

ИССЛЕДОВАНИИ ВЛИЯНИЯ КОМПОНЕНТ НАПРЯЖЕНИЙ В ТРУБАХ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА НА КОРРОЗИОННОЕ РАСТРЕСКИВАНИЕ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ

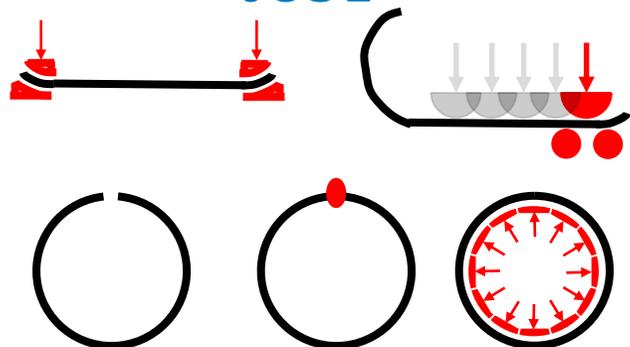
ПОГУЛЯЕВ СТЕПАН ИВАНОВИЧ

Заместитель начальника лаборатории экспериментальных исследований ресурса производственных объектов
КНТЦ управления техническим состоянием и целостностью производственных объектов
ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

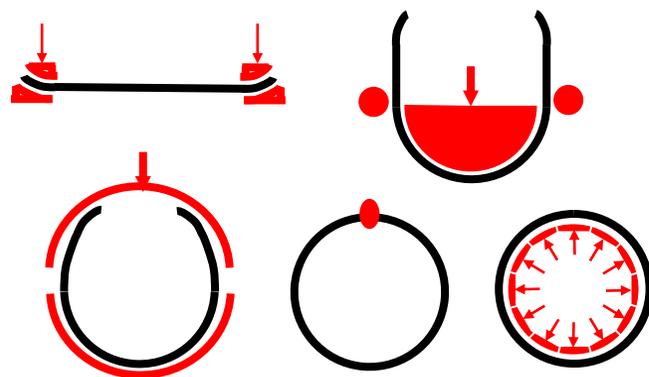
VII Научно-практический семинар «Повышение надежности магистральных газопроводов, подверженных коррозионному растрескиванию под напряжением». г.Москва, 30 июля – 02 августа 2024 года

Методы формовки сварных труб

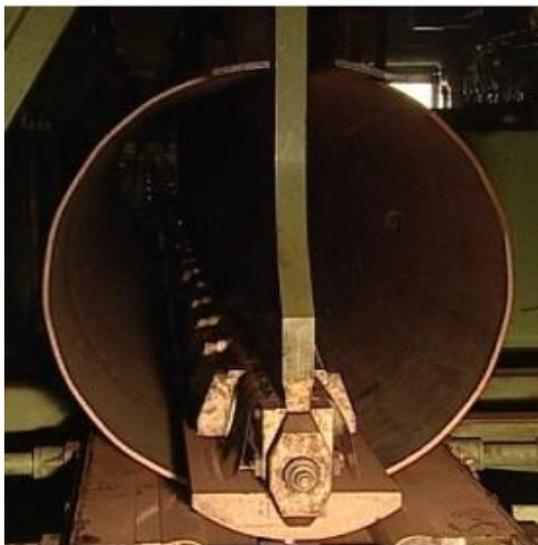
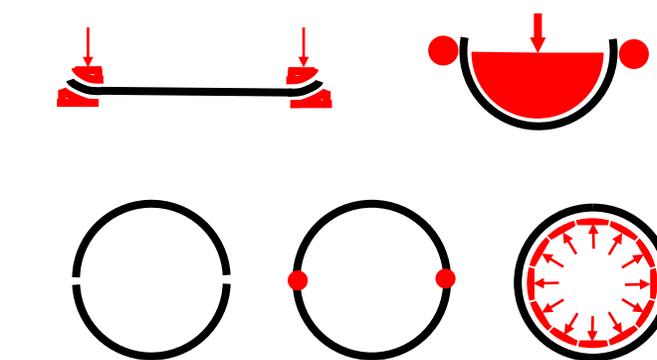
JCOE



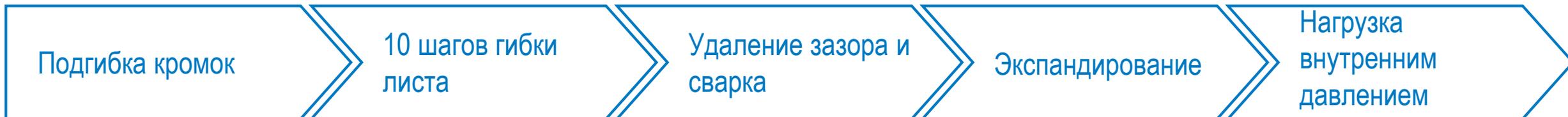
UOE



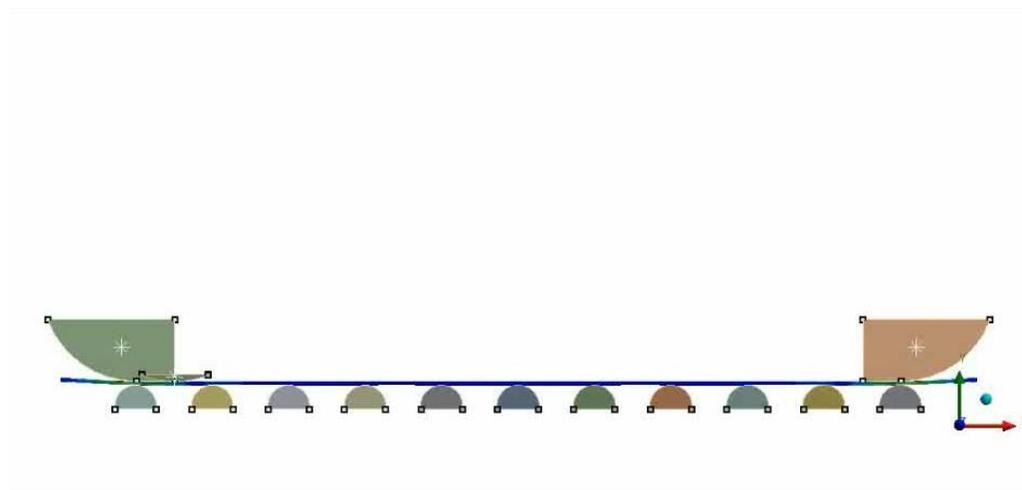
2C



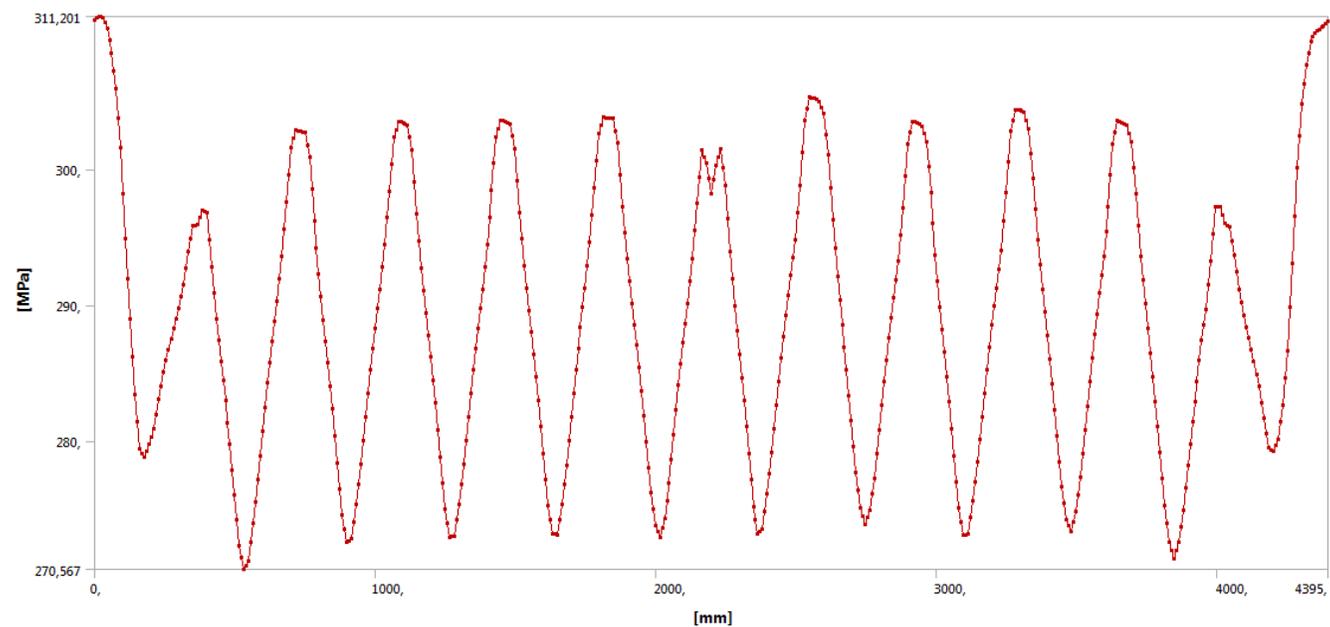
Моделирование JCOE формовки трубы



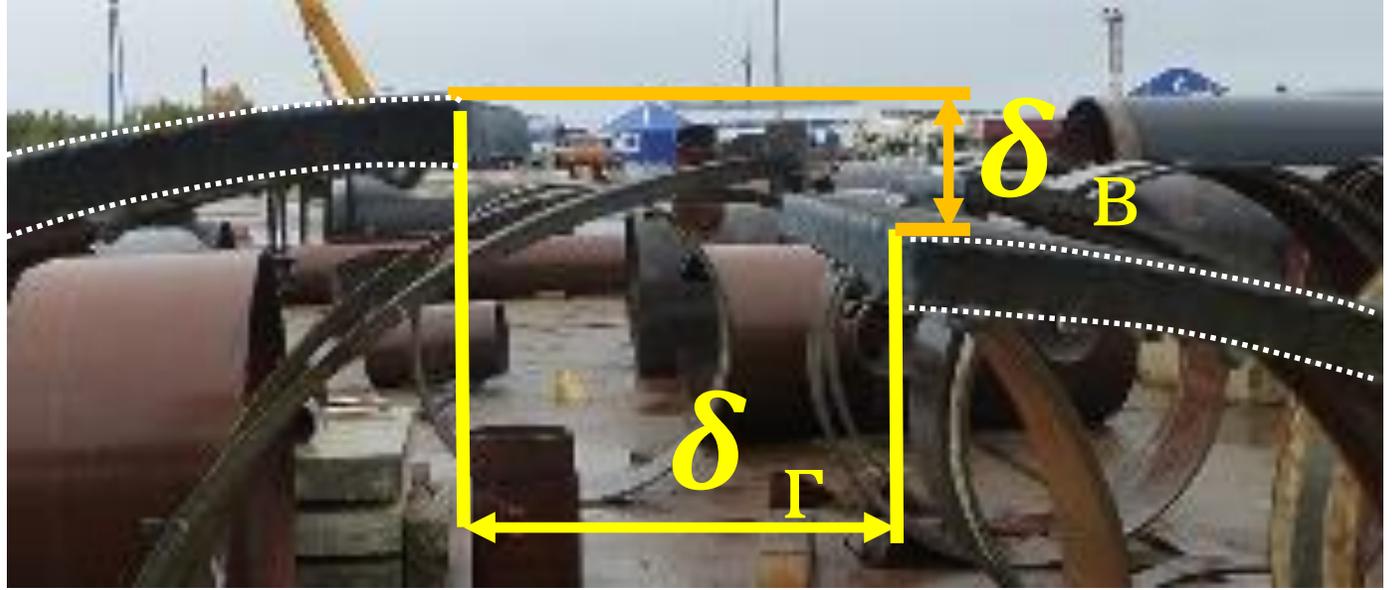
Визуализация формовки



Распределение нормальных напряжений у наружной поверхности трубы при нагружении внутренним давлением



Методика определения остаточных напряжений методом разрезки колец



$$\sigma_{\text{ост}}^{\text{ср}} = \frac{E \cdot t}{(1 - \mu^2) \cdot 2 \cdot R_0^2 \cdot \pi} \left(\frac{\delta_{\Gamma}}{2} - \delta_{\text{В}} \sin(\alpha_{\sigma}) \right)$$

$\sigma_{\text{ост}}^{\text{ср}}$ - средние по окружности изгибные остаточные напряжения, МПа

δ_{Γ} – горизонтальное расхождение кольца, м

$\delta_{\text{В}}$ – вертикальное расхождение кольца, м

E – модуль Юнга, МПа

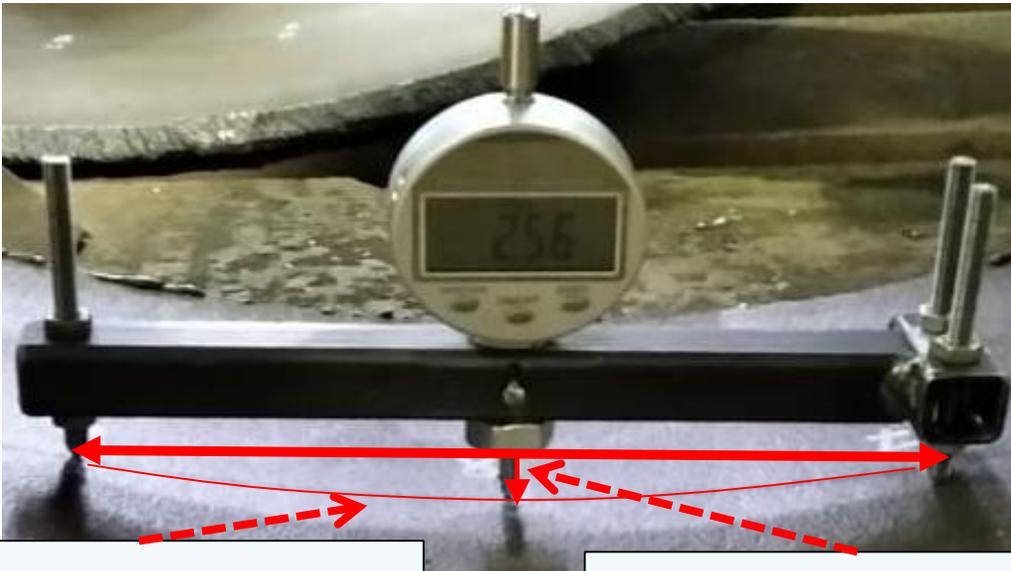
t – толщина стенки трубы, м

R_0 - радиус серединой поверхности разрезанного кольца, м

Методика измерения локальной кривизны стенки труб

Измерена кривизна с шагом по окружности со стороны внутренней поверхности

Кривизномер



L – база
кривизномера

Δ – стрелка
кривизны

Локальный радиус кривизны

$$\rho = \frac{L^2}{8 \cdot \Delta}$$

Изгибные напряжения

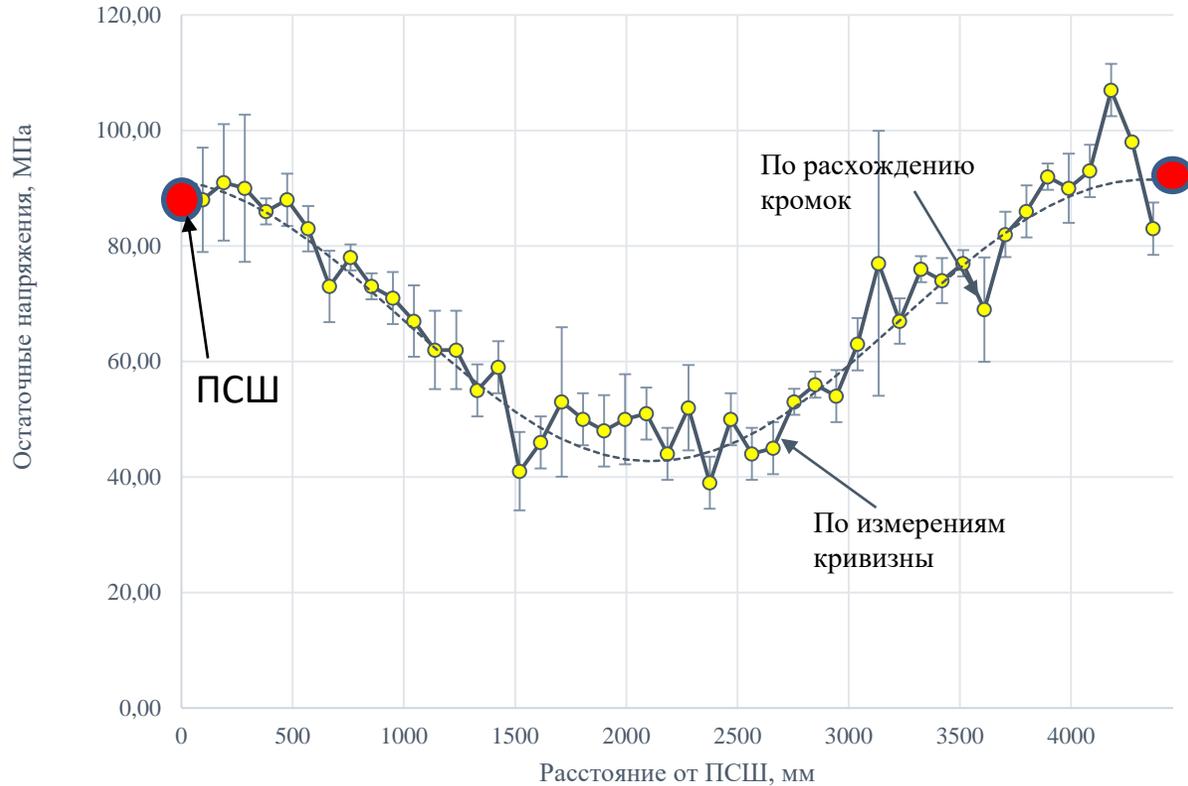
$$\sigma_{\text{кц}} = \frac{p \cdot \rho}{t}$$

Кольцевые напряжения

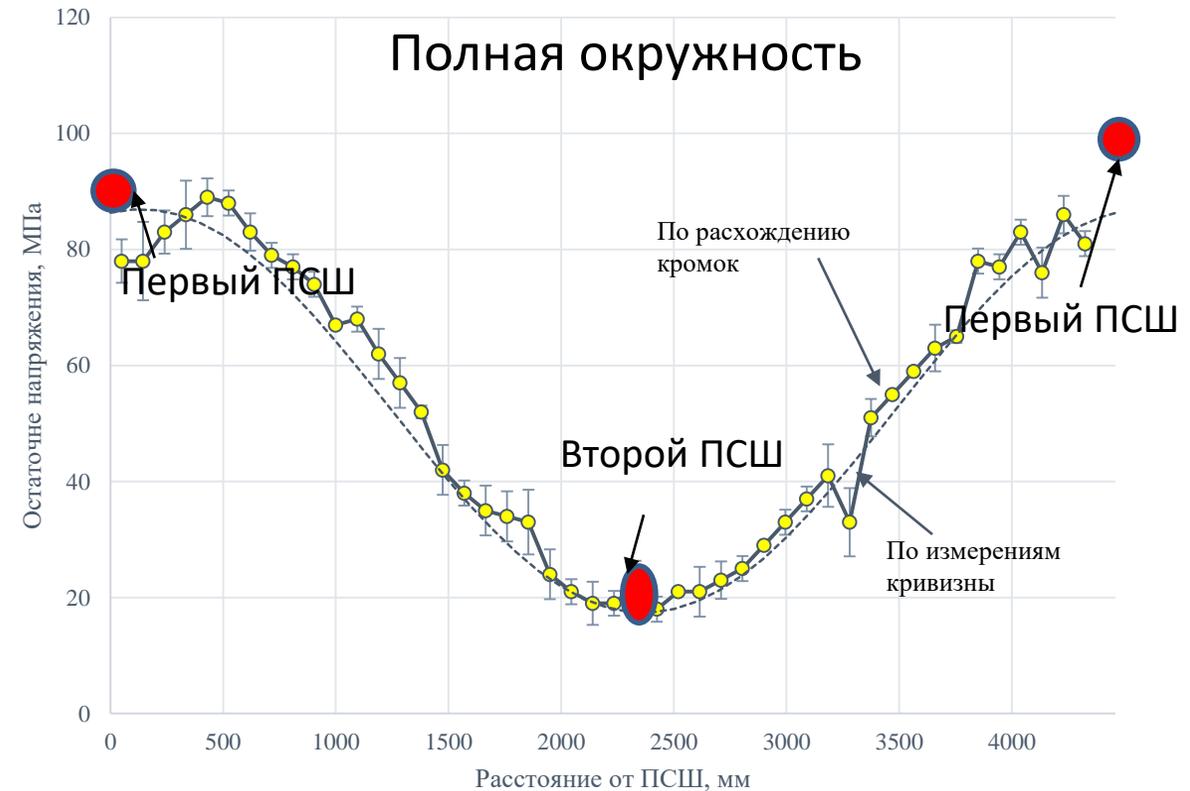
$$\sigma_{\text{изг}} = \frac{E \cdot t \cdot \Delta}{2 \cdot (\rho_{\text{к}} - \rho_{\text{н}}) \cdot (1 - \mu^2)}$$

Оценка остаточных изгибных напряжений

Одношовные трубы
 $\text{Ø}1420 \times 16,5$ мм, Mannesmann



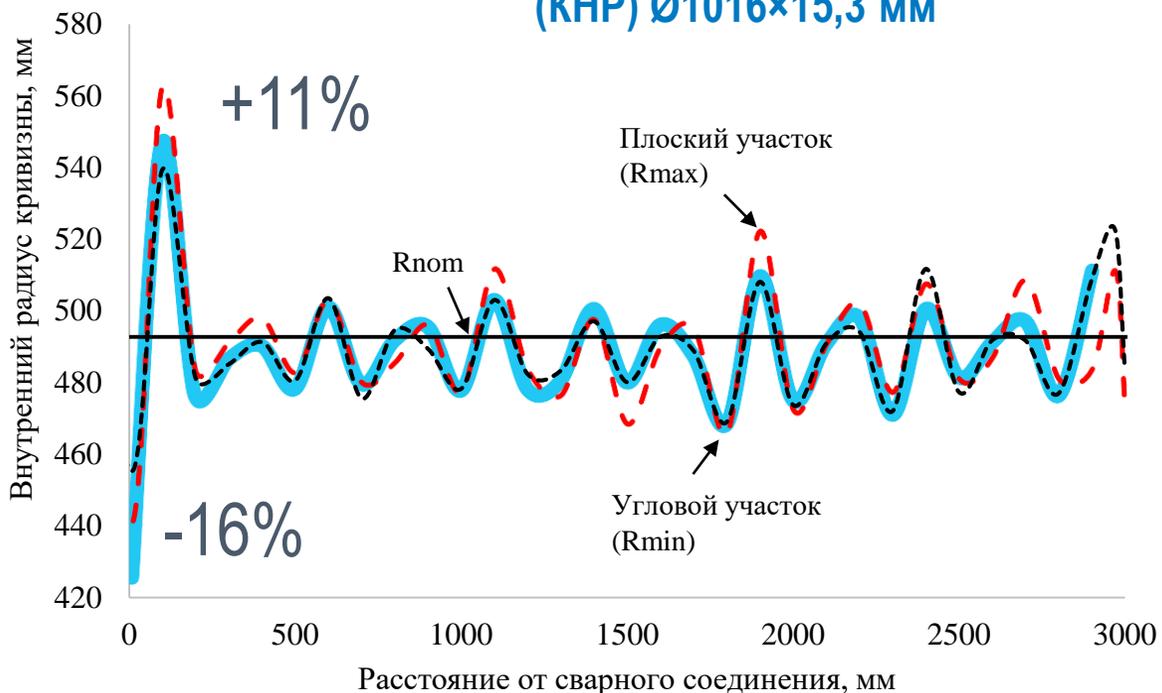
Двухшовные трубы
 $\text{Ø}1420 \times 16,5$ мм, ХТЗ



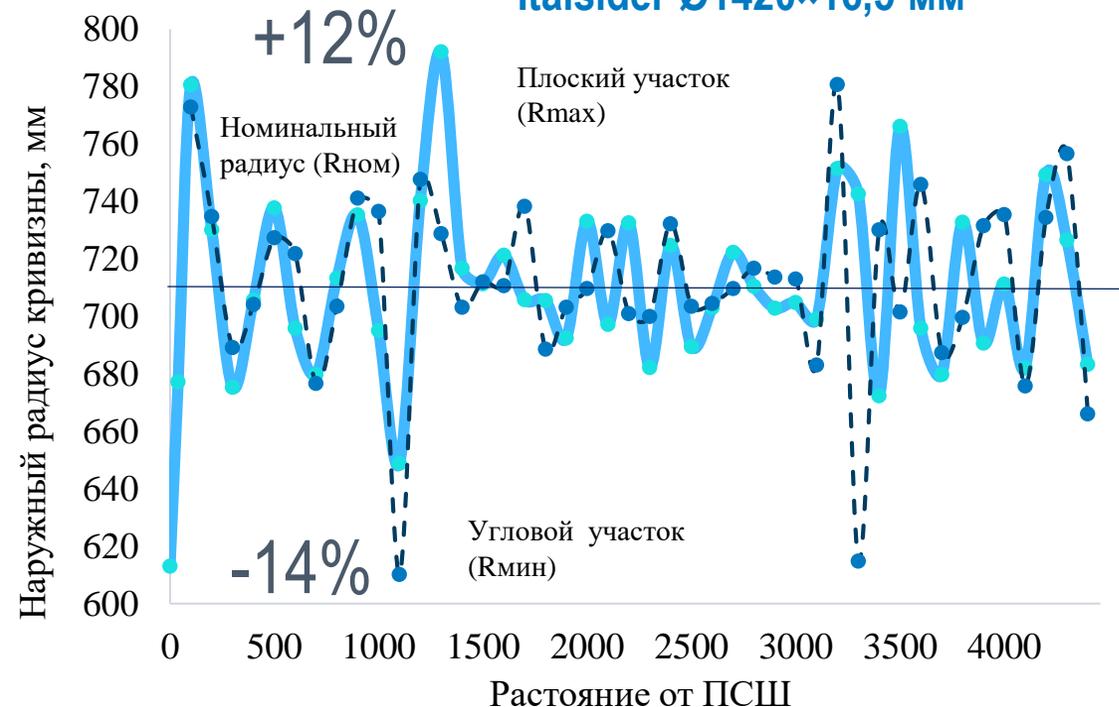
Повторяемость измерений

Местоположение зон концентрации напряжений повторяются как для труб из одной партии, так и для труб одного производителя, но разных партий

Трубы из одной партии
(КНР) Ø1016×15,3 мм

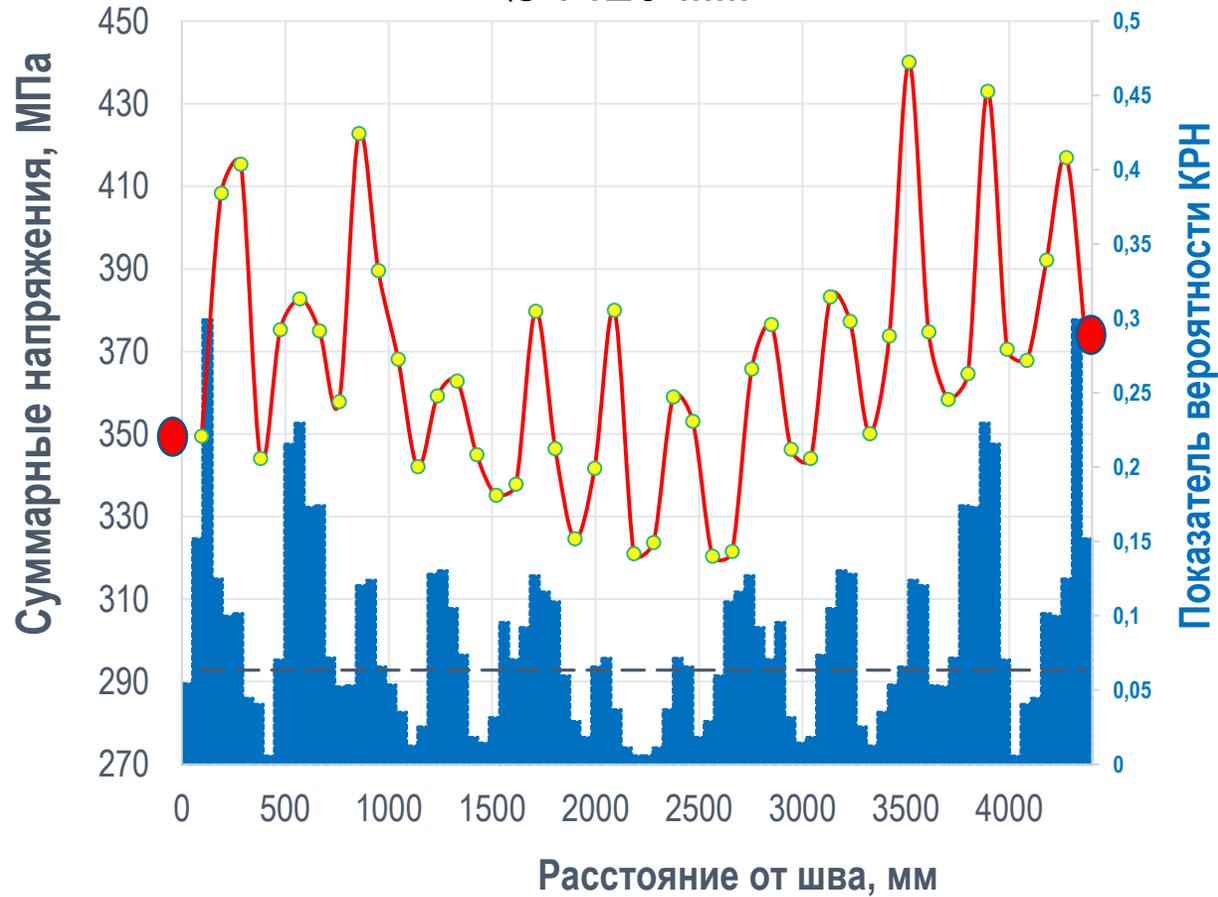


Трубы одного производителя разных партий
Italsider Ø1420×16,5 мм

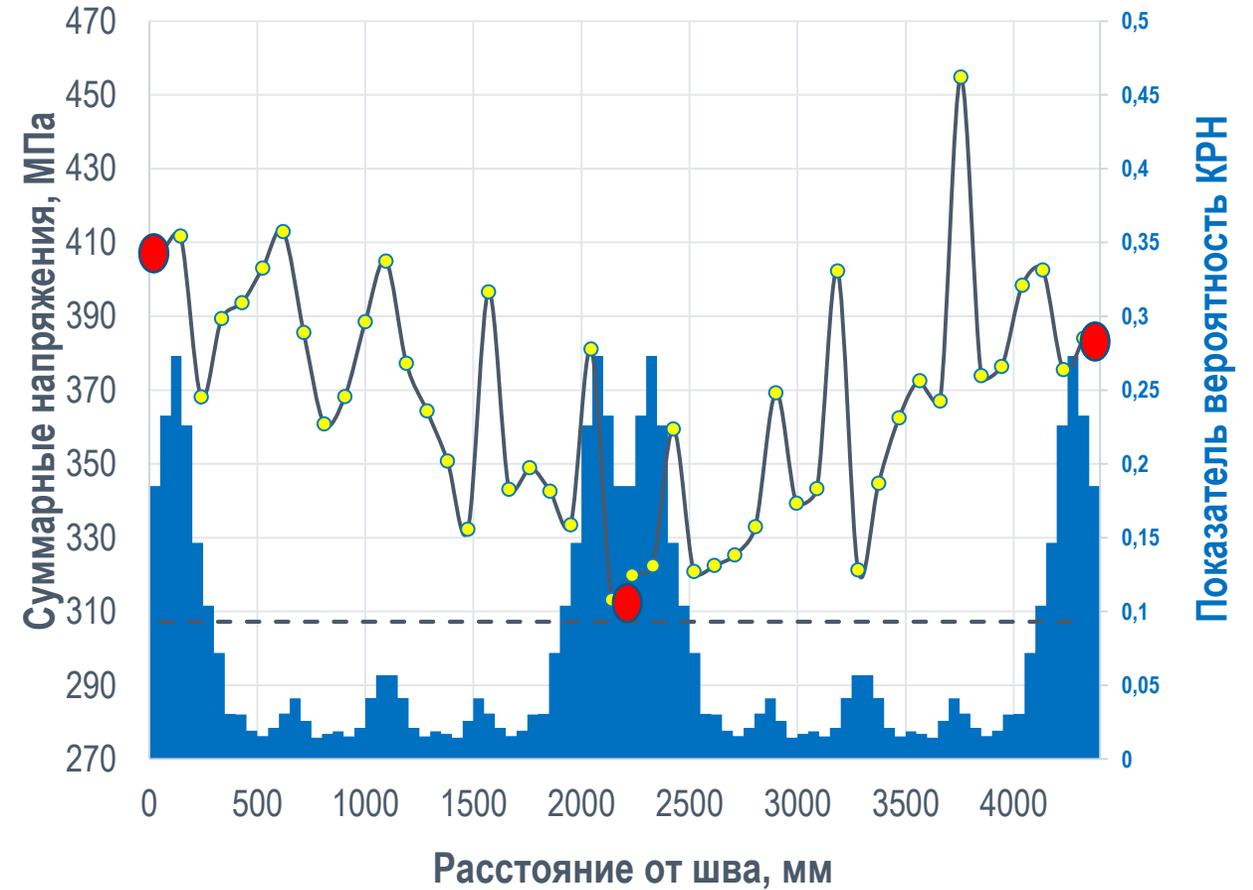


Общая оценка суммарных остаточных и эксплуатационных напряжений и сопоставление со статистическими данными

Одношовная труба
Ø1420 мм

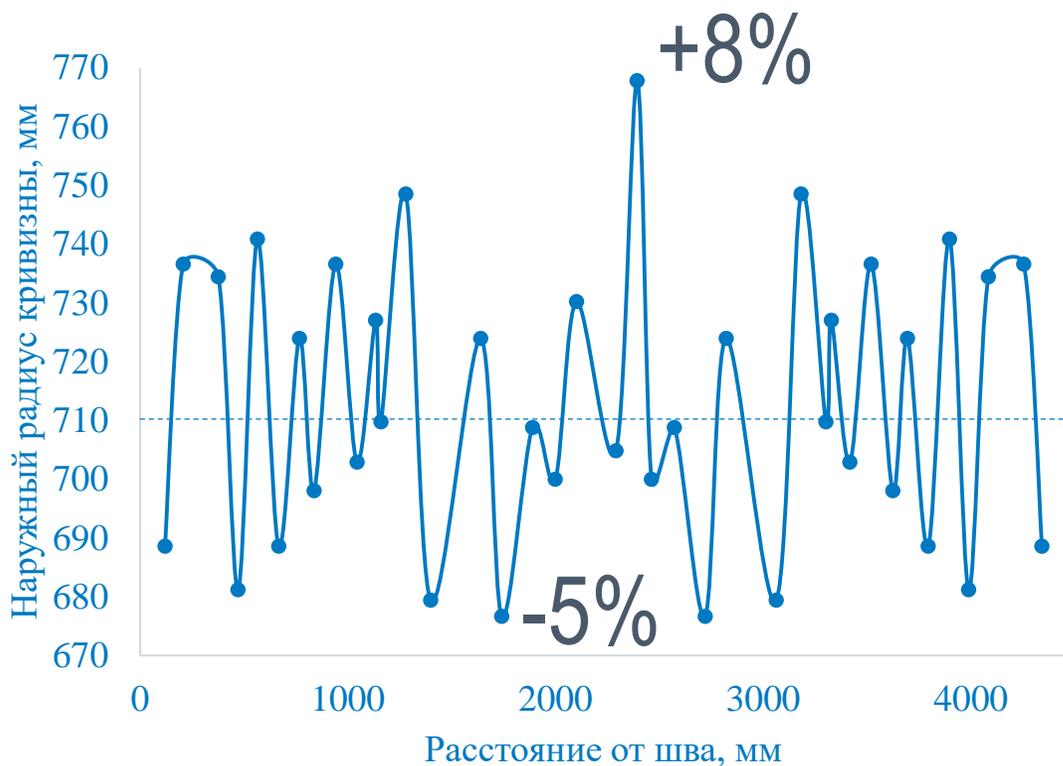


Двухшовная труба
Ø1420 мм

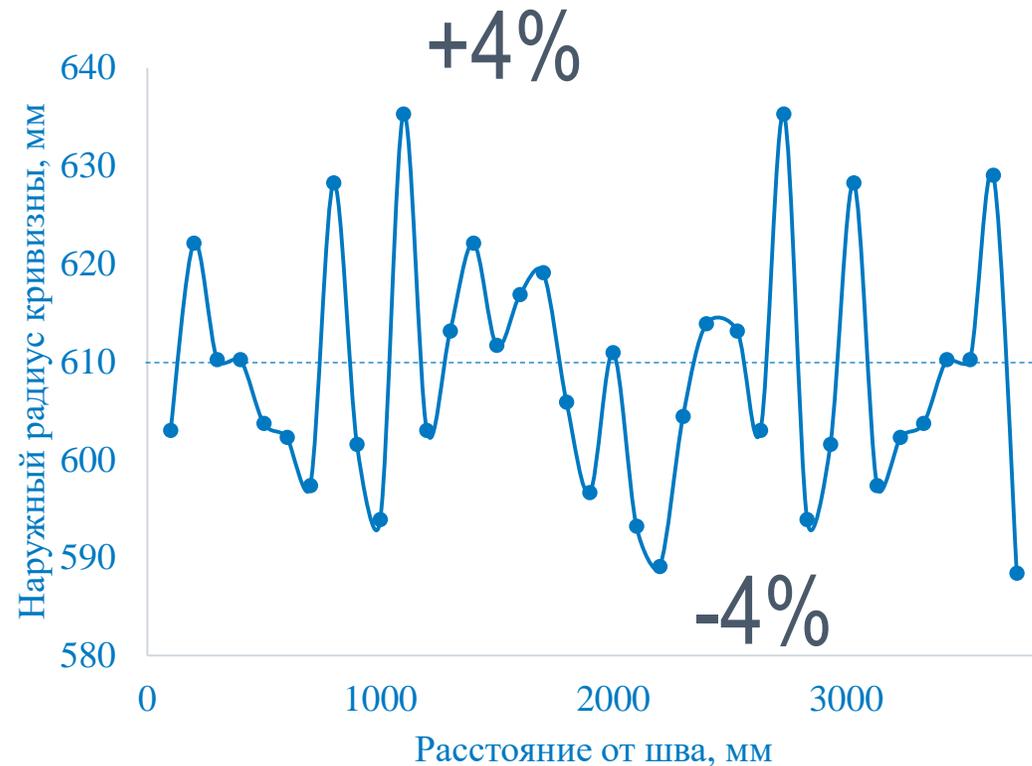


Кривизна современных труб

Ø1420×18,7 мм, 1Ш, ВМЗ
ТУ 1381-012-05757548-2015



Ø1220×16 мм, 1Ш, ТМК
ТР ТУ 24.20.21-067-57357928-2022-ОШ



Измерение кривизны

Вычисление координат точек

Импорт геометрии в ANSYS

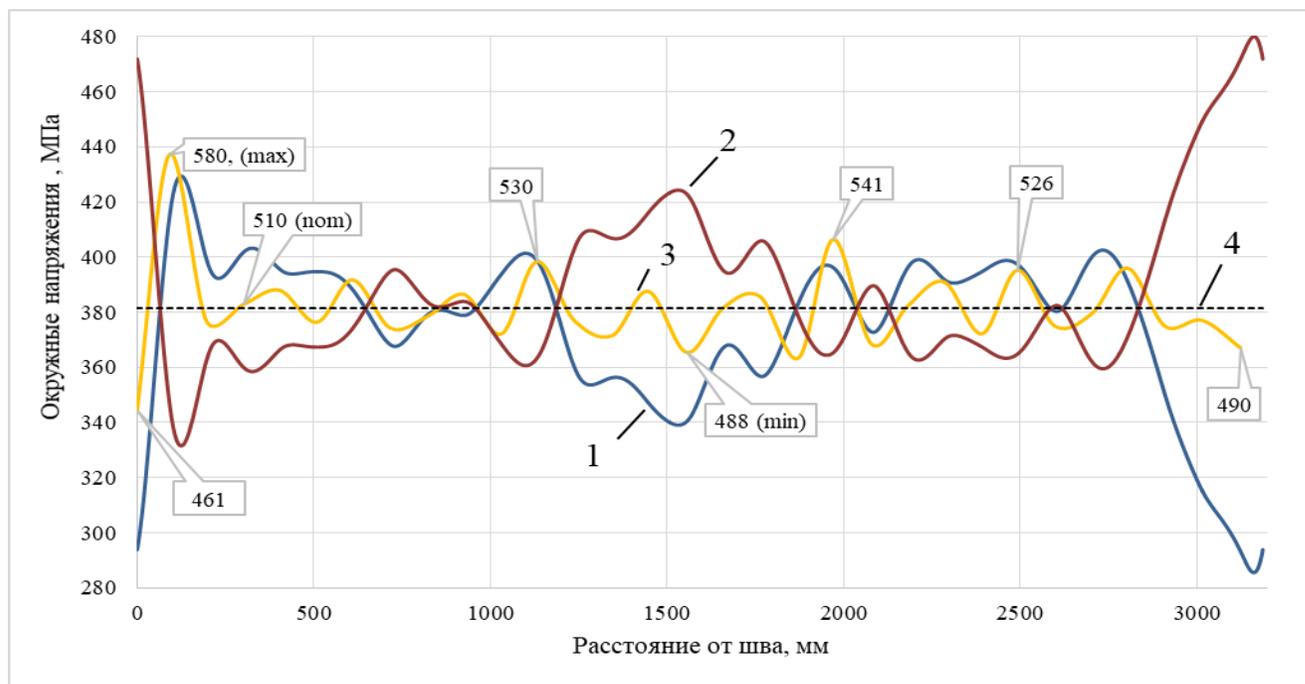
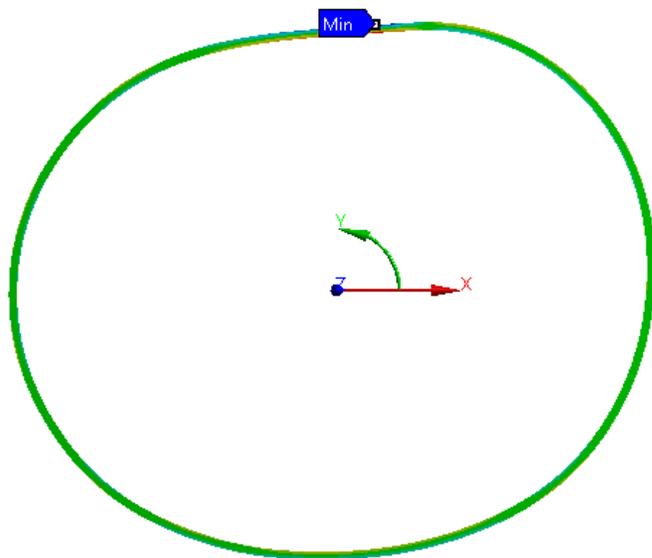
Моделирование нагружения внутренним давлением

Сравнение результатов расчёта

Утрированная форма трубы после нагружения

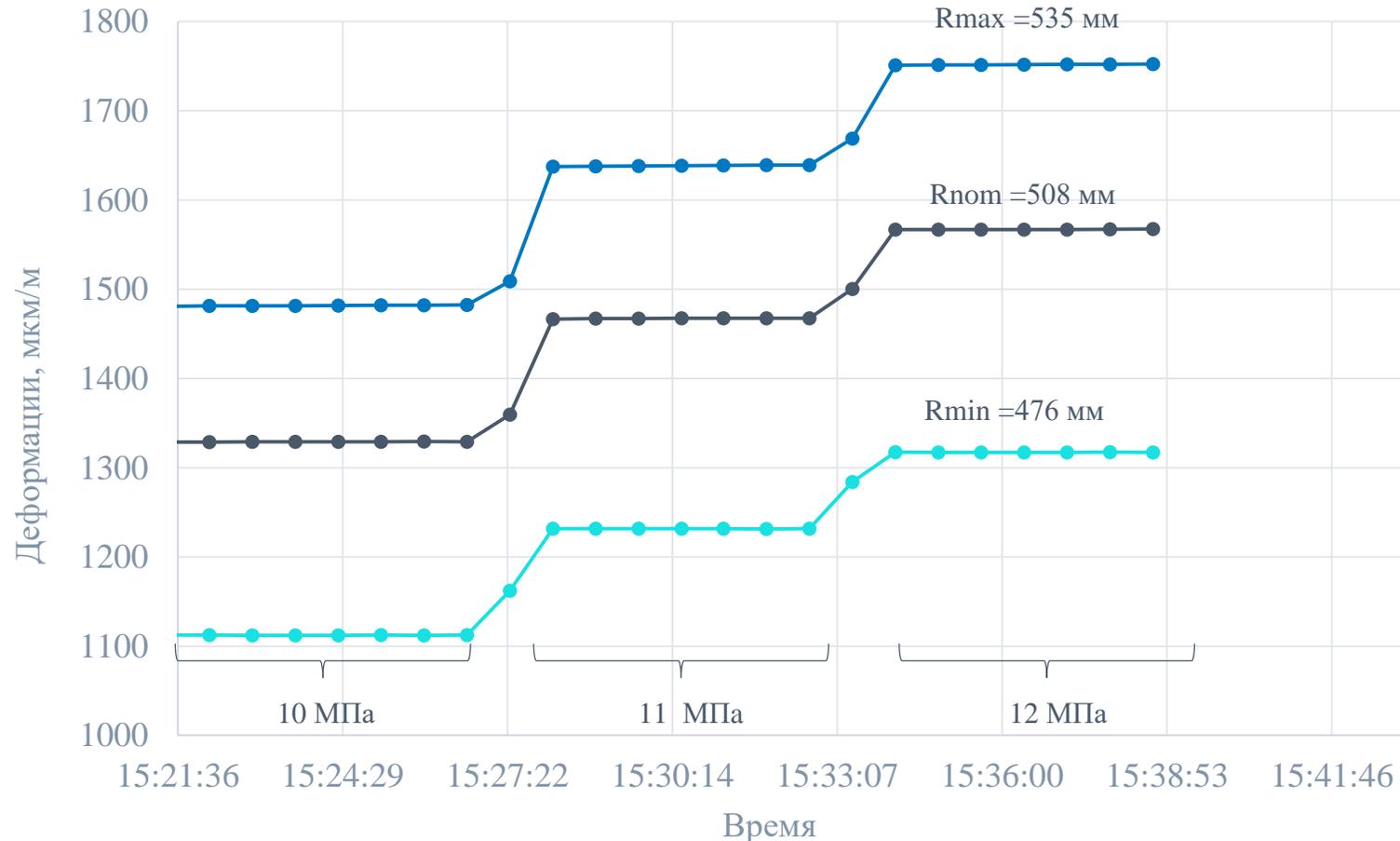
16.10.2022 15:22

480,02 Max
458,41
436,79
415,18
393,57
371,95
350,34
328,72
307,11
285,49 Min



Примечание: 1 – напряжения у наружной поверхности трубы (метод МКЭ); 2 – напряжения у внутренней поверхности трубы (метод МКЭ); 3 – напряжения, вычисленные по формуле; 4 – напряжения, вычисленные по формуле, при идеальном наружном радиусе трубы 508 мм; в выносках данных указан локальный радиус кривизны наружной поверхности

Методом электротензометрии подтверждено фактическое распределение напряжений в трубе



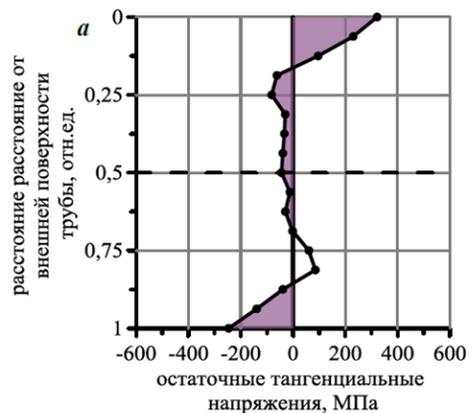
Отклонение от теоретических:
 R_{max} – плюс 5,7%
 R_{nom} – плюс 2,3%
 R_{min} – минус 10%



ИССЛЕДОВАНИИ ВЛИЯНИЯ КОМПОНЕНТ НАПРЯЖЕНИЙ В ТРУБАХ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА НА КОРРОЗИОННОЕ РАСТРЕСКИВАНИЕ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ

Оценка совокупного уровня напряженного состояния

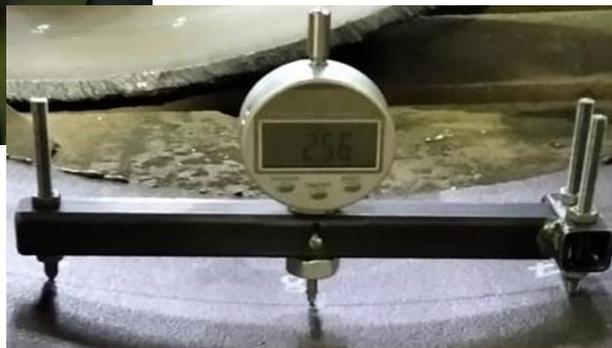
Рентгеновские исследования



Разрезка колец



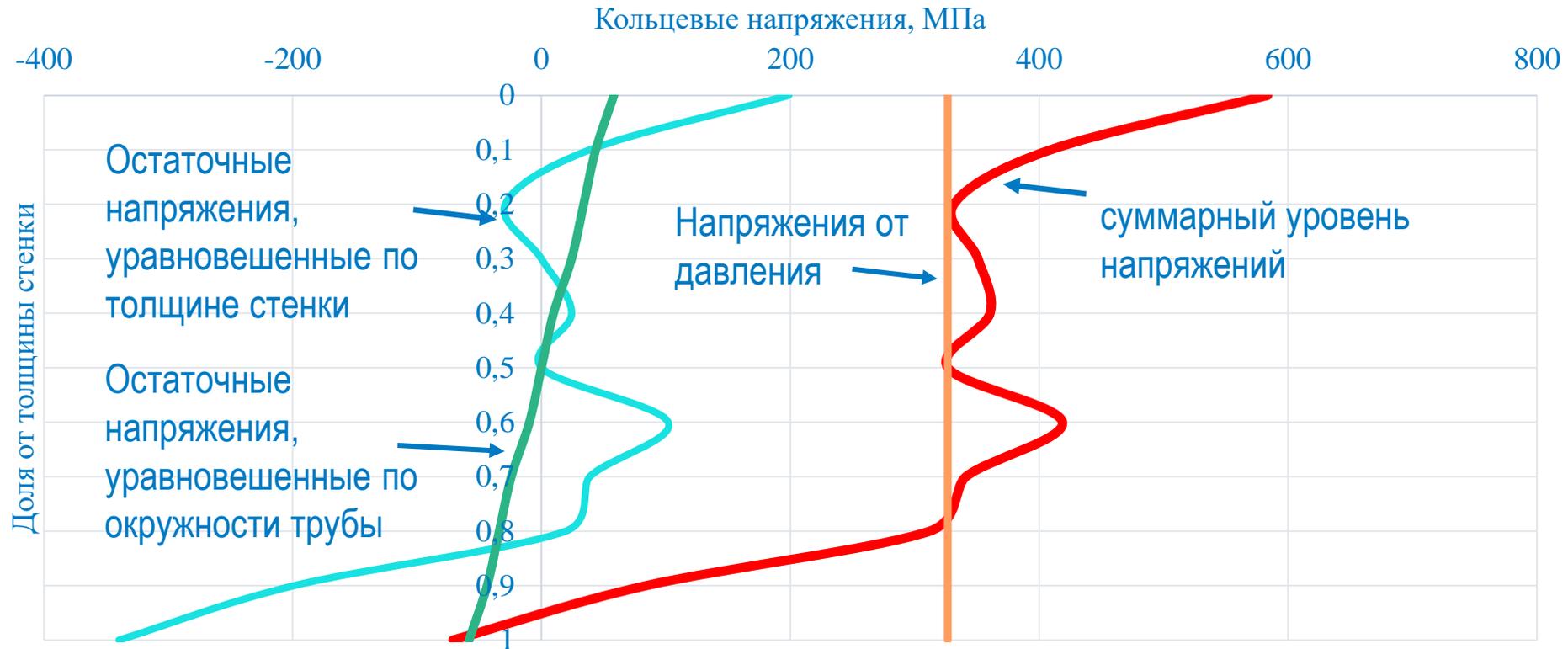
Измерение кривизны



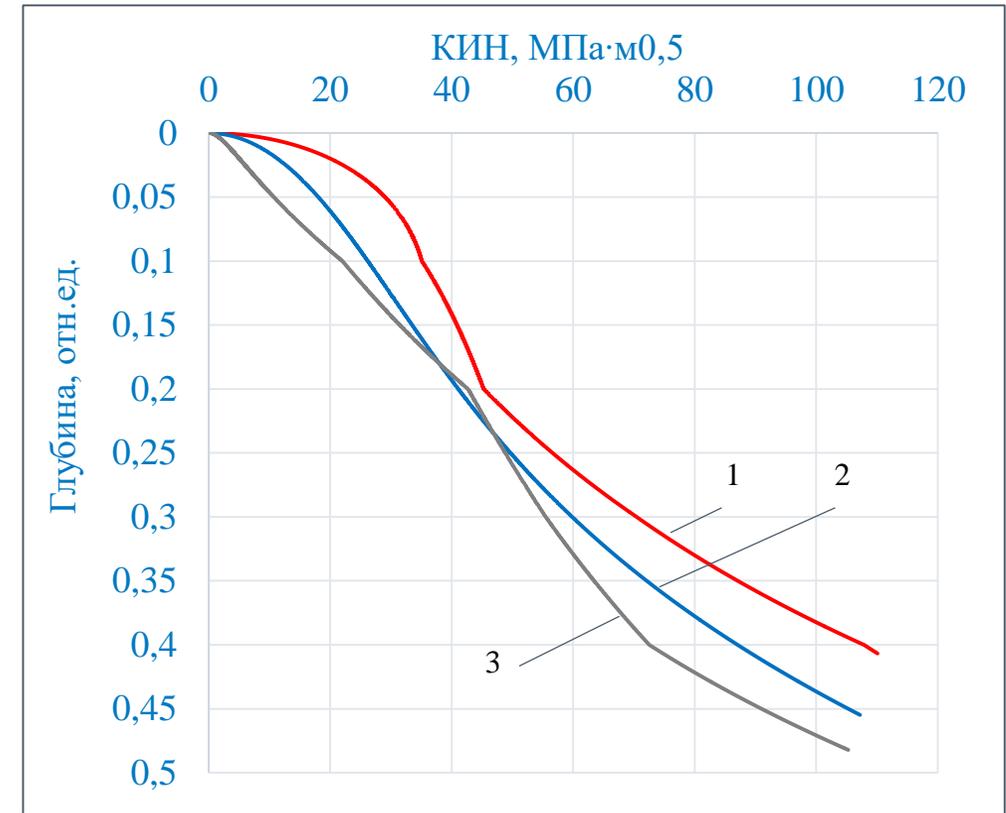
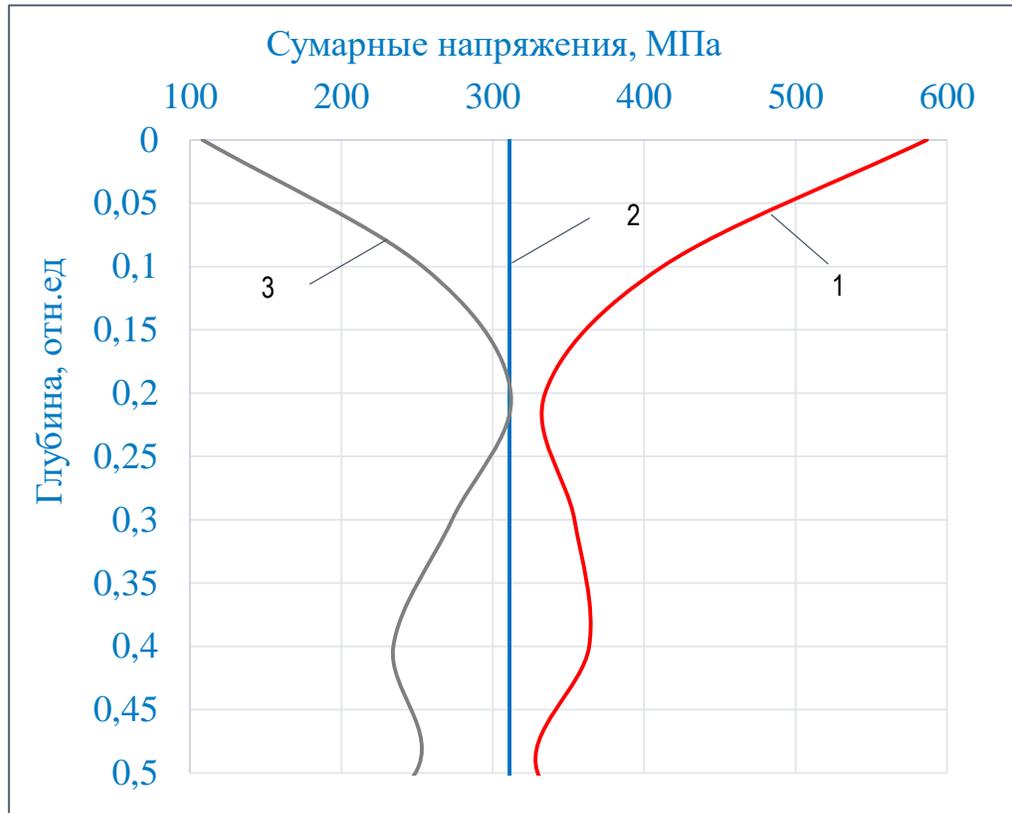
С использованием МКЭ
Нелинейной механики разрушения

Компонента НДС	Характер распределения напряжений	
	По толщине стенки	По окружности у наружной поверхности
Остаточные напряжения уравновешенные по толщине стенки		
Остаточные напряжения уравновешенные по окружности трубы		
Кольцевые напряжения от давления		
Суммарные напряжения		

Оценка совокупного уровня напряженного состояния



Общая оценка роста трещин в различных областях

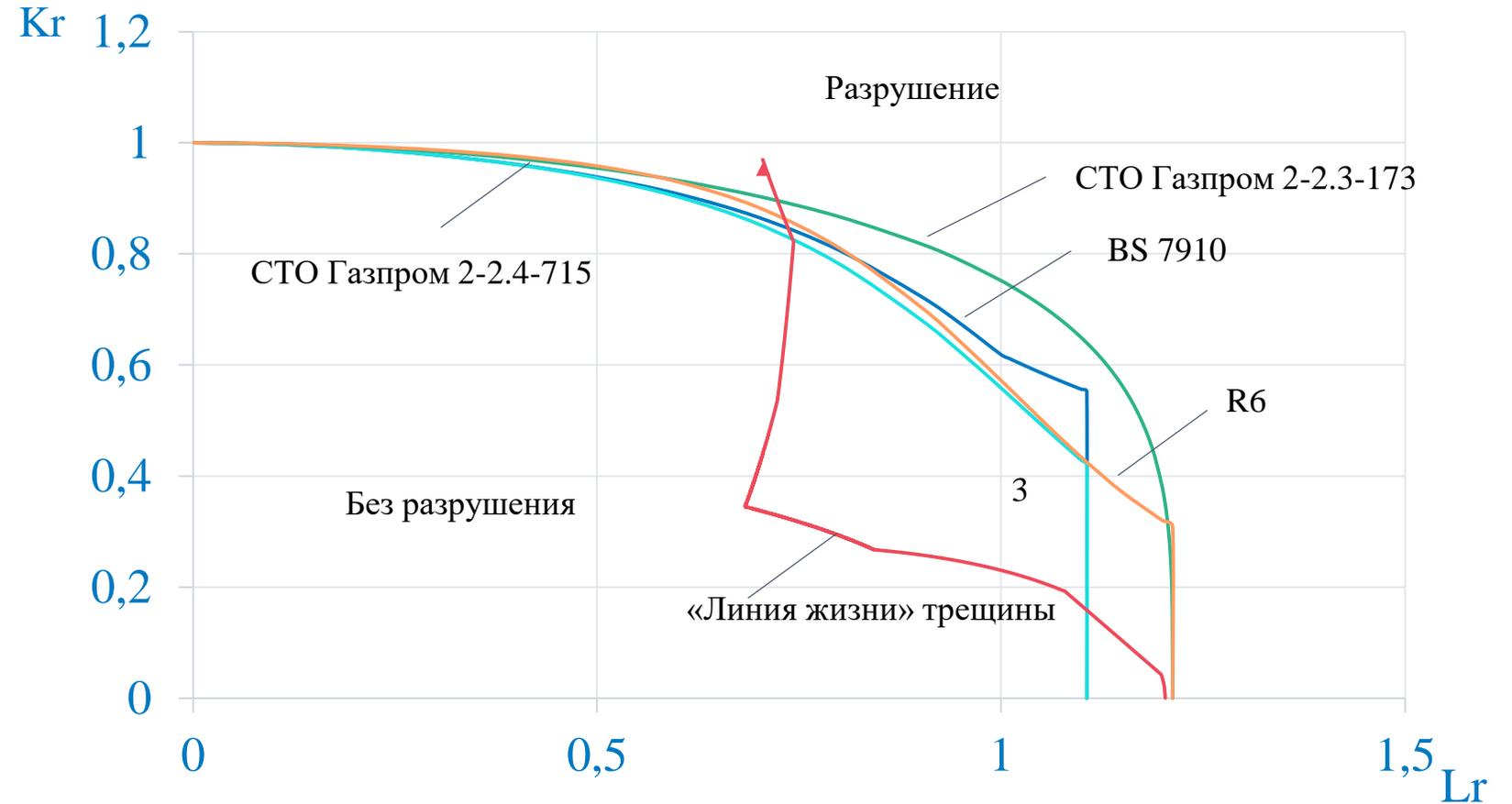


- 1 – в области максимального радиуса кривизны и максимальных остаточных напряжений;
- 2 – номинальное напряженное состояние;
- 3 – в области минимального радиуса кривизны и минимальных остаточных напряжений

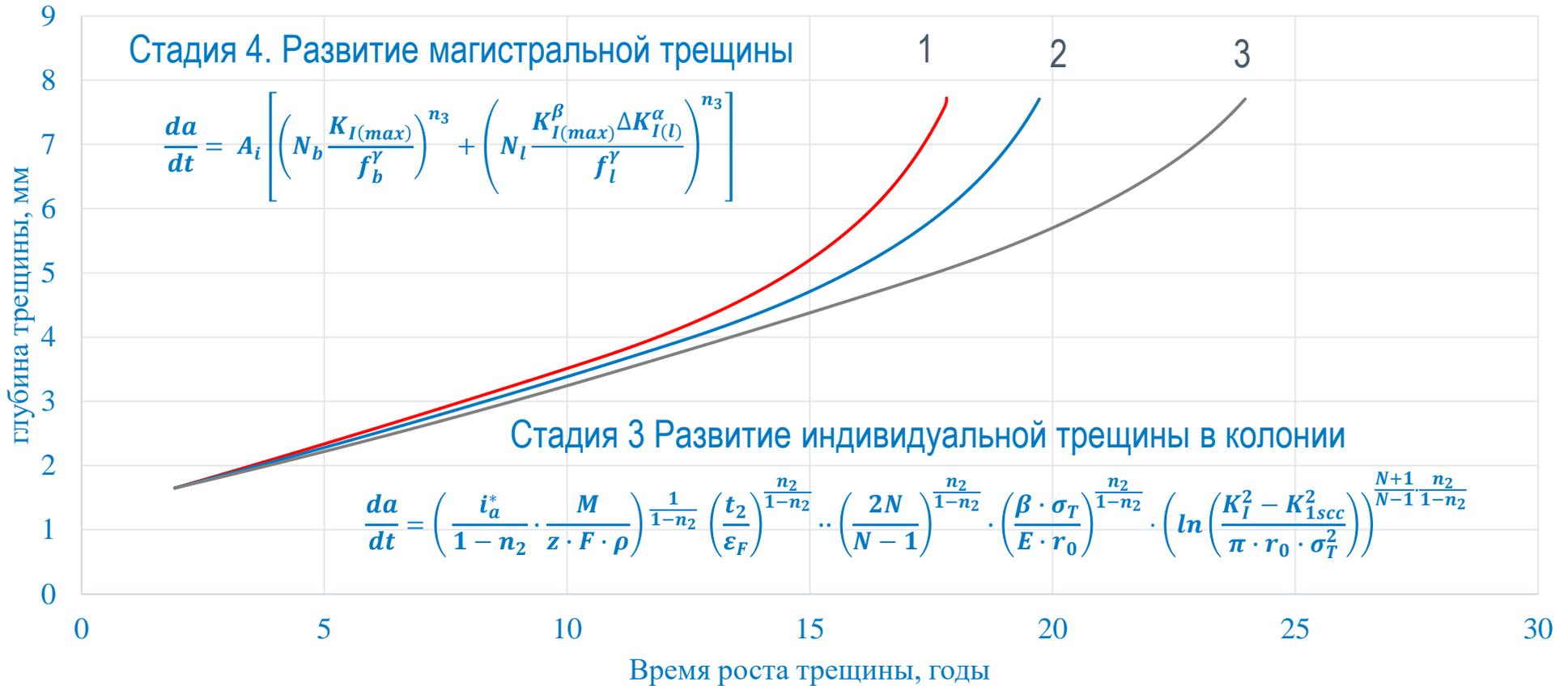
«Линия жизни» трещины на диаграмме «целостность-разрушение»

$$K_r = \frac{K_I}{K_{IC}}$$

$$L_r = \frac{\sigma_\theta}{\sigma_{0,2}}$$



Общая оценка роста трещин в различных областях



- 1 – в области максимального радиуса кривизны и максимальных остаточных напряжений;
- 2 – номинальное напряженное состояние;
- 3 – в области минимального радиуса кривизны и минимальных остаточных напряжений

ИССЛЕДОВАНИИ ВЛИЯНИЯ КОМПОНЕНТ НАПРЯЖЕНИЙ В ТРУБАХ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА НА КОРРОЗИОННОЕ РАСТРЕСКИВАНИЕ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ

Установлены зоны образования минимумов и максимумов напряжений по окружности трубы

Отличие в уровне напряжений между зонами может достигать 150 МПа.

Местоположение зон концентрации схоже для труб одного типоразмера

Вероятность возникновения дефектов типа «Зона продольных трещин» выше зонах с повышенной концентрацией напряжений

Разработана методика измерения кривизны труб (СТО Газпром 2-5.1-1290-2023)

Усовершенствован метод учета совокупного влияния компонент напряженного состояния на ресурс труб с трещинами (Р Газпром 28.2-018-2024)

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Погуляев Степан Иванович

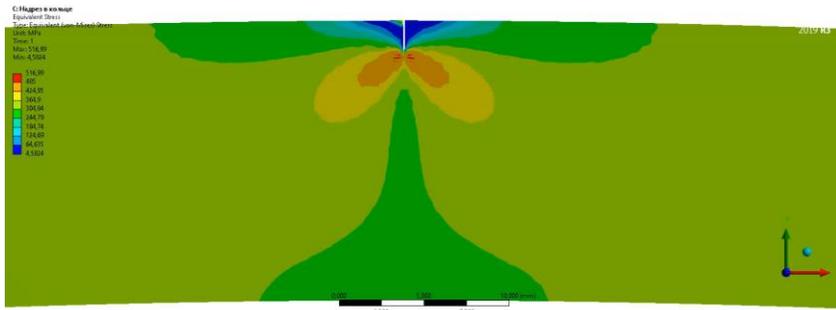
Заместитель начальника лаборатории экспериментальных исследований ресурса производственных объектов КНТЦ управления техническим состоянием и целостностью производственных объектов ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

Тел. (498) 456353
S_Pogulyaev@vniigaz.gazprom.ru

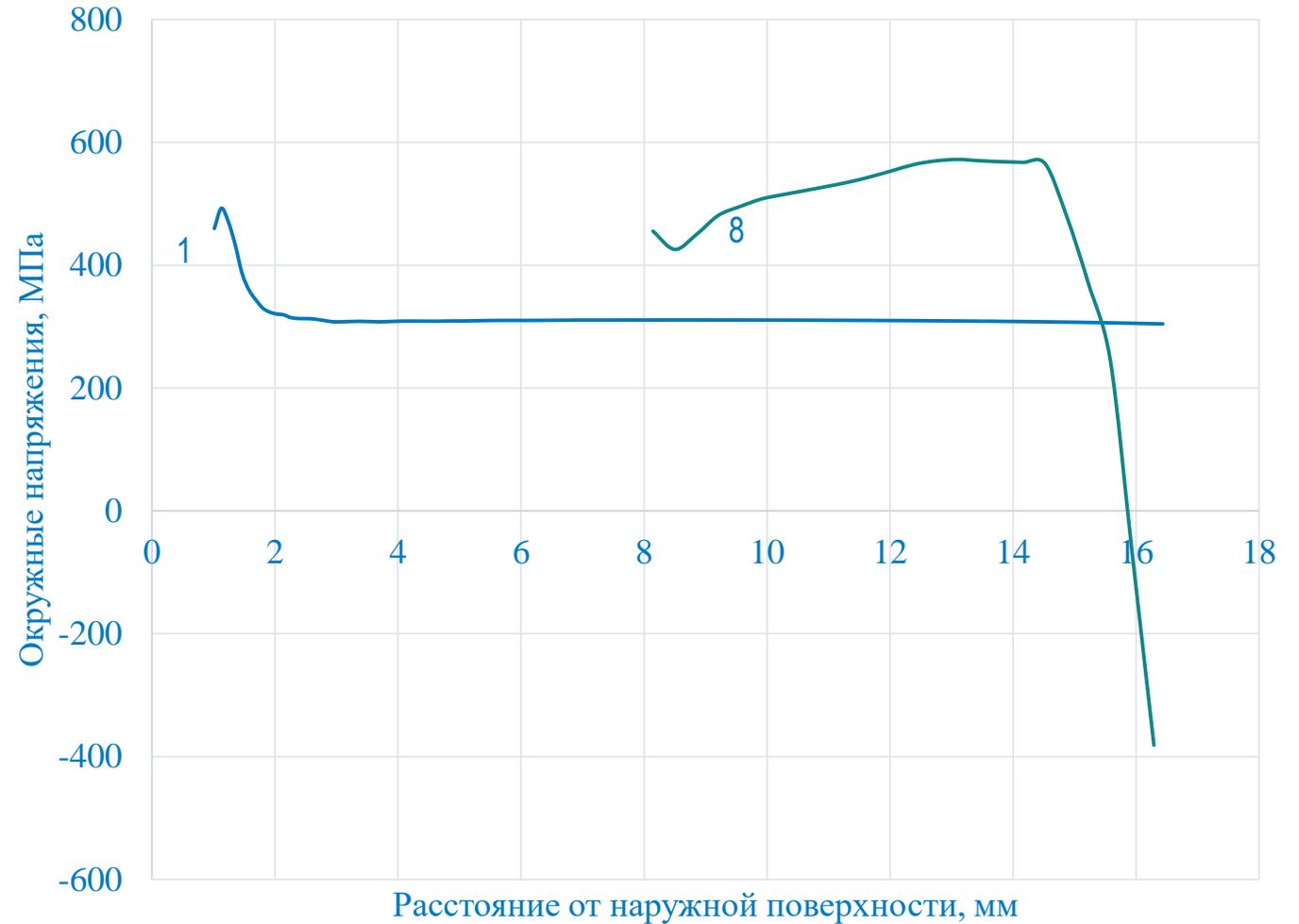
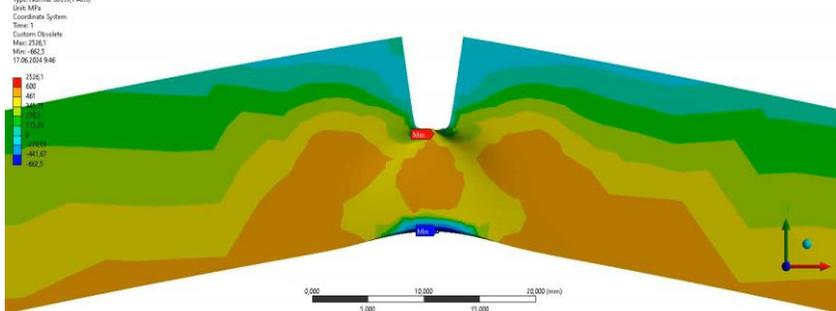


Перераспределение напряжений на фронте прорастающей трещины

Трещина 1,0 мм



Трещина 8,0 мм



ИССЛЕДОВАНИИ ВЛИЯНИЯ КОМПОНЕНТ НАПРЯЖЕНИЙ В ТРУБАХ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА НА КОРРОЗИОННОЕ РАСТРЕСКИВАНИЕ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ