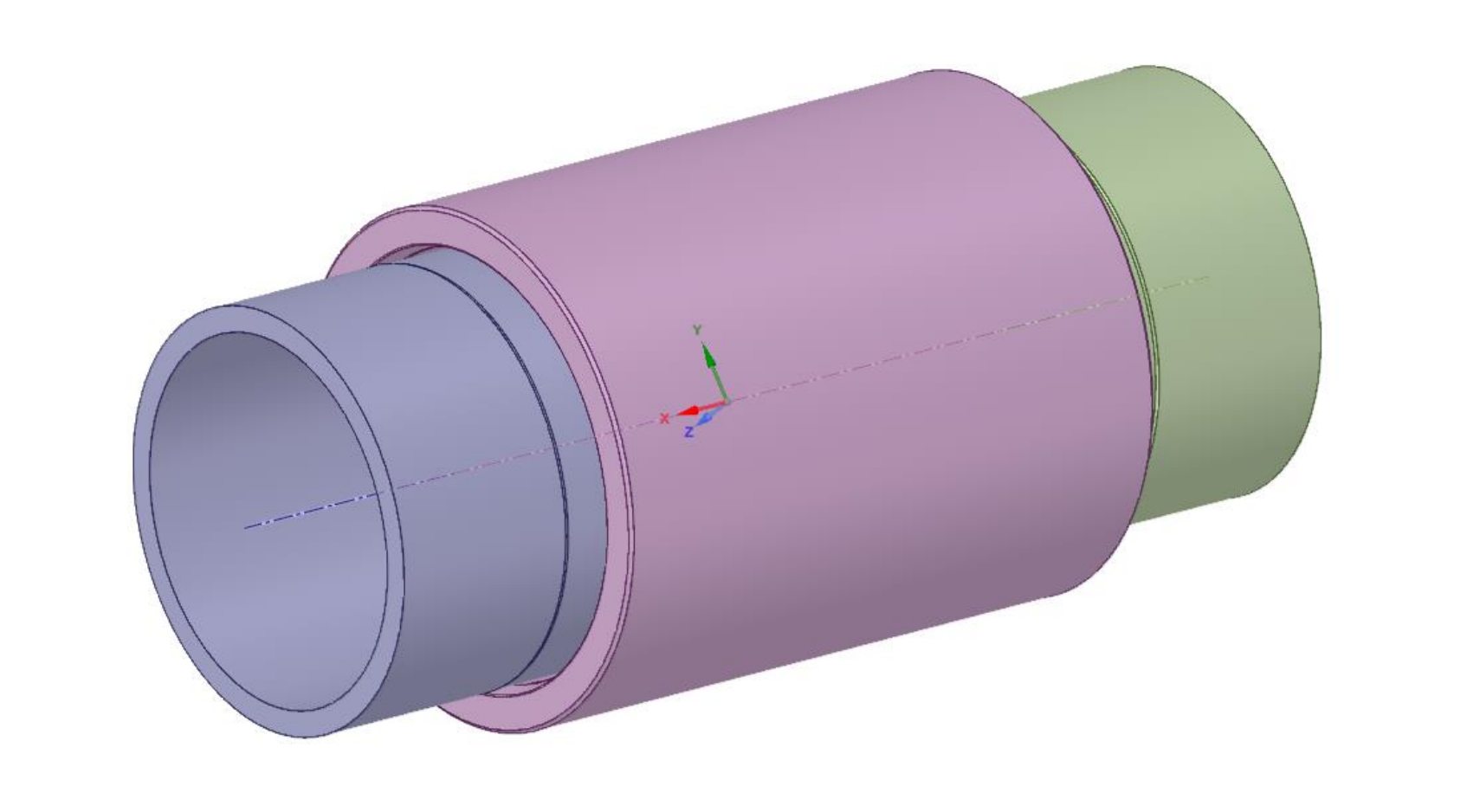
ООО НАУЧНО-КОММЕРЧЕСКАЯ ФИРМА « СБК »
РФ, 152912, г. Рыбинск, Ярославской обл., ул. Зои Космодемьянской, 33-33
тел./факс: (4855) 216-504, +7 9108137542, E-mail: bukaty_sa@mail.ru

Моделирование напряжённо-деформированного состояния объектов добычи нефти и газа с целью выявления наиболее нагруженных зон и прогнозирования возможных разрушений

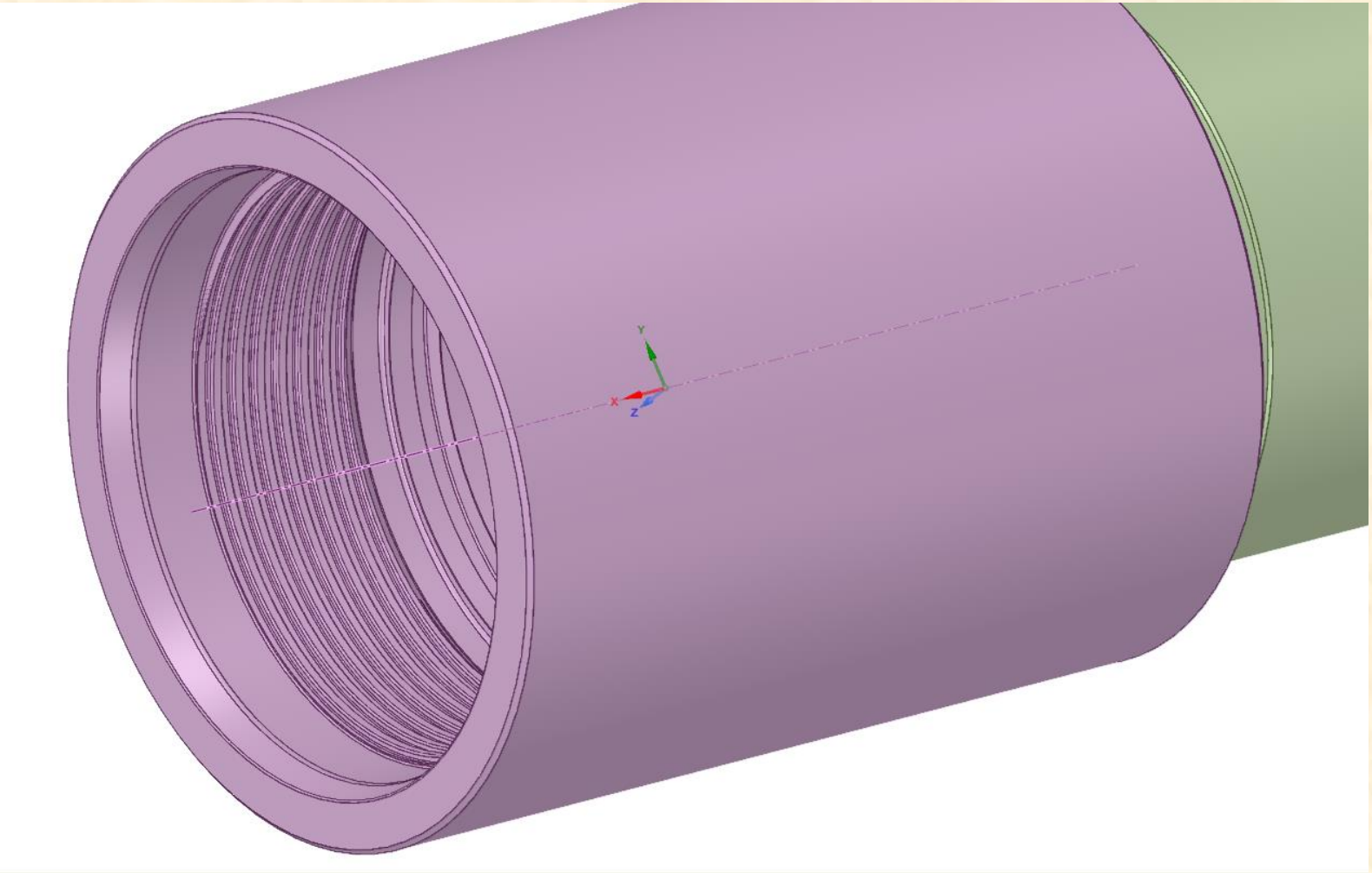
Научный руководитель
д-р техн. наук, профессор Букатый С.А.

Моделирование и расчёты на прочность трубопроводов и их соединений с учётом остаточных напряжений, коррозии и прочих факторов снижающих надёжность и долговечность трубопроводов

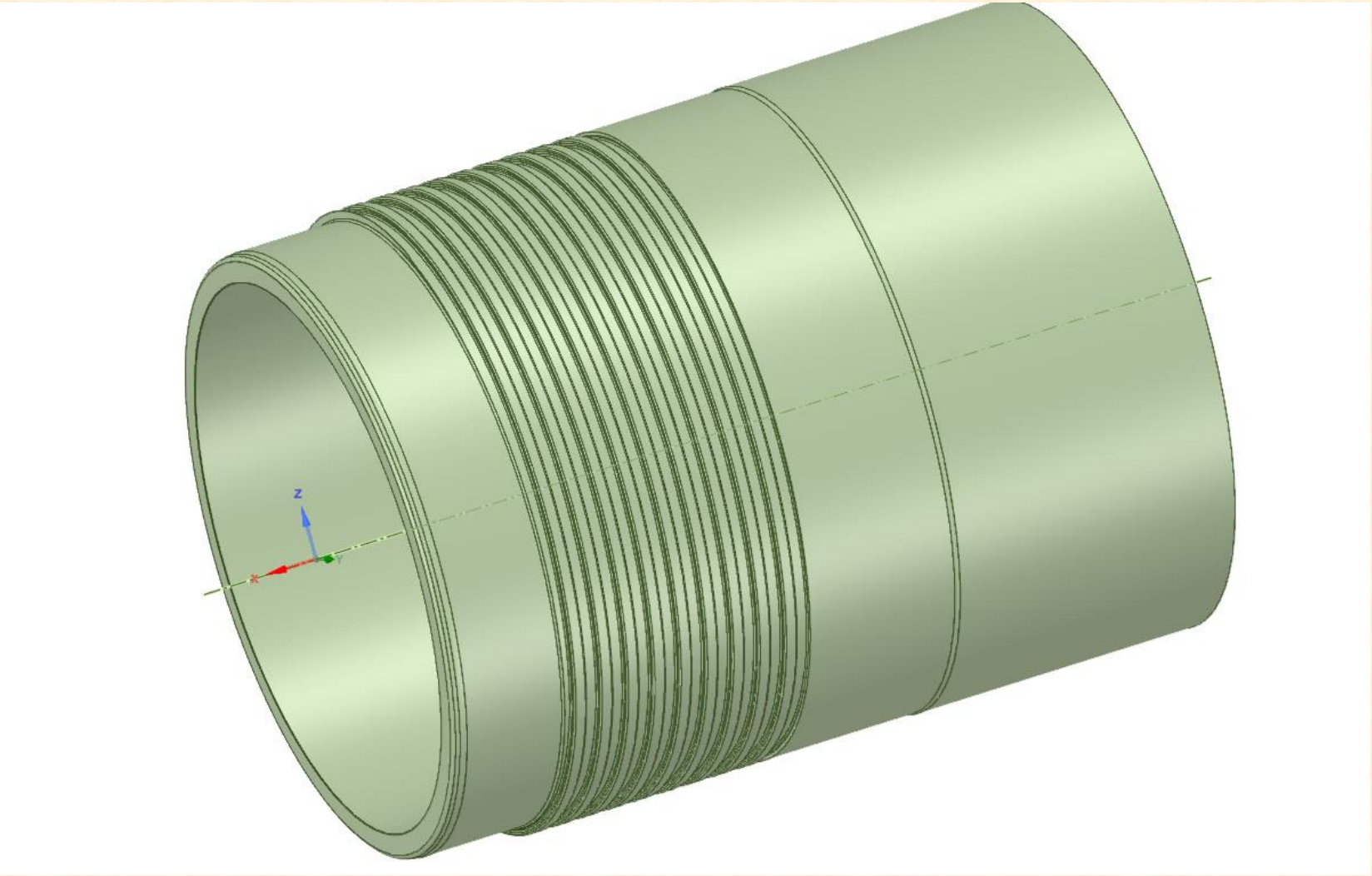
Конечно-элементные расчёты на прочность трубных соединений



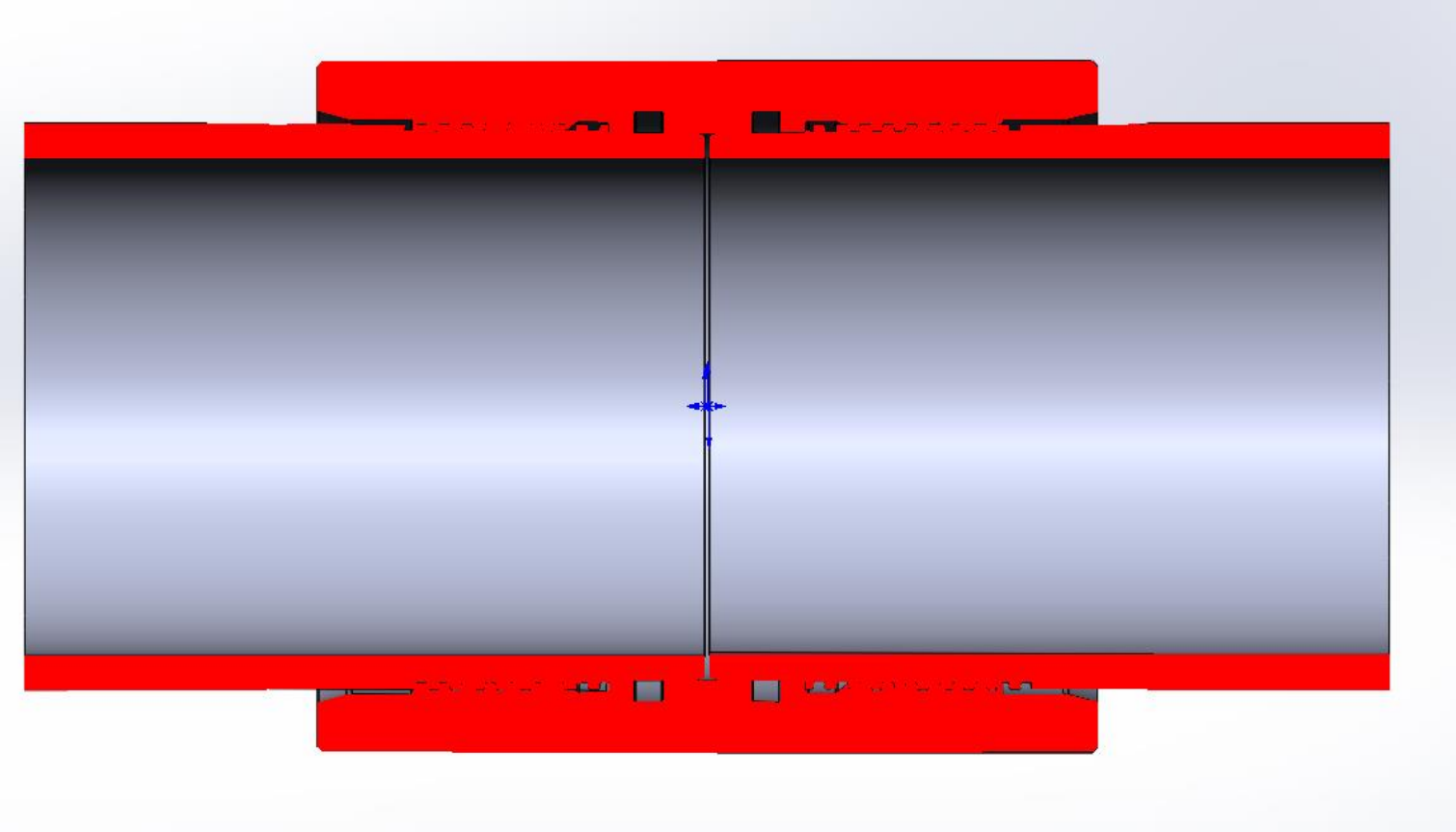
Резьбовые части муфты



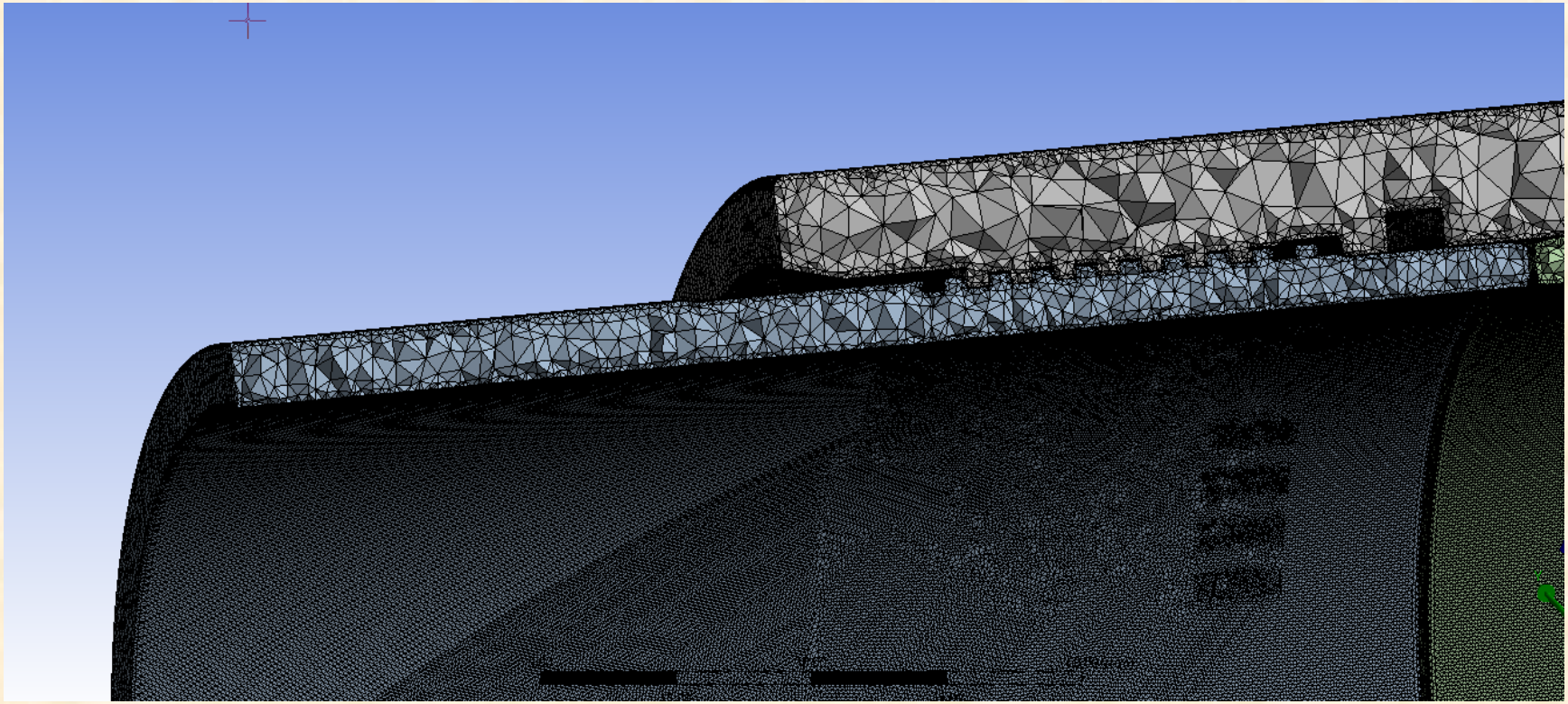
Резьбовые части трубы



Виртуальная модель соединения в разрезе

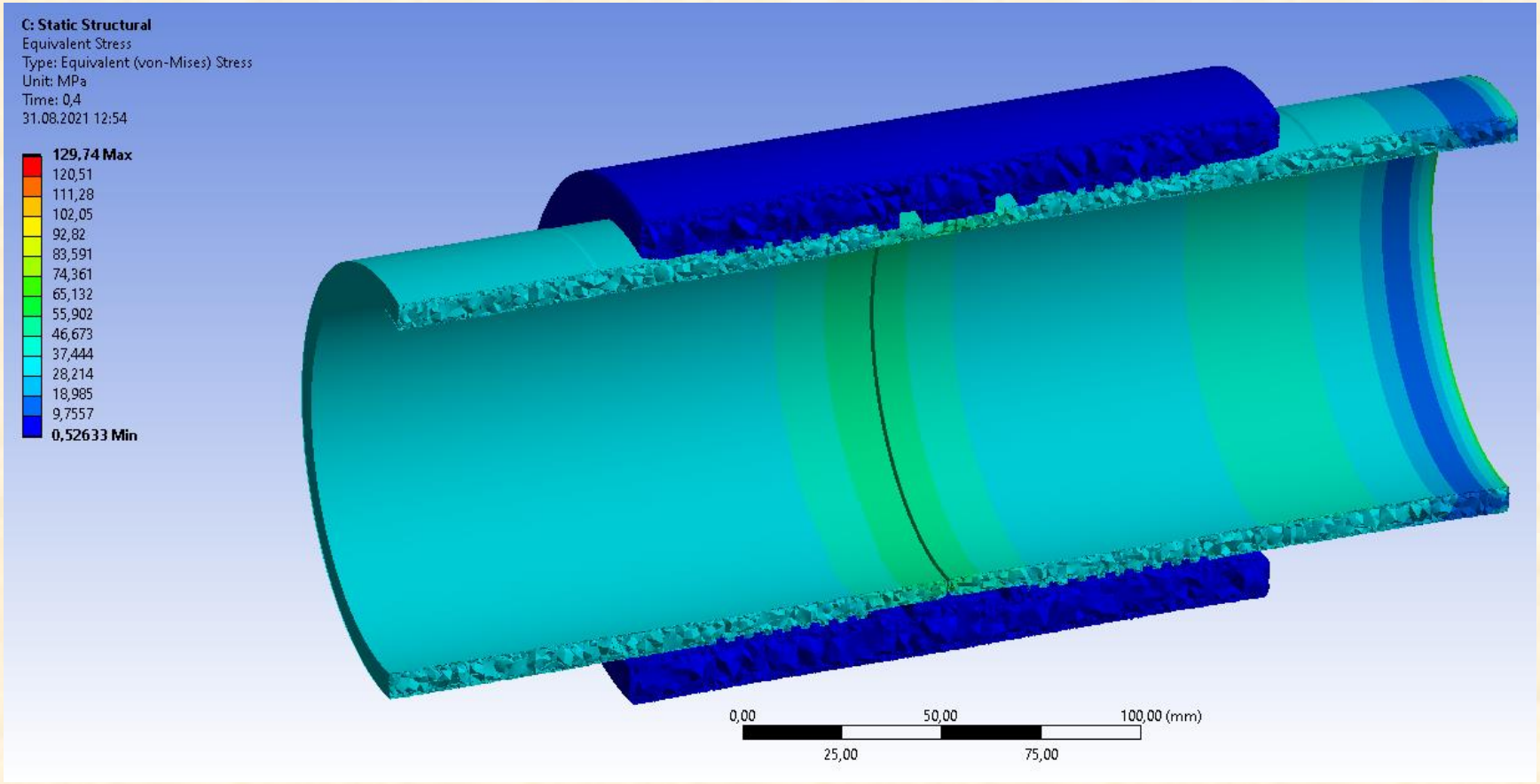


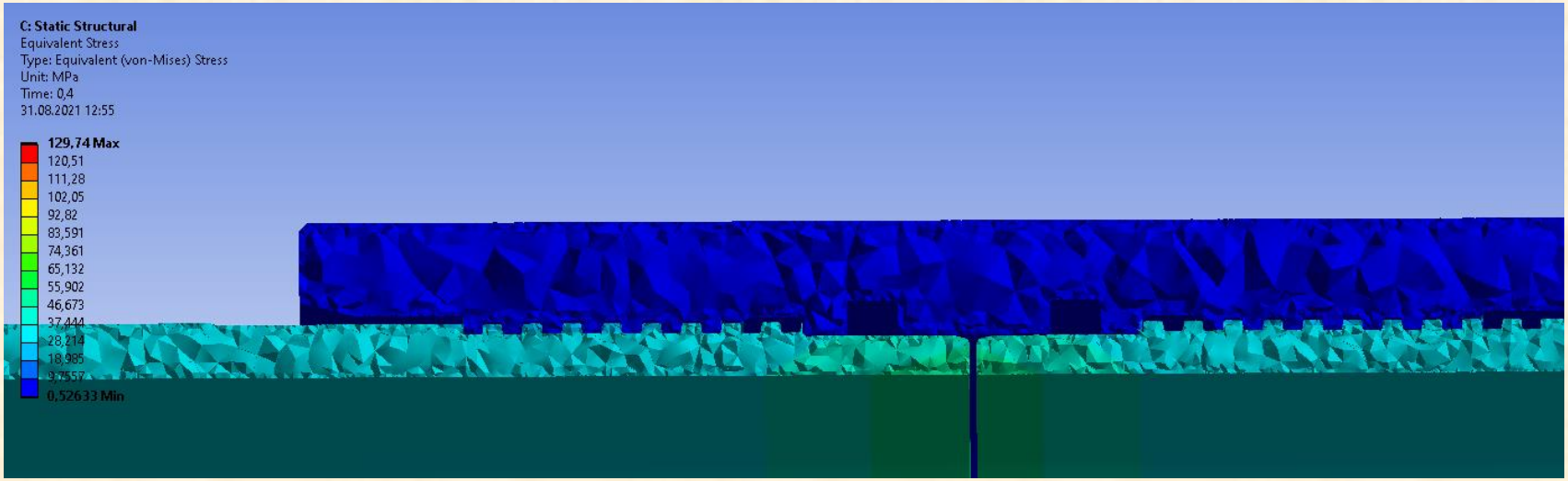
Конечно-элементная модель соединения



Материал труб 09Г2С
Материал муфты 32Г2
К модели было приложено рабочее давление 11МПа

Результаты расчётов методом конечных элементов



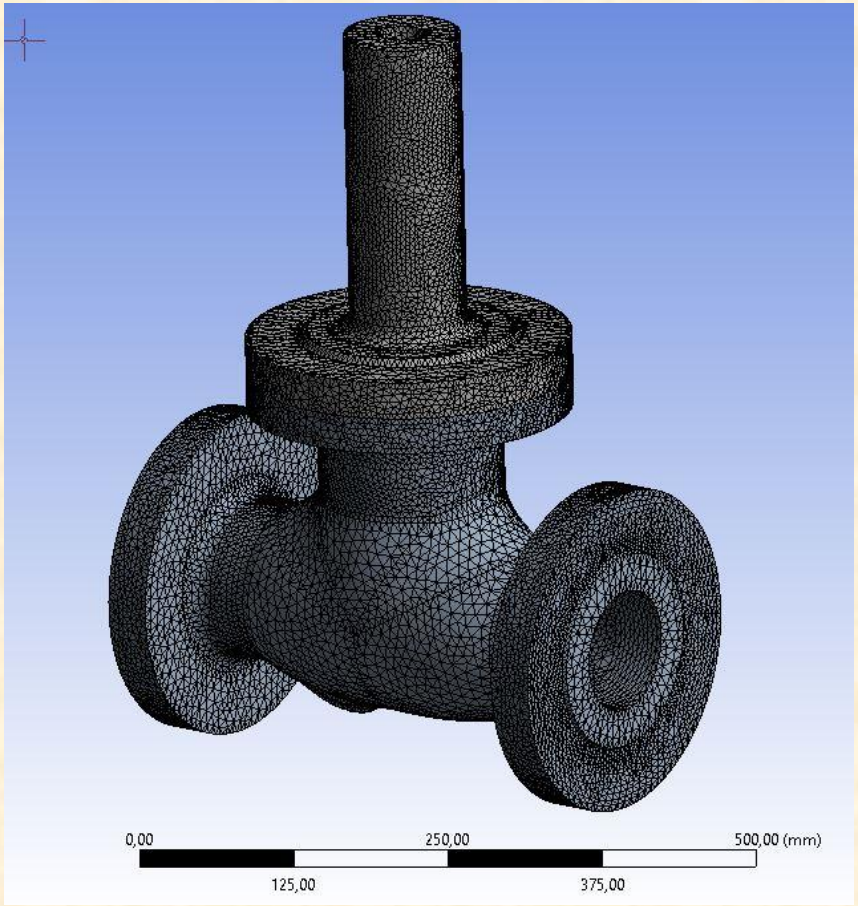


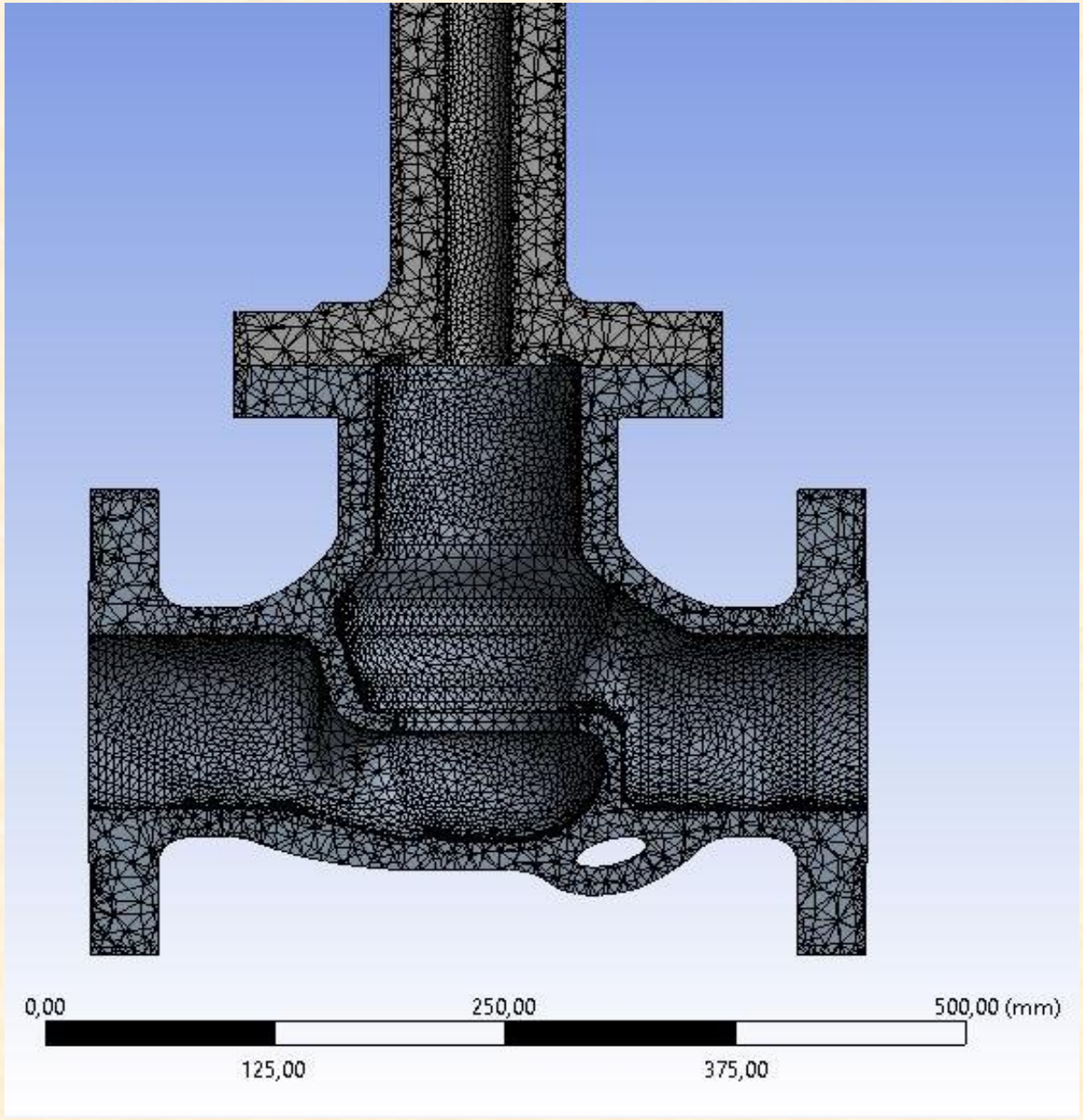
Результаты расчётов позволили получить распределение напряжений и определить наиболее нагруженную зону в соединении при воздействии внутреннего давления.

Анализ деформаций запорной арматуры с учётом монтажных факторов

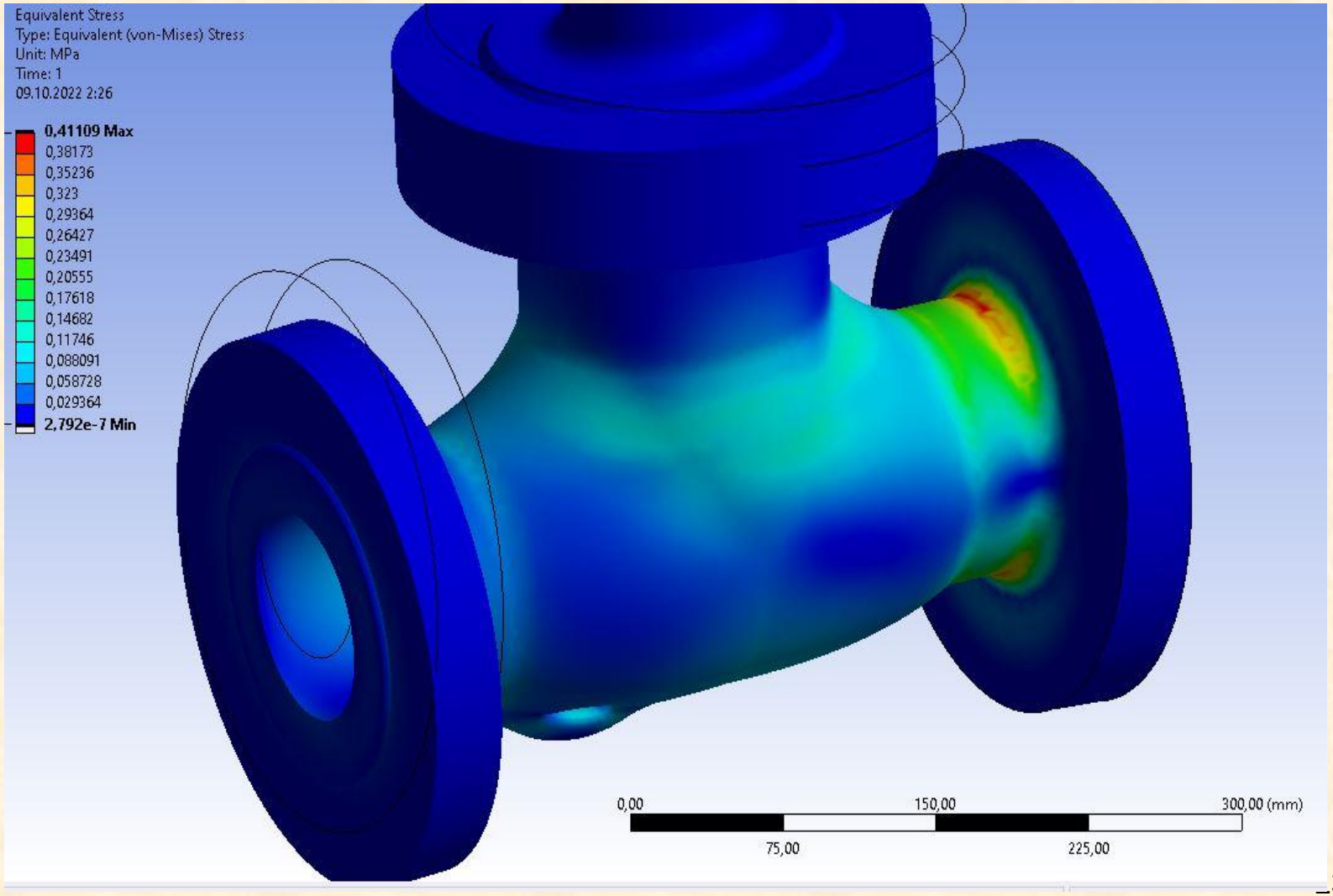
Запорная арматура марки DN100 PN100



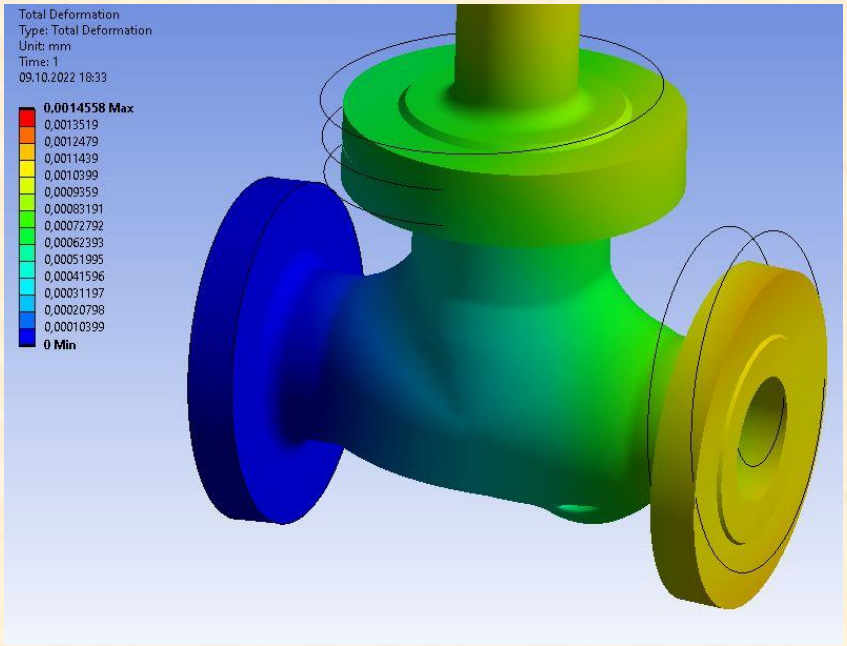


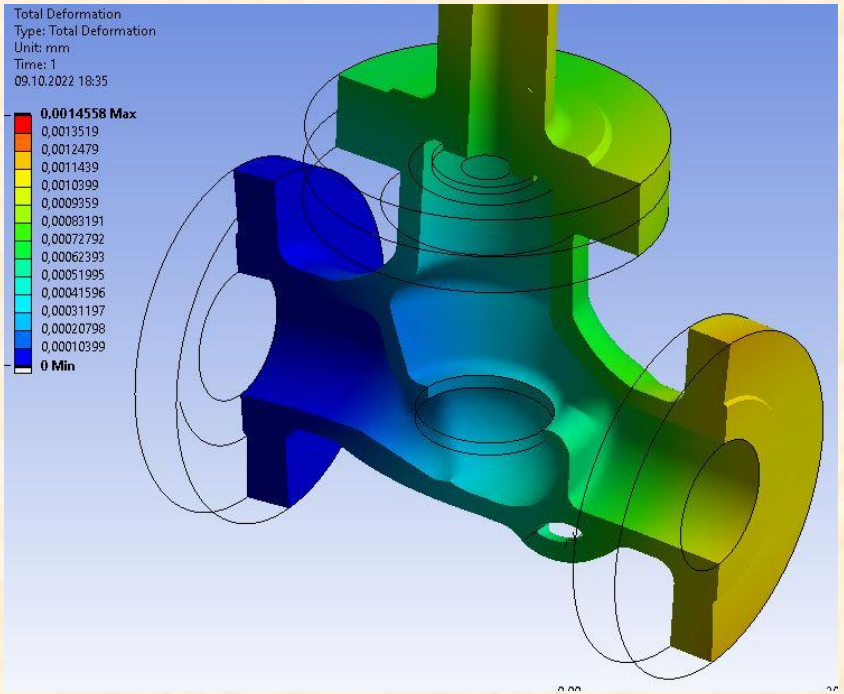

0,00
250,00
500,00 (mm)
125,00
375,00

Расчёт напряжённо-деформированного состояния запорной арматуры

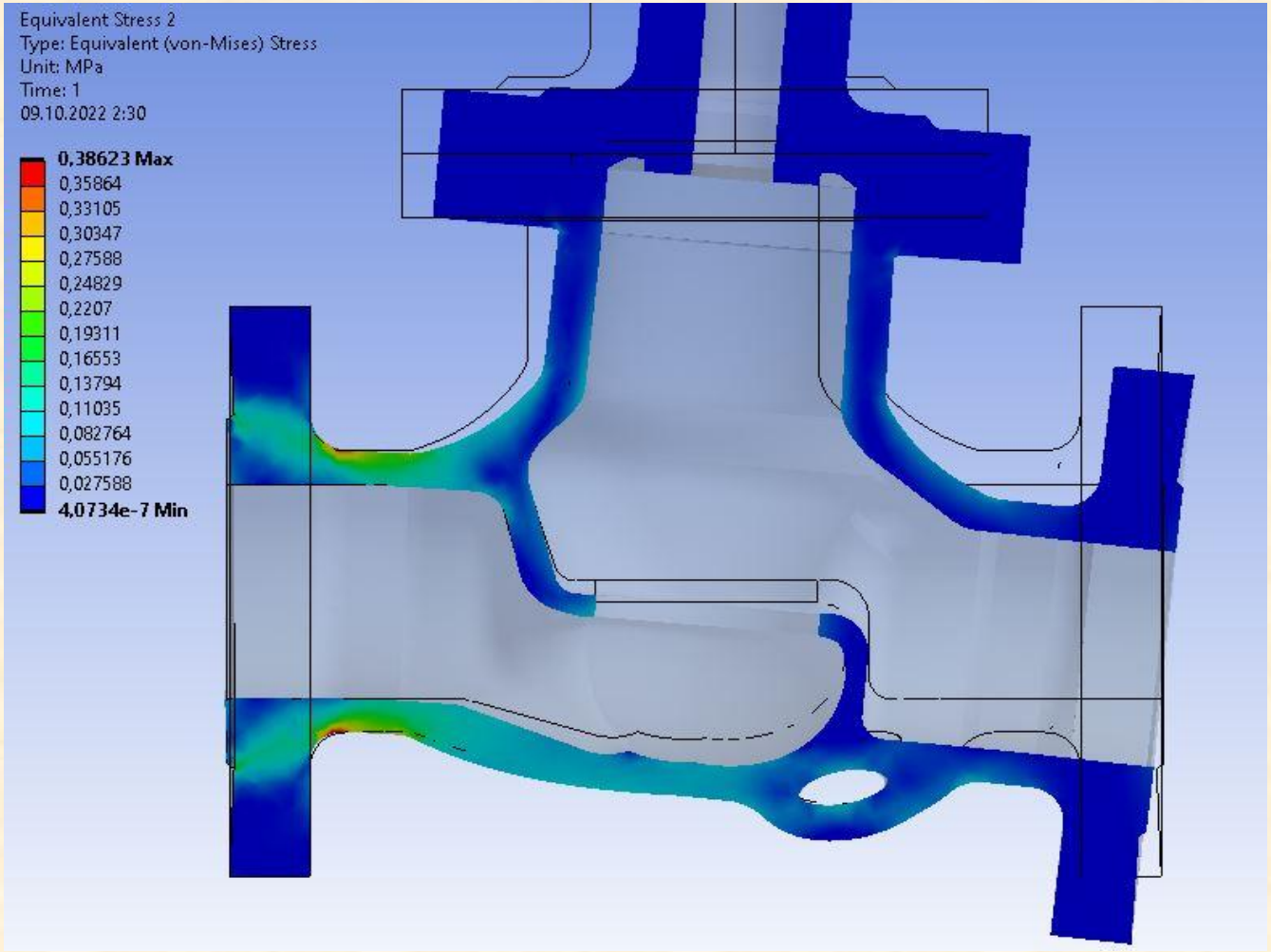


Деформации запорной арматуры

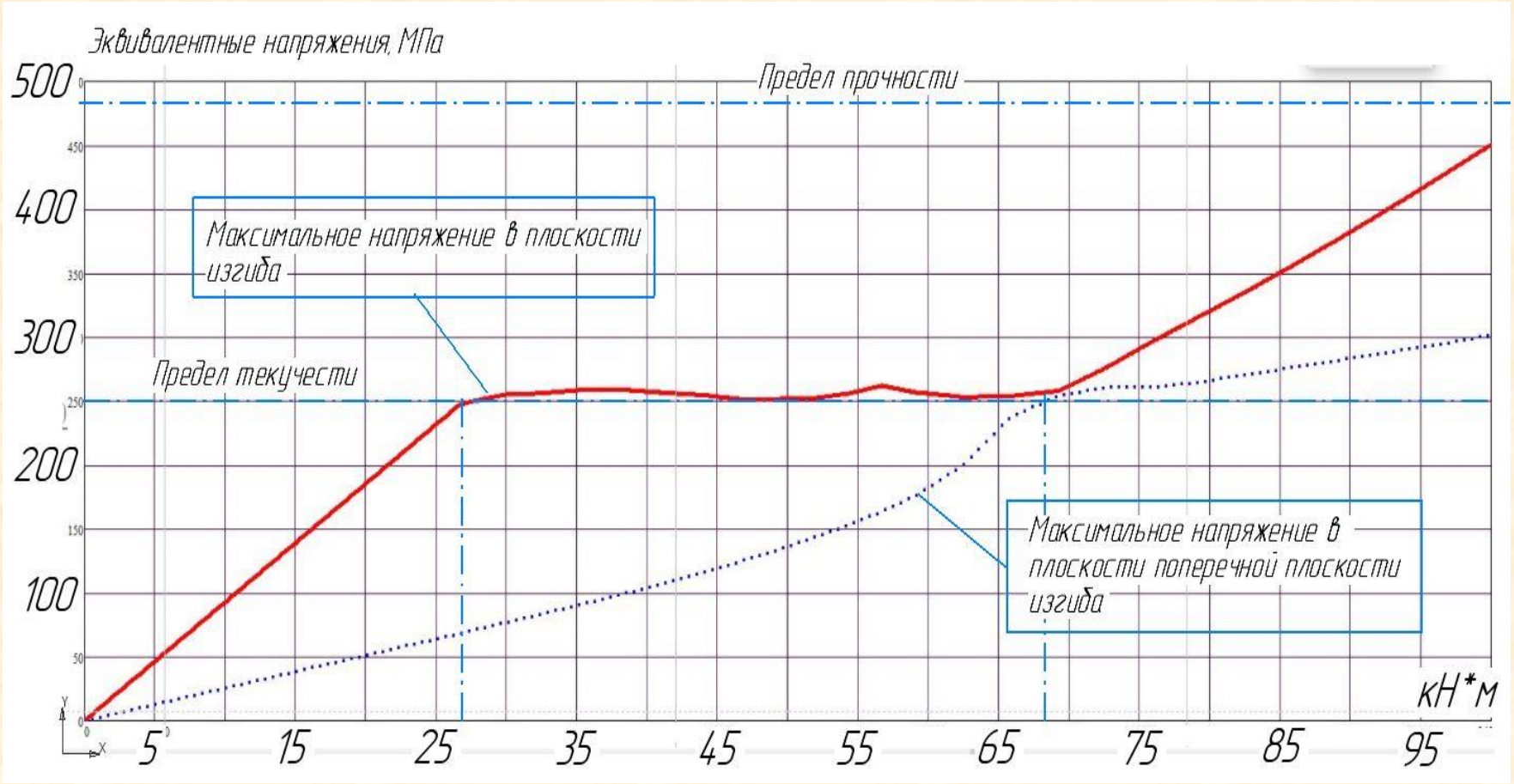




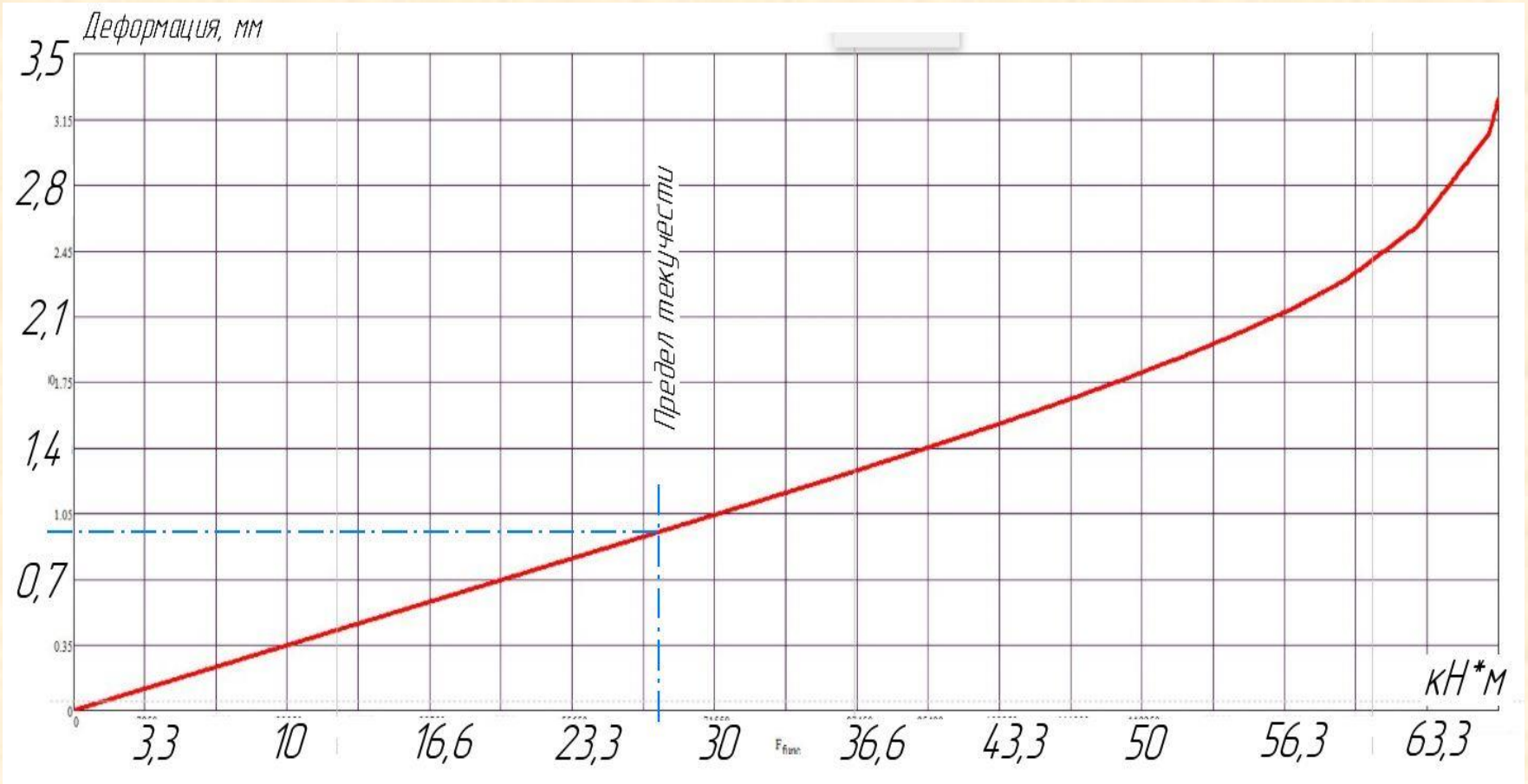
Распределение эквивалентных напряжений, в зоне плоскости изгиба узла



Изменение величины максимальных эквивалентных напряжений в зависимости от изгибающего момента



Изменение величины деформации проходного сечения запорной арматуры в зависимости от изгибающего момента



Выводы

- Рассматриваемая запорная арматура была подвергнута нагрузкам, вызвавшим пластические деформации корпуса.
- Началу возникновения пластических деформаций соответствует усилие 1087,6 кг при плече 2,5 м.
- Полученное усилие, вызвавшее пластические деформации запорной арматуры могло быть вызвано не параллельностью конструкции, в которую встраивалась запорная арматура, а именно, деформации могли быть получены в результате стягивания запорной арматуры с фланцами в составе конструкции, имеющими существенные отклонения от параллельности.

Учёт коррозии в расчётах на прочность на примере штанг насосных ШН-19

Цель работы: повышение выносливости штанг насосных ШН19 на основе исследования их напряжённо-деформированного состояния

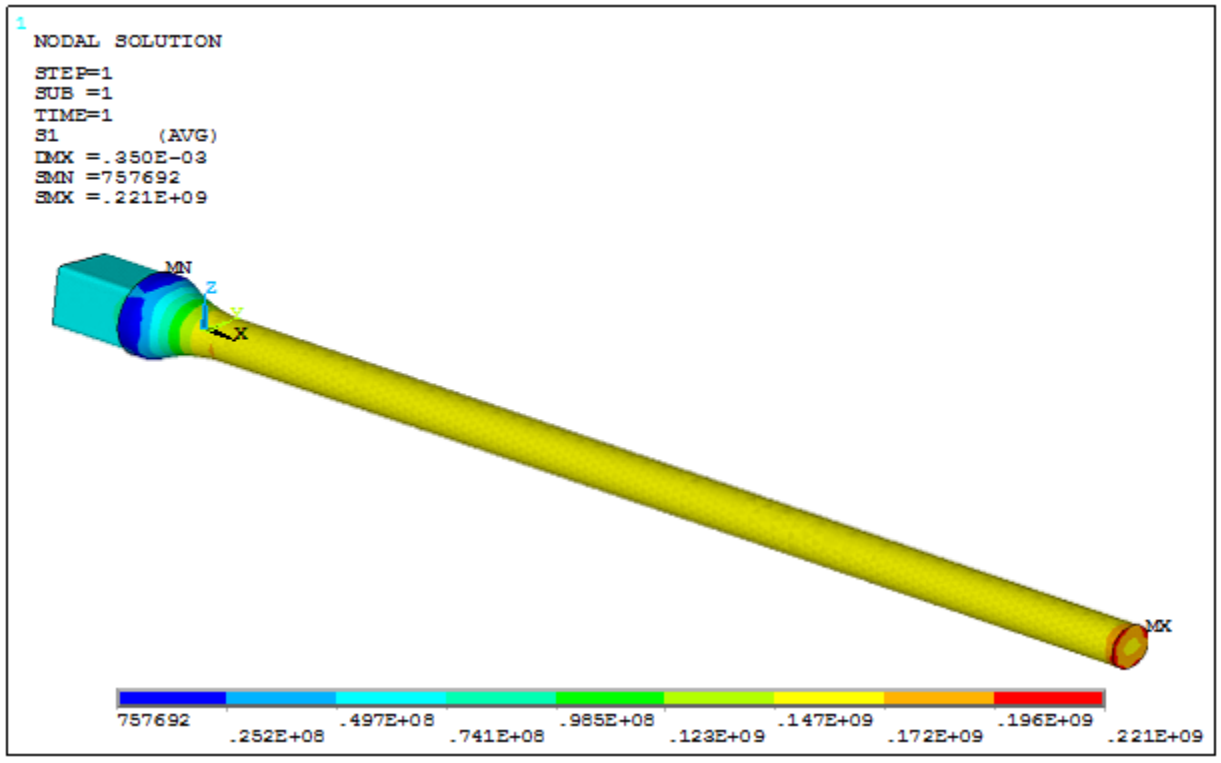
Задачи:

1) Выявление причин преждевременного разрушения штанг ШН19 на основе анализа их напряжённо-деформированного состояния
2) Исследование остаточных напряжений в поверхностном слое штанг без наработки и с наработкой
3) Составление рекомендаций по повышению выносливости штанг насосных

Граничные условия

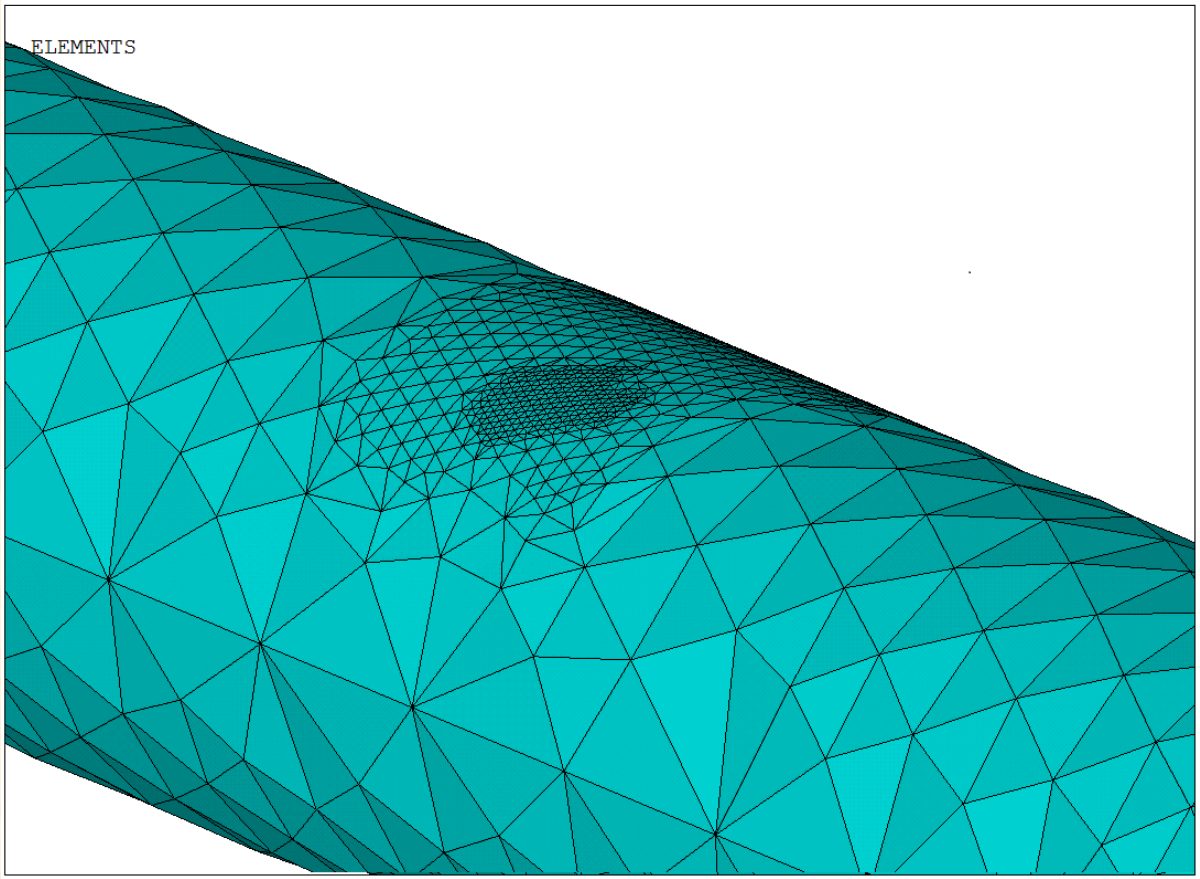
- Диаметр штанг: 19,1 мм +0,2/–0,41 мм.
- Максимальная нагрузка:
  P_{max} = 4579 кГс = 44920 Н.
- Минимальная нагрузка: P_{min} = 0 кГс = 0 Н.
- Материал: сталь 15Х2ГМФ, нормализация + отпуск.

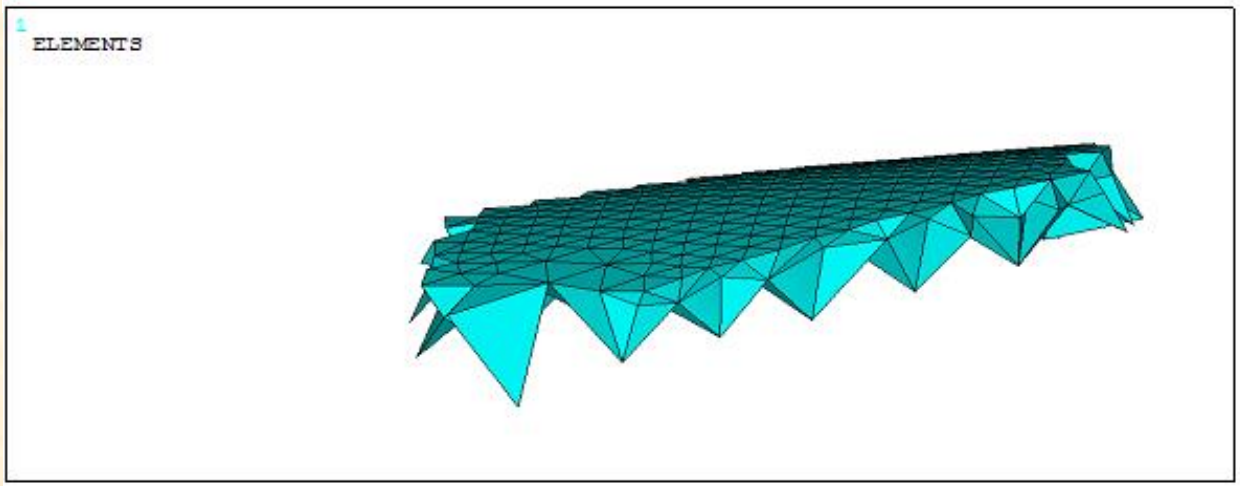
Расчёт напряжённо-деформированного состояния штанг на основе конечно-элементного моделирования повреждения поверхности штанг коррозией



Распределение главных напряжений и деформаций в штанге при отсутствии коррозии

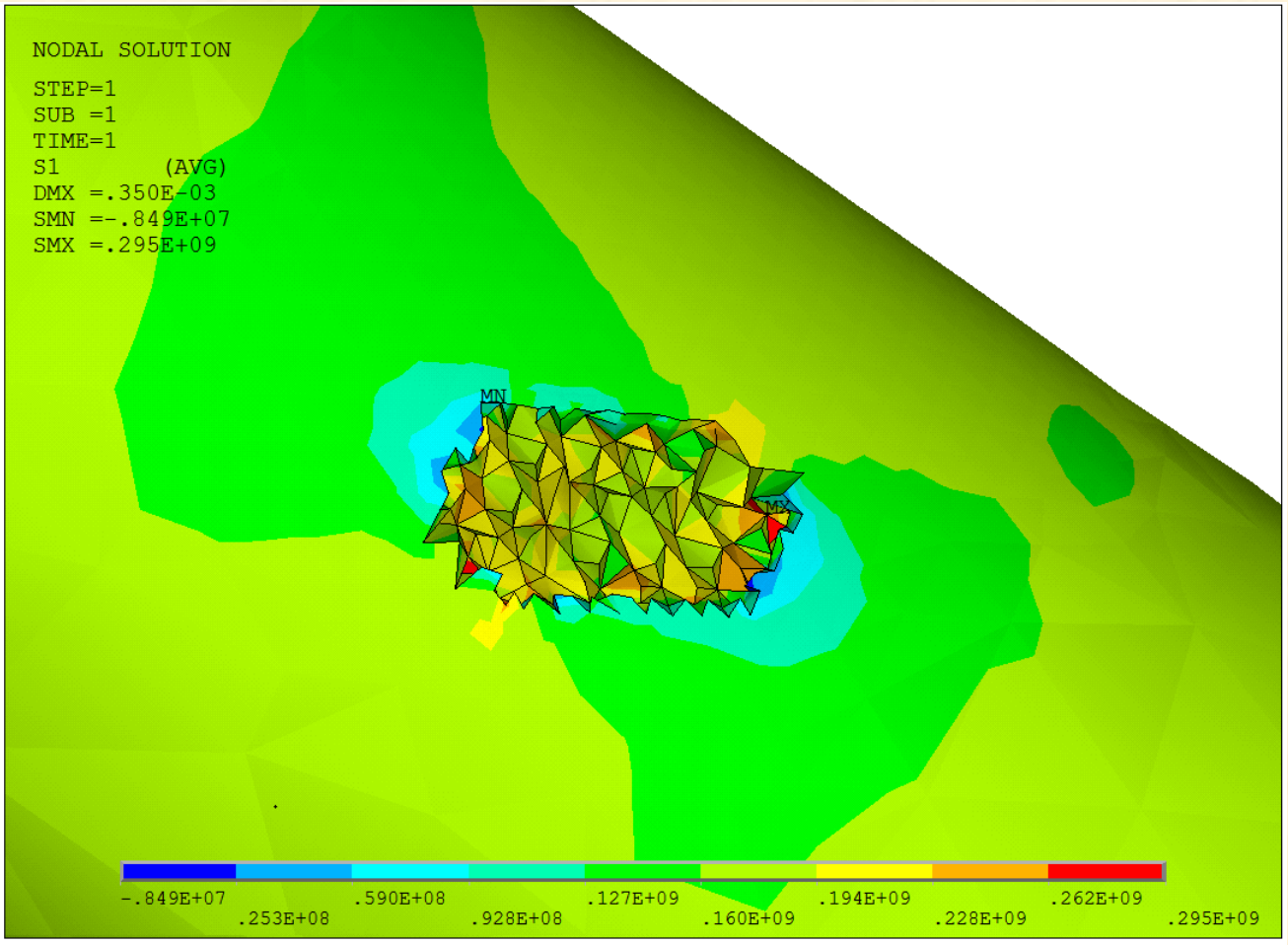
Главные напряжения, МПа			Главные деформации		
σ_1	σ_2	σ_3	ε_1	ε_2	ε_3
170,13	0,90	0,54	0,00084849	– 0,00025152	– 0,00025382





примерные размеры очага разрушения и язвы: длина×ширина ×глубина ≈ 5,87 ×3,31×0,88 мм

Распределение первых главных напряжений в коррозионном повреждении штанги



Распределение главных напряжений и деформаций в штанге с коррозией

Главные напряжения, МПа			Главные деформации		
σ_1	σ_2	σ_3	ε_1	ε_2	ε_3
292,11	38,43	14,36	0,0013814	– 0,00026755	– 0,00042402

Результаты расчётов долговечности штанг без учёта и с учётом коррозионного повреждения

коэффициент запаса по долговечности $n = 3$

длительность наработки штанг T в сутках (при $N_{\text{базовой}}$ 5×10^6 циклов или 926 сут.)

частота $f = 4{,}5$ цикл/мин.

Результаты расчёта малоцикловой долговечности штанг

Варианты расчёта	$N_{\text{расчётная}}$, циклы	$N_{\text{допускаемая}}$, циклы	T, сутки	
			расчётная	допускаемая
Без учёта коррозии	128487200	42829067	19827	6609
С учётом коррозии	1368174	456058	210	70

Результаты расчётов

• многоцикловая усталость штанг не обеспечивается, в т.ч. из материала класса Д

• наиболее важным фактором, влияющим на сопротивление усталости штанг, является коррозионная стойкость материала.

• определение долговечности штанг в этом случае следует вести методами расчёта малоцикловой усталости.

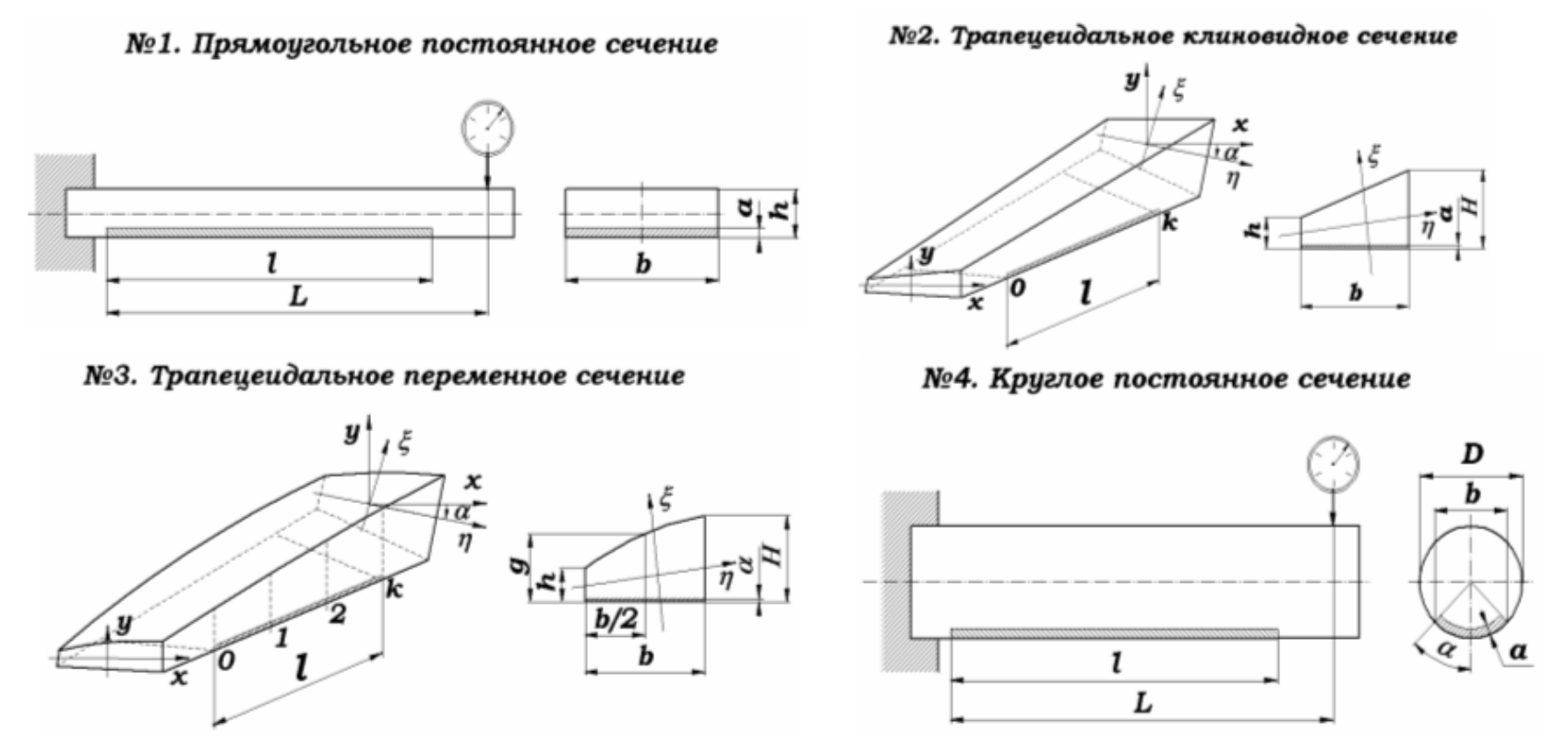
Расчёты на прочность с учётом остаточных напряжений

Цель работы: учёт остаточных напряжений, возникающих в поверхностном слое труб, штанг и прочих деталей, в процессе их изготовления и эксплуатации.

Автоматизированная система определения остаточных напряжений АСБ-1 (разработка ООО НКФ «СБК»)



Типы образцов для определения остаточных напряжений



Определение остаточных напряжений на установке АСБ-1

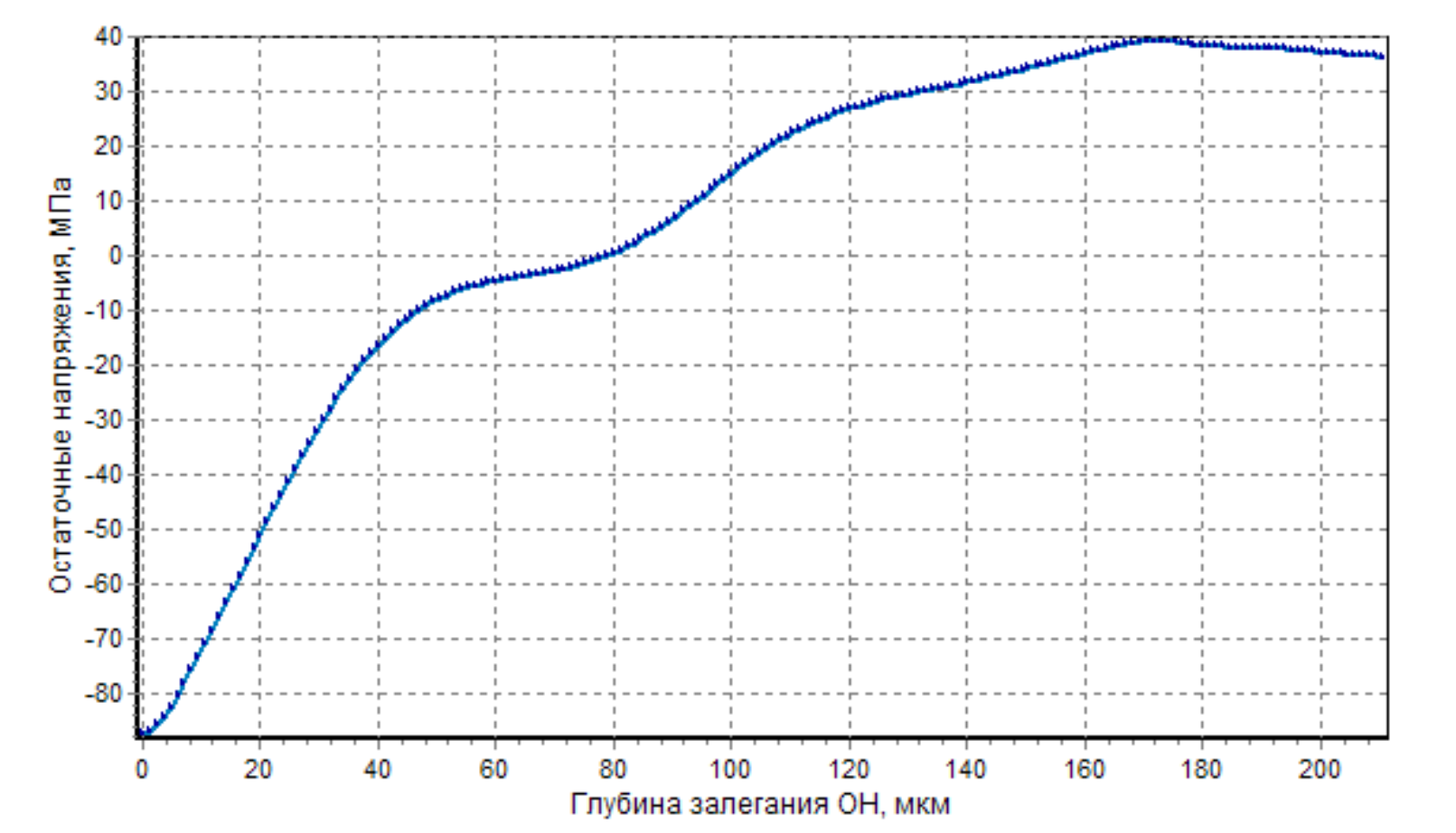




Образцы секторного сечения

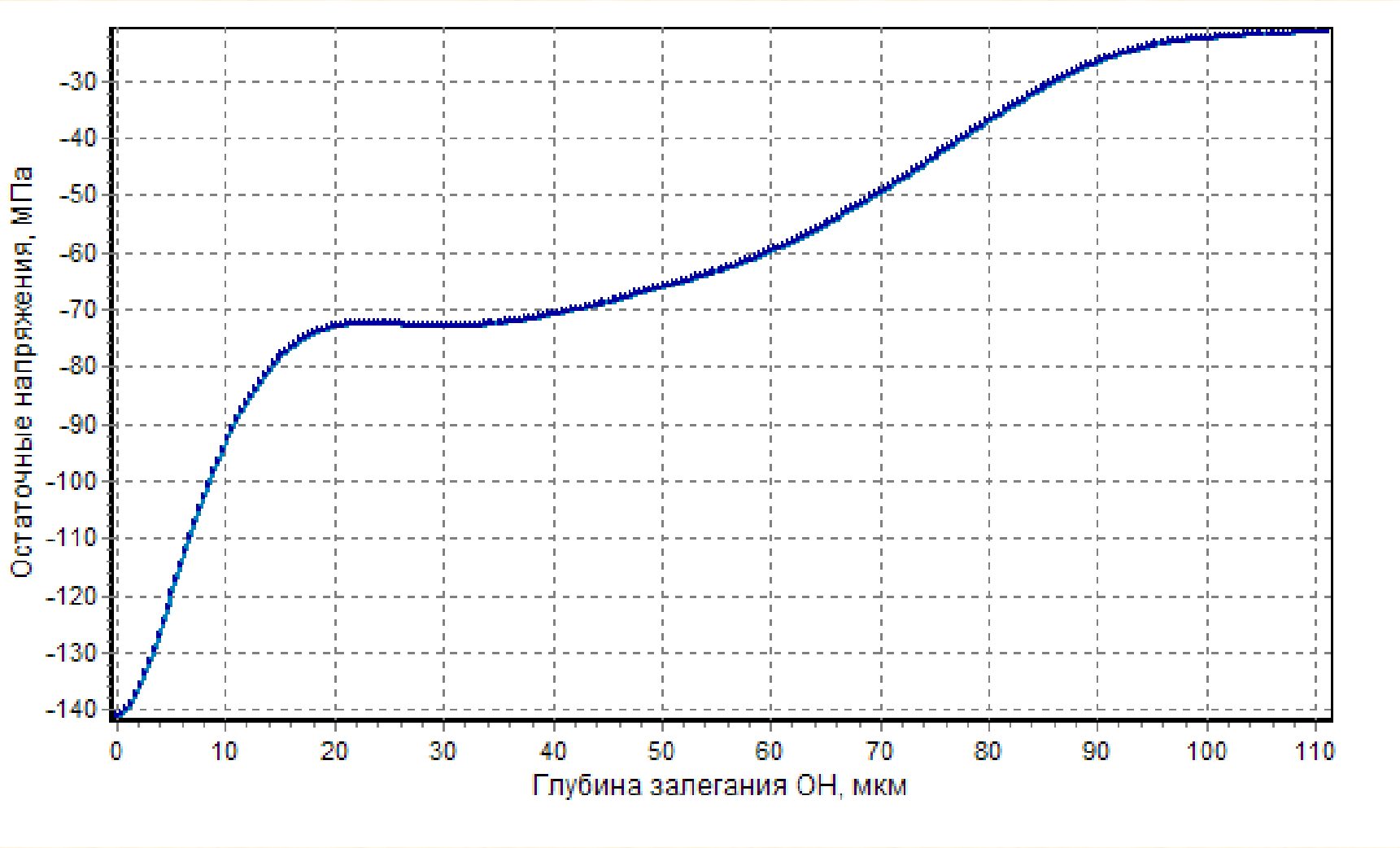
для определения остаточных напряжений

Распределение остаточных напряжений в поверхностном слое штанг без наработки

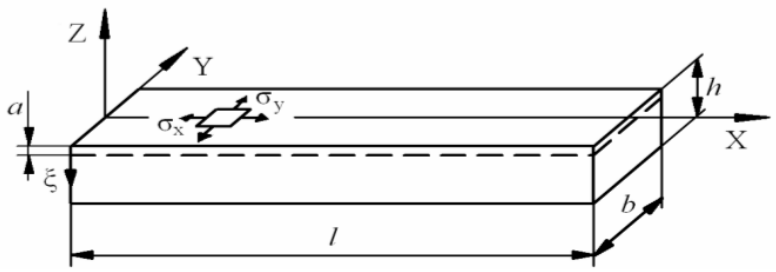


Распределение остаточных напряжений в поверхностном слое штанг с наработкой (с коррозионным повреждением поверхности штанги)

Повышение сжимающих остаточных напряжений вследствие наводораживания поверхностного слоя, а также влияния коррозии составило ~ 60 МПа



Энергетический метод моделирования технологических остаточных напряжений и деформаций в поверхностном слое деталей



Ориентация системы координат и направления остаточных напряжений

$$U_{д} = \Delta U_a = f(U_a)$$

$U_д$ – энергия упругой деформации деталей

ΔU_a – изменение энергии поверхностного слоя a

В общем случае:

$$u_0 = \frac{1}{2E}[\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\mu(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1)],$$

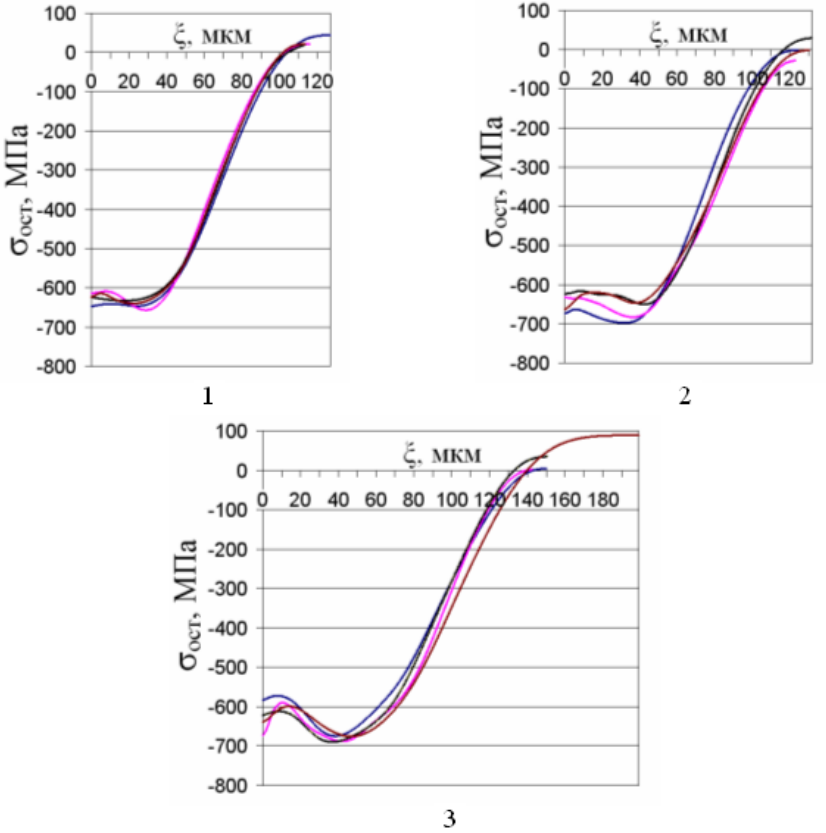
где $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – главные начальные напряжения.

В случае плоского напряженного состояния:

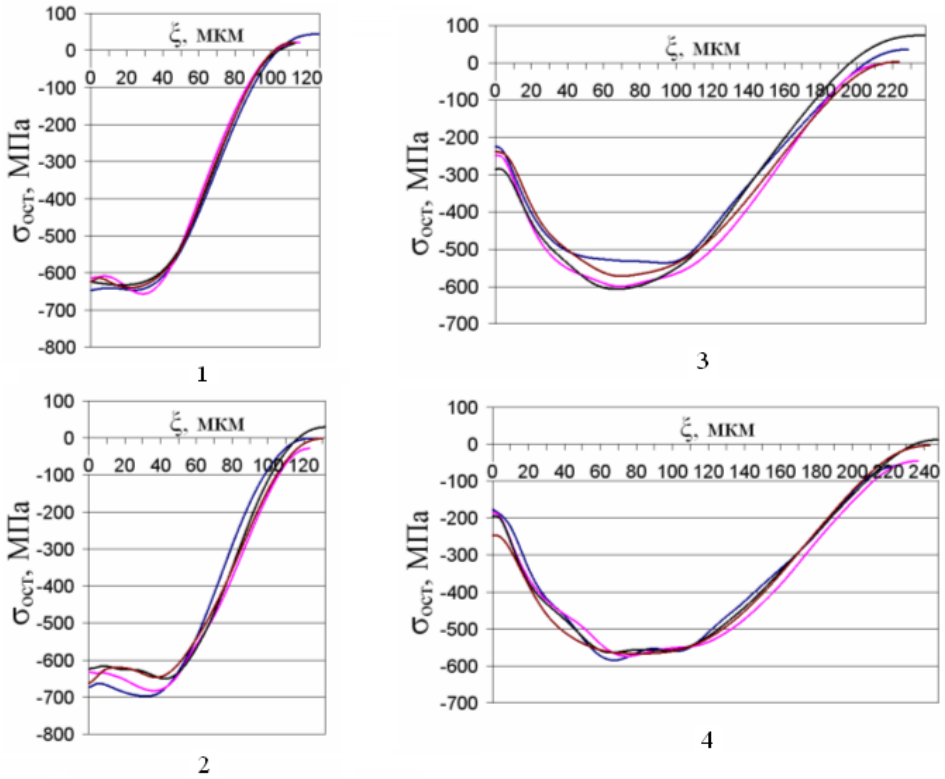
$$\sigma_1 = 0, \qquad \sigma_2 = \sigma_3 = \frac{\sigma_н}{1-\mu},$$

$$u_0 = \frac{\sigma_н^2}{(1-\mu)\cdot E}.$$

Определение Остаточных Напряжений системой АСБ-1



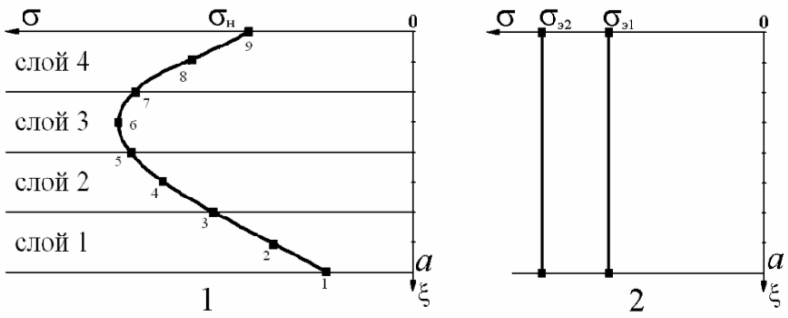
Эпюры ОН в плоских образцах из материала ЭИ-698 ВД
после упрочнения стеклянными микрошариками Ø250 мкм
(ОН определялись на приборе АСБ – 1)
1 – при давлении $p = 0.2$ МПа; 2 – при давлении $p = 0.3$ МПа;
3 – при давлении $p = 0.4$ МПа.



Эпюры ОН в плоских образцах из материала ЭИ-698 ВД
после упрочнения стальными микрошариками Ø315 мкм
(ОН определялись на приборе АСБ – 1)
1 – при давлении $p = 0.15$ МПа; 2 – при давлении $p = 0.30$ МПа;
3 – при давлении $p = 0.45$ МПа; 4 – при давлении $p = 0.60$ МПа.

Моделирование технологических остаточных напряжений и деформаций на основе метода конечных элементов в системе ANSYS

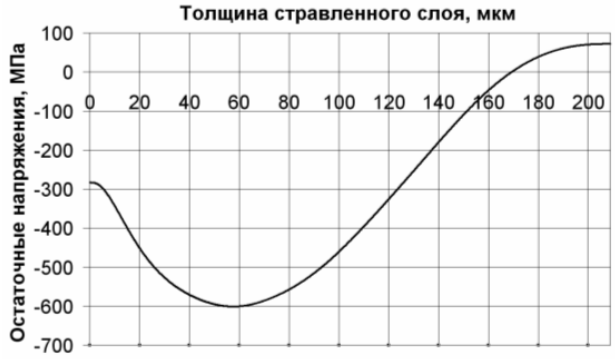
Моделирование упрочненного поверхностного слоя



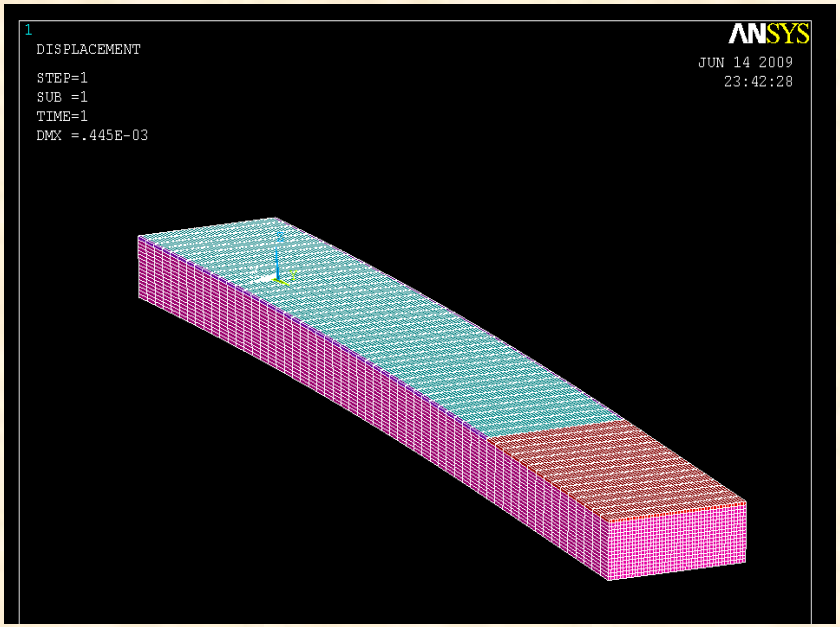
Структура упрочненного поверхностного слоя

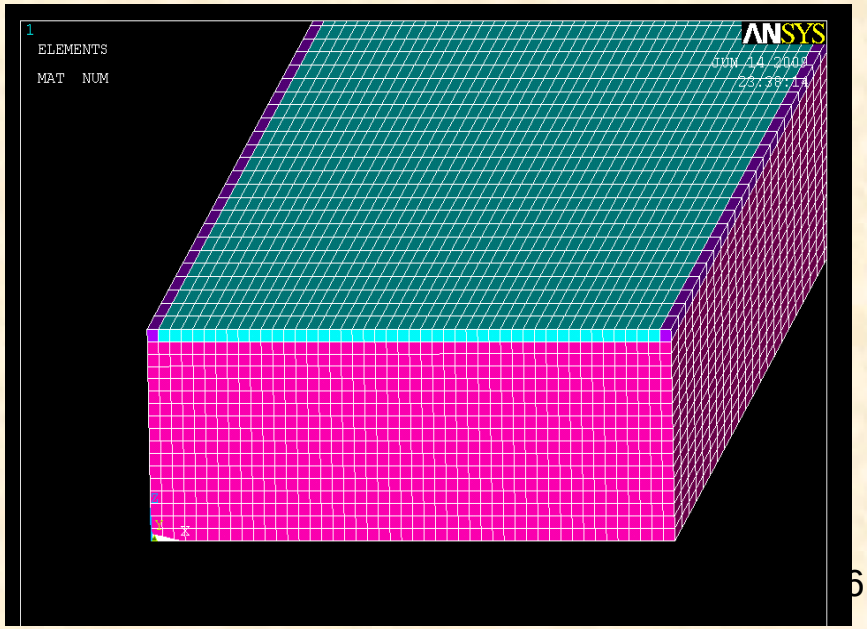
Деформации деталей типа “Стержень”

P **возд = 0,3 МПа, *d*ш = 315мкм,*V*с = 30 мм/мин.**

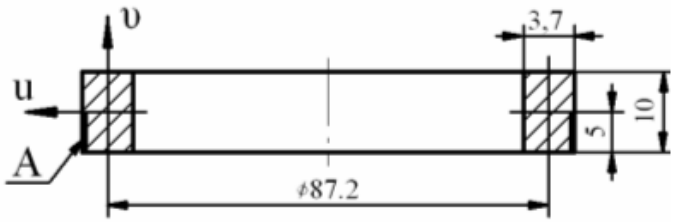


Распределение ОН после упрочнения на выбранном режиме

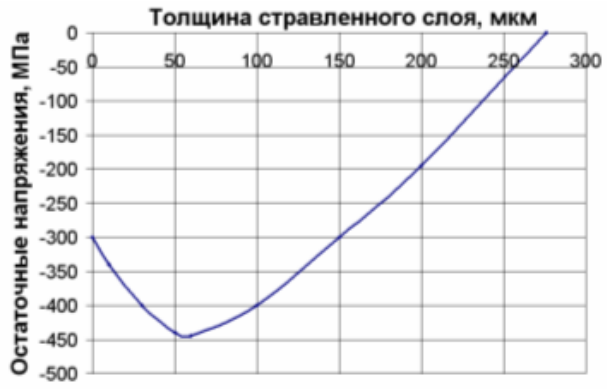




Моделирование остаточных напряжений в деталях типа “Кольцо”

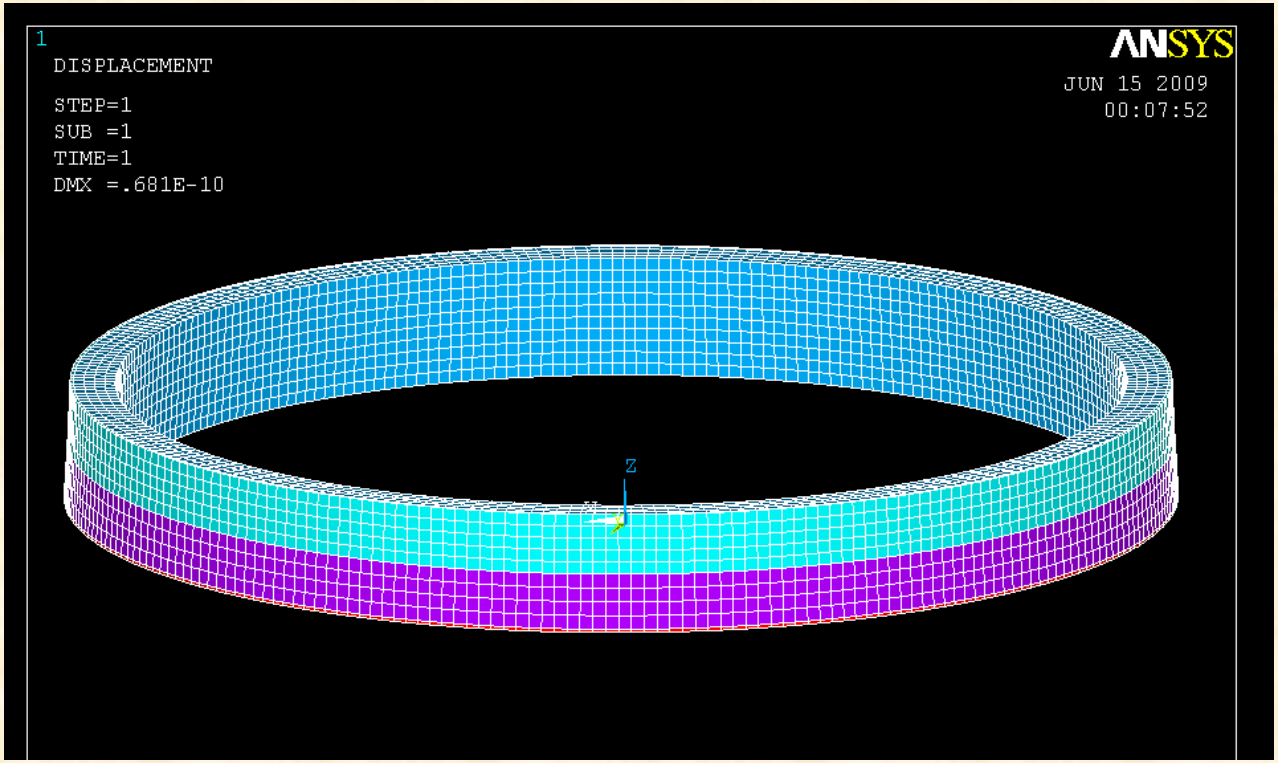


Кольцевой образец
А – обработанная поверхность

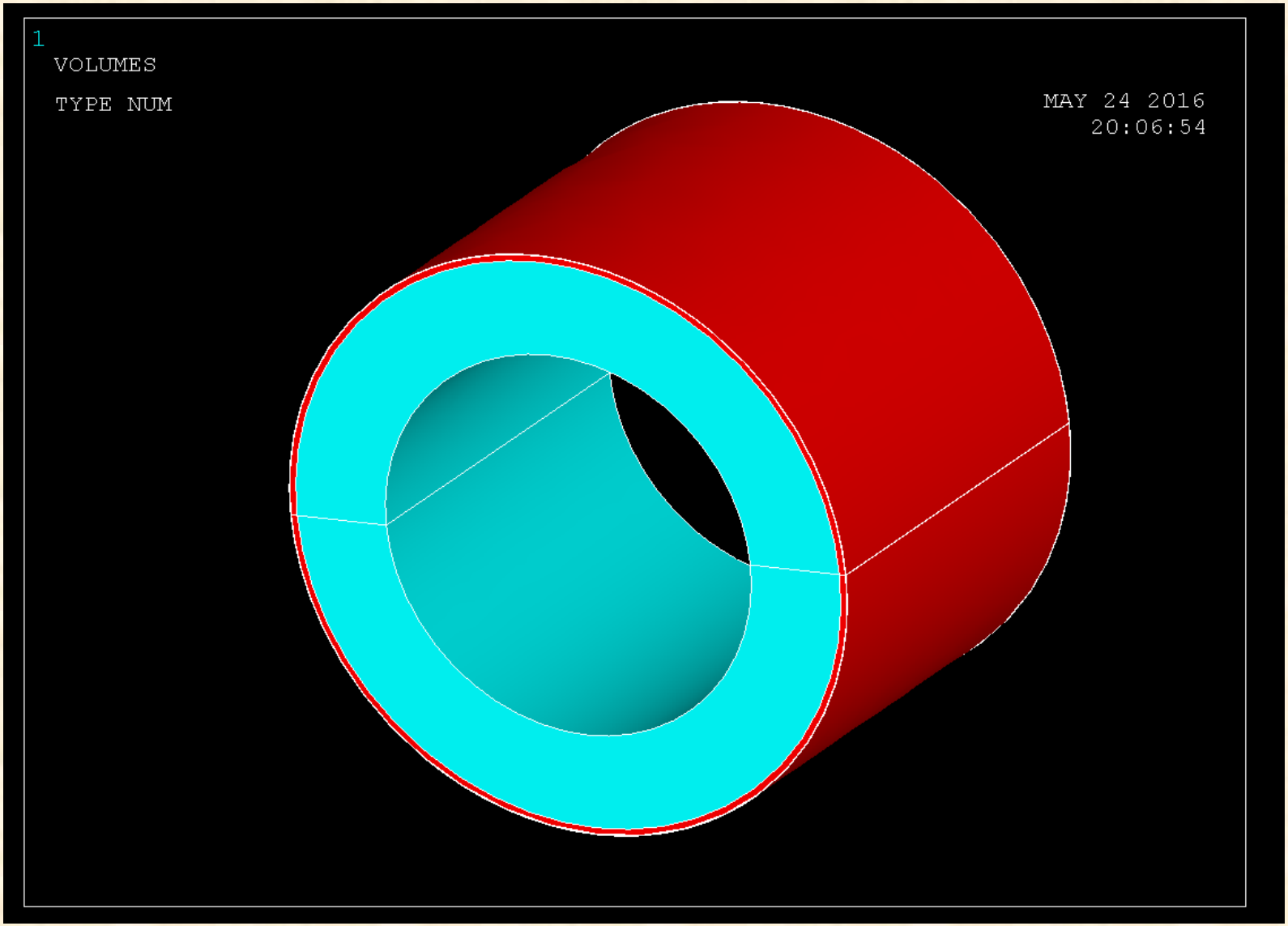


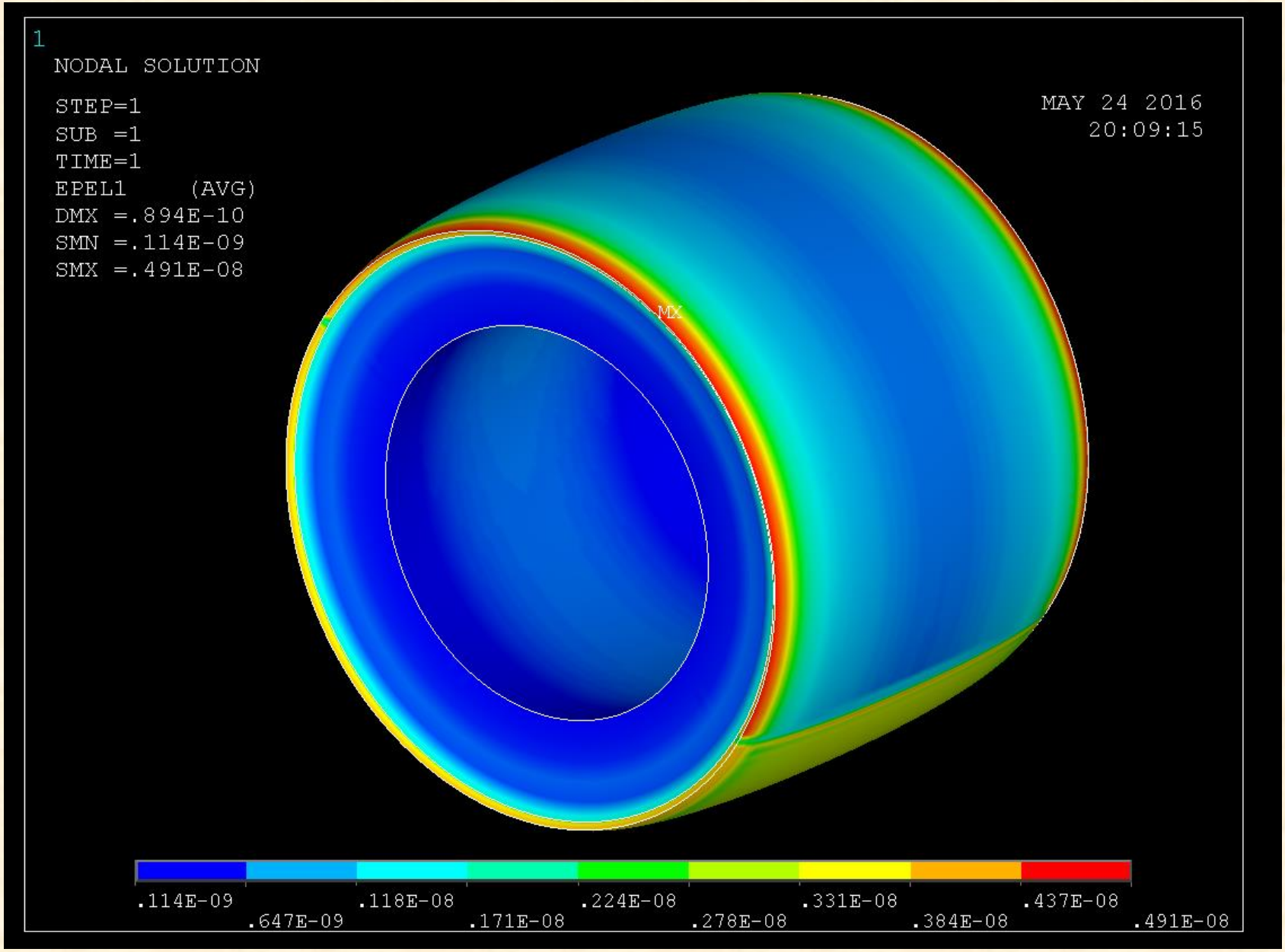
Распределение ОН после дробеструйной обработки

***p*возд = 0,35 МПа**
Øш= 1,4 – 1,8 мм,
***t* = 8 мин.**



Расчёт на прочность трубопроводов с учётом остаточных напряжений в поверхностном слое




1
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
EPEL1 (AVG)
DMX =.894E-10
SMN =.114E-09
SMX =.491E-08
MAY 24 2016
20:09:15
MX
.114E-09
.647E-09
.118E-08
.171E-08
.224E-08
.278E-08
.331E-08
.384E-08
.437E-08
.491E-08

Заключение

- Разработка специализированного исследовательского оборудования;
- Разработка новых методов исследования и моделирования остаточных напряжений, явлений коррозии и прочих эффектов;
- Разработка совершенных методик проведения модельного эксперимента;

позволяют проводить исследования напряжённо-деформированного состояния объектов добычи нефти и газа, натурные испытания которых затруднены или не возможны.