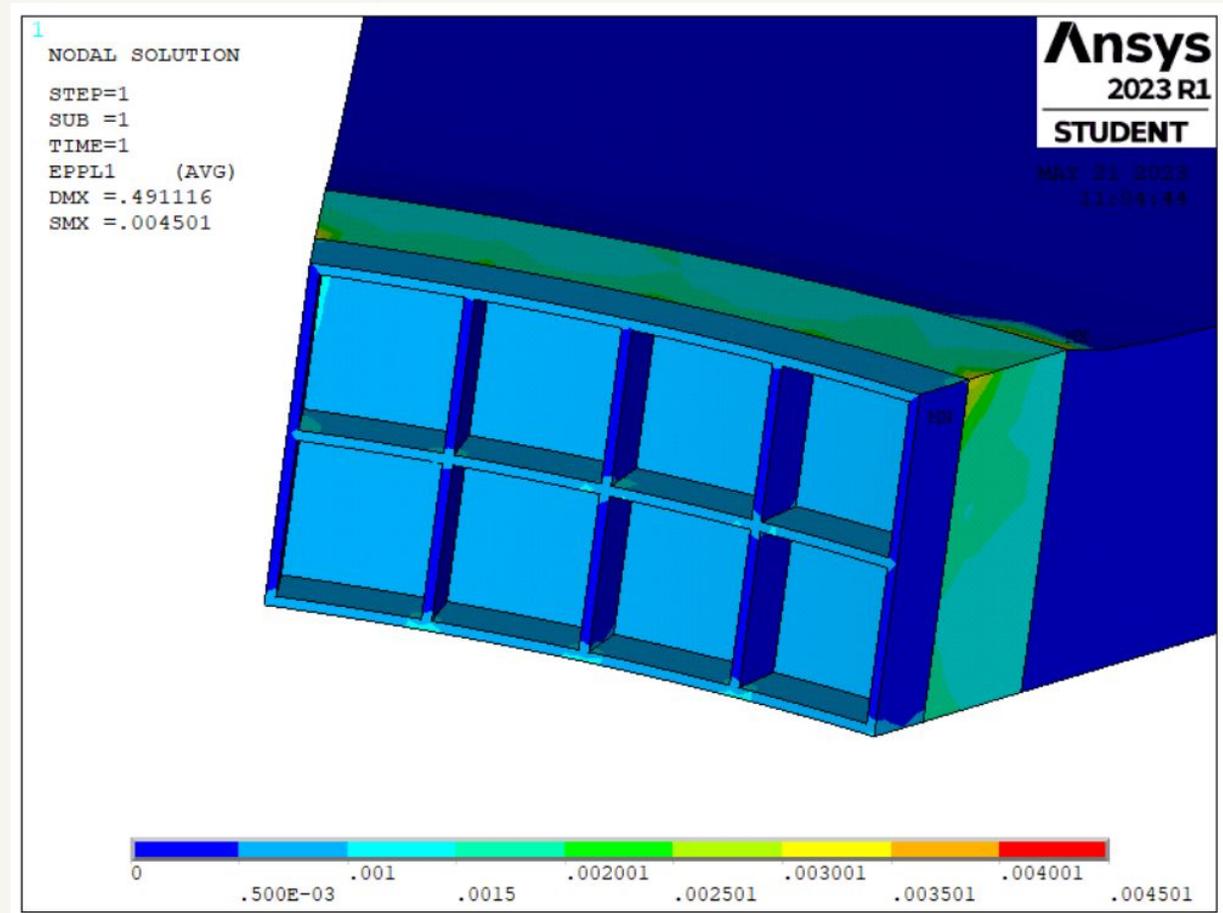


Результаты

- Тюбинг: 7,0-Н-30-1000

Характеристики:

- $D_H = 7000$ мм
- $D_H = 7500$ мм;
- $h = 1000$ мм;
- $\varphi = 30$;
- $s = 30$ мм



Анализ результатов

Из анализа интенсивности пластических деформаций 3 различных моделей тубинга, видны различия между ними.

Наиболее устойчивой оказалась вторая конструкция 5,6-Н-22-1000-Л, принципиальное различие его от других это угол φ , то есть чем больше тубингов в шахтном кольце, тем устойчивее вся конструкция.

Третья модель тубинга хоть и обладала высокой толщиной стенок, не показала большую сопротивляемость нагрузкам и отличие между первой и третьей моделью не велика.

Заключение

В преддипломной практике были выполнены такие задачи:

1. Рассмотрены теоретические аспекты МКЭ и освоен программный комплекс ANSYS для решения упруго-пластичных задач
2. Поставлена и решена упруго-пластичная задача о действии горного давления на тубинговую крепь
3. Численно проанализировано влияние геометрических и механических параметров на особенности напряженно-деформированное состояние тубинга