

# ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ КОЛЬЦЕВЫХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБ С ТРЕЩИНАМИ

***Е.Н. Овсянников***

*начальник* лаборатории оценки технического состояния  
производственных объектов ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

VII Международный научно-практический семинар «Повышение надежности магистральных газопроводов, подверженных коррозионному растрескиванию под напряжением» (КРН-2024)

- 1. Общие сведения о технической проблеме**
- 2. Анализ нормативной документации**
- 3. Особенности реализации алгоритмов для оценки трещин на КСС, ориентированных в кольцевом направлении**
- 4. Особенности оценки поперечных трещин на КСС по данным ВТД**

## Общие сведения о технической проблеме

Трещина в кольцевом сварном соединении в общем случае является следствием грубого нарушения технологии сварочно-монтажных работ и требует удаления. Сопровождается локальным изменением значений (снижением) механических свойств и характеристик трещиностойкости сварных соединений в области дефекта. Возможен неконтролируемый рост.



# Трещина – безусловный критерий ремонта КСС

УТВЕРЖДАЮ  
 Член Правления, начальник  
 Департамента ПАО «Газпром»  
  
 В.А. Михаленко  
 «10» февраля 2023 г.

МЕТОДИКА  
 ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ОПАСНОСТИ ВМЯТИН,  
 МЕХАНИЧЕСКИХ ПОВРЕЖДЕНИЙ И АНОМАЛИЙ КОЛЬЦЕВОГО ШВА,  
 ВЫЯВЛЕННЫХ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ВТД

РАЗРАБОТАНО СОГЛАСОВАНО  
 Заместитель Генерального директора Заместитель начальника Департамента



3.2.2. Ранжирование по степени опасности кольцевых сварных соединений выполняются в два этапа:

Этап 1. Сварные соединения должны быть отнесены к категории «А» при выявлении следующих дефектов вне зависимости от результатов расчётной оценки прочности:

- трещины всех видов и направлений независимо от размера;
- любые выявленные аномалии кольцевых сварных соединений, расположенные на участках возможной пластической деформации (значение радиуса кривизны участка газопровода в месте расположения кольцевого соединения менее 250D);
- смещение кромок высотой более 55% от толщины стенки.

Таблица 7.1 - Критерии безусловной отбраковки

Признак безусловной отбраковки	Браковочный признак в зависимости от уровня оценки		
	Первый уровень	Второй уровень	Третий уровень
Характеристики дефектов			
Наличие трещины (любого происхождения)	н/д	н/д	н/д
Смещение кромок	Более $0,25 \cdot t$	Более $0,4 \cdot t$	Более $0,6 \cdot t$
Суммарная протяженность дефектов*	Более 1/6 периметра	Более 1/6 периметра	б/о
Характеристики участка			
Участки в непроектном положении (наличие просадок, выпучивания)	н/д	н/д	б/о
Примечание - н/д - не допустимо; б/о - без ограничений.			
* Суммарная протяженность допустимых по высоте дефектов сварных соединений, кроме дефектов Fa, Fb, Fc и Fd, протяженность которых не учитывается при подсчете суммарной протяженности всех дефектов.			

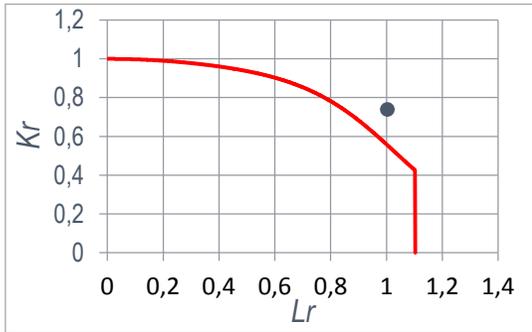
## Оценка опасности дефектов с учетом методологии СТО Газпром 2-2.4-715-2013

$$\begin{cases} K_r = F(L_r) \text{ для } L_r \leq L_r^{max} \\ K_r = 0 \text{ для } L_r > L_r^{max} \end{cases},$$

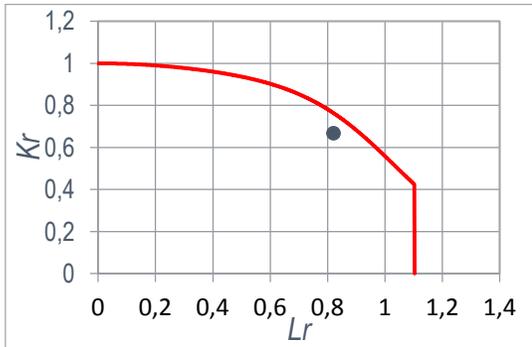
$$F(L_r) = \frac{0,3 + 0,7e^{-0,6L_r^6}}{\sqrt{(1 + 0,5L_r^2)}}$$

$$L_r^{max} = \frac{\sigma_{0,2} + \sigma_B}{2\sigma_{0,2}}$$

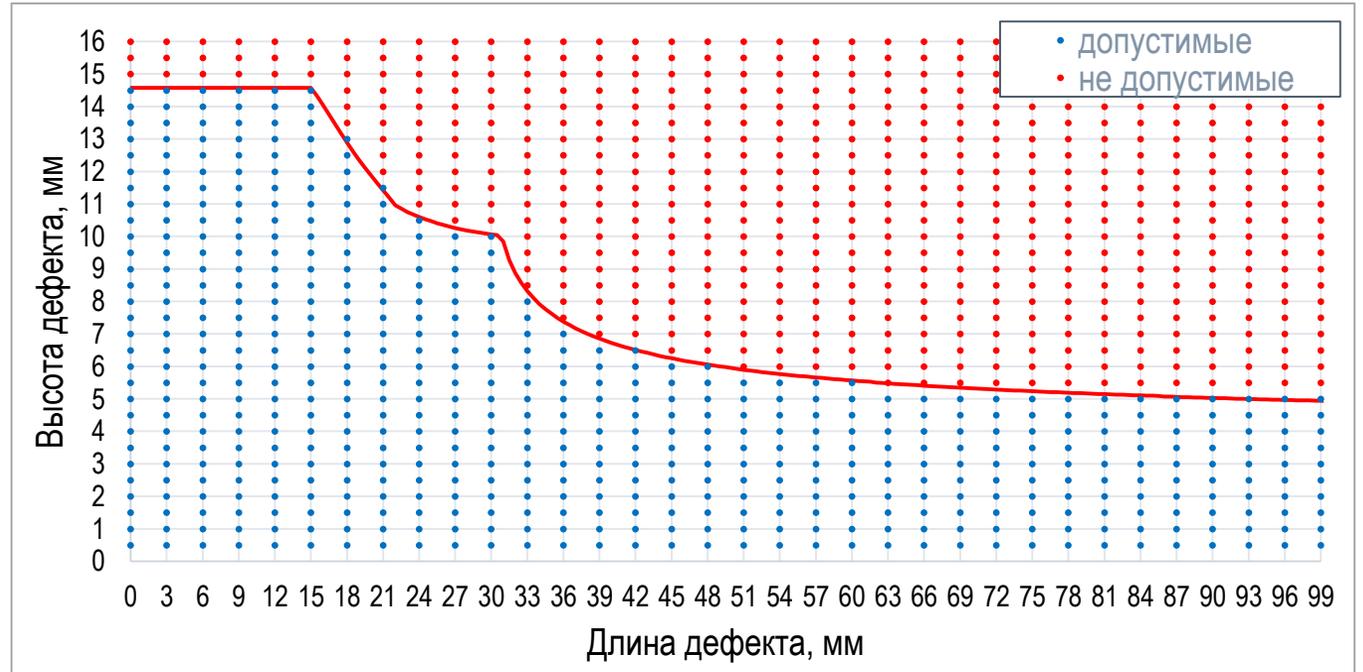
Двухпараметрический  
интерполяционный критерий  
«целостность – разрушение»



не допустимые



допустимые



$$L_r = \frac{\sigma_n}{\sigma_{0,2}^*}$$

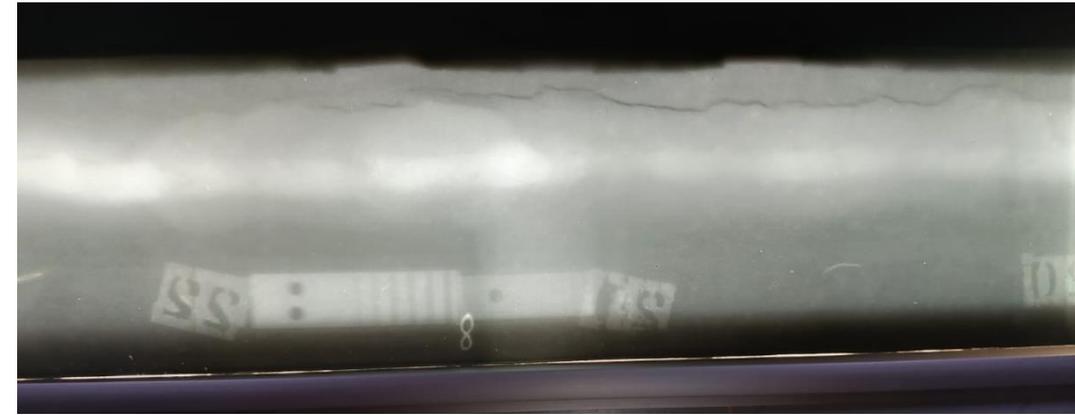
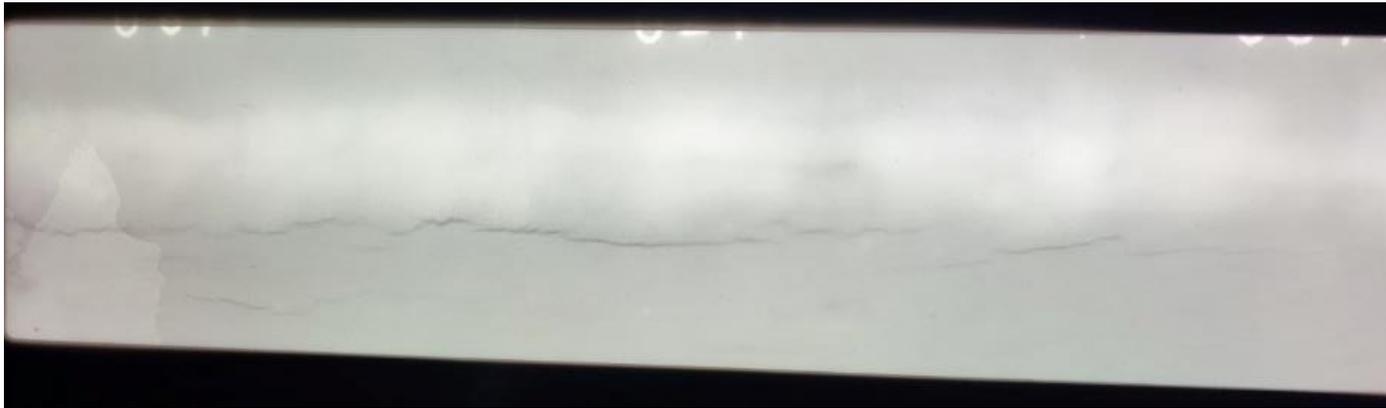
$L_r$  – параметр, отвечающий за разрушение **по пластическому механизму**

$$K_r = \frac{K}{K_{mat}^*}$$

$K_r$  – параметр, отвечающий за разрушение **по механизму развития трещины**

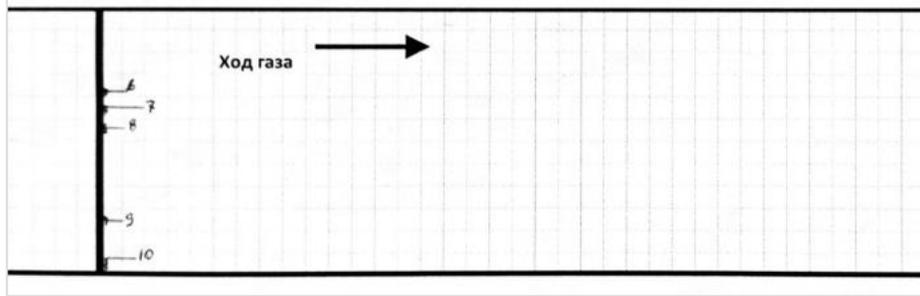
# Особенности оценки трещин на КСС по данным ДДК

## Трещина на КСС в пойме реки по данным РК



123	2 см	1,8	11,7	6	Скел. шкел	-	40	15	3,9-4,0
				7	шлак	-	13	1	4,6
				8	трещина	5,9	210	1	5,3-5,8
				9	Крив. шкел	-	60	1,5	9,5-9,7
				10	Скел. пор	-	210	13	11,5-12,0

Расположение дефектов на трубе



**НИППОН СТИЛ КОРПОРЕЙШН  
СЕРТИФИКАТ ИНСПЕКЦИИ**

WELDED  
Покупатель : V/O PROMSYRUIIMPORT, U.S.S.R.  
Отгрузитель : PROGRESS TRADING CO., LTD.

Ударное испытание по Шарпи и DWTT.

Температура	Ударное испытание по Шарпи		DWTT
	Класс	Область	
°C	КГД/М/СМЗ	Сред.	Область
2V	10.0 X 10.0		88
2U	2015.816.620.417.6		
1-60	7.711.3 6.0 8.3		
2U	6016.918.417.317.6		
66.9			
66.5			

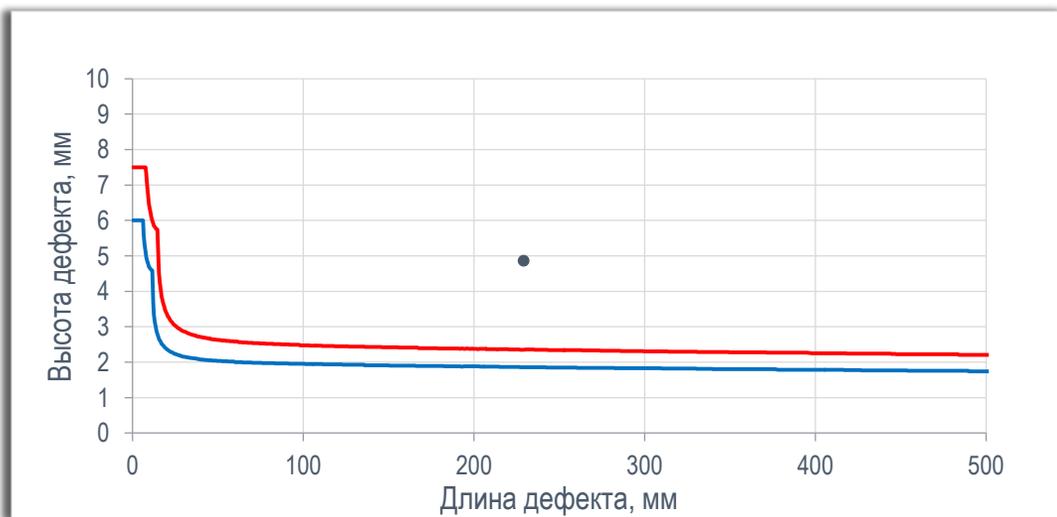
ECE NO (=STENCIL NO.) \*\*\*\*\*  
70 69058-11679

Параметр	Значения по сварному соединению	Значения по основному металлу (сертификат)
Класс прочности	K60	K60
Предел текучести, МПа	480	580,16
Предел прочности, МПа	590	651,7

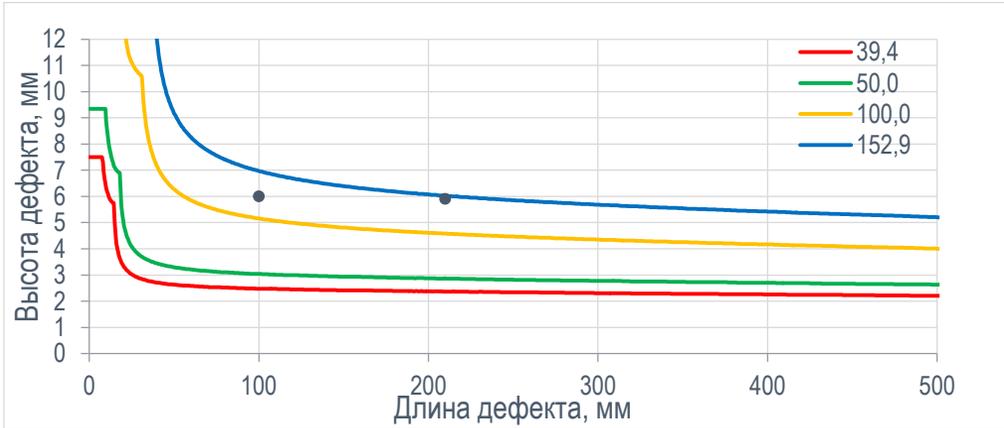
# Особенности оценки трещин на КСС по данным ВТД

## Трещина на КСС в пойме реки на МГ с параметрами

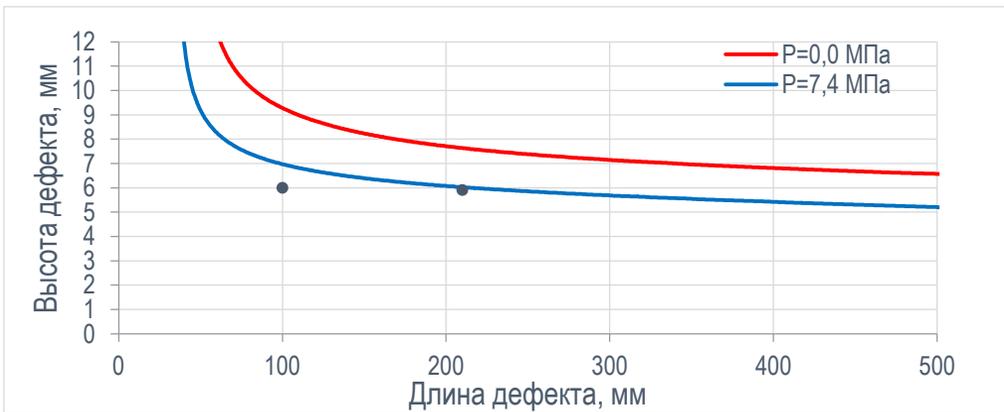
Давление, МПа	7,4
Диаметр, мм	1420
Толщина стенки, мм	18,7
УПИ, D	373
АКШ, мм	4,86x229



Расчетная оценка по СТО 2-2.4-715-2013 при нормативных свойствах



Расчетная оценка на повышенные значения KCV при УПИ 373D



Сравнение оценки работоспособности КСС с дефектом при KCV=152,9 Дж/см<sup>2</sup> под давлением и без.

## Ремонт с выборкой участками по 100 мм

трещина	5,9x210
выборка	6x100

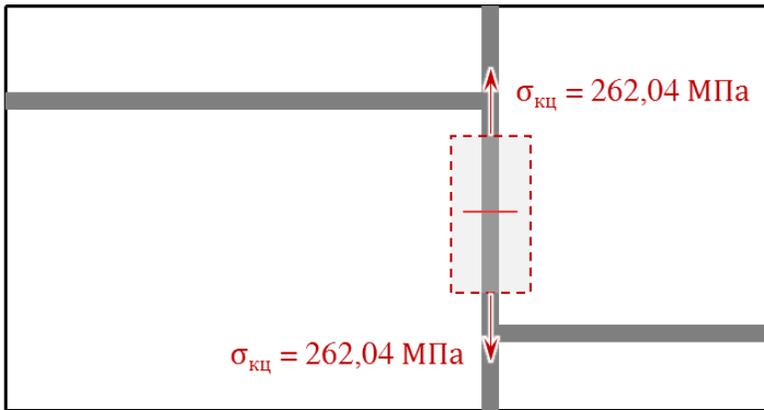


# Поперечные трещины на кольцевых сварных соединениях

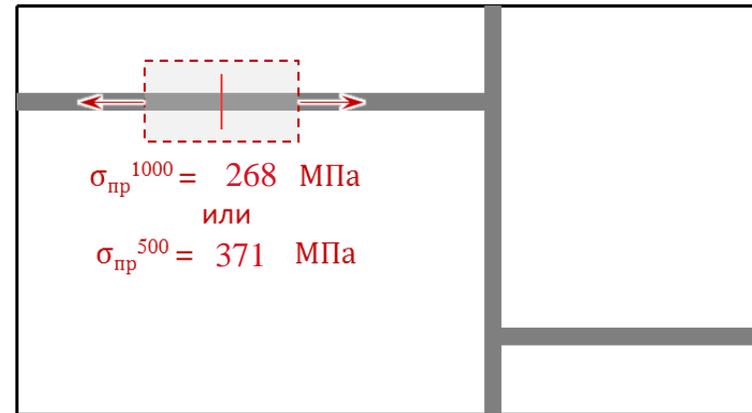
Номер тр. по ВТД	Располож. дефекта	Катег. уч. МГ	P <sub>раб</sub> , МПа	D, мм	t, мм	σ <sub>0,2</sub> , МПа	Расчётные кольцевые напряжения σ <sub>кц</sub> при давлении, МПа	Расчётные кольцевые напряжения σ <sub>кц</sub> при давлении, МПа	Расчётные кольцевые напряжения σ <sub>кц</sub> при давлении, МПа
							P = P <sub>раб</sub>	P = 1,15 P <sub>раб</sub>	P = 1,25 P <sub>раб</sub>
4053	КСС	III	7,4	1420	19,5	485	262	301	328

Номер тр. по ВТД	Располож. дефекта	Катег. уч. МГ	P <sub>раб</sub> , МПа	D, мм	t, мм	σ <sub>0,2</sub> , МПа	Расчётные кольцевые напряжения σ <sub>кц</sub> при радиусе изгиба	Расчётные кольцевые напряжения σ <sub>кц</sub> при давлении, МПа
							R = 1000D	R=500D
4053	КСС	III	7,4	1420	19,5	485	268	371



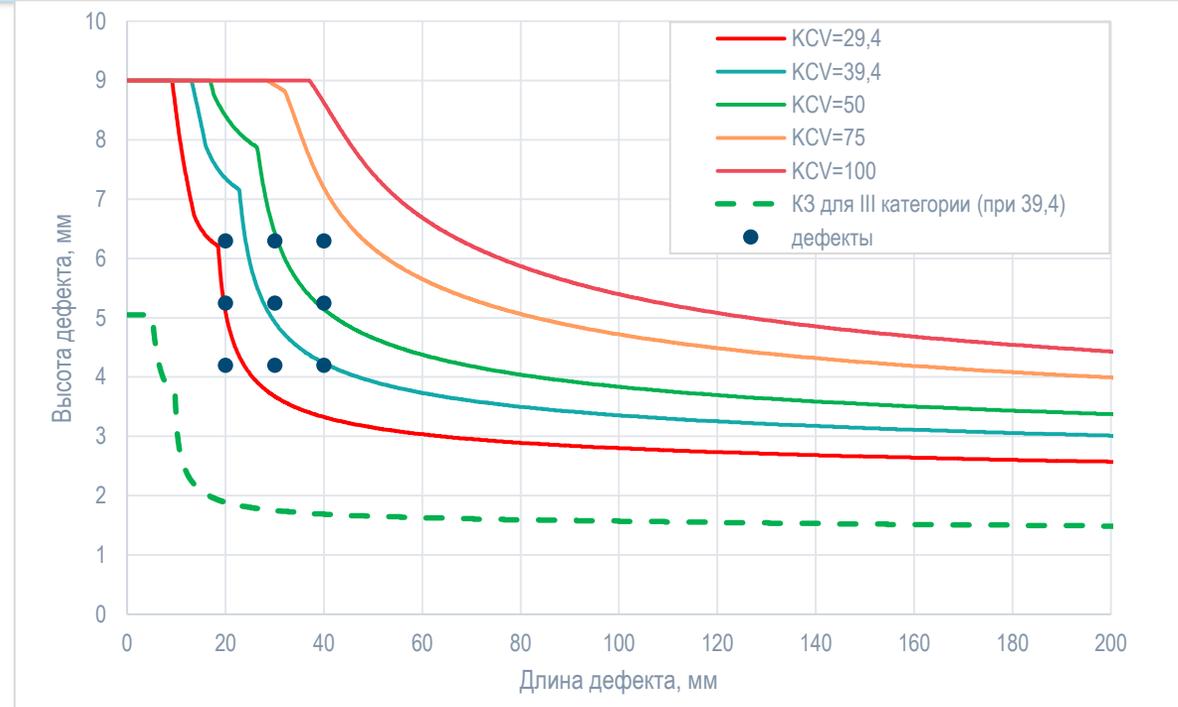
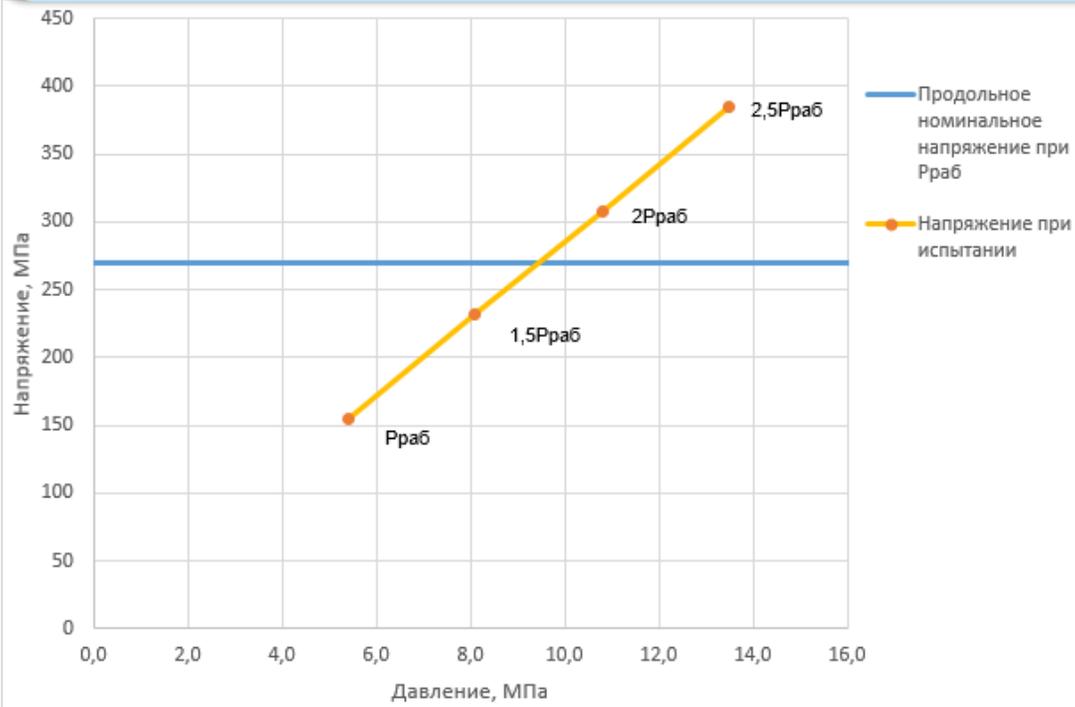
КСС



ПСС

## Трещины на продольных сварных соединениях

Прочность труб с трещинами, расположенными вдоль кольцевого сечения трубы, определяется по продольным растягивающим напряжениям, которые возможно смоделировать на при натурных испытаниях катушек при наличии дополнительного изгибающего момента



Сравнение значений продольных эксплуатационных напряжений при рабочем давлении и расчетных испытательных напряжений для катушки  $\varnothing 1220 \times 10,5 \text{ мм}$

Предельные размеры поверхностных дефектов трубы  $\varnothing 1220 \times 10,5 \text{ мм}$  для разных значений KCV при нормальных продольных напряжениях при  $P_{раб}$ , температурного перепада  $-30\text{C}^\circ$  и радиуса изгиба 1000 диаметров

- 1. Продольная трещина кольцевого сварного соединения – дефект, подлежащий оперативному ДДК и безусловному ремонту в кратчайшие сроки.**
- 2. Актуальные расчетные модели позволяют оценить фактические коэффициенты запаса по отношению к различным параметрам и спланировать ремонтные мероприятия в экспертном режиме.**
- 3. Для оценки допустимости поперечных трещин на КСС, выявляемых по результатам ВТД, разрабатываются специализированные программы испытаний на базе испытательного блока ООО «Газпром ВНИИГАЗ» и далее будут предложены расчетные модели.**

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**

*Е.Н. Овсянников*  
*начальник лаборатории оценки технического состояния*  
*производственных объектов ООО «Газпром ВНИИГАЗ»*