



## **VI** МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ СЕМИНАР

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ,  
ПОДВЕРЖЕННЫХ КОРРОЗИОННОМУ РАСТРЕСКИВАНИЮ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ

# ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

17–21 октября 2022 г.  
г. Кисловодск





**Практический опыт проведения  
идентификации трещиноподобных  
дефектов ТТ КС**

**Абросимов П.В., Котоломов А.Ю., Фоминых П.В.**

# Повышение надежности магистральных газопроводов, подверженных КРН



1 октября 1991г.  
Производственное управление «Пермгазэнергоремонт»  
**ПУ ПГЭР**



1999г.  
Управление по ремонту и наладке технологического оборудования  
ООО «Пермтрансгаз»  
**УРНТО**



2005г.  
Инженерно-технический центр – филиал ООО «Пермтрансгаз»  
**ИТЦ**



# Повышение надежности магистральных газопроводов, подверженных КРН

Газотранспортная система  
ООО «Газпром трансгаз Чайковский»

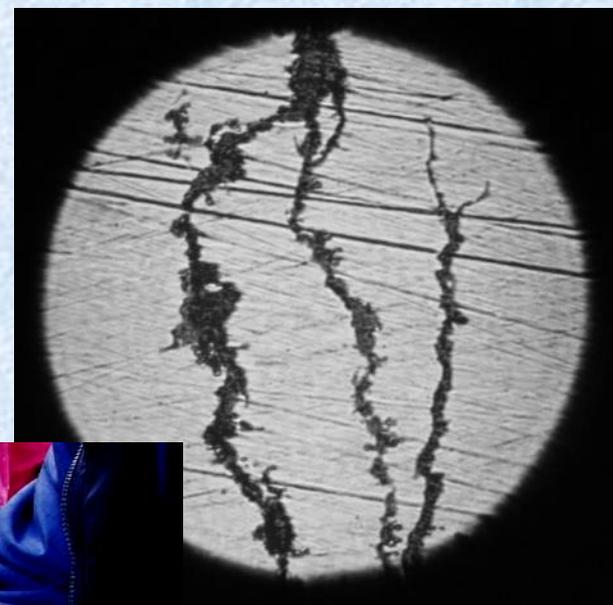
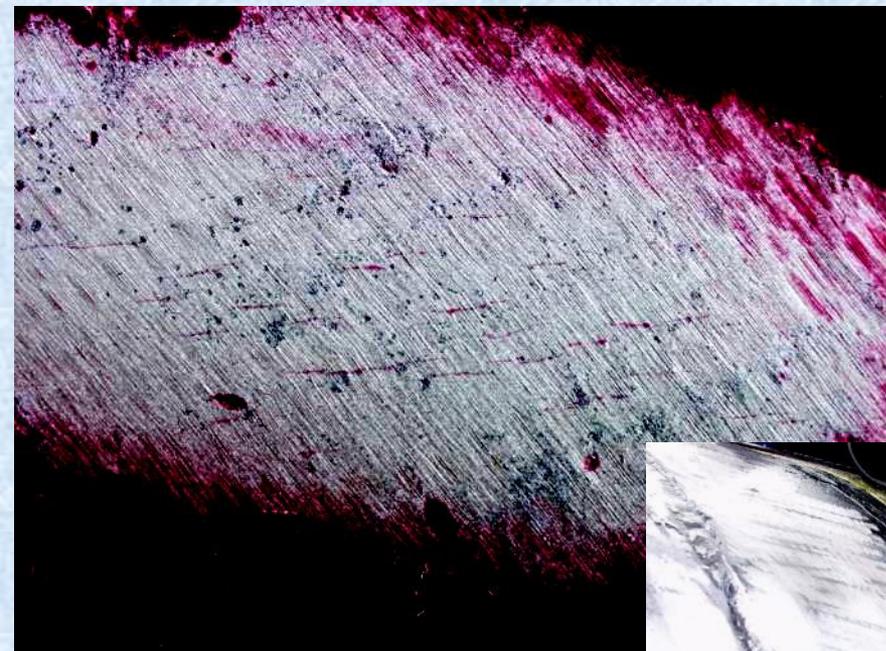


# Повышение надежности магистральных газопроводов, подверженных КРН.



**Алмазное ЛПУМГ - КЦ 2; 16 июня 2004г.**

# Повышение надежности магистральных газопроводов, подверженных КРН



## ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ

г. Чайковский

18.06.2004г.

Нами - специалистами РИТЦ УРНТО - ООО «Пермтрансгаз» /Свидетельство об аттестации №081360044 от 21.08.2002г./:

\*

\*

на основании телеграммы №6098 от 15.06.2004 г. по ООО «Пермтрансгаз» 16-18.06 2004г. проведен комплекс работ по обследованию участка **выходного шлейфа №8а КЦ-№2 «Уренгой – Новопсков» Алмазного ЛПУмг.**

\*

\*

### ВЫВОДЫ:

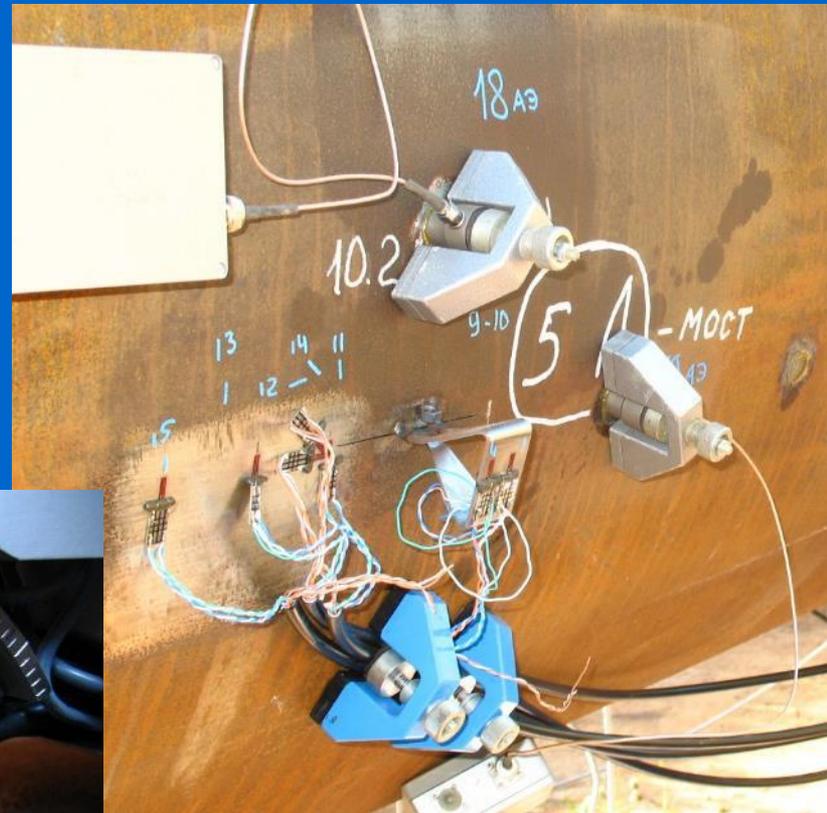
- Морфология поверхностных трещин /продольная ориентация, объединение в колонии/, **характеризует растрескивание выявленное при обследовании 15.06.2004г., как КРН /коррозионное растрескивание под напряжением/.**  
\*  
\*
- Геометрия исследованной трещины /ширина, ветвистость, округлость вершины, наличие островков неповрежденного материала в русле/ свидетельствует о том, что **КРН протекает путем ускоренного действующими напряжениям локального растворения стали в вершине трещины.**



# Повышение надежности магистральных газопроводов, подверженных КРН

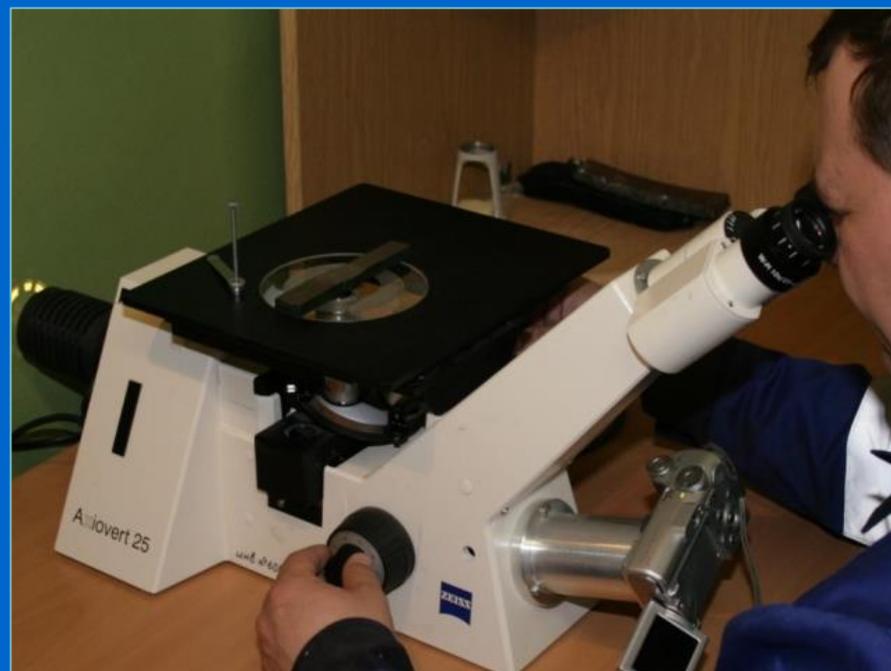


# Повышение надежности магистральных газопроводов, подверженных КРН





## Микроструктурный анализ



# Повышение надежности магистральных газопроводов, подверженных КРН



**Анализ хим. состава**



**Определение твердости металла**

# Повышение надежности магистральных газопроводов, подверженных КРН



Публичное акционерное общество  
«Газпром»

(ПАО «Газпром»)

Адрес для почтовой корреспонденции: БОХ 1255, Санкт-Петербург, 190500  
Юридический адрес: Лахтинский пр-кт, д. 2, к. 3, стр. 1, Санкт-Петербург, 197229  
тел.: (812) 413-74-44, факс: (812) 413-74-45, телекс: 411467 GAZ RU  
e-mail: gazprom@gazprom.ru, www.gazprom.ru

ОКПО 00040778, ОГРН 1027700070518, ИНН 7736050008, КПП 781401001

СЧ.С.С. № 03/08/1 - 9184

на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Об идентификации трещиноподобных дефектов

*И.А. Мухоморов*  
*М.И. Лукьянчиков*

Генеральному директору  
ООО «Газпром трансгаз  
Чайковский»

А.В. Олейникову

Генеральному директору  
ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

М.Ю. Недзвецкому

Генеральному директору  
ООО «Газпром газнадзор»

М.И. Лукьянчикову

В связи с выявлением трещиноподобных дефектов на технологических трубопроводах узла подключения КЦ-2 КС «Вавожская» МГ «Ямбург - Тула II», а также, учитывая требования циркулярного письма ПАО «Газпром» от 11.01.2022 № 03/08-1 и необходимость оперативного принятия решения по эксплуатации данного компрессорного цеха, прошу ООО «Газпром Чайковский»:

1. Организовать проведение комиссионной идентификации дефектов в соответствии с СТО Газпром 2-2.3-760-2013. В состав предусмотреть участие специалистов ООО «Газпром ВНИИГАЗ», специалистов подрядной специализированной выполняющей комплекс работ по ВТД и экспертизе промышленной безопасности.
2. Обеспечить вырезку шаблонов в соответствии с требованиями представителей ООО «Газпром ВНИИГАЗ».
3. По результатам работы комиссии подготовить и в Департамент (В.А. Михаленко) акт идентификации дефектов, вклучая:
  - результаты идентификации дефектов;
  - выводы о наиболее вероятных причинах возникновения дефектов;
  - мероприятия по обеспечению безопасного состояния объектов;
  - фотоматериалы, схемы расположения выявленных дефектов

Приложение: письмо ООО «Газпром трансгаз Чайковский» на 1 л.

Заместитель  
начальника Департамента

О.В. Бурутин  
(700) 2-33-61



А.П.



## ПИСЬМО № 9184 от 07.09.2022г.



Публичное акционерное общество

«Газпром»

(ПАО «Газпром»)

Адрес для почтовой корреспонденции: БОХ 1255, Санкт-Петербург, 190500  
Юридический адрес: Лахтинский пр-кт, д. 2, к. 3, стр. 1, Санкт-Петербург, 197229  
тел.: (812) 413-74-44, факс: (812) 413-74-45, телекс: 411467 GAZ RU  
e-mail: gazprom@gazprom.ru, www.gazprom.ru

ОКПО 00040778, ОГРН 1027700070518, ИНН 7736050008, КПП 781401001

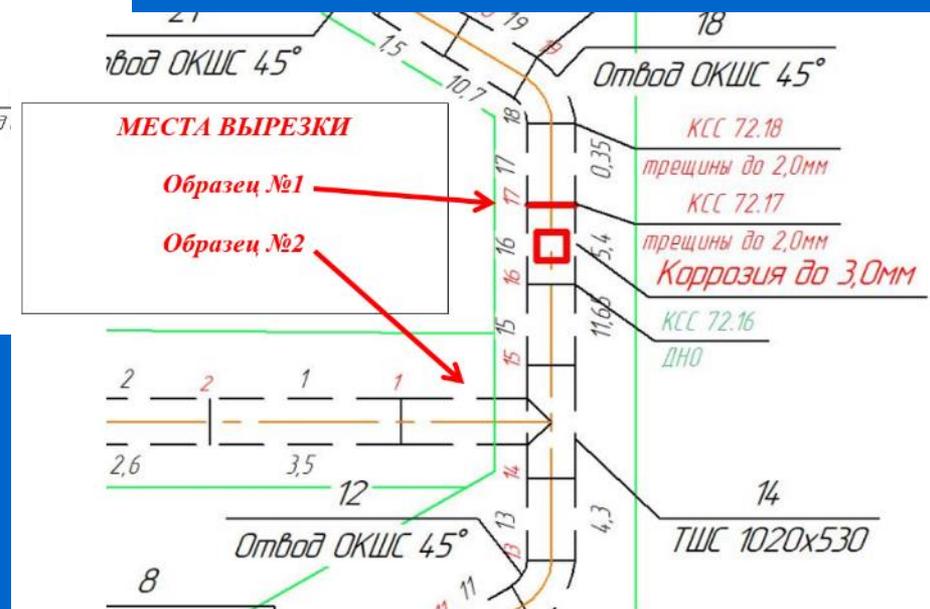
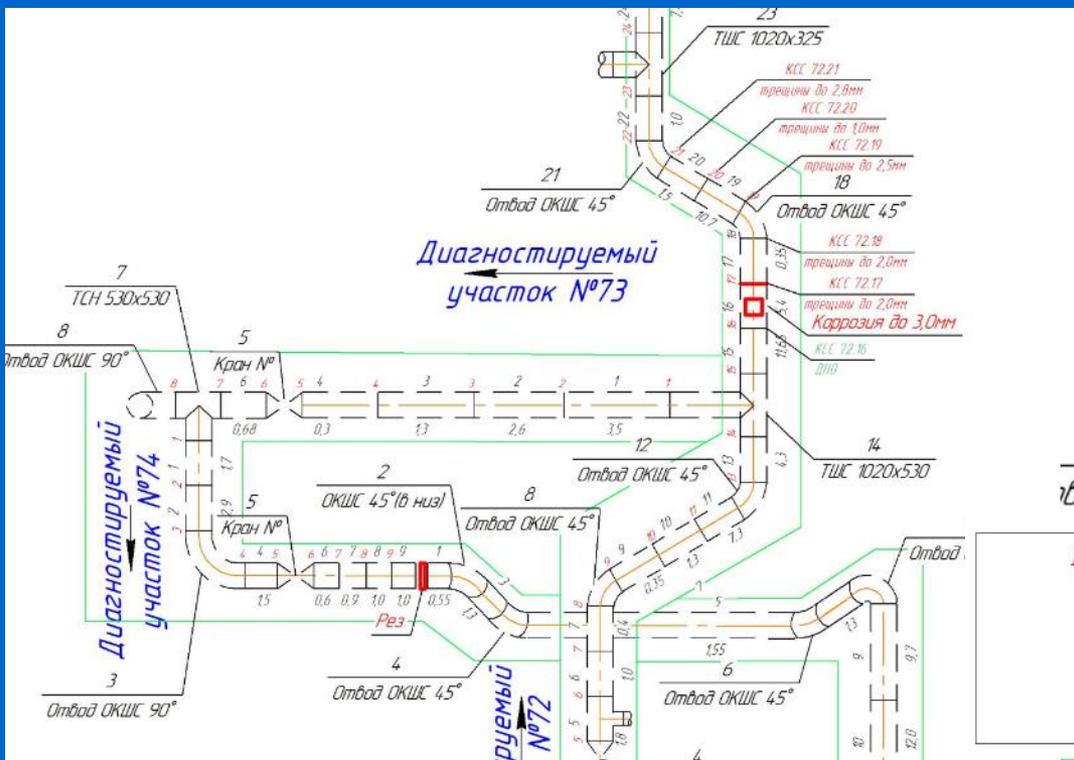
СЧ.С.С. № 03/08/1 - 9184

на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

В связи с выявлением трещиноподобных дефектов на технологических трубопроводах узла подключения КЦ-2 КС «Вавожская» МГ «Ямбург - Тула II», а также, учитывая требования циркулярного письма ПАО «Газпром» от 11.01.2022 № 03/08-1 и необходимость оперативного принятия решения по эксплуатации данного компрессорного цеха, прошу ООО «Газпром трансгаз Чайковский»:

1. Организовать проведение комиссионной идентификации выявленных дефектов в соответствии с СТО Газпром 2-2.3-760-2013. В состав комиссии предусмотреть участие специалистов ООО «Газпром ВНИИГАЗ», ЦСЛ «Трубнонадзор», специалистов подрядной специализированной организации, выполняющей комплекс работ по ВТД и экспертизе промышленной безопасности.

# Повышение надежности магистральных газопроводов, подверженных КРН»



НАЧАЛО  
РАБОТ.  
УСЛОВНО:  
«0 час»





РАЗМЕТКА ПОД  
ВЫРЕЗКУ  
ФРАГМЕНТОВ  
Условно: «0+0,5 час»

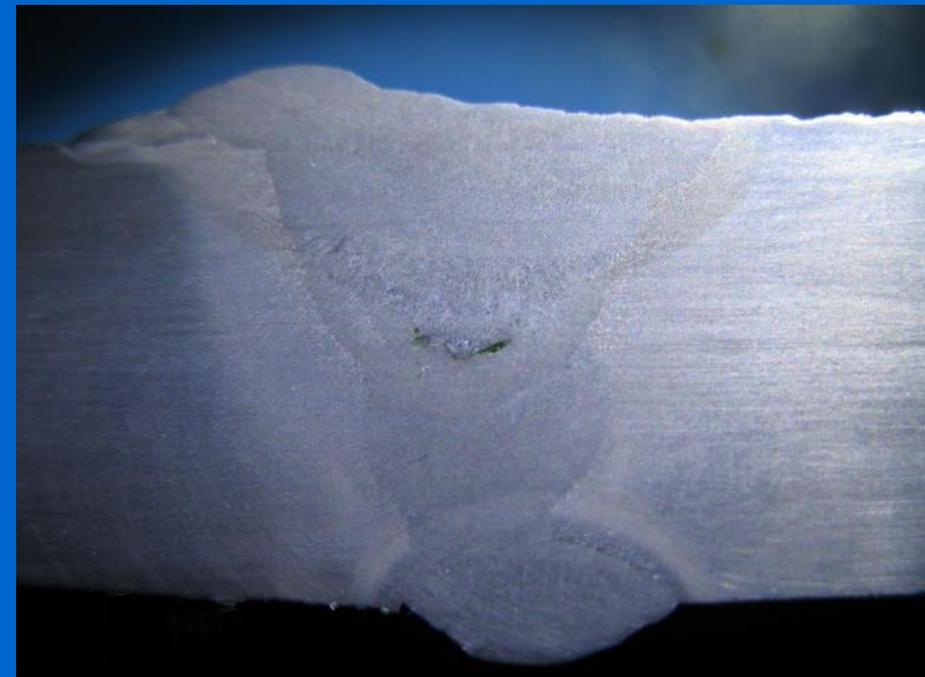


РАЗМЕТКА ФРАГМЕНТОВ  
Условно: «0+2,5 час»



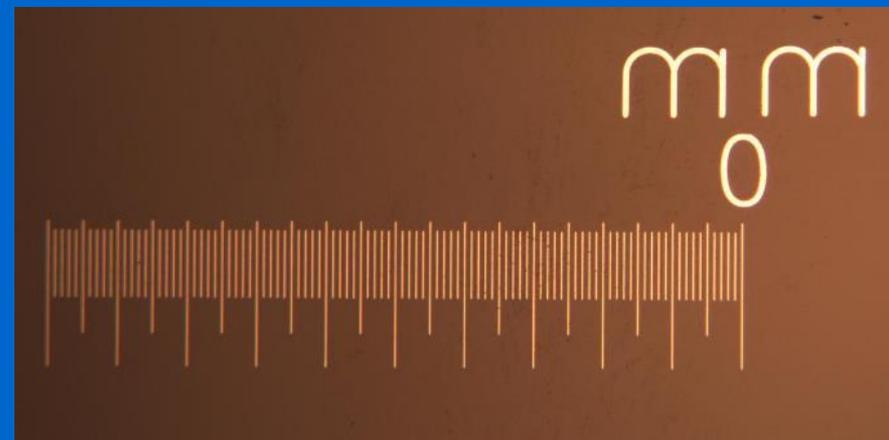


**ВЫРЕЗКА ТЕМПЛЕТОВ**  
Условно: «0+6,5 час»

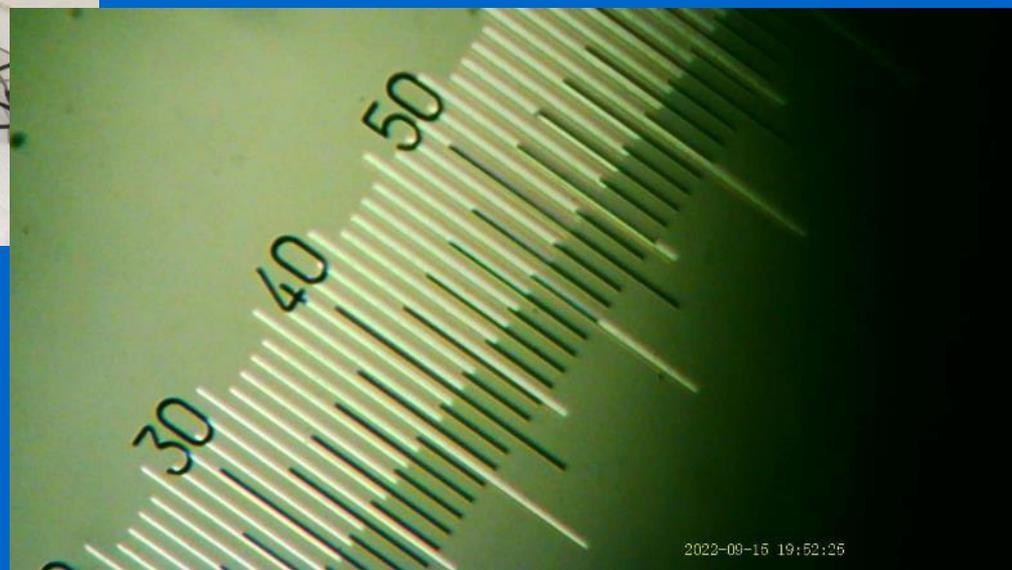


МАКРОСТРУКТУРА КСС,  
ПРОВЕДЕНИЕ ТВЕРДОМЕТРИИ  
Условно: «0+13 час»





ПРОВЕДЕНИЕ АНАЛИЗА  
МИКРОСТРУКТУРЫ ДВУХ  
ТЕМПЛЕТОВ  
Условно: «0+15 час»



2022-09-15 19:52:26

ПУБЛИЧНОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «ГАЗПРОМ»  
ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ  
«ГАЗПРОМ ТРАНСГАЗ ЧАЙКОВСКИЙ»

## ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ

по результатам исследований фрагментов  
технологического трубопровода узла подключения  
КЦ-2 (линия крана № 20) МГ «Ямбург-Тула 2»  
КС «Вавожская» Увинского ЛПУ МГ  
ООО «Газпром трансгаз Чайковский»

(основание: Решение Комиссии по письму ПАО «Газпром» № 03/08/2-9184 от  
07.09.2022г.)

ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР  
ЛАБОРАТОРИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ДИАГНОСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ

г. Чайковский – 2022г.

ПРОЕКТ ОТЧЕТА ПЕРЕДАН  
КОМИССИИ  
Условно: «0+21 час»

## Технический отчет № 005

г. Чайковский

22.09.2022г.

Мной, специалистом ЛКДО ИТЦ ООО «Газпром трансгаз Чайковский» /свидетельство об аттестации лаборатории НК №АЦЛНК-2-00003, действующее до 15.05.2025г. и свидетельство об аккредитации №ИЛ/ЛРИ-01561, действующее до 26.03.2025 г./,

- Абросимовым П.В. – ведущим инженером /КУ № 0034-48521-2020 АЭ, ВИК; НОАП-0030-8476/,

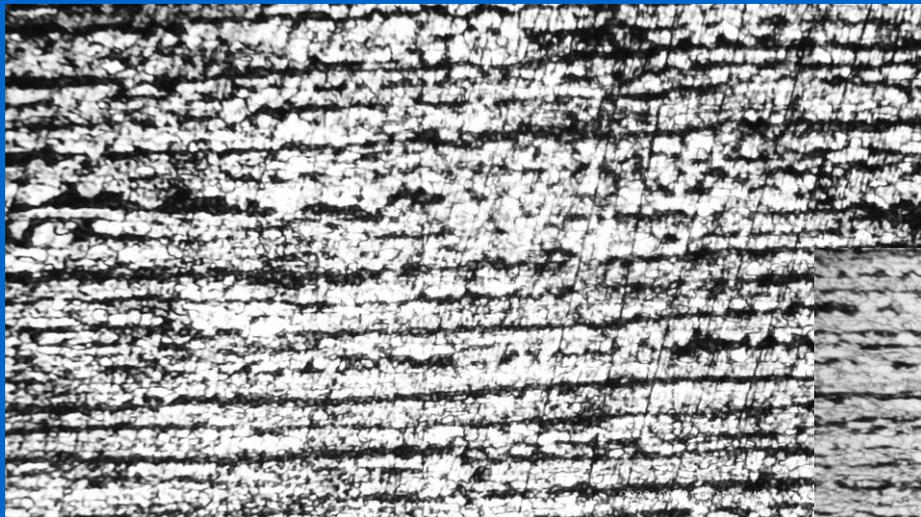
на основании Решения Комиссии, работа которой организована в соответствии с Письмом ПАО «Газпром» № 03/08/2-9184 от 07.09.2022г., для «...проведения комиссионной идентификации выявленных дефектов...», проведен комплекс работ по неразрушающему и разрушающему контролю (визуально-измерительный (ВИК), твердометрия, макро-микроструктурный анализ) фрагментов технологического трубопровода узла подключения КЦ-2 (линия крана № 20) МГ «Ямбург-Тула 2» КС «Вавожская» Увинского ЛПУ МГ ООО «Газпром трансгаз Чайковский».

### Выводы:

По результатам комплекса лабораторных исследований подготовленных фрагментов технологического трубопровода узла подключения КЦ-2 (линия крана № 20) МГ «Ямбург-Тула 2» КС «Вавожская» Увинского ЛПУ МГ ООО «Газпром трансгаз Чайковский», следует считать, что:

1. Кольцевой монтажный сварной шов воспроизводит классическую схему взаимодействия структур «основной металл – ЗТВ – линия сплавления – наплавленный металл». Неравновесных закалочных структур не выявлено.
2. Вскрытые приповерхностные трещины образцов № 1 и № 2 проявляют особенности морфологии КРН (коррозионное растрескивание под напряжением) или стресс-коррозии: они ветвисты, их русла имеют различную ширину (берега трещин не на всем протяжении сохранили ответную геометрию), в руслах фиксируются островки нерастворенного металла, вершины имеют различную степень растравленности.

# Повышение надежности магистральных газопроводов, подверженных КРН»

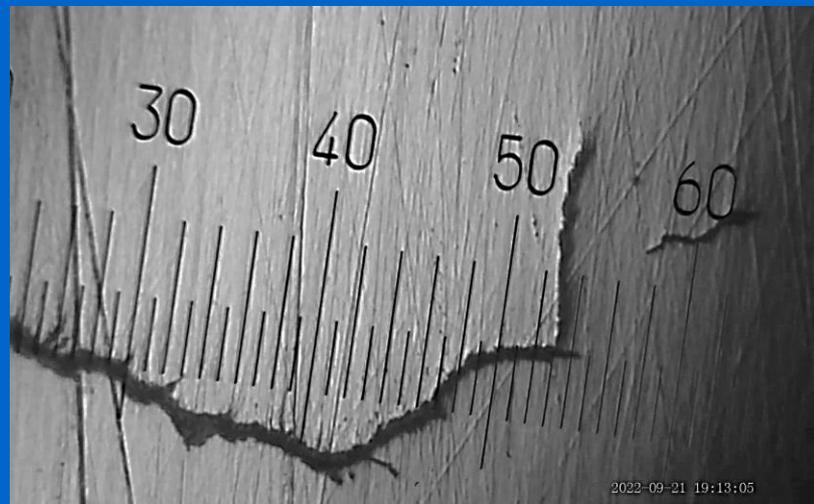


СРАВНЕНИЕ ЭКСПРЕСС-  
РЕЗУЛЬТАТОВ С ЛАБОРАТОРНОЙ  
ПОДГОТОВКОЙ

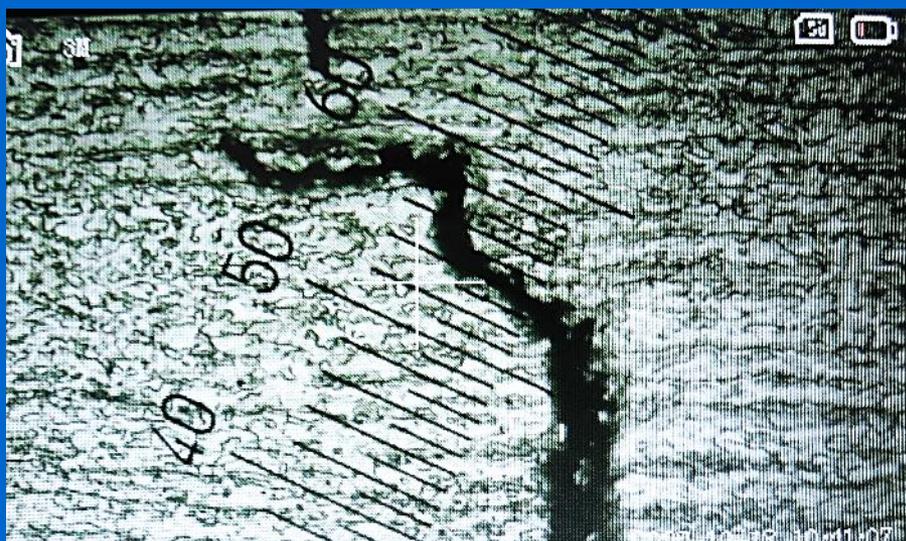


СРАВНЕНИЕ ЭКСПРЕСС-  
РЕЗУЛЬТАТОВ С ЛАБОРАТОРНОЙ  
ПОДГОТОВКОЙ

# Повышение надежности магистральных газопроводов, подверженных КРН»



# Повышение надежности магистральных газопроводов, подверженных КРН»





## Повышение надежности магистральных газопроводов, подверженных КРН»

«...за период с 2013 по сентябрь 2016 гг. только одна из девяти стресс-коррозионных аварий произошла посредством развития трещин КРН по телу трубы, **остальные 8 аварий связаны с трещинами КРН по линии сплавления заводского сварного шва труб...»**

**«...только экспериментально можно подтвердить, связана ли причина пониженной прочности и трещиностойкости сварных соединений труб .... с процессом длительной эксплуатации труб в составе газопровода, или она обусловлена исходным низким качеством сварного соединения, которое не отвечало даже тем относительно «мягким» требованиям, которые предъявлялись к трубам тогдашними нормативами...»**

(Начальник лаборатории труб Еснев Т.С., из переписки 2016г.)



## Выводы:

По результатам комплекса лабораторных исследований представленных фрагментов разрушенного трубопровода следует считать, что:

1. Причиной настоящей аварии стало коррозионное растрескивание под напряжением (КРН) или стресс-коррозия, развившаяся по линии «внешний валик усиления наплавленного металла продольного заводского шва – лист» по видманштетту и пересекая все структурные составляющие ЗТВ.

.....

4. Максимальная глубина стресс-коррозионного поражения в фокусе разрушения - 11,0 мм., что составляет 70% толщины стенки трубы.

5. Трещина КРН, развившаяся по противоположной (относительно разрушения) ЗТВ заводского шва, имеет глубину до 7,0мм.

6. Трещины КРН основного металла трубы (вне ЗТВ продольного шва, но в достаточной близости от неё) принципиально отличаются от трещин, развившихся вблизи заводского шва своими геометрическими размерами; они достаточно разрознены, непротяженны и имеют значительно меньшую глубину проникновения.

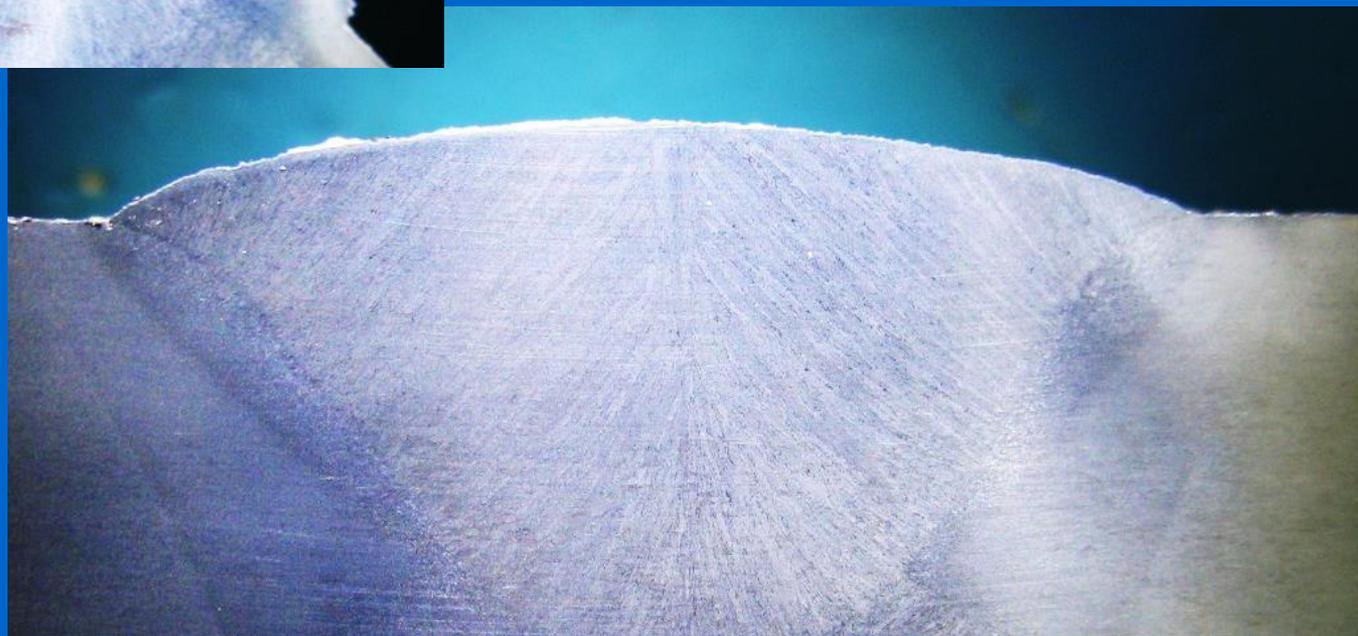
7. «Аварийная» трещина КРН «стартует» от точки геометрического перехода «металл трубы – внешнее усиление заводского шва» по ЗТВ, содержащей видманштетт не выше среднего балла без малейших признаков закалочных неравновесных структур; при этом особенности кинетики развития КРН по видманштетту в литературе не описаны.

# Повышение надежности магистральных газопроводов, подверженных КРН»



# Повышение надежности магистральных газопроводов, подверженных КРН»

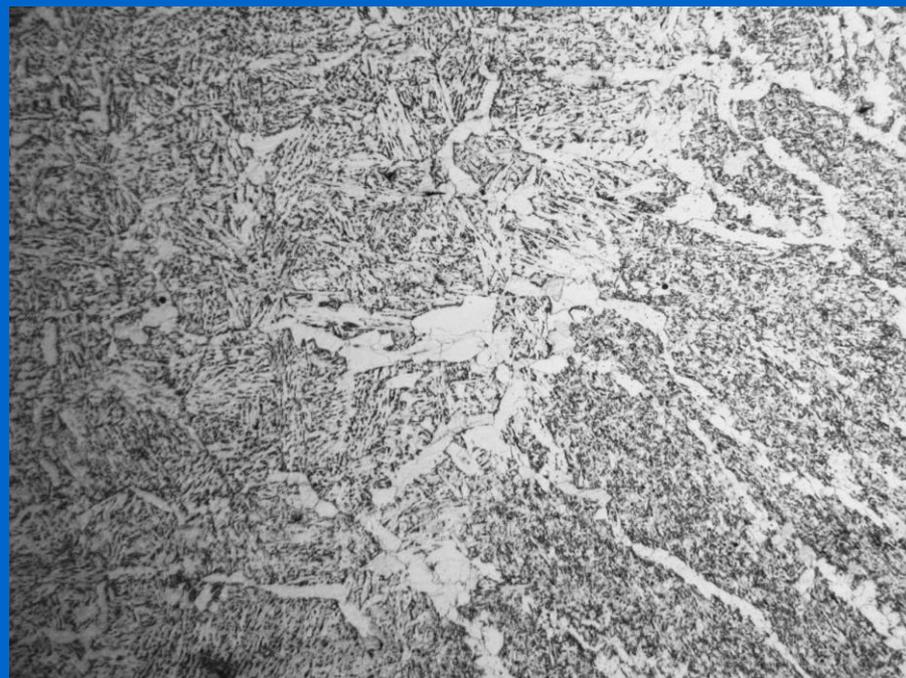
СТРЕСС-КОРРОЗИОННЫЕ  
ПОВРЕЖДЕНИЯ, «СТАРТУЮЩИЕ»  
ПО ВИДМАНШТЕТТУ



## Повышение надежности магистральных газопроводов, подверженных КРН»

По одной из гипотез о механизме образования видманштеттова феррита, его образование объясняют сдвиговой перестройкой решетки, характеризующейся упорядоченными взаимосвязанными перемещениями атомов (как при образовании мартенсита).

**Мартенсито-подобный механизм образования видманштеттовой пластины объясняет, почему в ней в отличие от равноосных зерен плотность дислокаций повышена на 1—2 порядка.**



## Повышение надежности магистральных газопроводов, подверженных КРН»

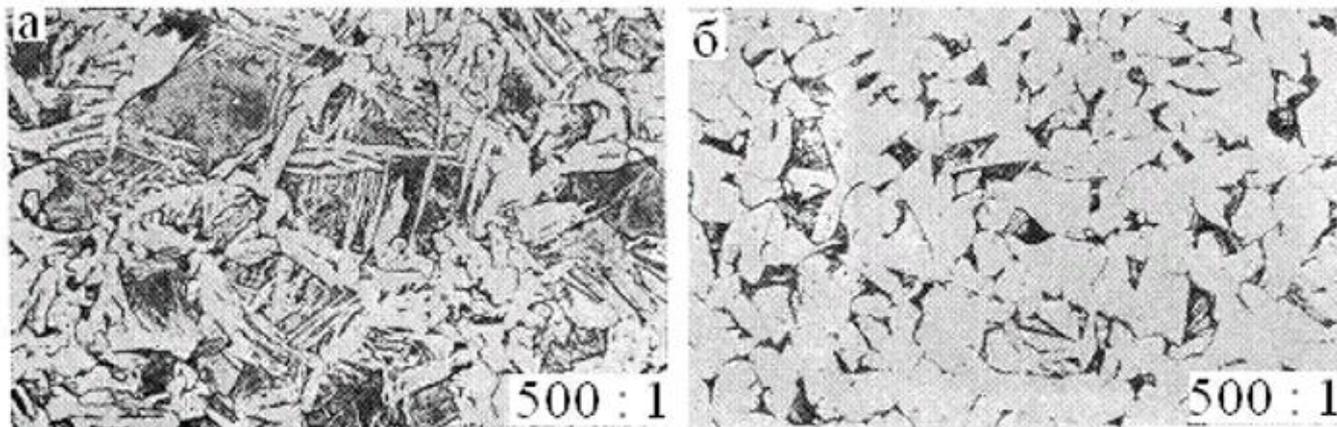


Рис. 9. 1. Влияние скорости охлаждения на микроструктуру стали Ст.15

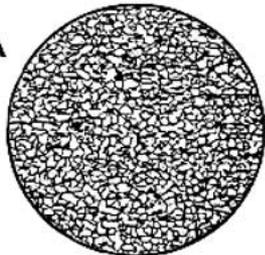
а - охлаждение от 920 до 500 °С 5 секунд;

б - охлаждение от 920 до 500 °С 30 секунд;

Видманштеттов феррит образуется в интервале от  $A_3$  минус 50 °С до 600—550 °С.

*Линия  $A_3$  (GS) на диаграмме «железо-углерод» ограничивает существование  $A+\Phi$ ;  $\sim 900^\circ\text{C}$*

Ряд А



балл 0



балл 1



балл 2



балл 3



балл 4



балл 5

Видманштеттова структура. Образуется при сварке при скорости остывания после перегрева выше 100 °С/мин. Вызывает ухудшение механических характеристик металлов и сплавов:

- снижение ударной вязкости и прочности;
- склонность к хрупкому разрушению;
- плохая сопротивляемость динамическим нагрузкам.

**Вопрос о характере и механизмах старения сварных швов и околошовной зоны изучен еще недостаточно.**

Это связано с тем, что **картина старения закаленных и частично-отпущенных структур чрезвычайно сложна.** Эта сложность обусловлена, в частности, трудностями описания особенностей выделения карбидов «хитрого» стехиометрического состава в таких структурах и другими факторами. **Проблема старения закаленных структур – это проблема, с которой материаловедение «воюет» с середины прошлого века, и в которой вопросов до сих пор больше, чем ответов.** Поэтому мы пока только «ходим вокруг» проблемы старения сварных швов и «готовимся к штурму».

(проф. Чувильдеев В.Н., из переписки 2005г.)



# Повышение надежности магистральных газопроводов, подверженных КРН»

ПУБЛИЧНОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «ГАЗПРОМ»

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ  
«ГАЗПРОМ ТРАНСГАЗ ЧАЙКОВСКИЙ»

СОГЛАСОВАНО  
Начальник Департамента  
ПАО «Газпром»

УТВЕРЖДАЮ  
И.о. Генерального директора  
ООО «Газпром трансгаз Чайковский»

  
С.В. Скрянкин  
«14» 12 2021 г.

  
А.В. Мостовой  
2021 г.



## СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ

**СВАРКА И НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОСНОВНОГО МЕТАЛЛА И СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБОПРОВОДОВ В ТРАССОВЫХ УСЛОВИЯХ БЕЗОБРАЗЦОВЫМИ МЕТОДАМИ**

Лист утверждения

СТО Газпром трансгаз Чайковский

Заместитель Генерального директора  
ООО «Газпром ВНИИГАЗ» по науке

  
Р.Р. Кантоков  
2021 г.



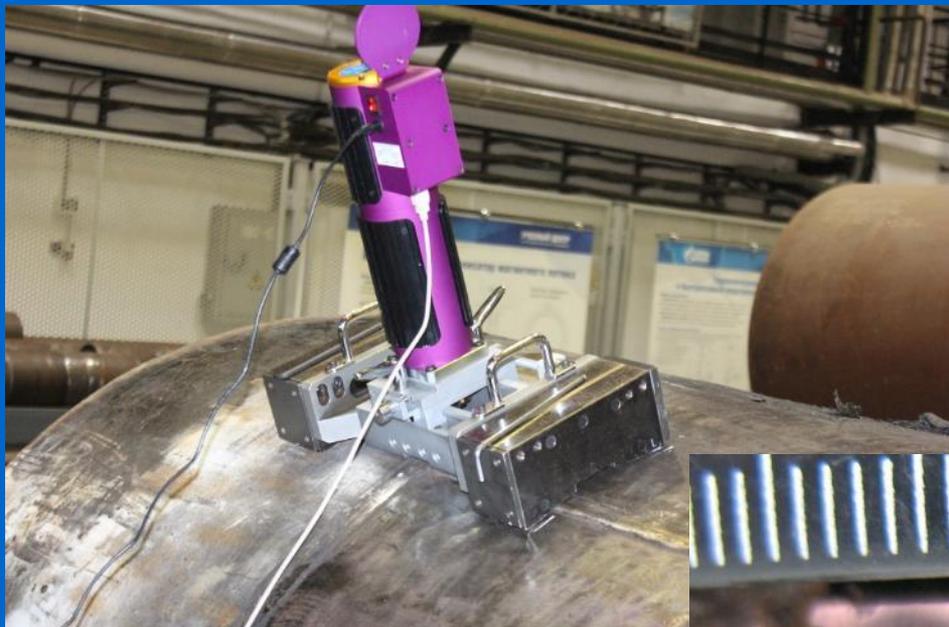
  
ГЛАВНЫЙ СВАРЩИК  
НАЧАЛЬНИК - ОФД  
КОТОЛОВ А.Ю.  
  
Самозащит

Чайковский 2021

СТО Газпром трансгаз Чайковский 08-001-2021

## Введение

Данный стандарт разработан с целью регламентации требований к технологии и оборудованию для экспресс-оценки механических свойств основного металла труб и металла кольцевых стыковых сварных соединений труб действующих магистральных газопроводов без нарушения их целостности с использованием безобразцового метода инструментального индентирования с применением прибора AIS-3000HD производства компании “Frontics, Inc.” (Корея).



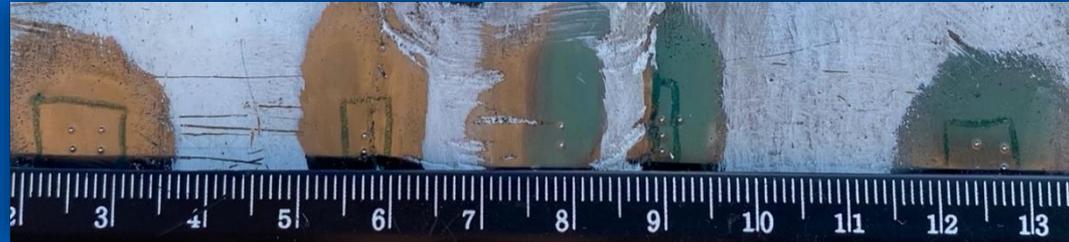
# Повышение надежности магистральных газопроводов, подверженных КРН»



Инспектируемая зона	Файл FRONTICS с данными испытаний	Предел текучести, $\sigma_{0,2}$ МПа	Временное сопротивление, $\sigma_b$ МПа	Трещиностойкость, $K_{IS}$ (+20° C) МПа·м <sup>0,5</sup>	Ударная вязкость, KI (+20° C) Дж
ОМ трубы	Test 1	612	708	280	160
	Test 2	586	710	236	207
Средние значения		599	709	258	184
ОМ СДТ(отвод)	Test 1	422	525	249	-
	Test 2	415	527	222	-
Средние значения		419	526	236	-
ЛС+2 мм - труба	Test 1	553	636	251	117
	Test 2	510	624	199	-
Средние значения		531	630	225	117
ЛС+2 мм – СДТ(отвод)	Test 1	414	543	198	120
	Test 2	434	555	227	117
Средние значения		424	549	212	119
Центр кольцевого сварного шва	Test 1	659	750	336	120
	Test 2	660	750	336	-
Средние значения		659	750	336	120

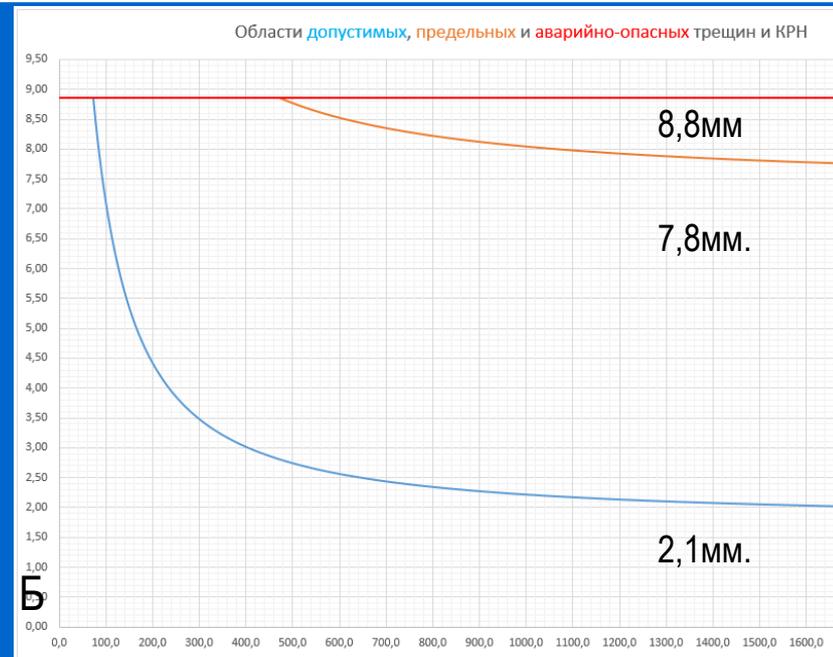
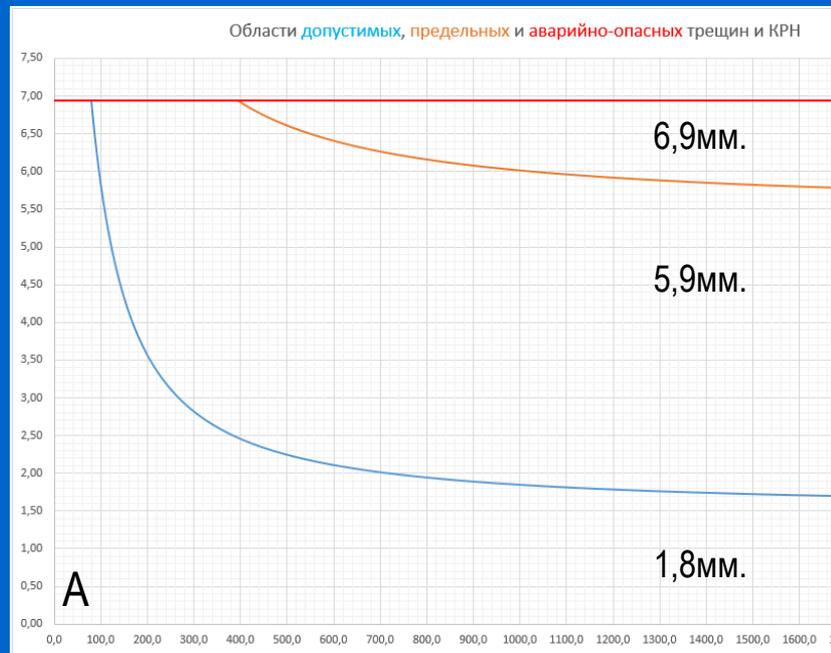
Инспектируемая зона	Файл FRONTICS с данными испытаний	Предел текучести, $\sigma_{0,2}$ МПа	Временное сопротивление, $\sigma_b$ МПа	Трещиностойкость, $K_{IS}$ (+20° C) МПа·м <sup>0,5</sup>	Ударная вязкость, KCV (+20° C) Дж
ОМ трубы	Test 1	612	708	280	160
	Test 2	586	710	236	207
Средние значения		599	709	258	184
ОМ СДТ(отвод)	Test 1	422	525	249	-
	Test 2	415	527	222	-
Средние значения		419	526	236	-
ЛС+2 мм - труба	Test 1	553	636	251	117
	Test 2	510	624	199	-
Средние значения		531	630	225	117
ЛС+2 мм – СДТ(отвод)	Test 1	414	543	198	120
	Test 2	434	555	227	117
Средние значения		424	549	212	119
Центр кольцевого сварного шва	Test 1	659	750	336	120
	Test 2	660	750	336	-

# Повышение надежности магистральных газопроводов, подверженных КРН»



Инспектируемая зона	Предел текучести, $\sigma_{0,2}$	Временное сопротивление, $\sigma_B$	Трещиностойкость, $K_{Ic} (+20^\circ C)$	Ударная вязкость, KCV (+20° C)
	МПа	МПа	МПа·м <sup>0,5</sup>	Дж/см <sup>2</sup>
ОМ трубы №1 (вход) <b>Средние значения</b>	<b>534</b>	637	<b>194</b>	<b>174</b>
ОМ трубы №2 (выход) <b>Средние значения</b>	593	725	235	141
ЛС+2 мм – труба №1 (вход) <b>Средние значения</b>	538	669	204	220
ЛС+2 мм – труба №2 (выход) <b>Средние значения</b>	550	686	218	197
Центр кольцевого сварного шва <b>Средние значения</b>	595	702	265	138

# Повышение надежности магистральных газопроводов, подверженных КРН»



Ранжирование трещин (схематизированной трещины) на участке ТТ КС по второму уровню оценки работоспособности на основе значений СТО Газпром 2-2.3-1225-2020:

$$[h]_{ав} = \delta \cdot [w]_{ав}^{1/\beta}, \text{ где } \beta = \frac{2}{3} + \frac{1}{3} \cdot \ln \frac{\sqrt{219,78 \cdot KCV}}{\sigma_T \cdot \sqrt{0,001 \cdot \delta}}$$

- А) по СНиП (ГОСТ)  $\sigma_T=460\text{МПа}$   $KCV=78,4\text{Дж/см}^2$ ,  
 Б) измеренных значений  $\sigma_T=534\text{МПа}$   $KCV=174\text{Дж/см}^2$ .

Ограничения на использование расчетов и определение КРН дефектов, как **безусловно недопустимых** на валиках сварных швов и зонах основного металла труб, непосредственно прилегающих к сварным соединениям:

**СТО Газпром 2-2.4-715-2013 (табл. 7.1);**

**Р Газпром 2-2.3-1251-2021 (табл. 5.2)**

**Инструкция по оценке дефектов труб и СДТ при ремонте и диагностировании магистральных газопроводов, утв. Заместителем Председателя Правления ПАО «Газпром» В.А. Маркеловым 5.09.2013 (табл. 6.1, 6.3)**

Учитывая, что дефекты КРН по своей природе не являются «классическими» трещинами, поскольку имеют растравленные берега и вершину, подверженную анодному растворению,

Предлагается внести в Решение:

организовать проведение исследовательских работ (НИР), в том числе ресурсных испытаний труб с дефектами, с целью пересмотра фактических запретов дефектов КРН на валиках сварных соединений и областях основного металла труб, непосредственно прилегающих к ним (за исключением трещин, обнаруженных по линии сплавления сварных соединений).



**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ и**  
***ЗА ВАШИ ВОПРОСЫ!***