

# Влияние неравномерности распределения остаточных и эксплуатационных напряжений на возникновение КРН

Погуляев Степан Иванович

Заместитель начальника отдела надежности конструктивных элементов

Инженерно-технического центра ООО «Газпром трансгаз Ухта»

## Influence of uneven distribution of residual and operational stresses on the occurrence of SCC

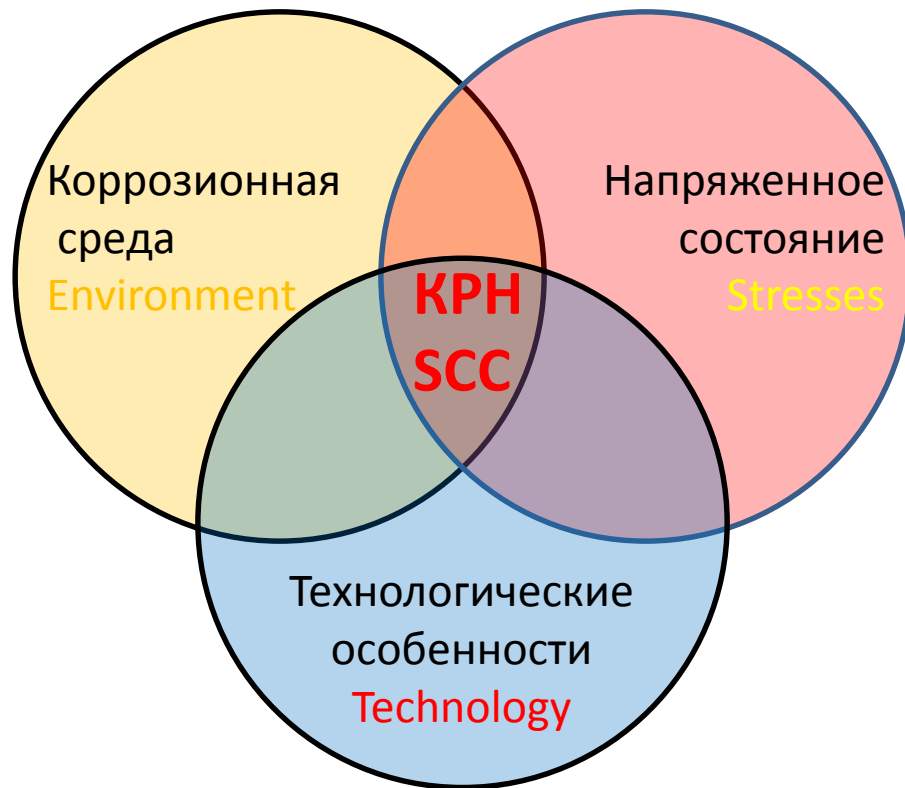
Poguliaev Stepan Ivanovich

Deputy head of the department of reliability of structural elements

Engineering and Technical Center, «Gazprom transgaz Ukhta» LLC

# Основные факторы возникновения КРН

## The main factors of SCC occurrence

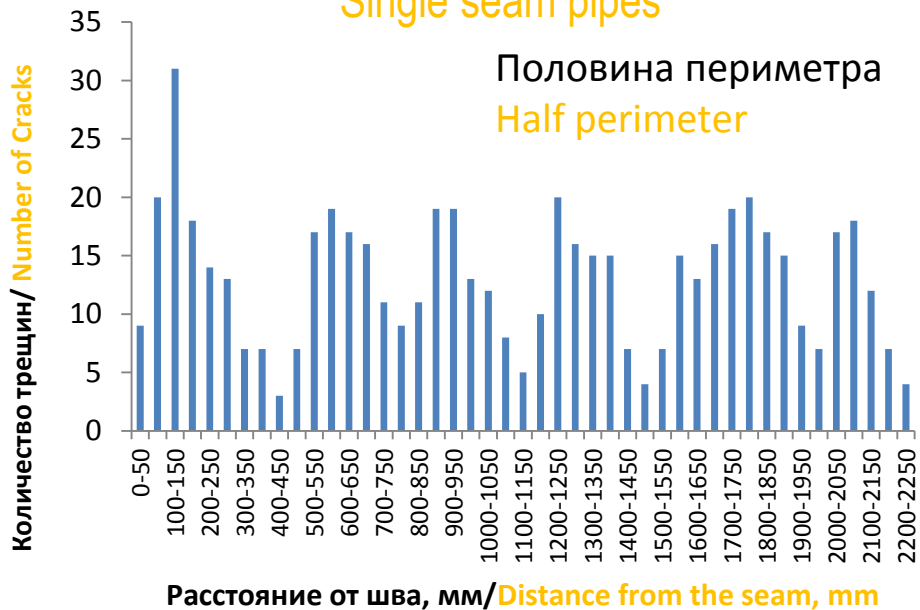


<b>Источник данных</b> <b>Data source</b>	<b>Магистральные газопроводы</b> <b>Main gas pipelines</b>	<b>Годы обследования</b> <b>Years</b>
Внутритрубное техническое диагностирование <b>In-line inspection (ILI)</b>	МГ Ухта-Торжок III (3-я нитка) МГ Пунга – Ухта- Грязовец (4-я нитка) Выборка из 520 дефектов/ <b>Sample of 520 flaws</b> Системы 7,4 МПа/ <b>7.4 MPa systems</b>	2013-2020
Обследования при капитальных ремонтах* <b>Overhaul inspections</b>	МГ Пунга – Ухта- Грязовец IV (4-я нитка) Выборка из 5400 дефектов/ <b>Sample of 5600 flaws</b> Система 7,4 МПа/ <b>7.4 MPa system</b>	2015-2018

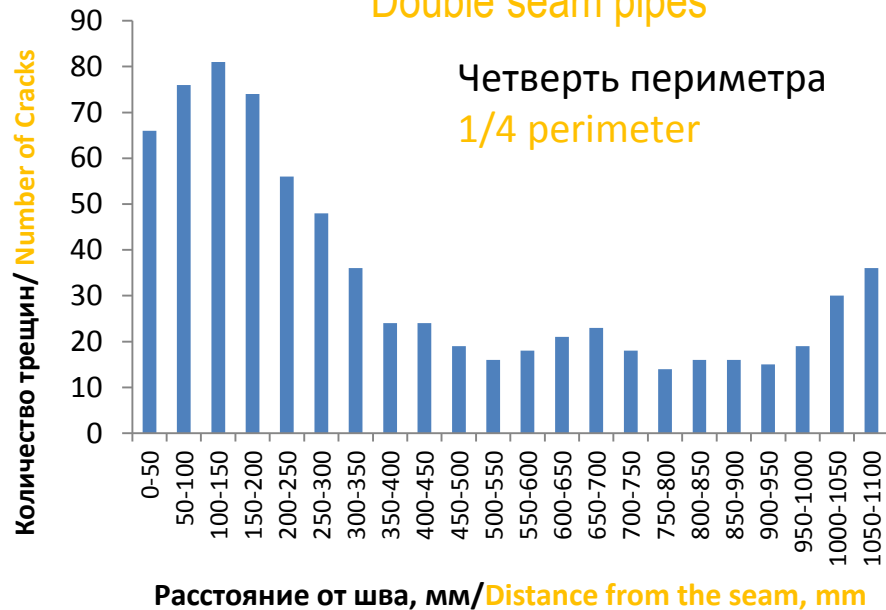
\* - применялся наружный сканер-дефектоскоп SoNet A2075

### Данные ВТД/ILI data

#### Одношовные трубы Single seam pipes

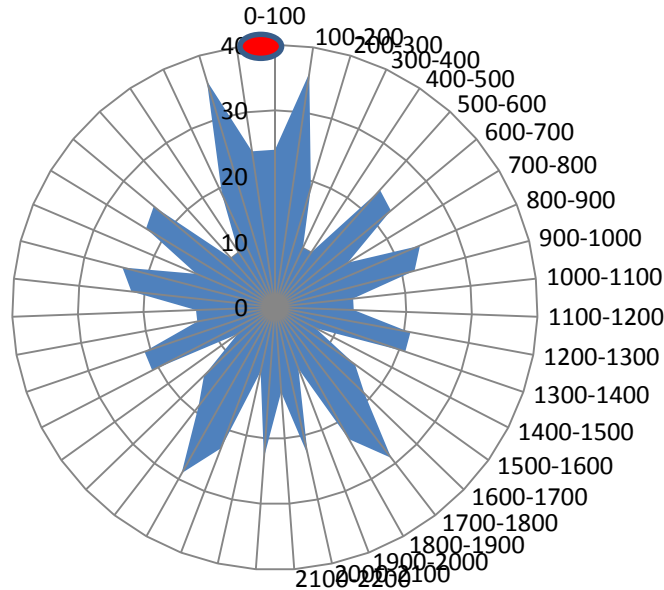


#### Двухшовные трубы Double seam pipes

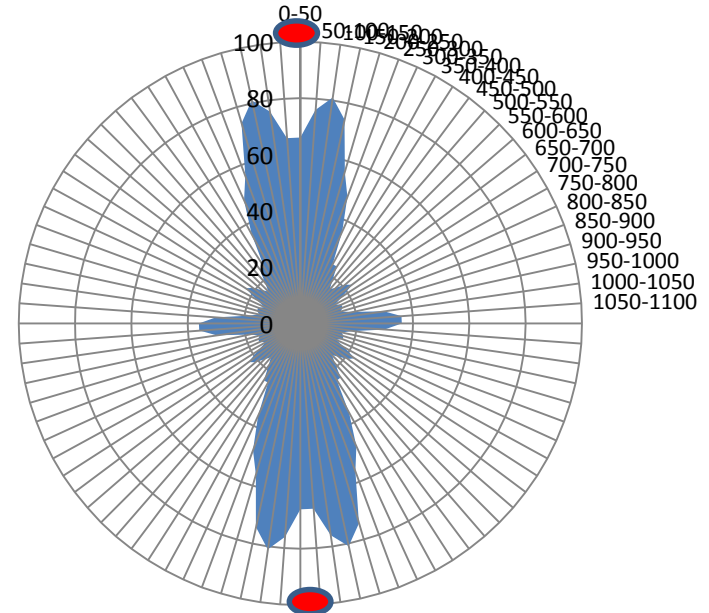


### Данные ВТД/ (ILI) data

Одношовные трубы  
Single seam pipes

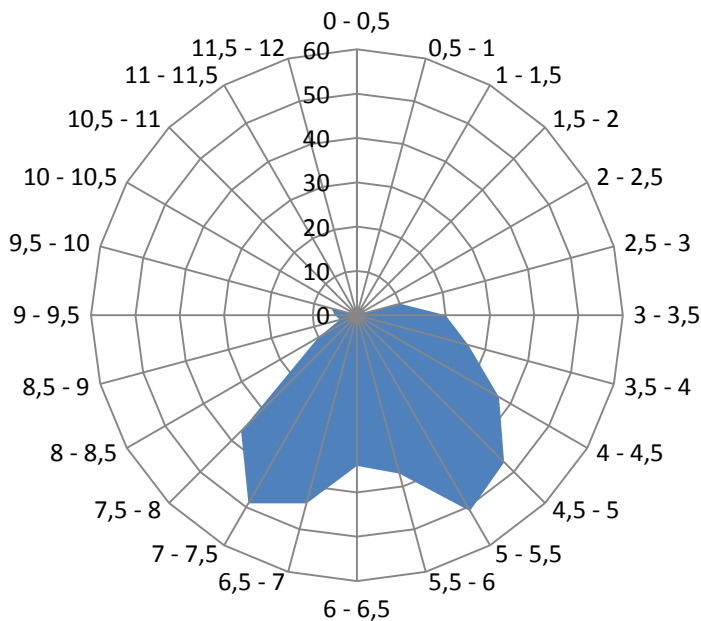


Двухшовные трубы  
Double seam pipes

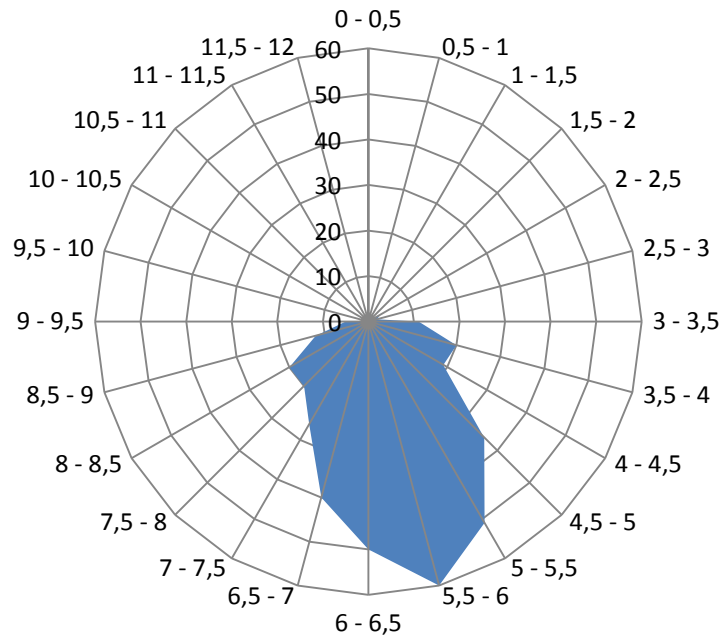


### Данные ВТД/ILI data

Одношовные трубы  
Single seam pipes



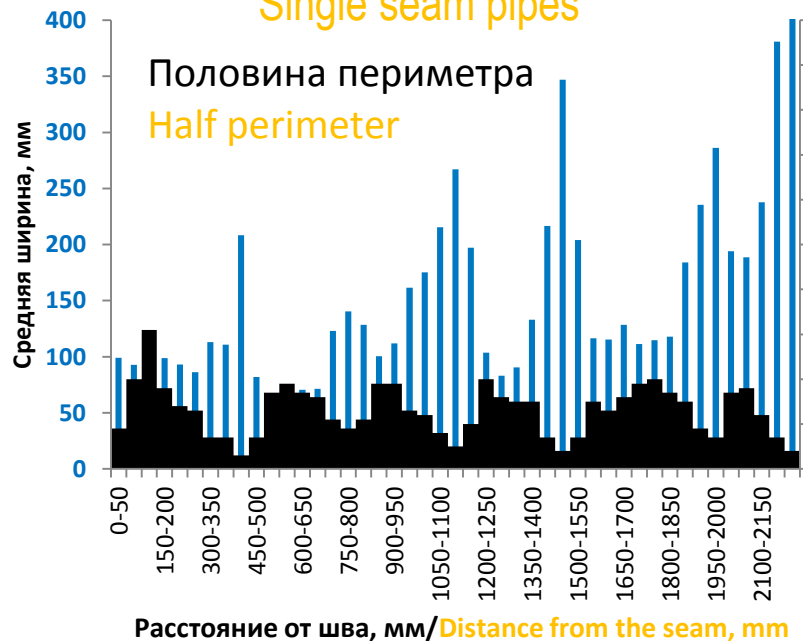
Двухшовные трубы  
Double seam pipes



## Данные ВТД/ILI data

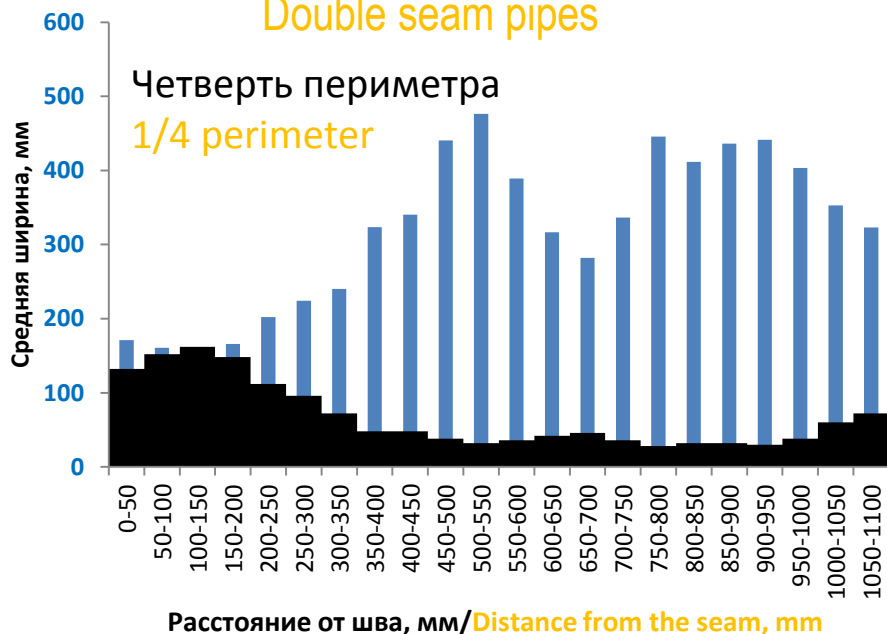
Одношовные трубы

Single seam pipes



Двухшовные трубы

Double seam pipes



$$P_T = \frac{P_S^S \cdot P_E^S \cdot P_D^S}{P_W^S}$$

$$P_S^S = \frac{N_s}{\sum N_s}$$

$$P_E^S = 1 - \frac{\sum P_E(\varphi)}{N_s}$$

$$P_D^S = \frac{\sum D_i^S}{N_s \cdot \text{Max}(D)}$$

$$P_W^S = \frac{\sum W_i^S}{N_s \cdot \text{Max}(W)}$$

$P_T$  - комплексный показатель вероятности возникновения КРН в секторе

$P_S^S$  - показатель вероятности обнаружения зоны трещин в секторе

$P_E^S$  - показатель вероятности влияния внешней среды

$P_D^S$  - показатель вероятности обнаружения в секторе зоны трещин с максимальной глубиной

$P_W^S$  - показатель вероятности обнаружения в секторе зоны трещин с максимальной шириной

$N_s$  - количество зон трещин расположенных в секторе

$\sum N_s$  - общее количество зон трещин

$P_E(\varphi)$  - вероятность расположения сектора в часовой ориентации подверженной влиянию среды (нижняя полуобечайка)

$D_i^S$  - глубина зоны трещин, расположенной в секторе

$\text{Max}(D)$  - максимальная глубина из всех выявленных трещин

$W_i^S$  - ширина зоны трещин, расположенной в секторе

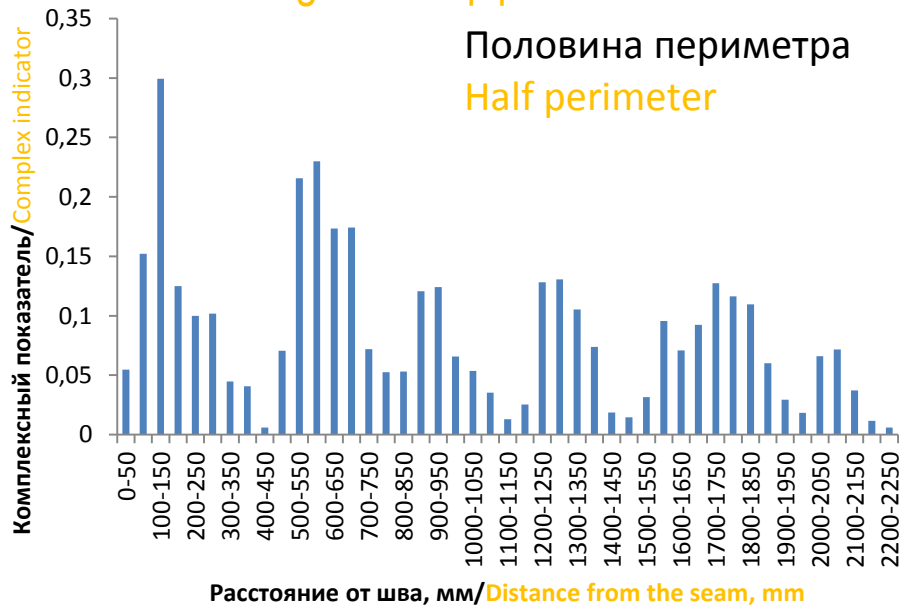
$\text{Max}(W)$  - максимальная ширина из всех выявленных зон трещин

Сектор – участок конечной ширины (50 мм), расположенный на некотором удалении от продольного сварного шва.

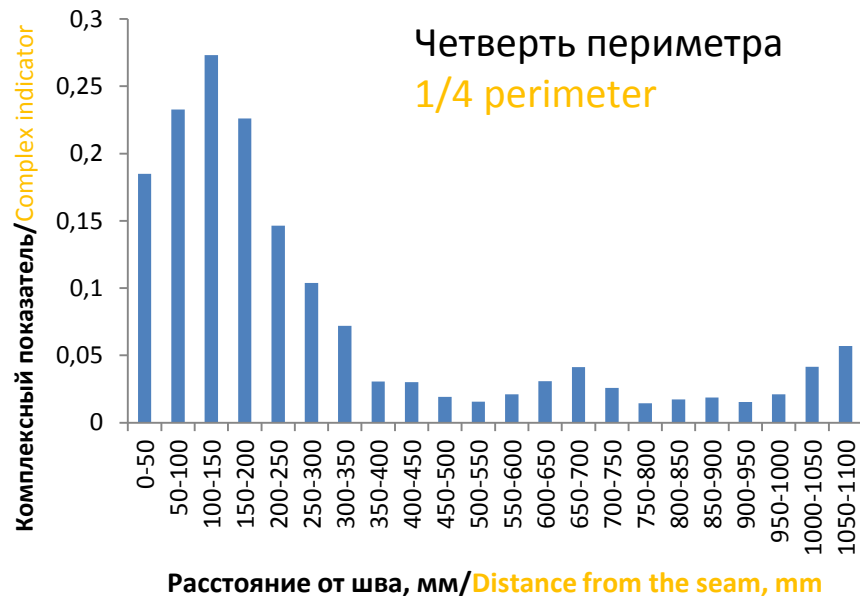


## Данные ВТД/ILI data

Одношовные трубы  
Single seam pipes



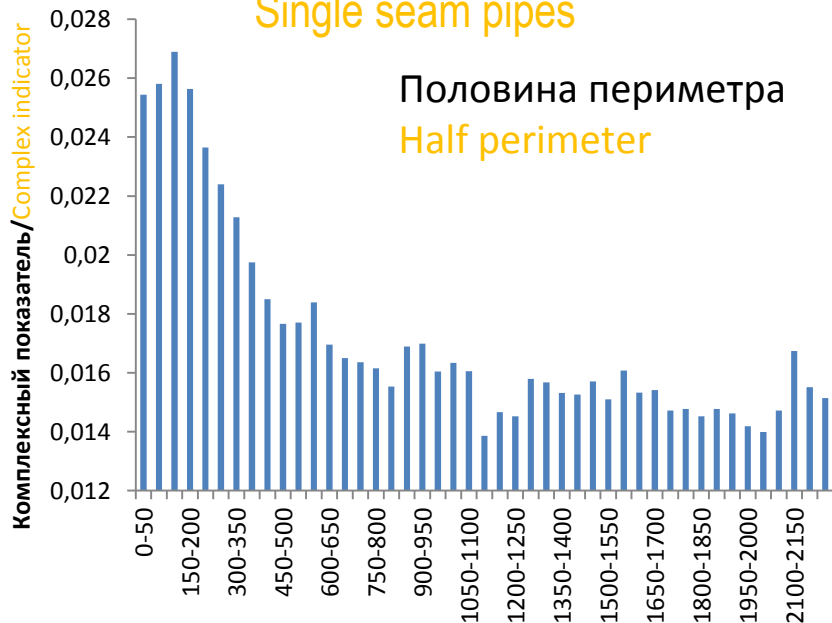
Двухшовные трубы  
Double seam pipes



### Капитальные ремонты/ Overhaul inspections

Одношовные трубы

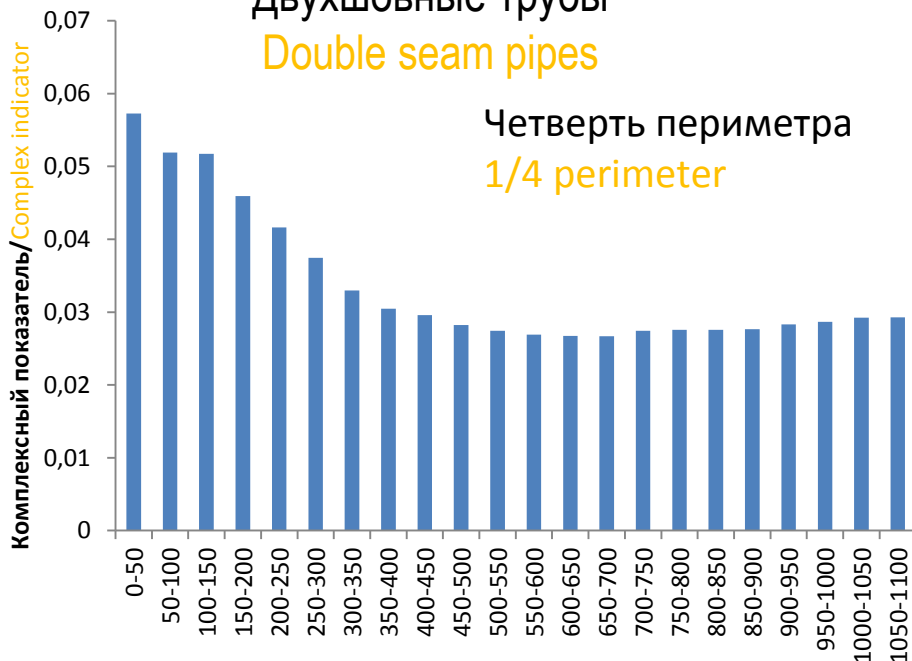
Single seam pipes



Расстояние от шва, мм/Distance from the seam, mm

Двухшовные трубы

Double seam pipes

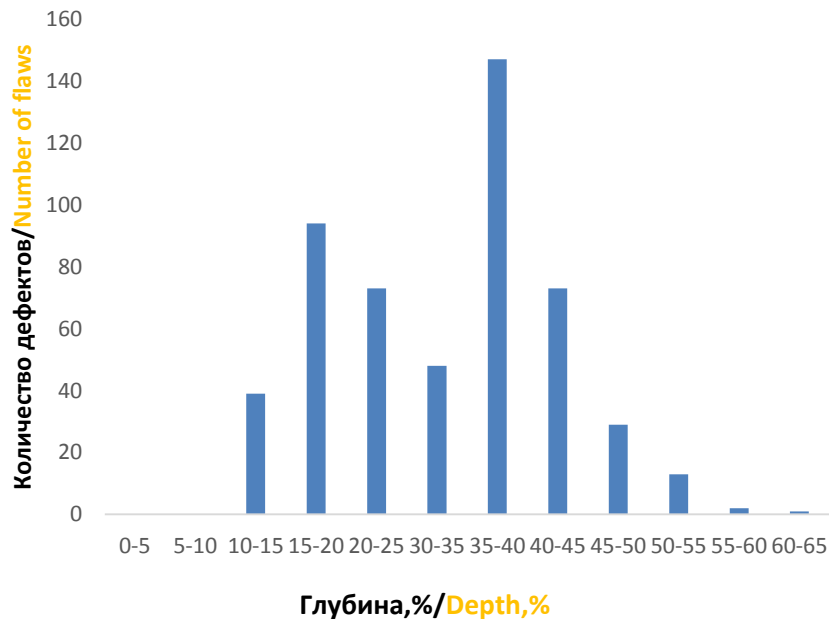


Четверть периметра  
1/4 perimeter

Расстояние от шва, мм/Distance from the seam, mm

### Данные ВТД

#### ILI data



### Капитальные ремонты

#### Overhaul inspections

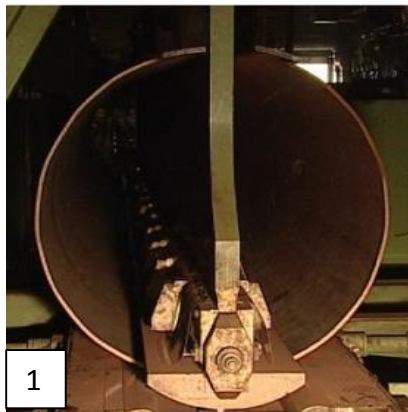
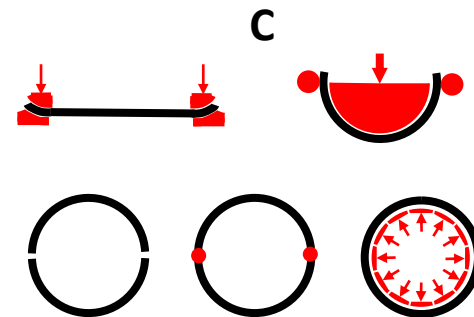
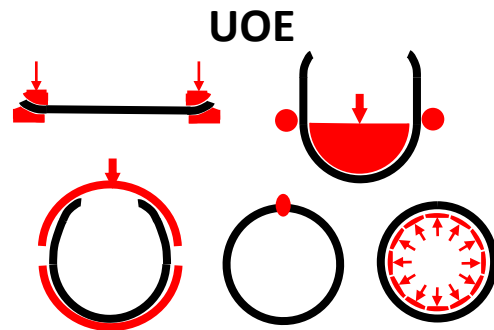
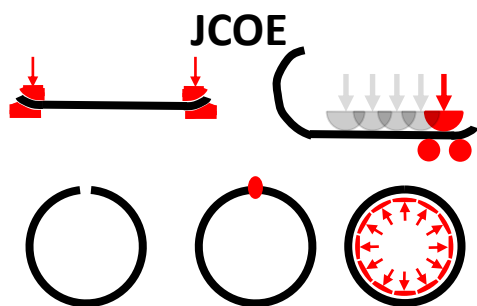


Процентное отношение двухшовных труб, подверженных КРН, не намного больше чем для труб с одним швом

The percentage of two-seam pipes exposed to SCC is not much higher than for pipes with one seam

### МГ «Пунга-Ухта-Грязовец IV» (4-я нитка), Ø1420 мм

Участок, км km	Одношовные/Single seam pipes			Двухшовные/Double seam pipes		
	Общее кол-во Total	Кол-во труб с КРН With SCC	Отношен ие, % Percent	Общее кол-во Total	Кол-во Труб с КРН, With SCC	Отношение , % Percent
688-710	433	216	<b>50</b>	1472	778	<b>55</b>
710-725	212	153	<b>72</b>	1102	986	<b>89</b>
761-785	920	860	<b>93</b>	1203	1159	<b>96</b>

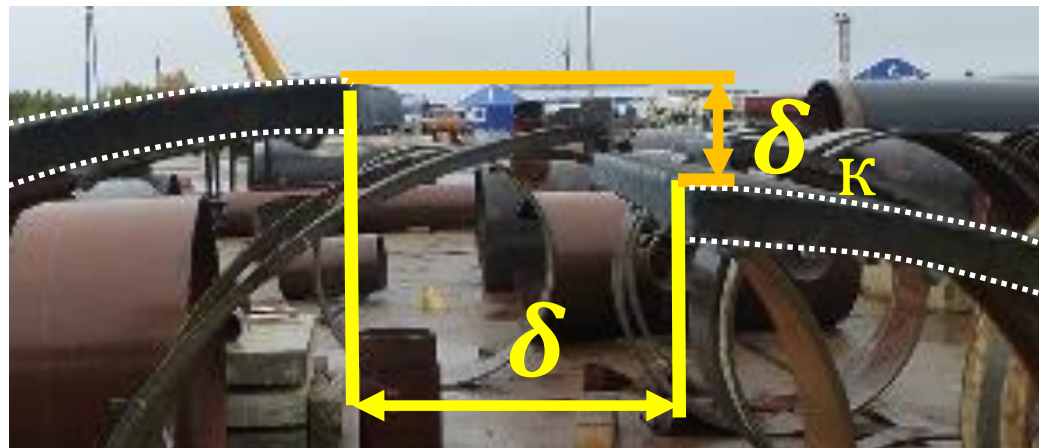


1 - Мокроусов, В. И. Прочность стальных труб при дефекте внешней фаски продольного сварного шва/ В. И. Мокроусов. // Молодой ученый. — 2015. — № 20 (100). — С. 44-49.

2,3 - Боклаг Н.Ю. Совершенствование процесса и оборудования для повышения качества формообразования труб большого диаметра на прессе предварительной формовки: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.09. - Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина Екатеринбург, 2017 - 128 с.

# Определение остаточных напряжений методом разрезки колец

## Determination of residual stresses by cutting rings



$$\sigma_{\text{ост}}^{\text{ср}} = \frac{\delta \cdot E \cdot t}{4 \cdot R_0^2 \cdot \pi}$$

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

$\delta$  – расхождение кольца, м

$E$  – модуль Юнга, МПа

$t$  – толщина стенки трубы, м

$R_0$  - радиус серединой поверхности, м

Типоразмер трубы	Ø1420×17,5 мм	Ø1420×16,5 мм
Конструкция	Одношовная	Двухшовная
Страна изготовления	ФРГ	СССР
Технические условия	ТУ 56-70	ТУ 14-3-600-77
Предел прочности, МПа	580÷590	645÷655
Предел текучести, МПа	402÷418	540÷544

Измерена кривизна с шагом по окружности со стороны внутренней поверхности  
 Curvature measured with circular pitch from the inner surface

Локальный радиус кривизны  
 Local radius of curvature

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

Изгибные напряжения  
 Bending stresses

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

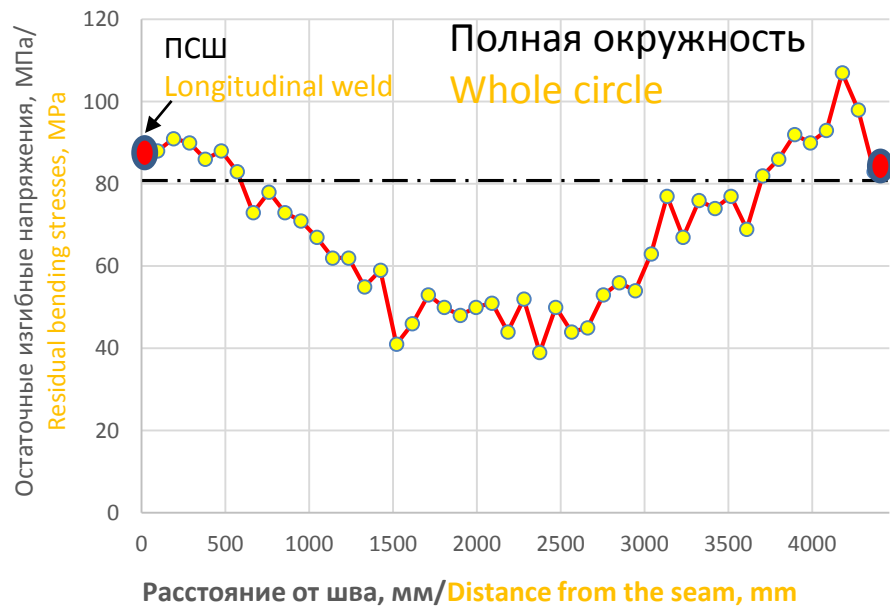
Кольцевые напряжения  
 Hoop stresses

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

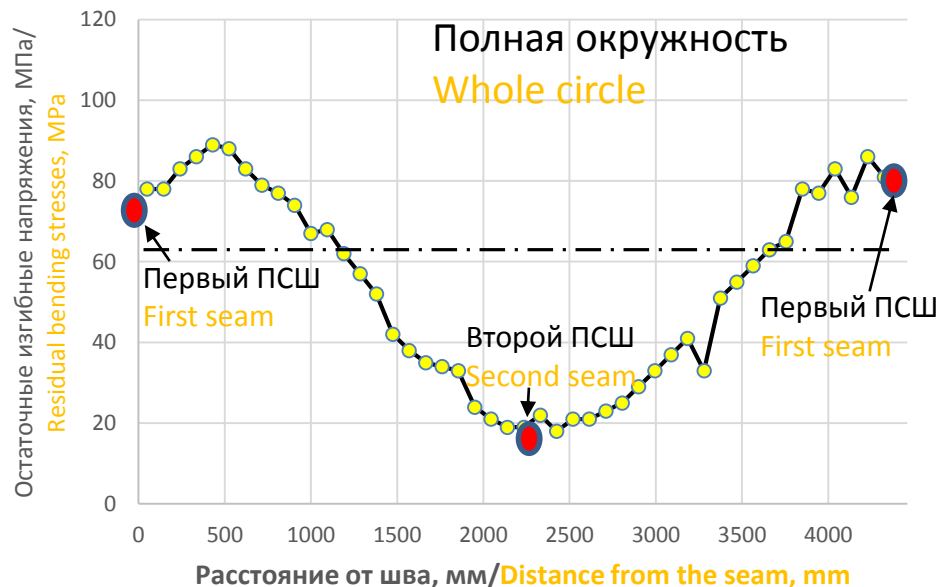




## Одношовные трубы Single seam pipes

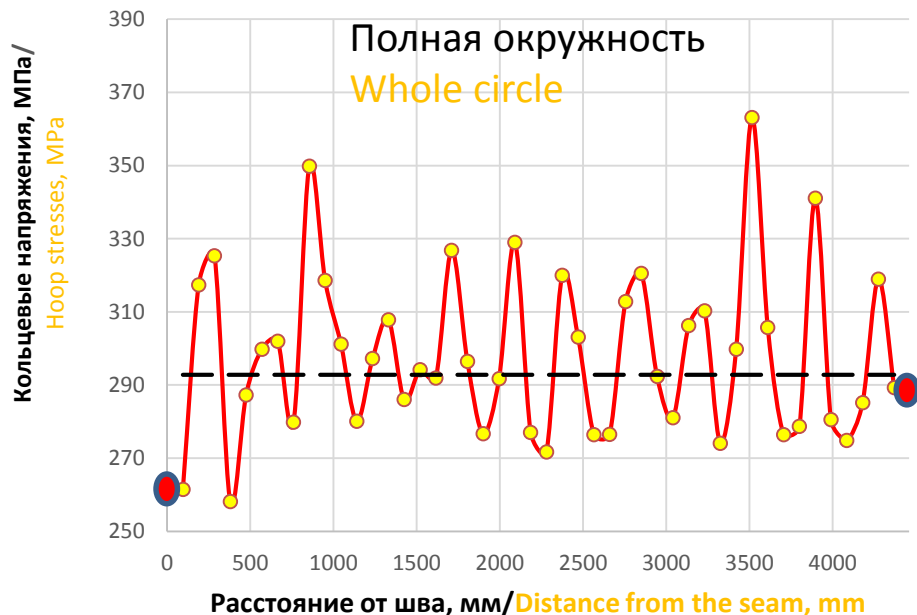


## Двухшовные трубы Double seam pipes



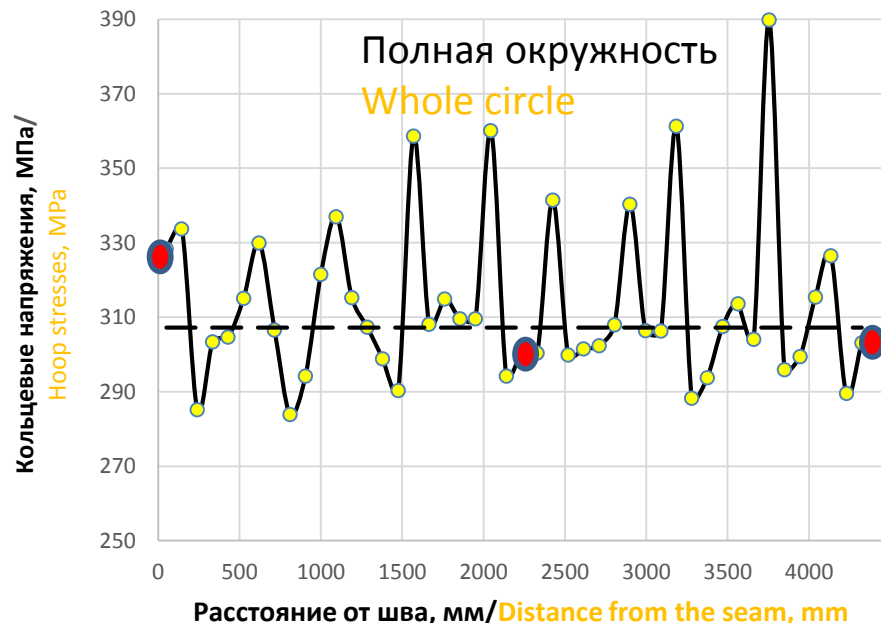
### Одношовная труба

#### Single seam pipes



### Двухшовная труба

#### Double seam pipes



Данные тензометрии подтвердили локализацию высоких напряжений на участках с максимальным радиусом (более пологие участки)

Tensometry data confirmed the localization of high stresses in areas with a maximum radius (flatter areas)

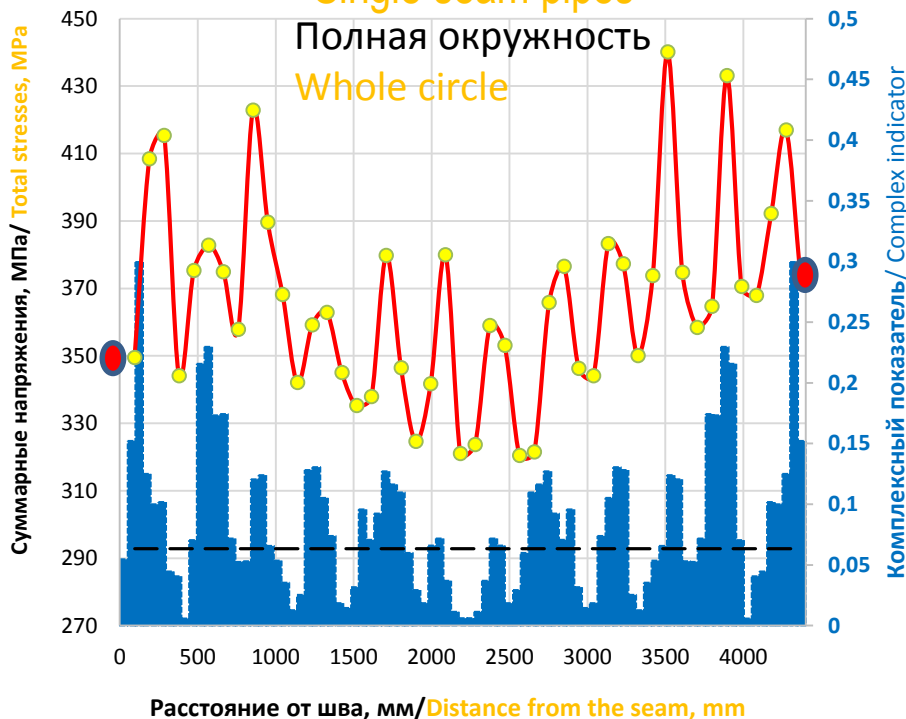
Средство измерения	Локальный радиус, мм	Кольцевые напряжения, МПа		
		Фактические	Теоретические	
Одношовная труба Опволоконная система Sm125	Min	631	225 (0,56 $\sigma_{0,2}$ )	265
	Nom	707	291 (0,72 $\sigma_{0,2}$ )	294
	Max	825	342 (0,85 $\sigma_{0,2}$ )	347
Двухшовная труба Тензометрическая станция УСАМ-60В	Min	611	193 (0,36 $\sigma_{0,2}$ )	266
	Nom	712	338 (0,63 $\sigma_{0,2}$ )	331
	Max	895	406 (0,75 $\sigma_{0,2}$ )	412



# Общая оценка остаточных и эксплуатационных напряжений Total assessment of residual and operational stresses

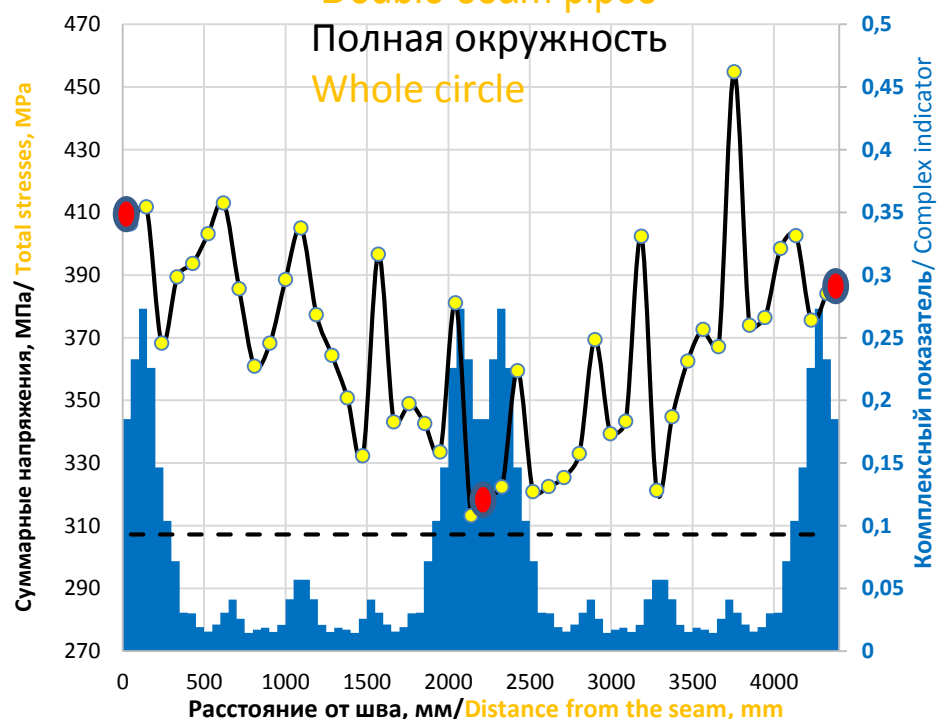
## Одношовная труба Single seam pipes

Полная окружность  
Whole circle



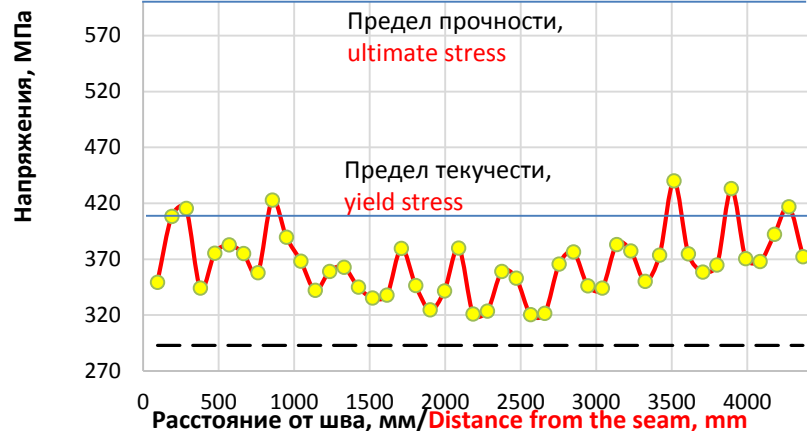
## Двухшовная труба Double seam pipes

Полная окружность  
Whole circle

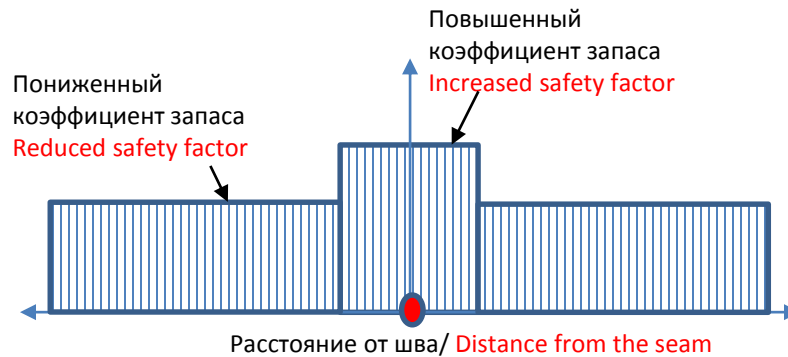


1. Уточнены места наиболее вероятного возникновения КРН – на удалении 400 мм от продольного сварного шва. **The locations of the most probable SCC occurrence have been clarified - at a distance of 400 mm from the longitudinal weld**

2. Понимание уровня действующих напряжений и необходимости коэффициентов запаса. **Understanding the level of stresses and the required safety factors**



3. Применение уточненных коэффициентов запаса при экспертной оценке несущей способности труб. **Application of updated safety factors for expert assessment of pipe bearing capacity**



# СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Погуляев Степан Иванович

Заместитель начальника отдела надежности конструктивных элементов

Инженерно-технического центра ООО «Газпром трансгаз Ухта»

Тел. : 7 (787) 40-610 газ. связь, 8 (8216) 77-33-83

E-mail: [spoguliaev@sgp.gazprom.ru](mailto:spoguliaev@sgp.gazprom.ru)

Poguliaev Stepan Ivanovich

Deputy head of the department of reliability of structural elements

Engineering and Technical Center of «Gazprom transgaz Ukhta» LLC