

ТЕКУЩИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ВОЗМОЖНОСТИ КОНСЕРВАЦИИ СТРЕСС-КОРРОЗИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ ТРАССОВОЙ ПЕРЕИЗОЛЯЦИИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ БИТУМНО-ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ

к.т.н. Ряховских И.В., к.х.н. Богданов Р.И. (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»),
к.т.н. Арабей А.Б., Бурутин О.В., к.х.н Игошин Р.В., Сахон А.В. (ПАО «Газпром»)

Решением Секции НТС ПАО «Газпром» от 27.06.2016 № 7-1 по вопросу: «Обеспечение длительной работоспособности труб с дефектами коррозионного растрескивания под напряжением в составе магистральных газопроводов», утвержденным Первым заместителем Председателя НТС ПАО «Газпром» В.А. Маркеловым, отмечено:

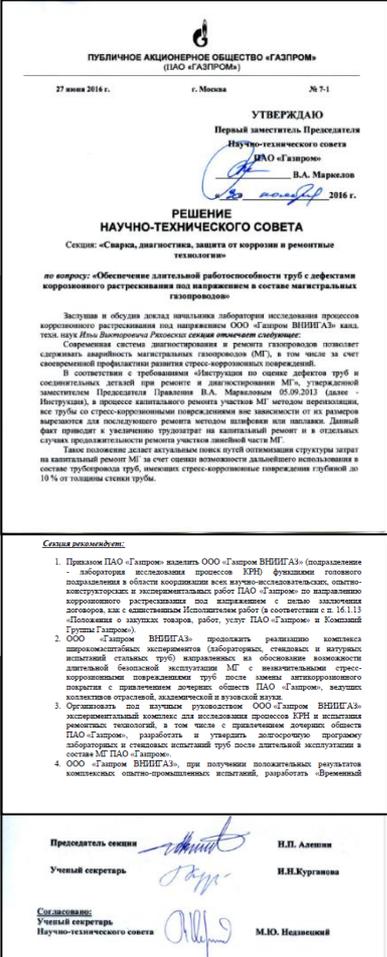
«... В соответствии с требованиями «Инструкции по оценке дефектов труб и соединительных деталей при ремонте и диагностировании МГ», в процессе капитального ремонта участков МГ методом переизоляции, все трубы со стресс-коррозионными повреждениями вне зависимости от их размеров вырезаются для последующего ремонта методом шлифовки или наплавки. Данный факт приводит к увеличению трудозатрат на капитальный ремонт и в отдельных случаях продолжительности ремонта участков линейной части МГ.

Такое положение делает актуальным поиск путей оптимизации структуры затрат на капитальный ремонт МГ за счет оценки возможности дальнейшего использования в составе трубопровода труб, имеющих стресс-коррозионные повреждения глубиной до 10 % от толщины стенки трубы...»

Секция рекомендует:

1. Приказом ПАО «Газпром» наделить ООО «Газпром ВНИИГАЗ» (подразделение - лаборатория исследования процессов КРН) функциями головного подразделения в области координации всех НИР, ОКР и экспериментальных работ ПАО «Газпром» по направлению КРН...
2. ООО «Газпром ВНИИГАЗ» продолжить реализацию комплекса широкомасштабных экспериментов (лабораторных, натурных испытаний стальных труб) направленных на обоснование возможности длительной безопасной эксплуатации МГ с незначительными стресс-коррозионными повреждениями труб после замены антикоррозионного покрытия с привлечением дочерних обществ ПАО «Газпром», ведущих коллективов отраслевой, академической и вузовской науки.
3. Организовать под научным руководством ООО «Газпром ВНИИГАЗ» экспериментальный комплекс для исследования процессов КРН и испытания ремонтных технологий, в том числе с привлечением дочерних обществ ПАО «Газпром», разработать и утвердить экспериментальную программу лабораторных и стендовых испытаний труб после длительной эксплуатации в составе МГ ПАО «Газпром».
4. ООО «Газпром ВНИИГАЗ», при получении положительных результатов комплексных опытно-промышленных испытаний, разработать «Временный порядок выполнения работ при трассовой переизоляции протяженных участков МГ с незначительными повреждениями поверхности металла труб глубиной до 10% от толщины стенки трубы, образованными в результате КРН»...

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ВОЗМОЖНОСТИ КОНСЕРВАЦИИ СТРЕСС-КОРРОЗИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ ТРАССОВОЙ ПЕРЕИЗОЛЯЦИИ МГ



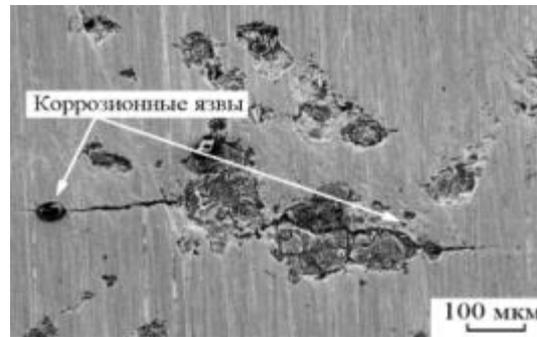
Цель ПАО «Газпром» – оптимизация структуры затрат на капитальный ремонт МГ за счет возможности использования в составе МГ труб, имеющих стресс-коррозионные повреждения

Основные задачи ООО «Газпром ВНИИГАЗ»:

- 1. Анализ опыта эксплуатации МГ ПАО «Газпром», подверженных КРН, и разработка расчетной методики оценки прочности труб с повреждениями типа КРН**
- 2. Экспериментальное обоснование длительной работоспособности труб со стресс-коррозионными повреждениями при условии отсутствия доступа коррозионной среды к поверхности металла на базе ИТЦ ООО «Газпром трансгаз Чайковский»**
- 3. Экспериментальное обоснование выбора эффективной ингибирующей КРН композиции на базе ИФХЭ РАН, ЦНИИчермет, ЦНИИТМАШ, АО «Делан» для консервации стресс-коррозионных повреждений труб в процессе трассовой переизоляции МГ**
- 4. Реализация программы опытно-промышленных испытаний МГ с повреждениями типа КРН на базе ООО «Газпром трансгаз Чайковский» и ООО «Газпром трансгаз Ухта»**
- 5. Разработка порядка выполнения работ при трассовой переизоляции протяженных участков МГ с незначительными повреждениями поверхности металла труб глубиной до 10% от толщины стенки трубы, образованными в результате КРН**

Анализ опыта эксплуатации магистральных газопроводов ПАО «Газпром», подверженных коррозионному растрескиванию под напряжением, с учетом модельных представлений о механизме

Факторы, влияющие на появление и развитие повреждений труб по механизму КРН



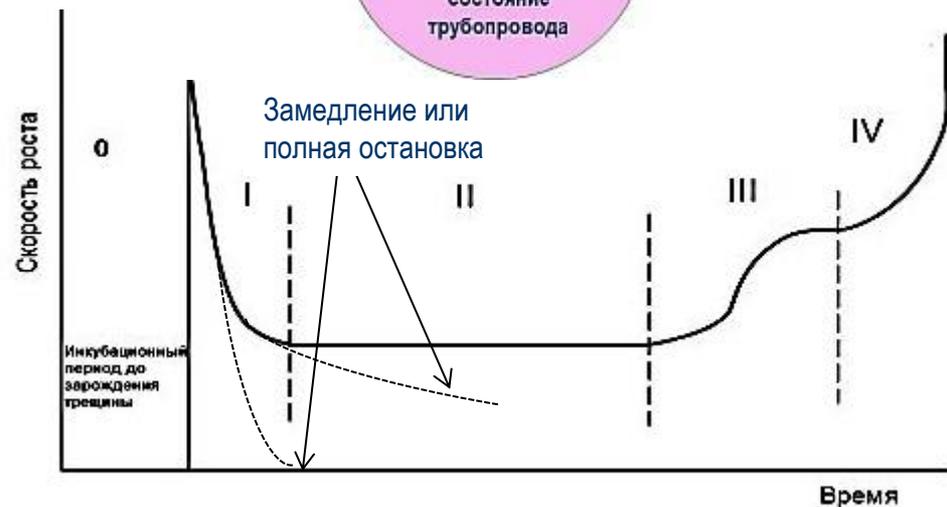
Образование микротрещин из локальных коррозионных язв



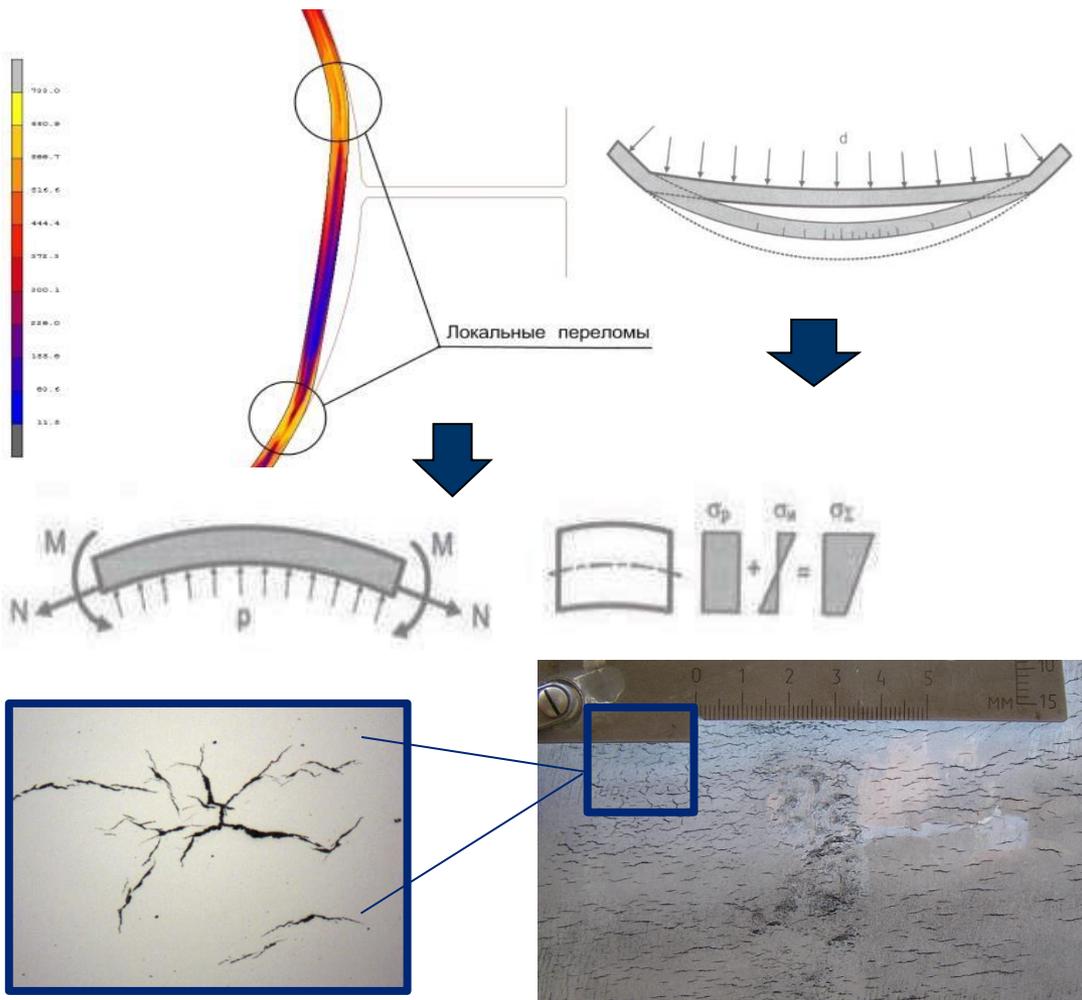
Формирование колоний трещин



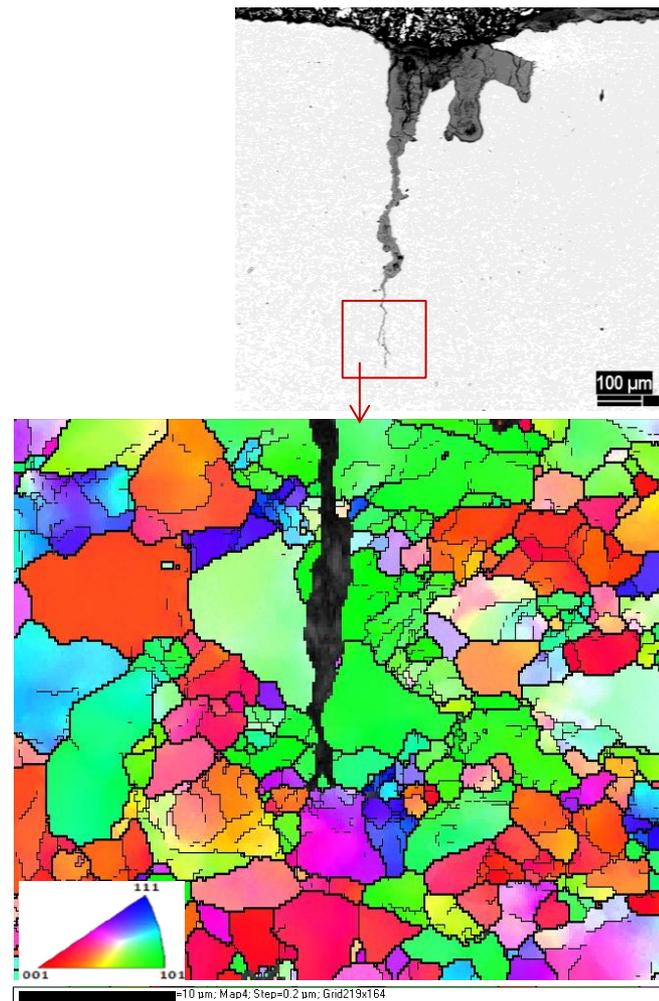
Взаимодействие трещин в колонии



Релаксация напряжений



Текстурная неоднородность



Стресс-коррозионные повреждения глубиной до **0,25** от толщины стенки трубы никогда не становились причиной разрушения МГ, на их долю приходится до **99%** от всех выявленных при ремонте МГ повреждений труб



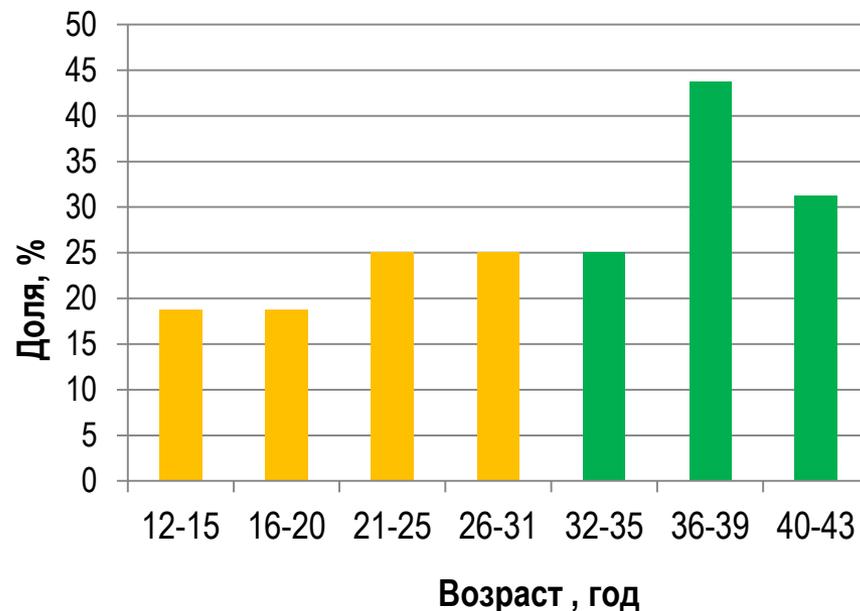
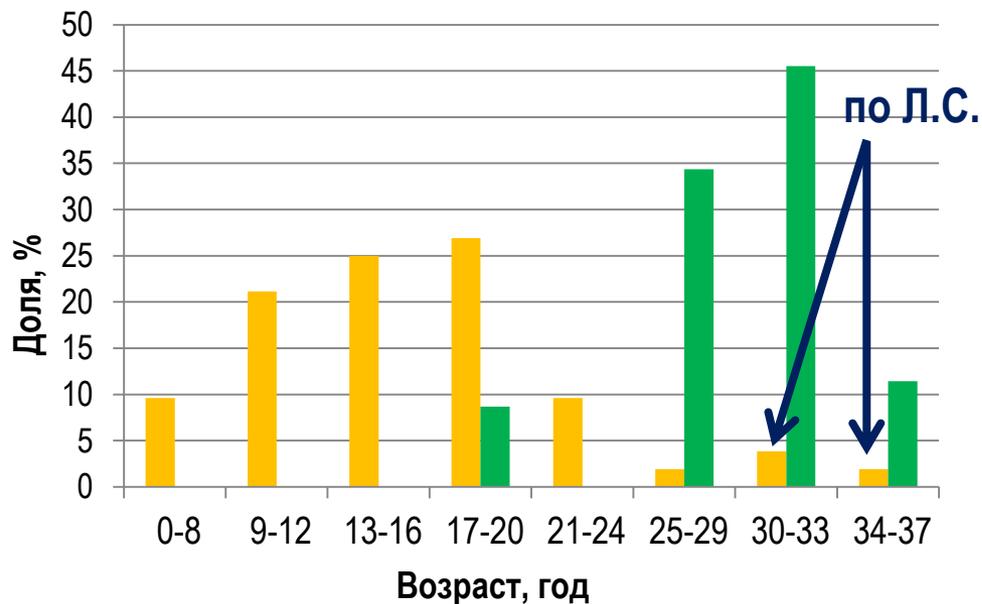
Стресс-коррозионные повреждения глубиной до **0,25** от толщины стенки трубы никогда не становились причиной разрушения МГ, на их долю приходится до **99%** от всех выявленных при ремонте МГ повреждений труб



Долевое распределение инцидентов по причине КРН и фактических сроков эксплуатации участков МГ

- двухшовная конструкция (производитель ХТЗ)

- одношовная конструкция (производитель Mannesmann)

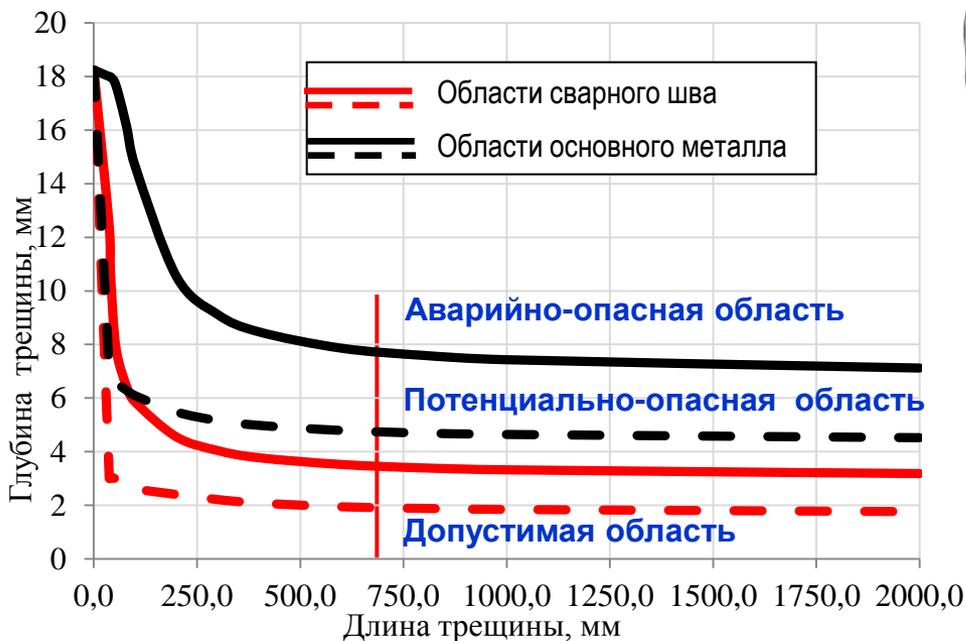


 Долевое распределение инцидентов

 Долевое распределение участков МГ

** (трубы Ду 1400 из сталей контролируемой прокатки К60/Х70)*

Области допустимых, потенциально-опасных и аварийно-опасных значений размеров трещин КРН для основного металла трубы и сварного шва $D=1420$ мм, $t_{ст}=18,7$ мм, $\sigma_T=461$ МПа, $P_{раб}=7,5$ МПа



Схематизация одиночных трещин и колонии трещин

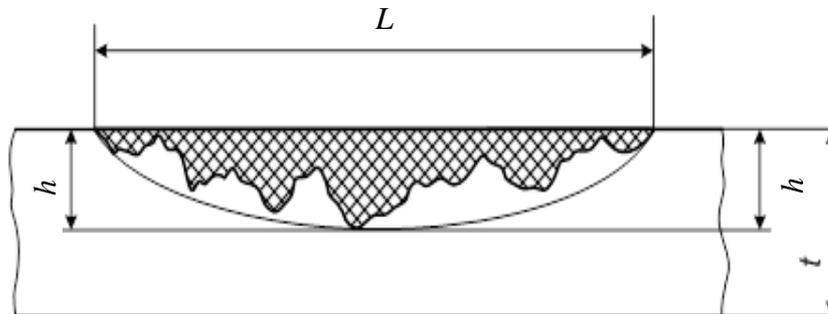
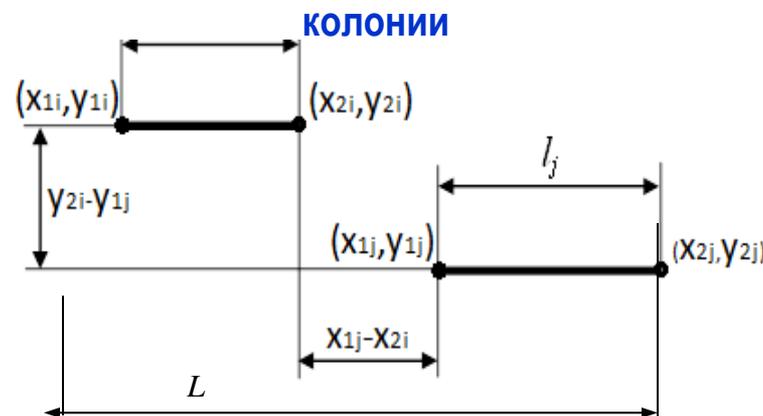


Схема учета взаимодействующих трещин в колонии



Для подтверждения выполненной расчетной классификации стресс-коррозионных повреждений был выполнен комплекс экспериментальных исследований

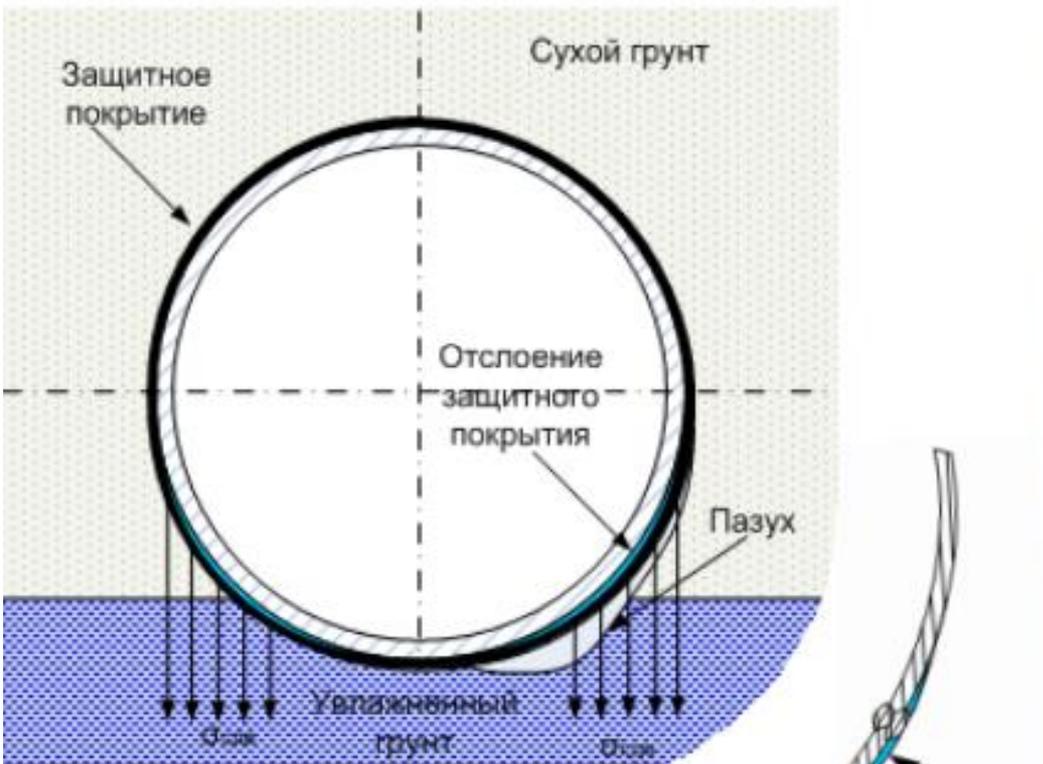
Анализ существующих требований

Виды повреждений	ГОСТ 31447-2012 Трубы стальные сварные для магистральных газопроводов, нефтепроводов и нефтепродуктопроводов	СНиП 2.05.06-85* (СП 36.13330.2012) Магистральные трубопроводы	СНиП III-42-80* (СП 86.13330.2014) Магистральные трубопроводы	ГОСТ ISO 3183-2015 Трубы стальные для трубопроводов нефтяной и газовой промышленности
Трещина	не допускаются	не допускаются	не допускаются	не допускаются
Дефект коррозионного растрескивания под напряжением	<u>не регламентированы</u>	<u>не регламентированы</u>	<u>не регламентированы</u>	<u>не регламентированы</u>

Допустимая глубина повреждений типа КРН сварных труб из сталей контролируемой прокатки

ТУ на трубу	Диаметр труб, мм	Класс прочности (марка стали)	Временное сопротивление, МПа	Предел текучести, МПа	Рабочее давление, МПа	Толщина стенки, мм	Макс. глубина (основной металл)		Макс. глубина (ОШЗ)	
							мм	%	мм	%
ТУ 14-3-995-81	1420	X70	589	441	7,4	15,7	3,0	19	1,5	10
ТУ 14-3-109-73	1220	17Г1С	510	363	5,4	14,6	2,9	20	1,4	10
	1220	14Г2САФ	559	392	5,4	15,0	3,0	20	1,5	10
ТУ 14-3-311-74	1220	17Г2СФ	588	412	5,4	10,5	2,1	20	1,0	10
ТУ 14-3-602-77	1220	17Г1С-У	510	363	5,4	14,0	2,8	20	1,4	10
ТУ 14-3-741-78	1420	09Г2ФБ	549	422	7,4	17,5	3,3	19	1,7	10
ТУ 48-56-77	1420	X70	588	461	7,4	19,5	3,3	17	1,9	10
ТУ 20-28-40-48-79	1020	X70	588	461	7,4	16,0	2,9	18	1,5	10
ТУ 14-3-985-87	1420	X70	588	441	7,4	18,7	3,3	18	1,8	10
ТУ 56-72-73	1420	X70	588	412	7,4	16,5	3,3	20	1,6	10

Перечень труб склонных к КРН определен в соответствии с действующей нормативной документацией СТО Газпром 2-2.3-760-2013 «Инструкция по идентификации КРН металла труб как причины отказов магистральных газопроводов»



Исключение доступа коррозионной среды к поврежденным КРН участкам трубы позволяет предотвратить рост стресс-коррозионных трещин на ранней стадии их развития.



Экспериментальное обоснование длительной работоспособности труб со стресс-коррозионными повреждениями при условии отсутствия доступа коррозионной среды к поверхности металла на базе ИТЦ ООО «Газпром трансгаз Чайковский»

Цель испытаний – оценка влияния стресс-коррозионных повреждений на ресурс и несущую способность одношовных и двухшовных труб Ду 1420 (K60/X70) после их длительной эксплуатации в составе участков МГ по результатам их циклических и статических испытаний, в том числе с подведением модельного электролита к поврежденной поверхности стали

Задачи испытаний:

- Определение кинетики развития стресс-коррозионных повреждений основного металла труб и сварных соединений
- Воспроизведение близких к эксплуатационным для МГ циклических нагрузок, коррозионной среды и электродного потенциала на трубу;
- Оценка несущей способности наиболее поврежденного элемента трубопровода (по критерию предельного давления разрушения);
- Определение признаков развития трещин КРН под действием влияния циклической и/или статической нагрузки в процессе стендовых испытаний плети по металлографии образцов

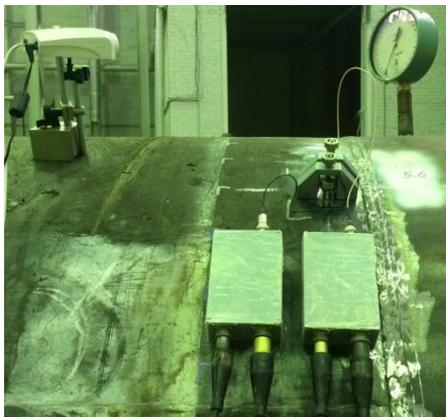


ными
бных
ения
злого
Д и
льном
нстве
ента
НВР
жение
под
шего
рных
лены
ания
ения
емых
ходов,

Рекомендации программного комитета Семинара:

1. Под научным руководством ООО «Газпром ВНИИГАЗ» с привлечением ведущих коллективов отраслевой, академической и вузовской науки продолжить реализацию комплекса широкоаспектных экспериментов (лабораторных, стендовых и натуральных испытаний стальных труб), направленных на исследование возможности длительной безопасной эксплуатации МГ со стресс-коррозионными повреждениями труб глубиной менее 10% от толщины стенки трубы после замены антикоррозионного покрытия. Первый этап испытаний завершить в 2017 году.
Отк.: Департамент (В.А. Михаленко) ПАО «Газпром», Департамент (О.Е. Асюткин) ПАО «Газпром», Департамент (А.А. Филатов) ПАО «Газпром», ООО «Газпром ВНИИГАЗ», дочерние общества ПАО «Газпром»
Срок: 2017 г.
2. Обеспечить разработку и реализацию комплексной программы стендовых гидравлических испытаний труб со стресс-коррозионными повреждениями после длительной эксплуатации в составе МГ, в том числе с моделированием коррозионного воздействия среды на поврежденную поверхность труб.

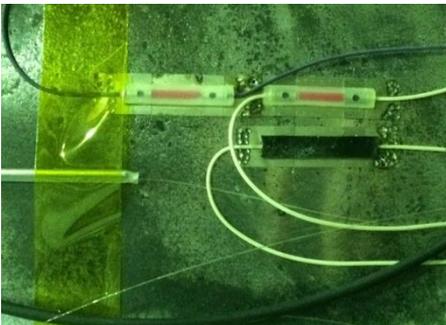




Система АЭ контроля
A-Line 32 D
ООО «Стратегия - НК»



Система контроля с
вихретоковыми датчиками
МВН-3М
ООО Нефтегаздиагностика



Система контроля Astro
на основе волоконно-
оптических датчиков
деформации
ООО «Инверсия-Сенсор»



Толщинометрия
(ультразвуковой
толщиномер
Krautkramer)



Вихретоковый
дефектоскоп
МВД-2МК



Ультразвуковой
дефектоскоп
Phaser PX



Комплекс для
магнитопорошковой
дефектоскопии
Magnaflux

1. Труба ТТ КС, диаметр 1420, толщина стенки 18,7 мм, класс прочности Х70, конструкция одношовная, срок эксплуатации в составе МГ 26 лет, количество КРН - 4, глубиной до 7,5 мм (40%)

2. Отвод холодного гнутья ЛЧ МГ, диаметр 1420 мм, толщина стенки 18,7 мм, класс прочности стали Х70, конструкция одношовная, срок эксплуатации в составе МГ 26 лет, количество КРН – 23, глубиной до 3,5 мм (18,7%)

3. Трубы ЛЧ МГ, диаметр 1420 мм, толщина стенки 16,0-16,4 мм, класс прочности стали Х70, конструкция одношовная, срок эксплуатации в составе МГ 33 года, количество КРН – 21, глубиной до 6,0 мм (37,5%)

4. Трубы ЛЧ МГ, диаметр 1420 мм, толщина стенки 16,0 мм, класс прочности стали К60, конструкция двухшовная, срок эксплуатации в составе МГ 33 года, количество КРН – 69, глубиной до 5,0 мм (30,0%)

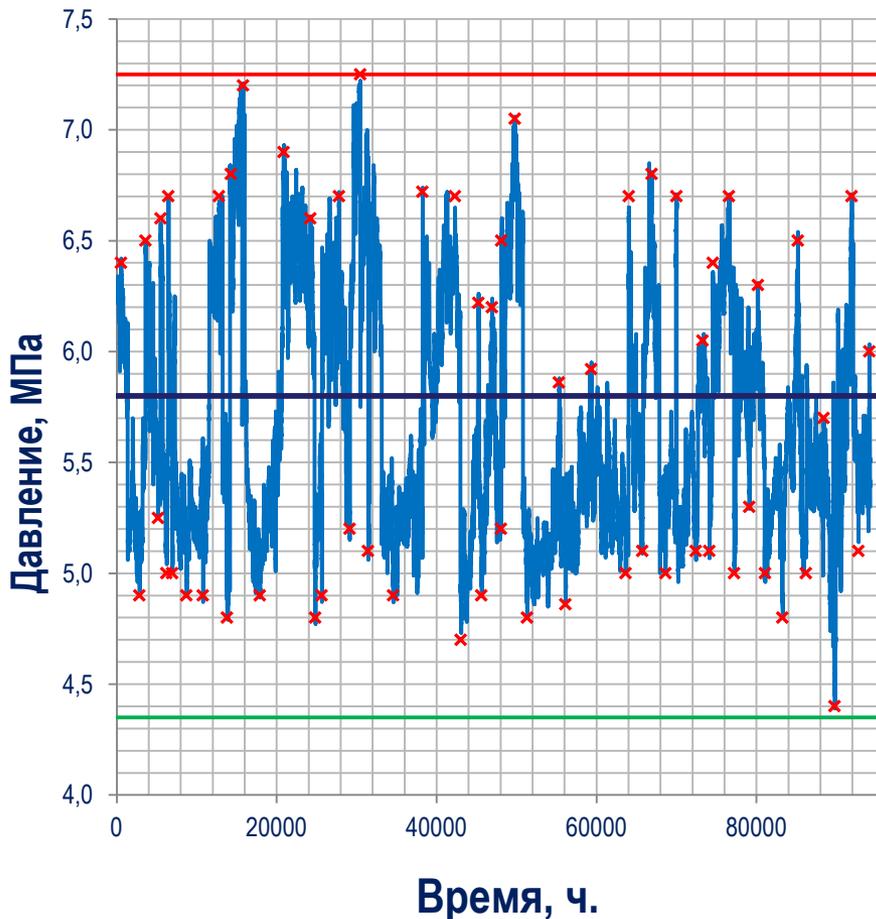
Зона – с дефектом КРН в задире на основном металле



Зона – с дефектами КРН, пересекающими сварной шов



Режимы эксплуатации МГ за 10 лет

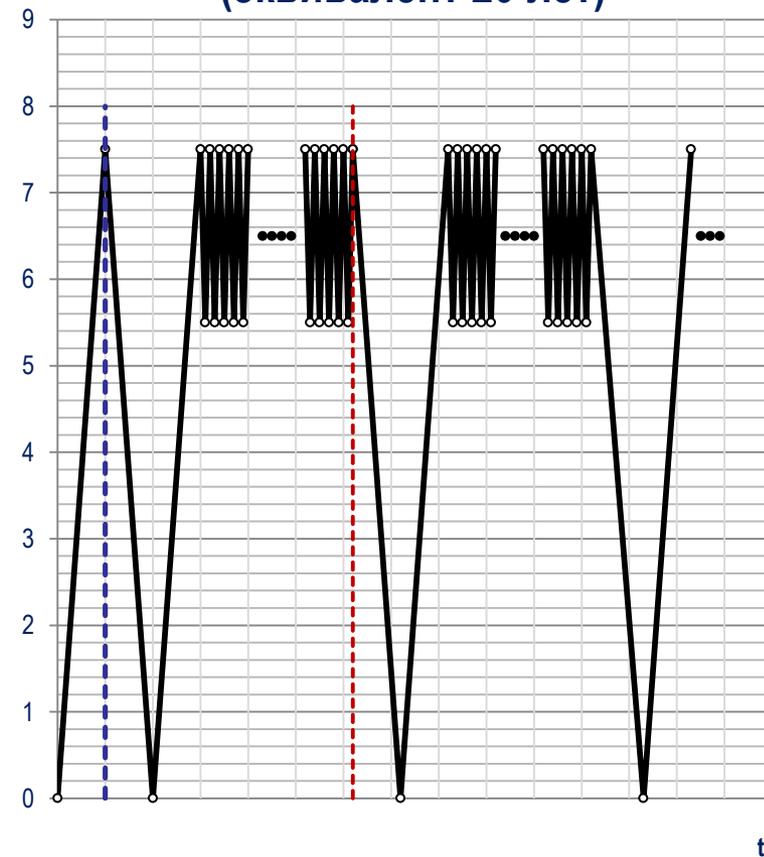


$R_{\text{макс}} = 7,25$

$R_{\text{сред}} = 5,8$

$R_{\text{мин}} = 4,35$

Режимы нагружения стенда (эквивалент 20 лет)



640 циклов (20 по 12 мин./620 по 4 мин.)

Металлографические исследования трещин после испытаний без среды



Металлографические исследования трещин после испытаний в коррозионной среде

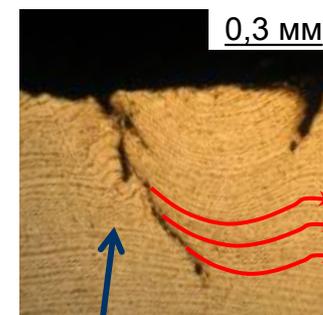


№	Характеристика дефекта	Макс. увеличение глубины дефекта после статических испытаний
1	Дефекты КРН глубиной до 2,0 мм	0 мм
2	Дефекты КРН глубиной около 2,0-3,0 мм	0,3 мм
3	Дефект КРН в задире общей глубиной 7,0 мм	0,83 мм
4	Поверхностный пропил глубиной 3,0 мм и длиной 300 мм	0,2 мм

№ 2



№ 4

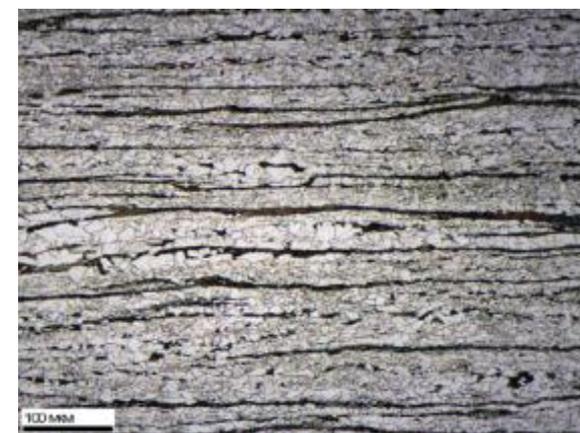
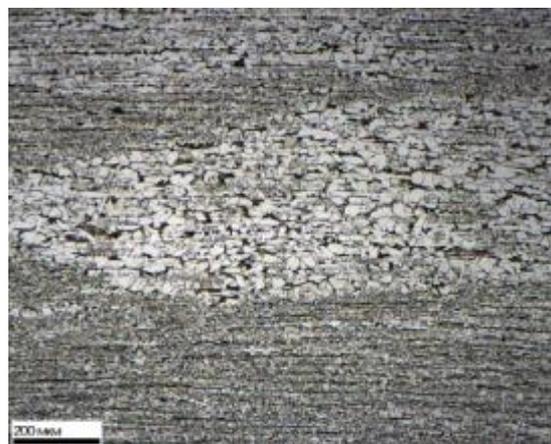
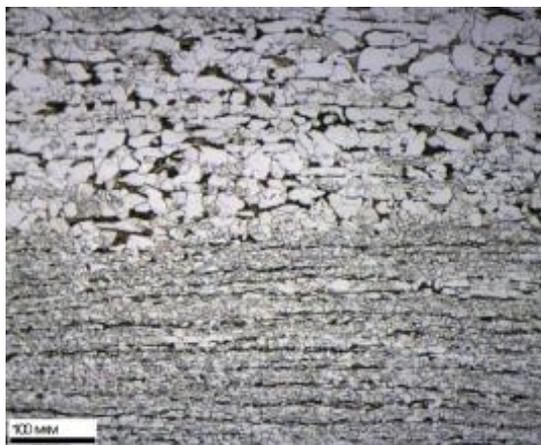


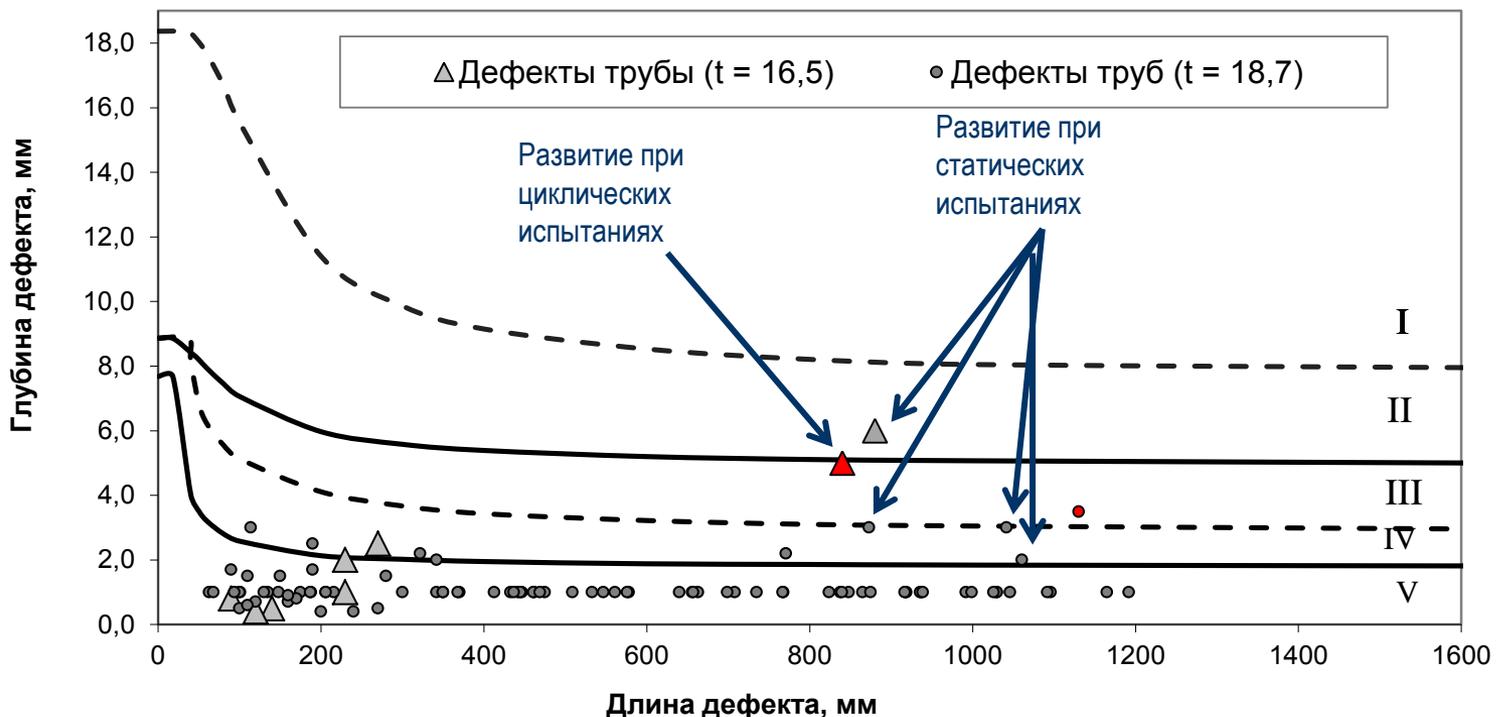
Следы пластической деформации

Прирост дефектов глубиной более 2,0 мм зафиксирован при давлении, в 2 раза превышающем рабочее ($\sigma_{исп} > 0,9\sigma_{0,2}$)



№	Рабочая зона модельного образца					Концевые участки полнотолщинного образца	
	σ_T , МПа	σ_B , МПа	δ , %	φ , %	KCV ₋₂₀ , кгм/см ²	σ_T , МПа	σ_B , МПа
1	618/614	691/689	19,5/20,5	57/60	11,0/10,4	623/ 619	699/ 695
2	585/581	666/664	19,5/22,5	58/61	9,4/9,9	-	-
3	539/537	621/621	20/21,5	60/61	9,4/9,4	538/ 536	630/ 629
...

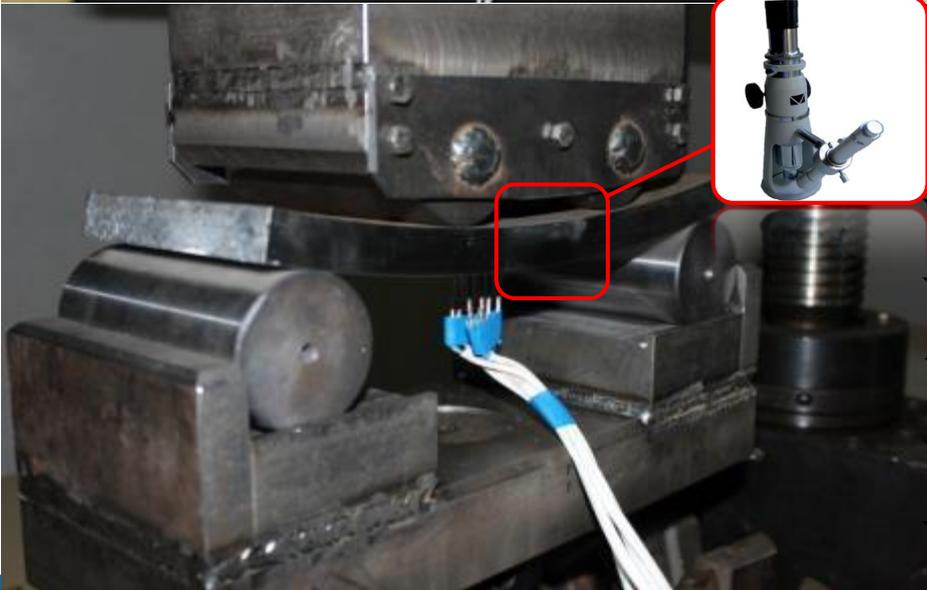




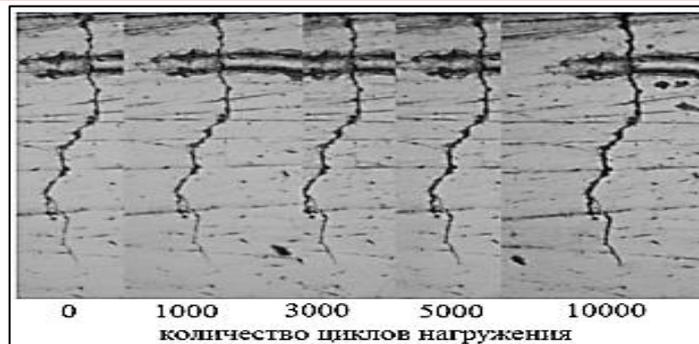
- I – область аварийно-опасных повреждений для всех исследованных труб
- II - область аварийно-опасных повреждений труб с $t = 16,5$ мм и потенциально-опасных повреждений труб с $t = 18,7$ мм
- III - область потенциально-опасных повреждений для всех исследованных труб;
- IV - область неопасных повреждений труб с $t = 18,7$ мм и область потенциально-опасных повреждений труб с $t = 16,5$ мм
- V – область неопасных повреждений для всех исследованных труб

Красным цветом обозначены повреждения, к которым подводился модельный электролит

Лабораторные испытания образцов с дефектами КРН глубиной до 10% от толщины стенки трубы на воздухе



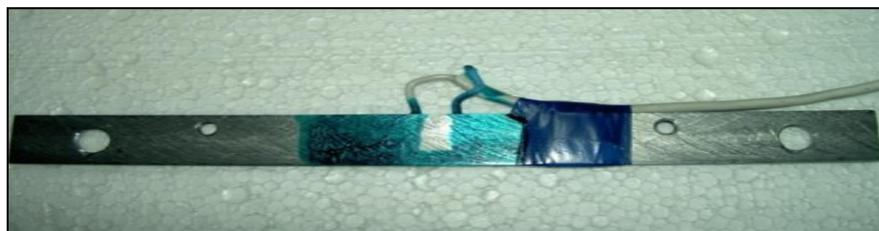
В условиях циклического нагружения на воздухе дефекты КРН глубиной менее 10% толщины стенки трубы не развиваются!



% σ_T	% σ_T , МПа	ЦИКЛЫ
0 - 0,5 σ_T	230,5	1000
0 - 0,6 σ_T	276,6	1000
0 - 0,7 σ_T	322,7	1000
0 - 0,8 σ_T	368,8	2000
0 - 0,9 σ_T	414,9	5000

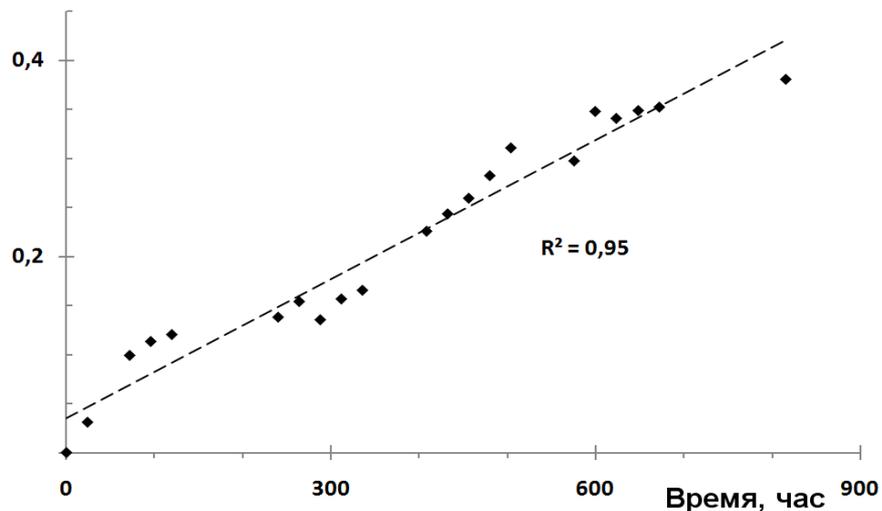
Экспериментальное обоснование выбора эффективной ингибирующей КРН композиции на базе ИФХЭ РАН, ЦНИИЧермет, ЦНИИТМАШ, АО «Делан» для консервации стресс-коррозионных повреждений МГ в процессе трассовой переизоляции

Схема стенда для испытаний



Образец балочного типа с предварительно выращенной усталостной трещиной

Прирост длины трещины, мм

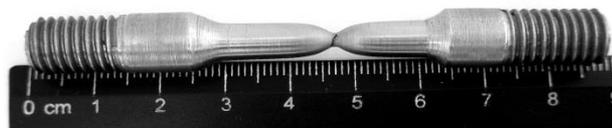


$$V_{ing} < 0,5V_{fon}$$

Скорость роста трещины определяли по тангенсу угла наклона кривой Δl от времени испытаний (t): $V = \Delta l/t$



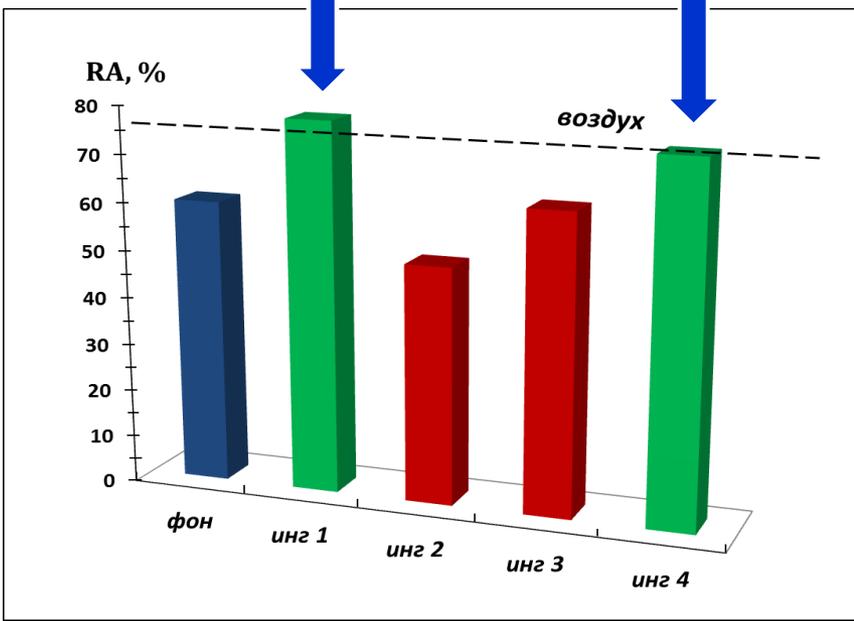
Испытуемый образец



Допущены ко модельным испытаниям
 $RA_{air} \approx RA_{ing}$



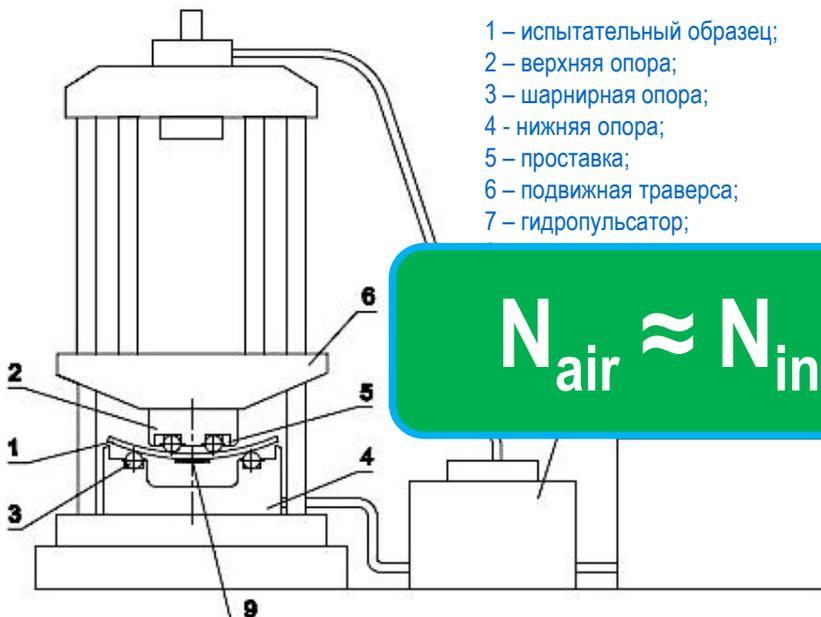
Стенд для проведения испытаний методом SSRT



Относительное сужение

$$RA = \frac{S_0 - S_k}{S_0} \cdot 100\%$$

Стенд для испытаний модельных образцов стали с коррозионно-активной ячейкой



$$N_{air} \approx N_{ing} > N_{fon}$$

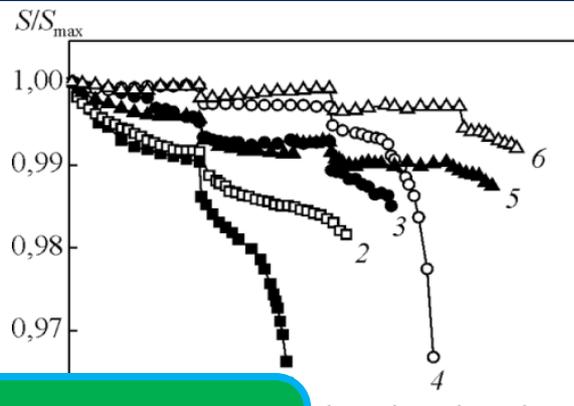
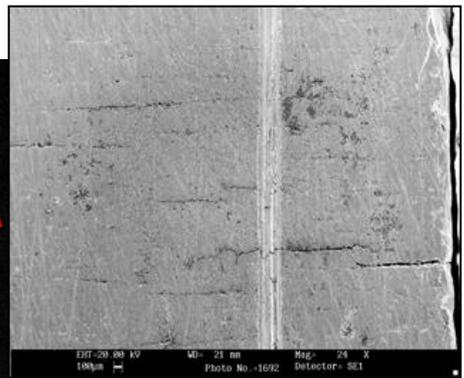
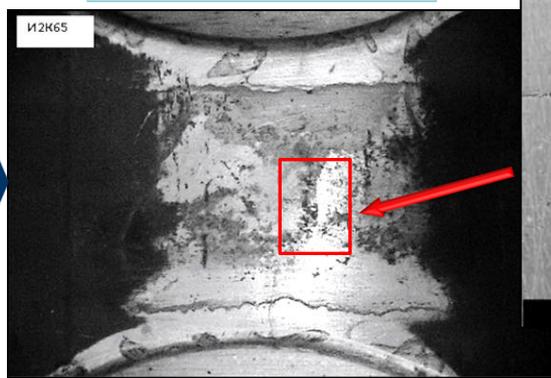


Диаграмма изменения величины перемещения захвата испытательной машины (S) от количества циклов нагружения (N)

Вид рабочей поверхности после испытаний

Образовавшиеся микротрещины

Общий вид модельного образца



Циклическое нагружение –

до 40 000 циклов

$0,7\sigma_T - 0,9\sigma_T$ МПа

Частота 1 Гц



Раствор NS4:

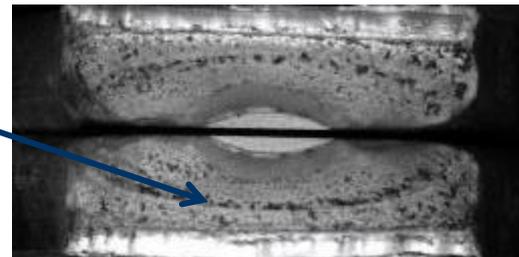
1,64 мМ KCl + 5,75 мМ NaHCO₃ + 1,23 мМ CaCl₂ + 0,74 мМ MgSO₄

Органический ингибитор коррозии

- (1 - 2 г/л), состав: продукты реакции жирных аминов с различными смесями высших ненасыщенных карбоновых кислот

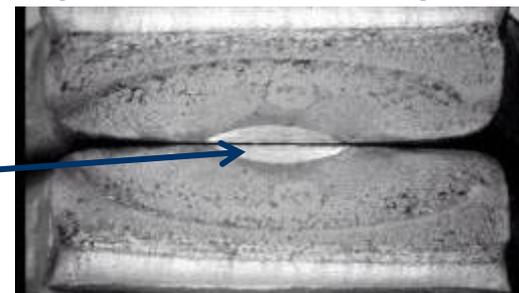
Излом в образце после испытаний в среде NS4

Область развития коррозионно-механической трещины



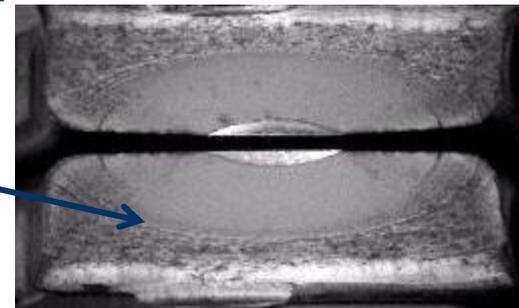
Излом в образце после испытаний в среде NS4 с ингибитором

Исходный пропил в образце

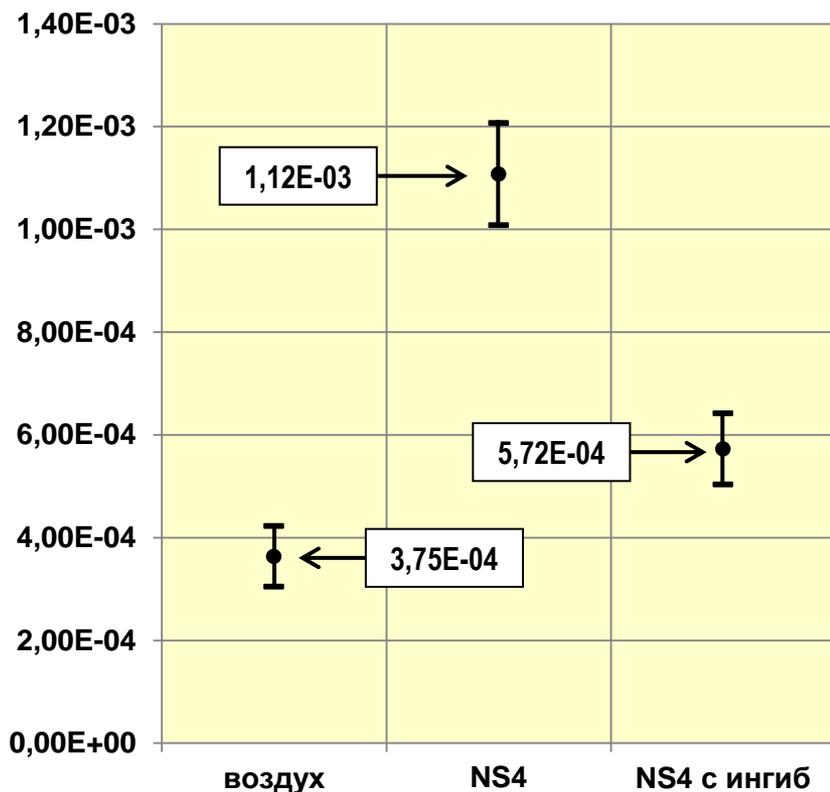


Излом в образце после испытаний на воздухе

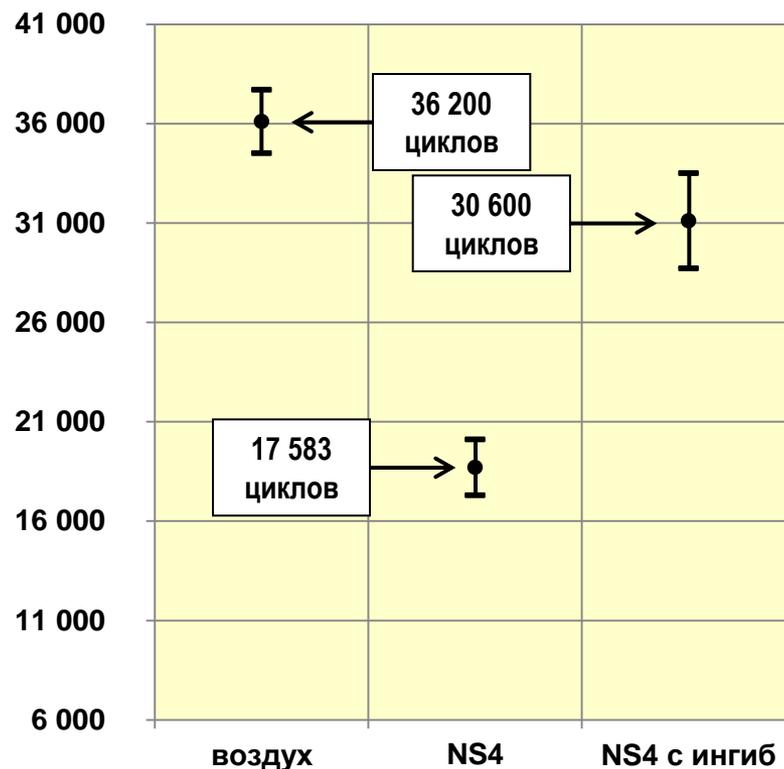
Область развития механической трещины

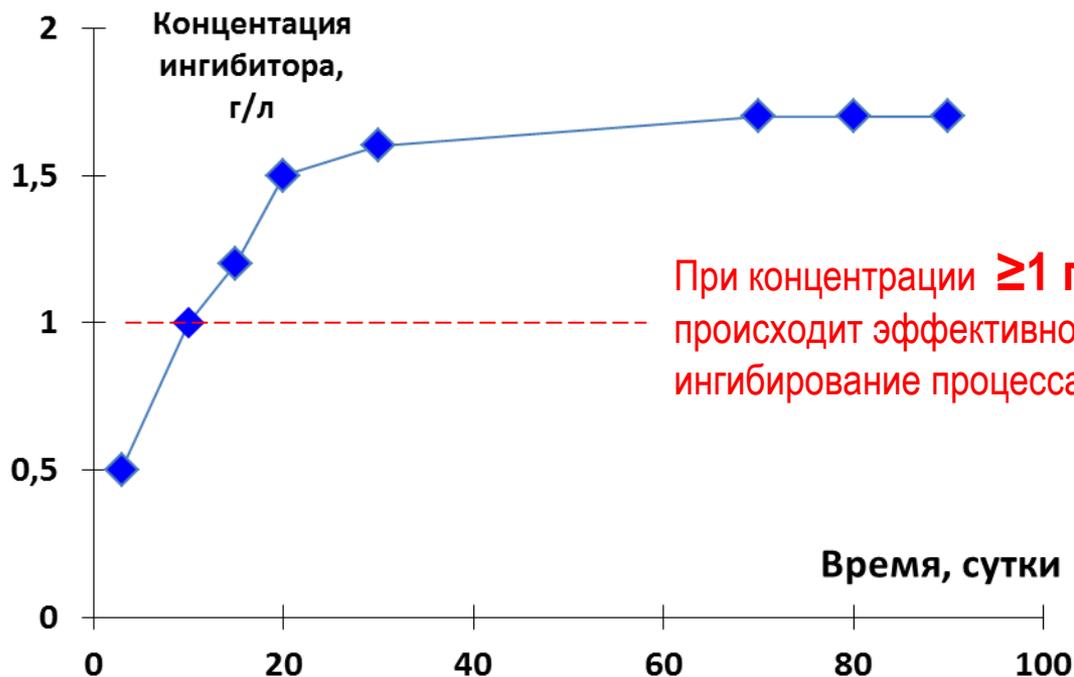


Скорость роста дефекта V, мм/цикл



Время до зарождения трещин T, цикл





По оценке ИФХЭ РАН подпленочный электролит насыщается ингибитором до необходимой концентрации в течение 10-20 суток, и сохраняется в нем не менее трех лет, даже при сезонной замене электролита

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
«ИНСТИТУТ ФИЗИЧЕСКОЙ ХИМИИ И ЭЛЕКТРОХИМИИ им. А.М.Фрумина РАН»
(ИФХЭ РАН)

УТВЕРЖДАЮ
Зам. директора ИФХЭ РАН по науке,
д.х.н., профессор
Ю.Н. Кузнецов
Ю.Н. Кузнецов
«...» ... 2014 г.

Справка

о результатах коррозионно-механических испытаний образцов трубной стали Х70 в присутствии ингибирующих композиций ИФХАН-29 и ИФХАН-ПЗ, разработанных по договору № 2704-0003-11-9 от 1.03.2013 г. между ОАО «Газпром» и ИФХЭ РАН по теме «Разработка комплекса мер по предотвращению риска развития КРН под покрытиями на магистральных газопроводах после переизоляции труб. Этап 1. Разработка методов ингибирования и пассивации стали при переизоляции труб с целью подавления электрохимических процессов, стимулирующих развитие КРН на магистральных газопроводах»

Для определения эффективного ингибитора коррозионного растрескивания под напряжением (КРН) выполнены коррозионно-механические испытания образцов трубной стали при статической нагрузке в модельном грунтовом электролите (рН 5.5) и при медленном растяжении с постоянной скоростью (метод SSRT) в модельном подпленочном электролите NS-4 (рН 7.0). Испытания проводились в средах, не содержащих и содержащих сероводород, в соответствии с СТО Газпром 2-5.1-148-2007 (с изменением 1).

В испытательных средах, не содержащих сероводород, композиция ИФХАН-29 подавляет развитие коррозионной трещины. В присутствии сероводорода ингибирующие композиции повышают трещиностойкость трубной стали (метод SSRT) не менее чем в 1,6 раза, так как время до разрыва образцов в фоновой коррозионной среде составляет 230 часов, а в присутствии композиций ИФХАН-29 и ИФХАН-ПЗ – 370 и 380 часов, соответственно. Скорость роста уже

ингибиторной защиты для предупреждения образования и развития дефектов КРН на ИГ можно будет сделать по результатам испытаний модельных образцов на КРН, проведенных ООО «Газпром ВНИИГАЗ» в соответствии с СТО Газпром 2-5.1-148-2007 (с изменением 1).

Зав. лабораторией коррозии металлов
в природных условиях ИФХЭ РАН, д.х.н.



А.И. Маршаков

Испытательный стенд с нанесённым ингибитором КРН и защитным покрытием

Контроль качества нанесенного покрытия выполнялся с применением адгезиметра АМЦ 2-20



Применение ингибирующих композиций позволяет получить защитное покрытие превосходящее технические требования ПАО «Газпром»



№ уч.	Покрытие	Показатель адгезии норма	Показатель адгезии факт
1.	Без ингибирующей композиции	30 Н/см	65; 72; 85 / <u>ср. 74</u> Н/см
2.	+ ингибирующая композиция 1	30 Н/см	38; 25; 96 / <u>ср. 53</u> Н/см
3.	+ ингибирующая композиция 2	30 Н/см	45; 124; 103 / <u>ср. 91</u> Н/см

Ингибирующая КРН композиция КР 60 (ТУ 2415-029-16424386-2015)



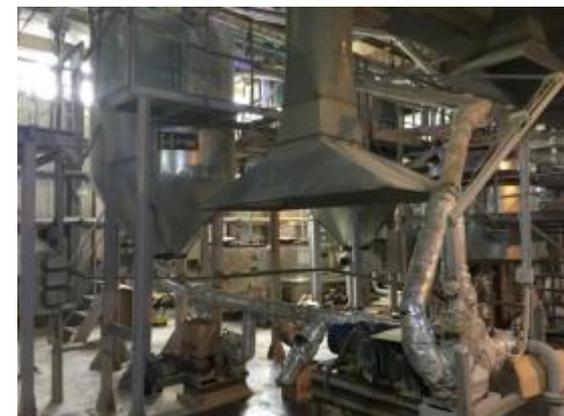
Объемы производства – до 10 т/сутки

Стоимость - до 30 руб./м²

Производственная база в г. Апрелевка (Московская обл.)
и лабораторно-производственная площадка в г. Москве



технологическая линия по производству



Термостойкая битумно-полимерная грунтовка
«ДЕКОМ-ИНГ» по ТУ 2313-030-32989231-2015

Реализация программы опытно-промышленных испытаний МГ с повреждениями типа КРН на действующих участках МГ ПАО «Газпром»

Реализация программ опытно-промышленных испытаний технологии консервации трещин КРН

Задачи исследований:

- установить отсутствие признаков развития дефектов коррозионного растрескивания под напряжением в течение 3-х лет после трассовой переизоляции участков МГ;
- осуществлять опытно-промышленные испытания экспериментальных защитных покрытий, содержащих ингибирующую КРН композицию;
- выполнить опытно-промышленные испытания временного порядка работ при трассовой переизоляции протяженных участков МГ с незначительными повреждениями металла труб глубиной до 10% от толщины стенки, образованными по механизму КРН.



В работе принимают участие:

- Департамент 308 ПАО «Газпром»
- Департамент 123 ПАО «Газпром»
- ООО «Газпром ВНИИГАЗ»
- ООО «Газпром Центрремонт»
- ООО «Газпром трансгаз Чайковский»
- ООО «Газпром трансгаз Ухта»
- АО «Делан», ИФХЭ РАН, ООО «ЦКИ»



РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ВОЗМОЖНОСТИ КОНСЕРВАЦИИ СТРЕСС-КОРРОЗИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ ТРАССОВОЙ ПЕРЕИЗОЛЯЦИИ МГ

Условия выбора местонахождения экспериментального участка:

- Отсутствие рядом жилой зоны;
- Удобный маршрут проезда для оперативности проведения неразрушающего контроля труб;
- Наличие условий необходимых для развития стресс-коррозионных трещин.



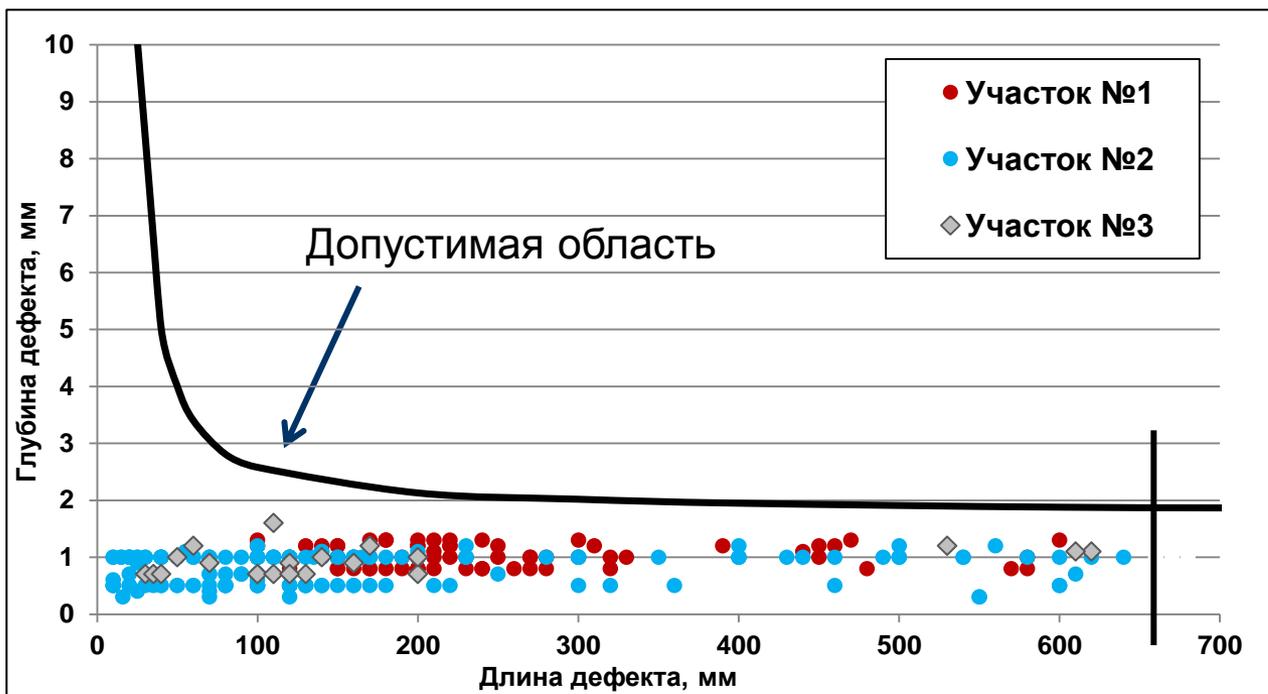
Для организации экспериментального участка выбирали трубы категории А3, обладающие следующими требованиями:

- стресс-коррозионные повреждения глубиной не более 10% от толщины стенки трубы, в т.ч. комбинированные с мех. повреждениями;
- отсутствие стресс-коррозионных повреждений на расстоянии менее 50 мм от заводского сварного шва;
- отсутствие стресс-коррозионных повреждений, ликваций и расслоений металла на расстоянии менее 100 мм от торцов труб.



Для оценки возможности оставления стресс-коррозионных повреждений с максимальной оценочной глубиной не более 10% от толщины стенки трубы были проведены исследования на участках действующих трубопроводов

Диаграмма допустимых размеров стресс-коррозионных повреждений для труб 1420 x 16,5 мм (X70)



3 тестовых участка в составе действующих МГ ПАО «Газпром», расположенных в различных регионах России, со сроками эксплуатации **более 30 лет**

Оставлено для дальнейших исследований **175 зон** стресс-коррозионных повреждений с максимальной оценочной глубиной не более **1,8 мм** (10% от толщины стенки трубы)

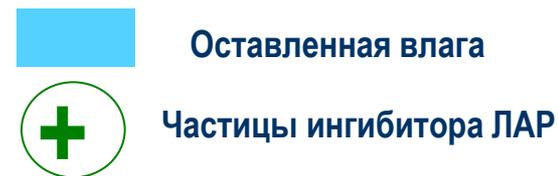
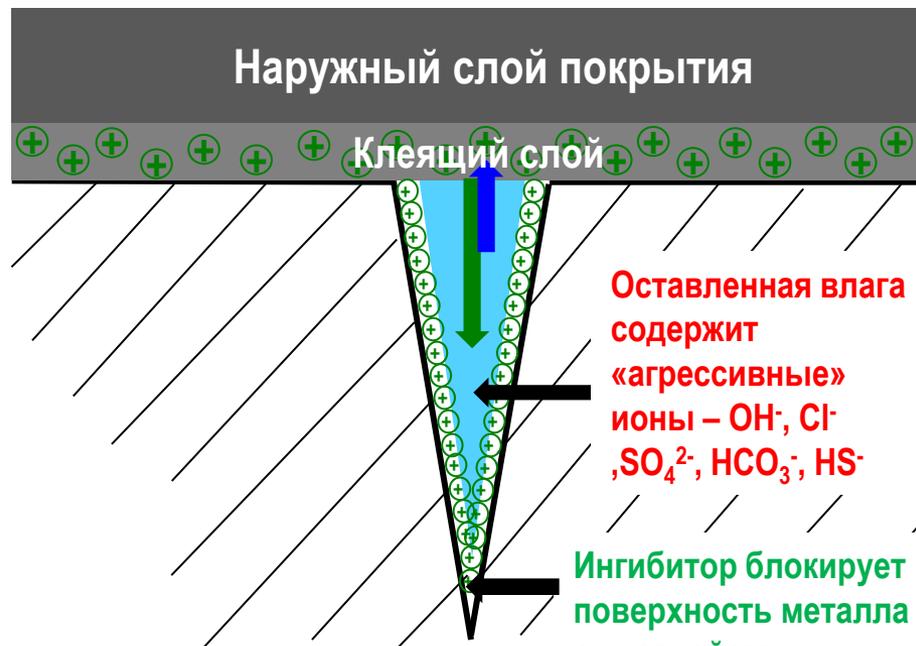
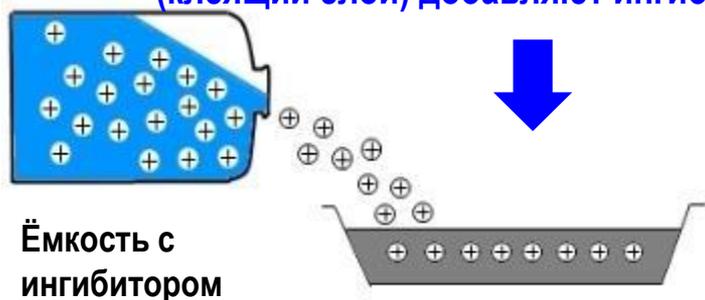
Принцип действия ингибитора после переизоляции МГ при оставлении среды в дефекте КРН



Процесс нанесения
изоляционного
покрытия
с помощью машины
(РИМ 1420)



В процессе изготовления в праймер
(клеящий слой) добавляют ингибитор



Вскрытие контрольных дефектов (декабрь 2016 г.)



Оценка глубины стресс-коррозионного повреждения стенки трубы:

Магнито - вихретоковый дефектоскоп МВД-2МК



Ультразвуковой толщиномер SIUI CTS-30R



Глубина по результатам контролируемой шлифовки:

$$h = 16,0 - 14,2 = 1,8$$

1) Вихретоковые дефектоскопы:

- МВД-2МК;
- ВД-12НФМ.

2) Комплект для магнитопорошкового контроля Magnaflux

3) Толщиномер ультразвуковой SIUI

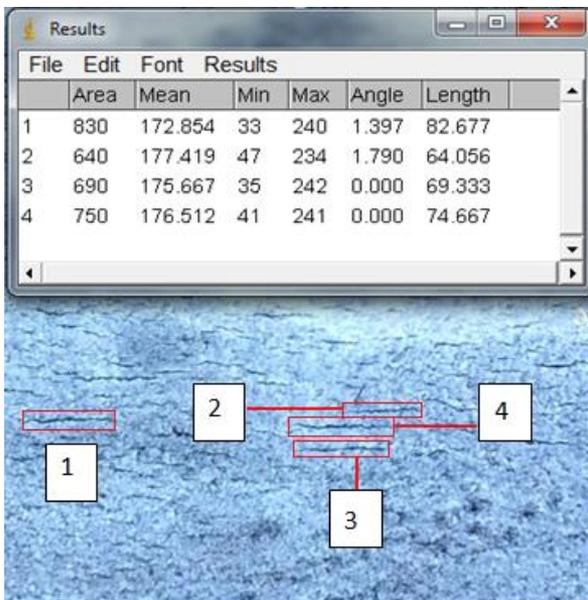
4) Комплект для визуально-измерительного контроля

5) Дефектоскоп ультразвуковой



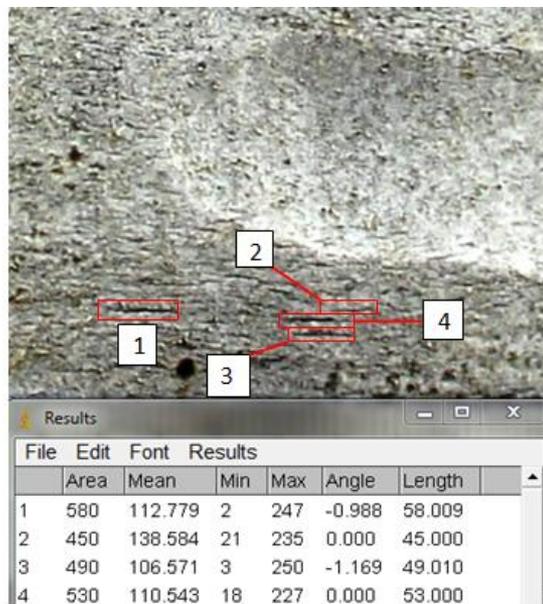


Сентябрь 2015



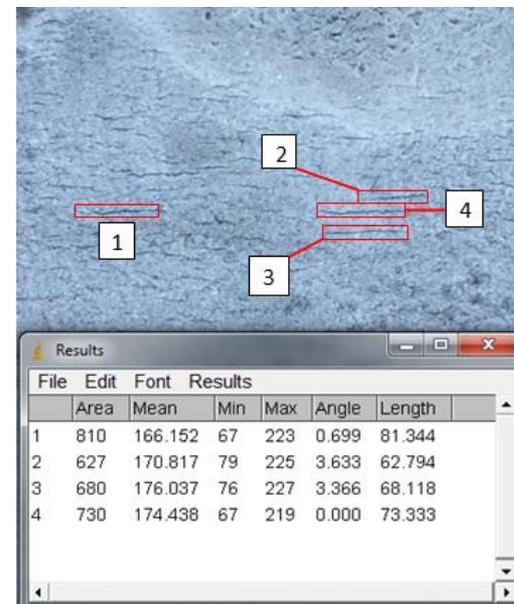
Масштаб	Длина, пикс.	Длина, мм.
161пикс.\ 10 мм	82,67	5,10
	64,05	3,95
	69,33	4,28
	74,66	4,61

Декабрь 2016



Масштаб	Длина, пикс.	Длина, мм.
115пикс.\ 10 мм	58,01	5,04
	45,00	3,91
	49,01	4,26
	53,00	4,62

Сентябрь 2017

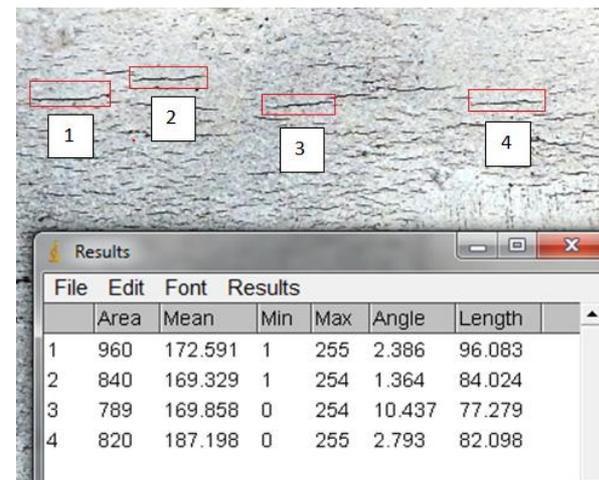
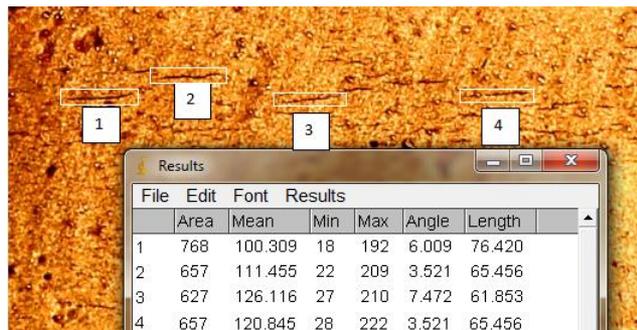
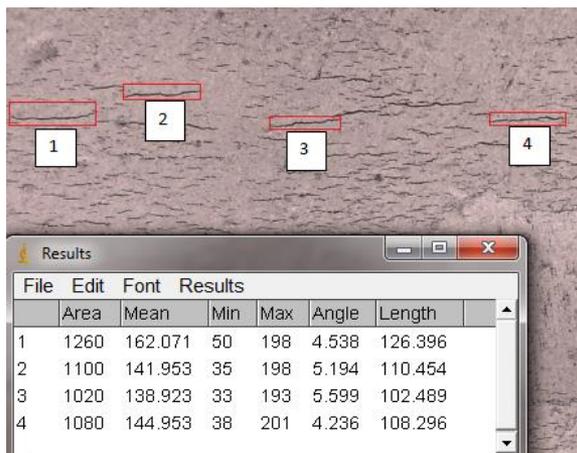


Масштаб	Длина, пикс.	Длина, мм.
160пикс.\ 10 мм	81,34	5,08
	62,79	3,92
	68,11	4,26
	73,33	4,58

Сентябрь 2015

Декабрь 2016

Сентябрь 2017

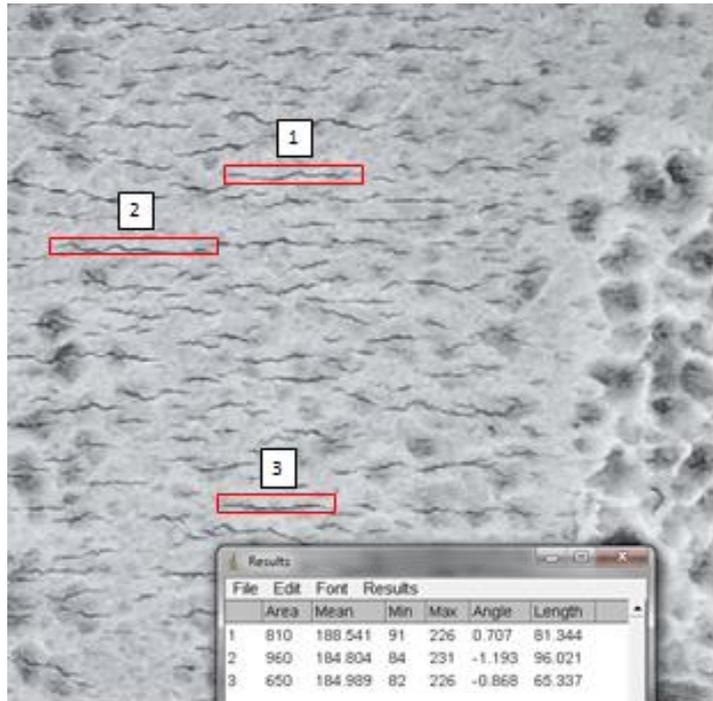


Масштаб	Длина, пикс.	Длина, мм.
162пикс.\ 10 мм	126,39	7,80
	110,45	6,82
	102,48	6,33
	108,29	6,68

Масштаб	Длина, пикс.	Длина, мм.
98пикс.\ 10 мм	76,42	7,80
	65,45	6,68
	61,85	6,31
	65,45	6,68

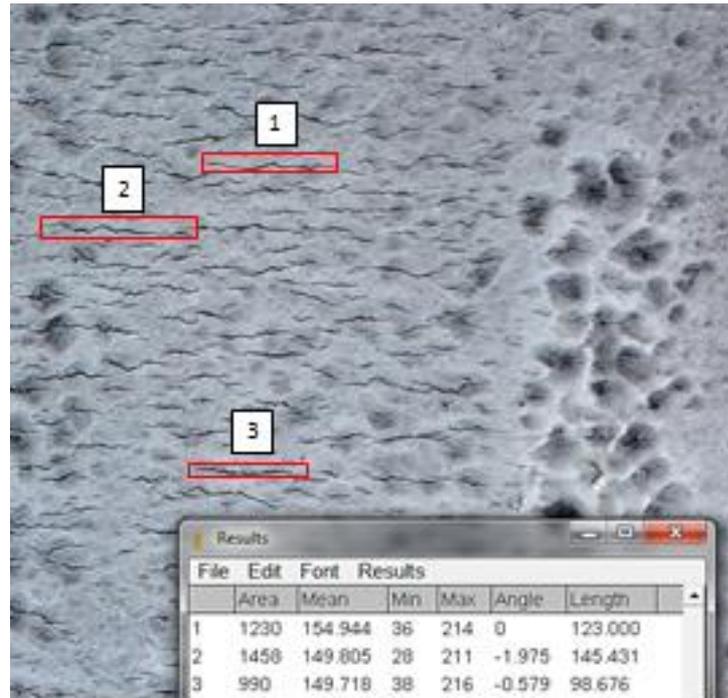
Масштаб	Длина, пикс.	Длина, мм.
123пикс.\ 10 мм	96,08	7,81
	84,02	6,83
	77,27	6,28
	82,09	6,67

Сентябрь 2015



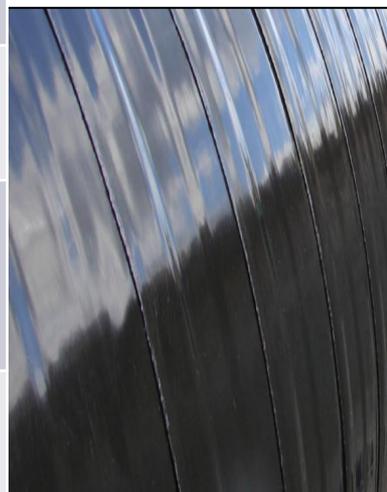
Масштаб	Длина, пикс.	Длина, мм.
152пикс.\ 10 мм	81,34	5,35
	96,02	6,32
	65,33	4,30

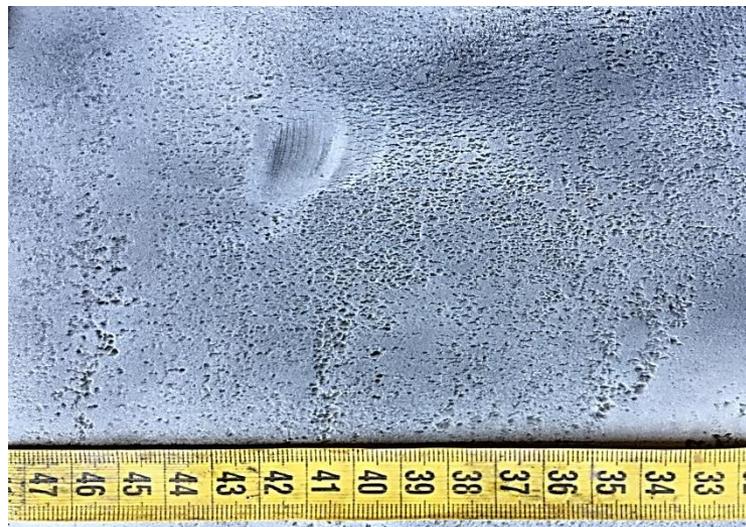
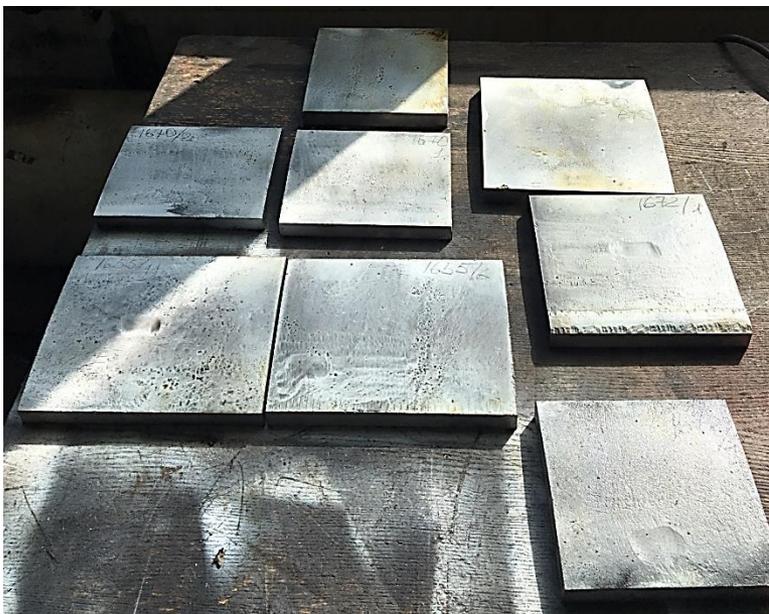
Сентябрь 2017



Масштаб	Длина, пикс.	Длина, мм.
230пикс.\ 10 мм	123,00	5,33
	145,43	6,31
	98,67	4,28

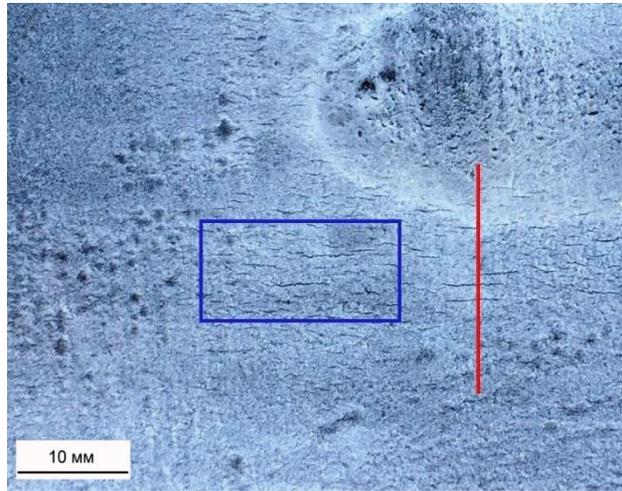
№ п/п	Оцениваемый показатель	Норма	Участок №1 МГ «Ямбург-Западная граница»	Участок №2 МГ «Пунга-Ухта-Грязовец IV»	Участок №3 МГ «Пунга-Ухта-Грязовец IV»
1.	Качество очистки поверхности	Не ниже степени 3 По ГОСТ 9.402	соответствует	соответствует	соответствует
2.	Температура поверхности	от +10 до 50°C	от +11 до +12	+12	+12
3.	Толщина покрытия	4,6-4,8 мм	4,6	4,6	4,6
4.	Адгезия методом отслаивания	> 30 Н/см	59	44	86
5.	Нахлест края витка На предыдущий	15-30 мм	соответствует	соответствует	соответствует
6.	Нахлест концов обертки	400-500 мм	соответствует	соответствует	соответствует



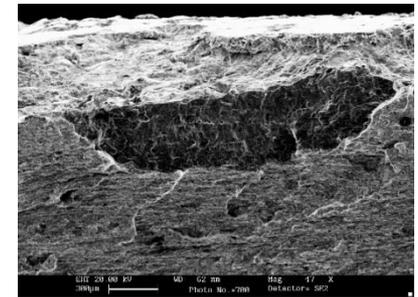
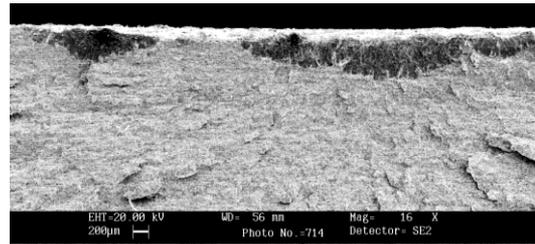
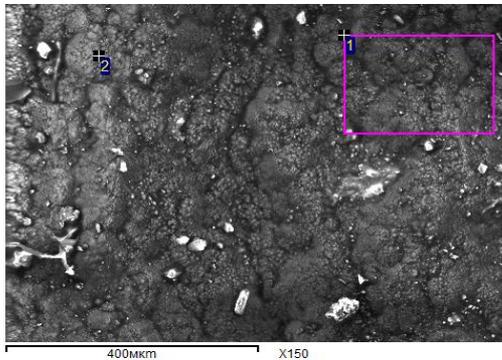
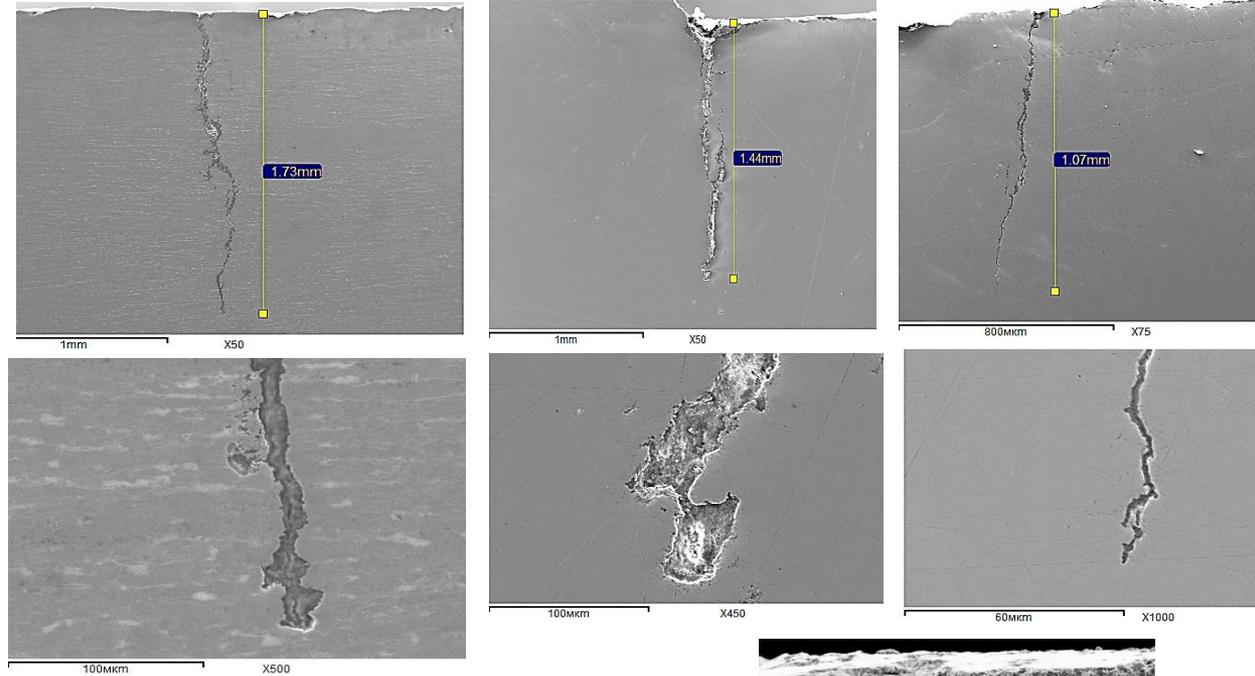


Обследование фрагментов с помощью ручных приборов неразрушающего контроля на базе ИТЦ ООО «Газпром трансгаз Чайковский»





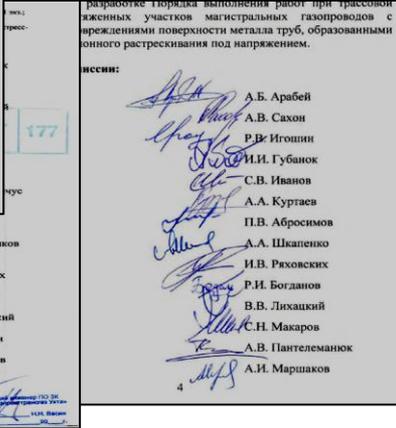
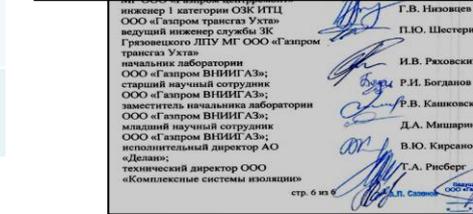
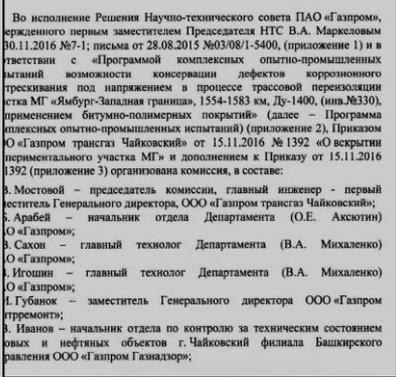
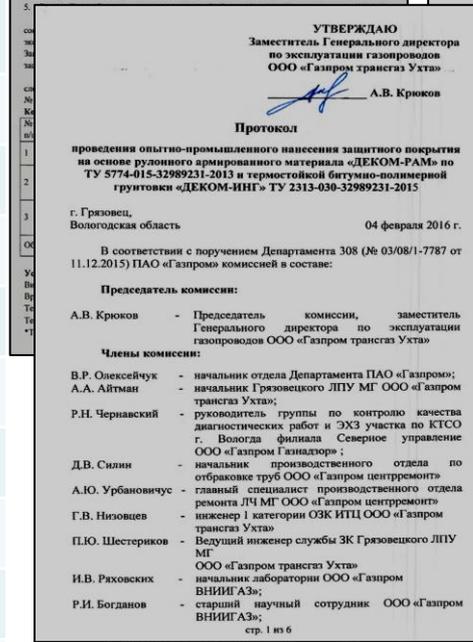
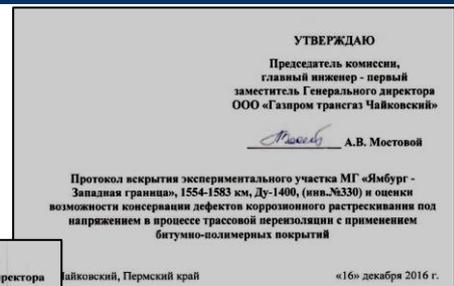
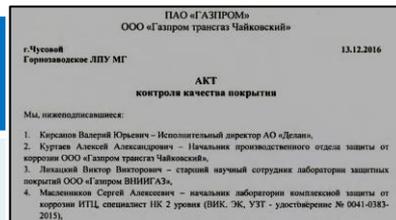
— металлография
— фрактография (изломы)

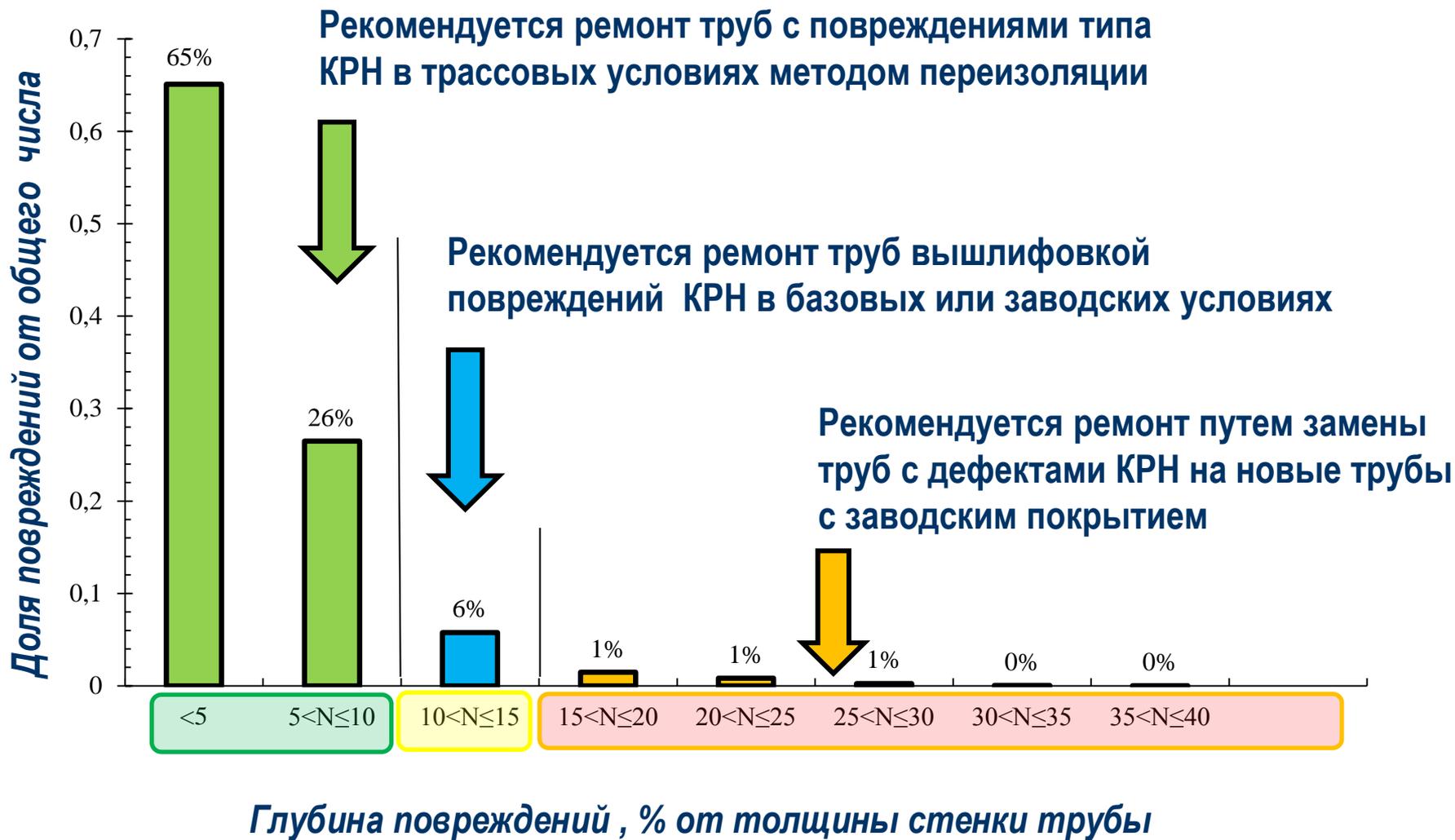


Спектр	В стат.	C	O	Na	Al	Si	P	S	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Итого
1	Да	46.34	23.42	0.12	0.09	0.00	0.21	0.51	0.00	1.13	0.00	1.12	27.05	100.00
2	Да	46.96	21.29	0.00	0.00	0.05	0.26	0.37	0.07	1.24	0.00	1.39	28.37	100.00

Перечень отчетной документации, оформленной по результатам вскрытия участка в 2016-2017 годах

№ п/п	Наименование документа
1	Общий протокол по результатам выполнения консервации стресс-коррозионных повреждений
2	Протокол нанесения экспериментального покрытия
3	Акт составление схемы-раскладки участка
4	Акт контроля качества защитного покрытия
5	Акт идентификации стресс-коррозионных повреждений
6	Расчет труб на прочность
7	Общая дефектная ведомость
8	Ведомости обследования контрольных дефектов КРН
9	Формуляры на трубы
10	Заключения по идентификации на трубы
11	Сертификаты качества на трубы





1. По результатам комплекса широкомасштабных экспериментов (лабораторных, стендовых и натурных испытаний стальных труб), направленных на обоснование возможности длительной безопасной эксплуатации МГ с незначительными стресс-коррозионными повреждениями труб установлено, что трубы со стресс-коррозионными повреждениями глубиной до 10% от толщины стенки трубы обладают достаточным запасом прочности и могут быть оставлены в эксплуатации в составе МГ после замены антикоррозионного покрытия
2. По результатам комплексных лабораторных и опытно-промышленных испытаний установлено, что свойства защитного покрытия на основе термостойкого рулонного армированного материала «ДЕКОМ-РАМ» и термостойкой битумно-полимерной грунтовки «ДЕКОМ-ИНГ» ТУ 2313-030-32989231-2015, содержащей ингибирующую КРН композицию, по приемо-сдаточным показателям соответствуют требованиям СТО Газпром 9.1-016-2012 «Наружные защитные покрытия на основе битумно-полимерных материалов для ремонта магистральных газопроводов до 1420 мм. Технические требования
3. Установлено отсутствие признаков развития дефектов КРН по результатам технического диагностирования и визуально-измерительного контроля труб
4. ООО «Газпром ВНИИГАЗ» обобщить полученные результаты испытаний, разработать и представить на рассмотрение в Департамент ПАО «Газпром» (В.А. Михаленко), Департамент ПАО «Газпром» (О.Е. Аксютин) проект Порядка работ при трассовой переизоляции протяженных участков МГ с повреждениями поверхности металла глубиной до 10% от толщины стенки трубы, образованными в результате КРН

5. С учетом комплексных исследований ООО «Газпром ВНИИГАЗ» фрагментов металла демонтированных труб рекомендовать постоянно-действующей комиссии по допуску к применению на объектах ПАО «Газпром» материалов и наружных покрытий для защиты трубопроводов в установленном порядке рассмотреть возможность согласования ТУ 2313-030-32989231-2015 Грунтовка термостойкая битумно-полимерная «ДЕКОМ-ИНГ» для применения на объектах ПАО «Газпром» совместно с материалом термостойким рулонным армированным мастичным «ДЕКОМ-РАМ» ТУ 5774-015-32989231-2013 и лентой термостойкой радиационно-модифицированной мастичной «ДЕКОМ-КОР» ТУ 2245-014-32989231-2013
6. Организовать разработку программы апробации технологии ремонта протяженных участков МГ с применением защитных покрытий, содержащих ингибирующие КРН композиции с участием Департамента ПАО «Газпром» (В.А. Михаленко), Департамента ПАО «Газпром» (О.Е. Аксютин), ООО «Газпром ВНИИГАЗ», ООО «Газпром Центрремонт» и ООО «Газпром Газнадзор».
7. Согласовать Порядок работ при трассовой переизоляции протяженных участков МГ с незначительными повреждениями поверхности металла труб, образованными в результате КРН

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

Илья Викторович Ряховских

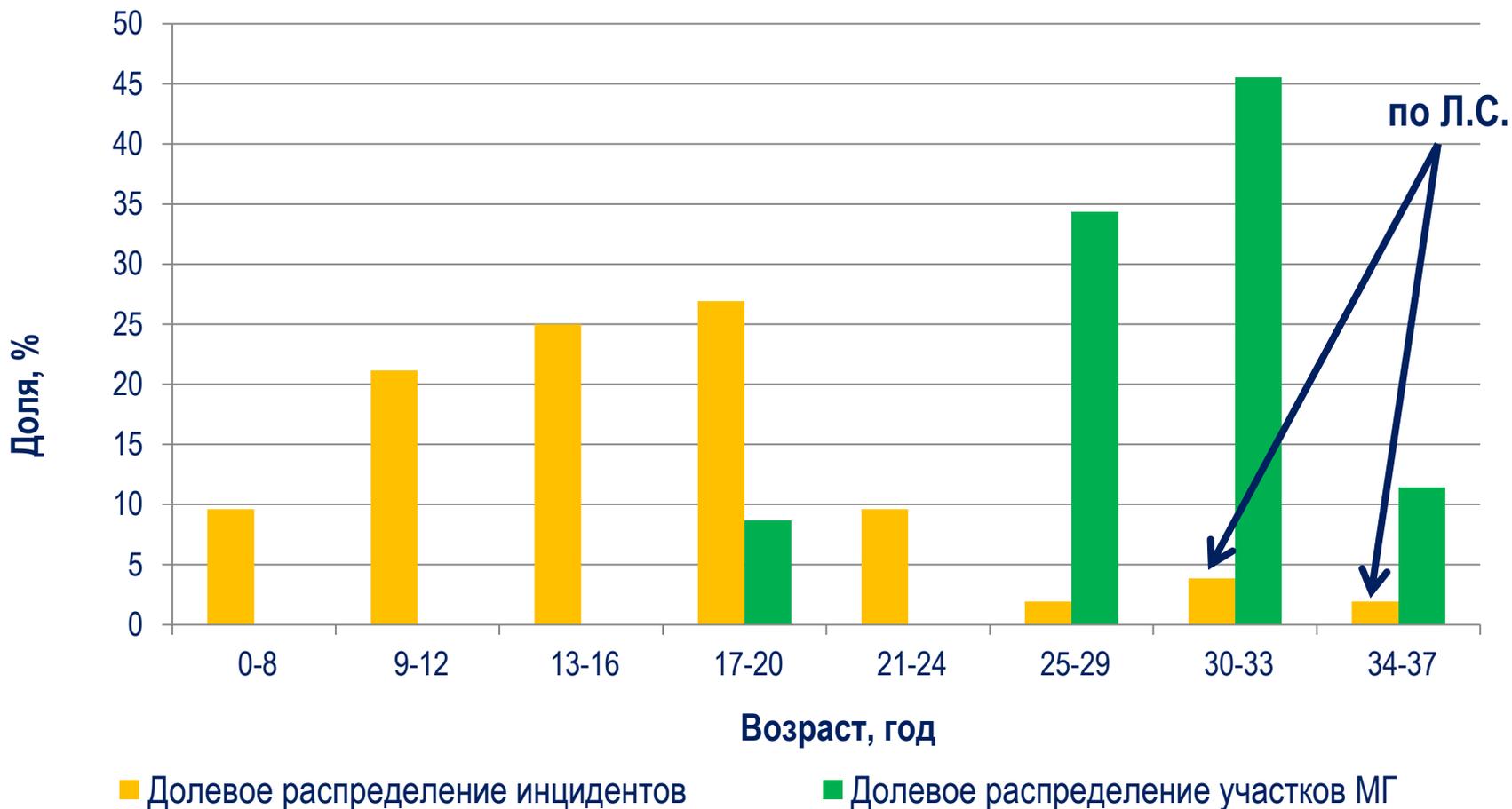
канд. тех. наук, начальник лаборатории

исследования процессов коррозионного

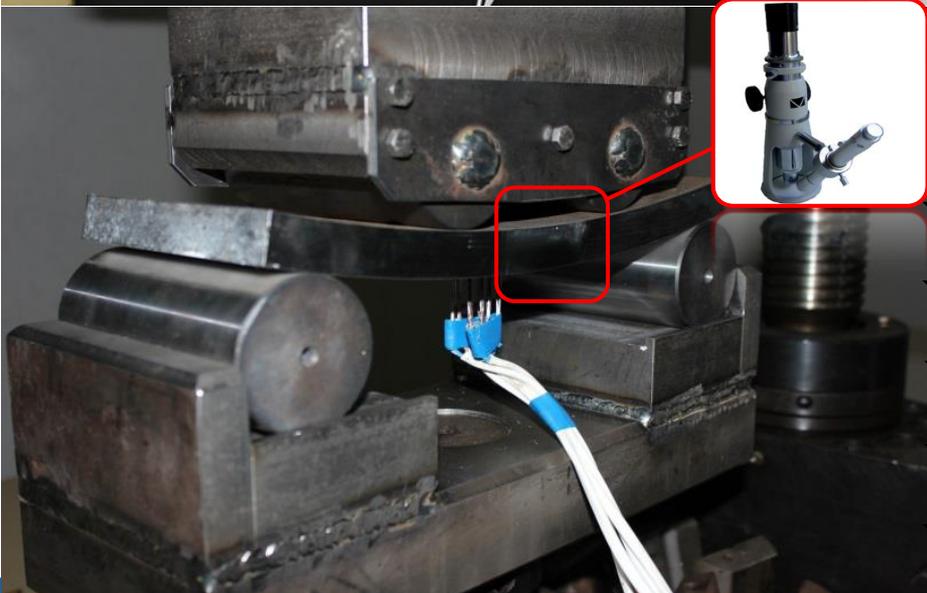
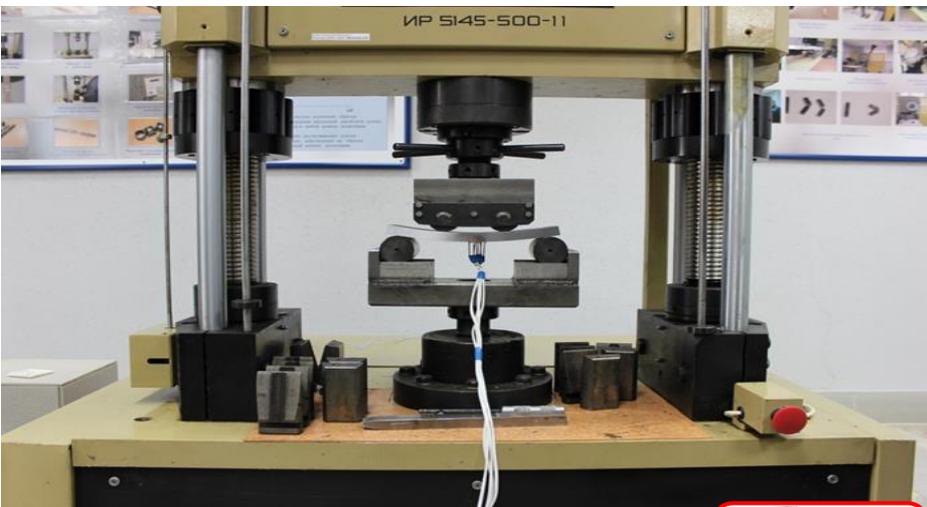
растрескивания под напряжением

Тел.: (498) 657-40-48 доб. 21-15 (газ. 5-67-30)

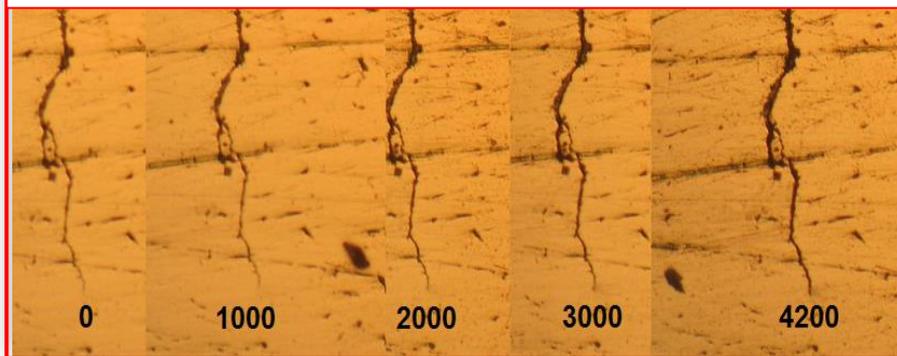
E-mail: I_Ryakhovskikh@vniigaz.gazprom.ru



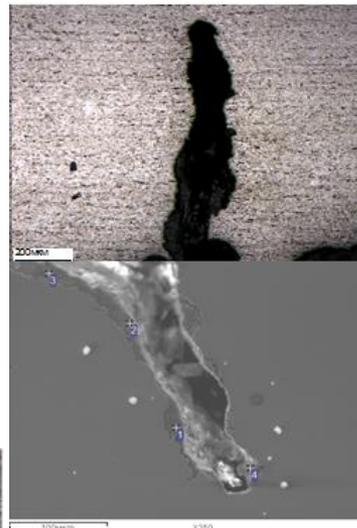
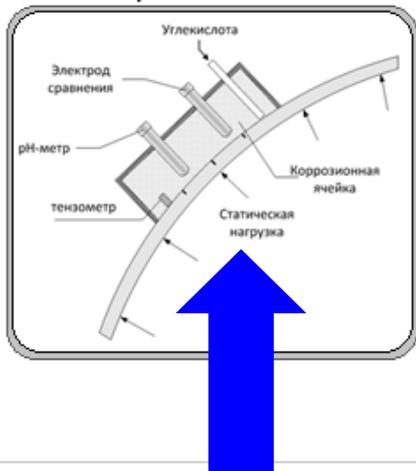
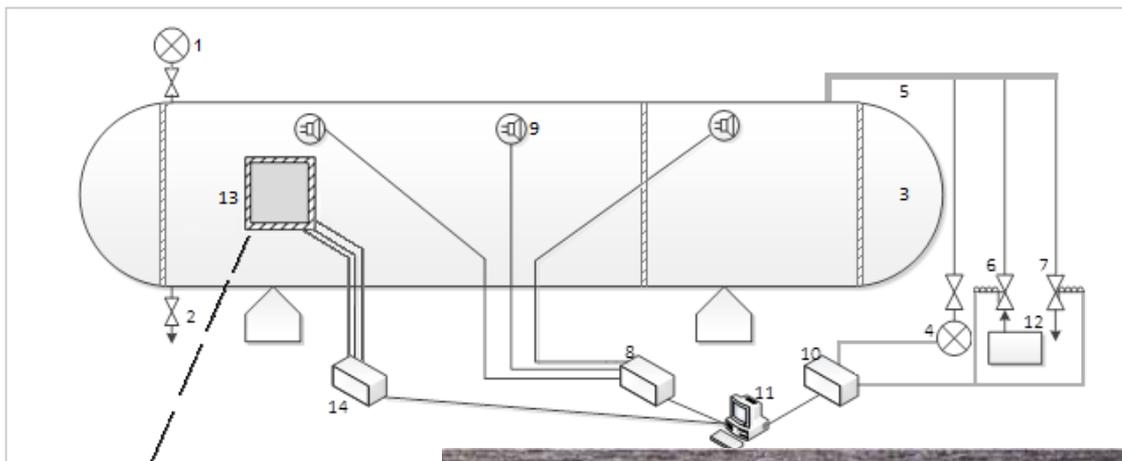
** на трубах Ду 1400 двухшовной конструкции (из сталей контролируемой прокатки К60/Х70)*



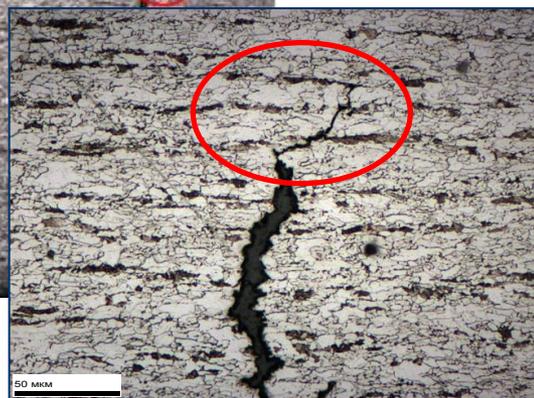
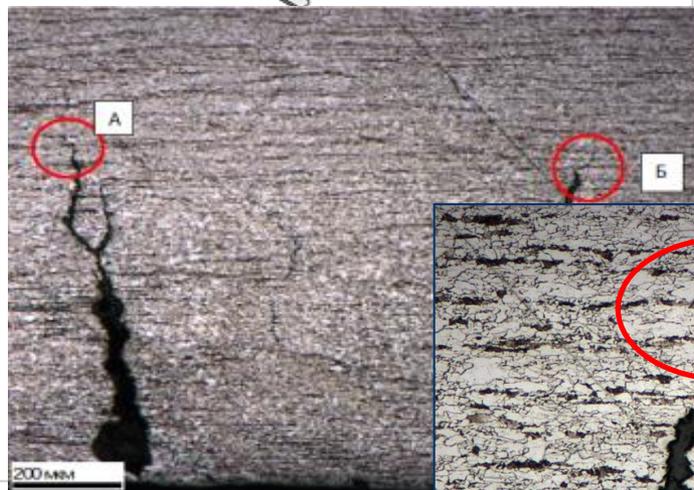
**В условиях циклического нагружения на воздухе
дефекты КРН глубиной менее 10% толщины
стенки трубы не развиваются!**



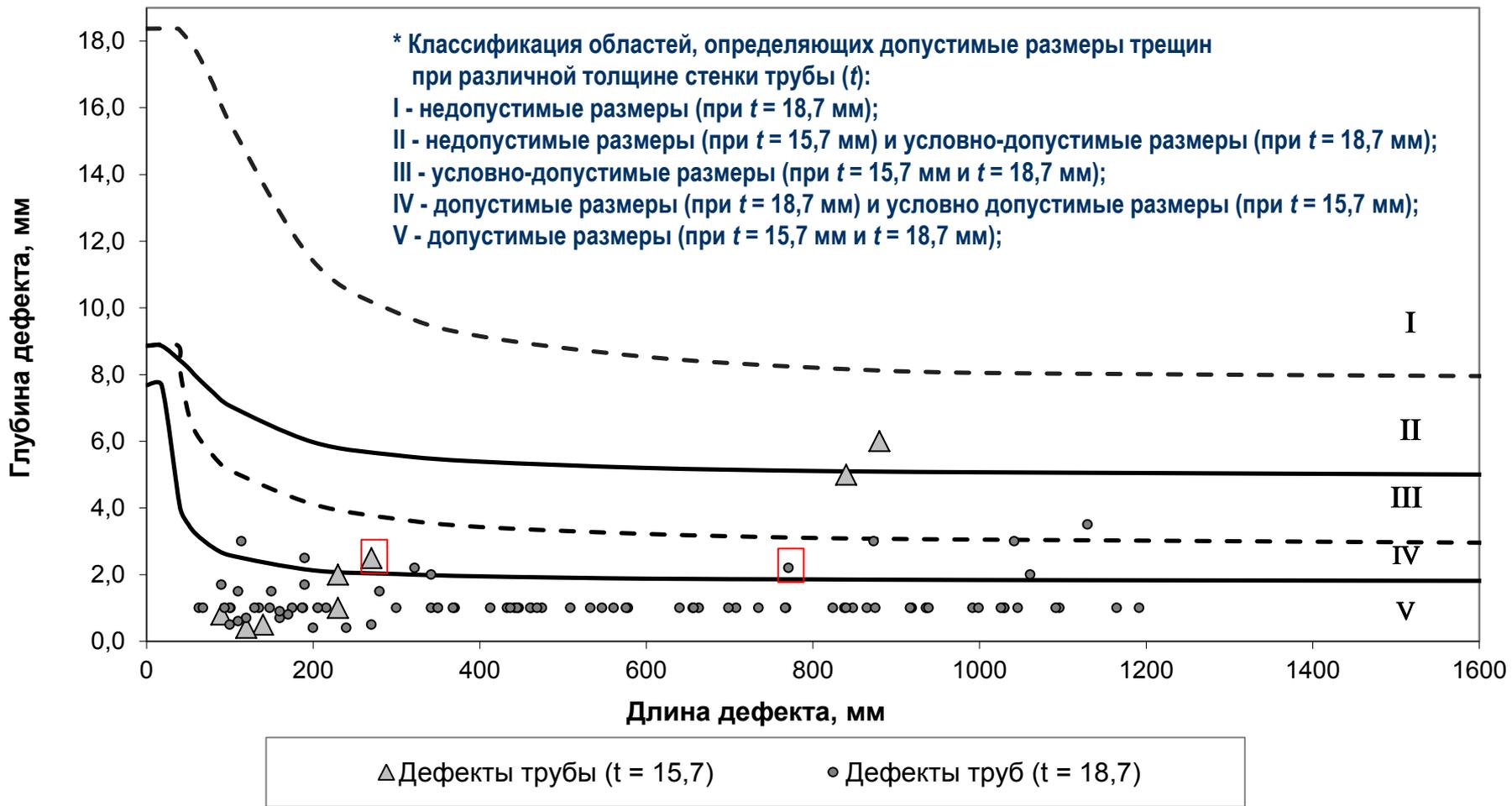
% σ_T	$\sigma_{кц}$, МПа	$R_{вн.}$, МПа	F, kN		ЦИКЛЫ
			Fmax	Fmin	
0,5 σ_T	281	7,5	35,9	25,1	1000
0,6 σ_T	356	9,5	45,5	31,9	1000
0,7 σ_T	459	12,2	58,4	40,9	1000
0,8 σ_T	506	13,5	64,6	45,2	2700
0,9 σ_T	562	15	71,8	50,3	2700



Металлографические исследования трещин после испытаний без среды

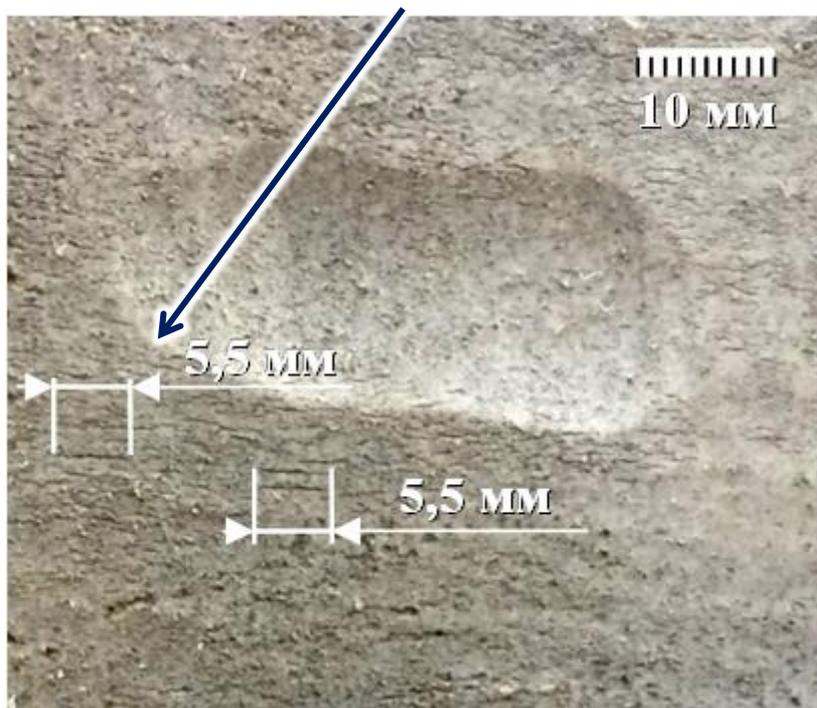


Металлографические исследования трещин после испытаний с коррозионной средой

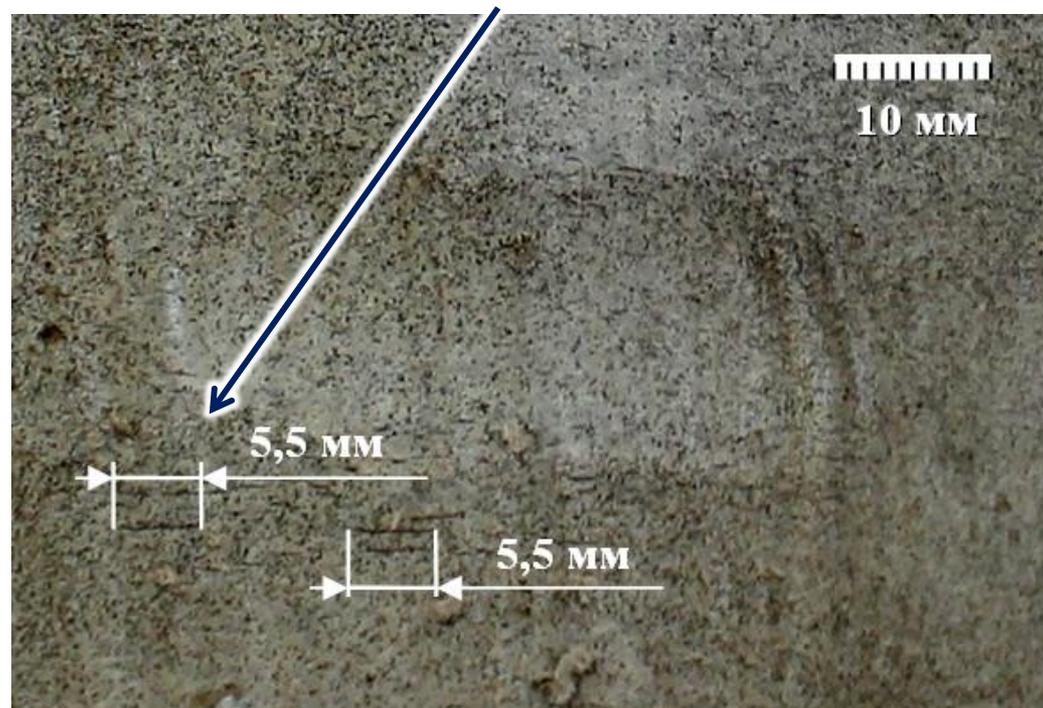


Теоретические исследования

Область стресс-коррозионных
повреждений сентябрь 2015



Область стресс-коррозионных
повреждений декабрь 2016



$h = 1,1 \text{ мм}$

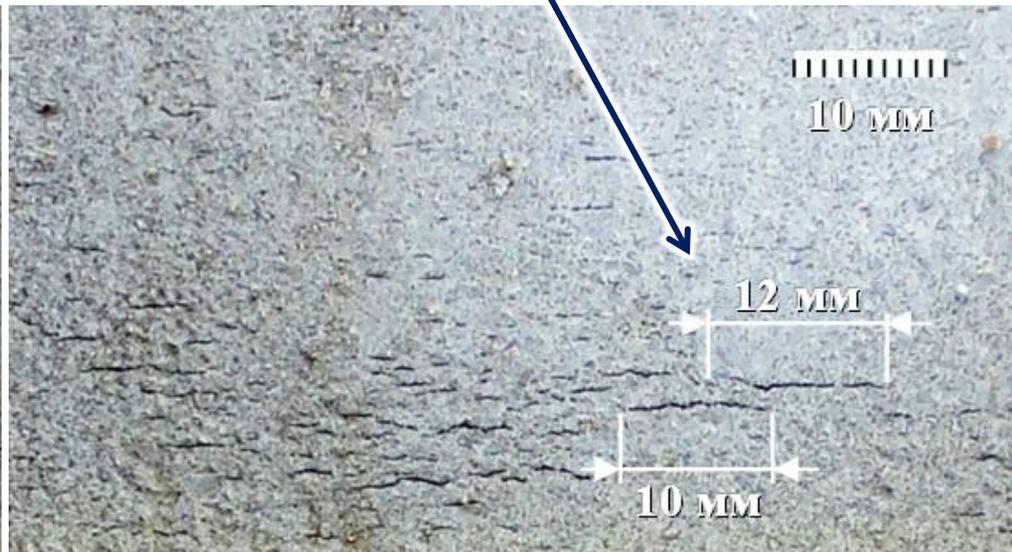
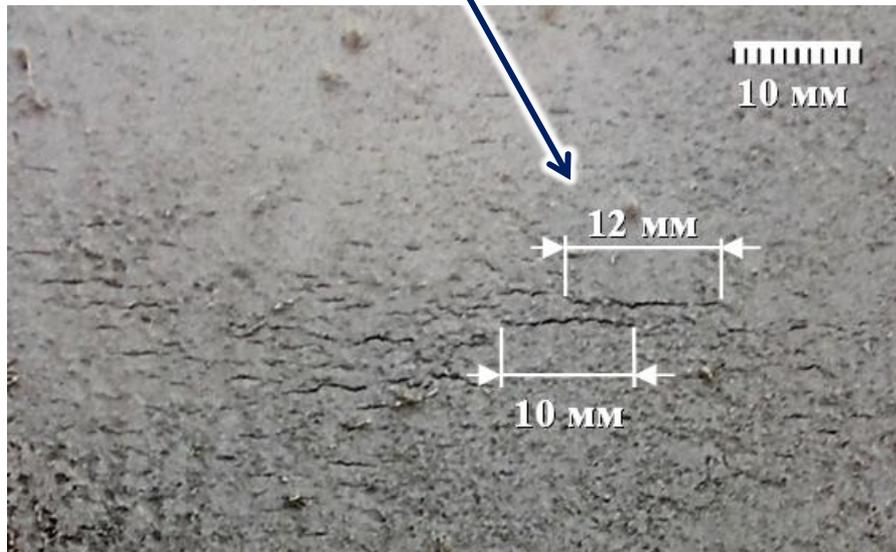
$L = 5,5 \text{ мм}$

$L \text{ зоны} = 220 \text{ мм}$

$\rho = 10 \text{ ед.}\backslash\text{см}^2$

Область стресс-коррозионных
повреждений сентябрь 2015

Область стресс-коррозионных
повреждений декабрь 2016



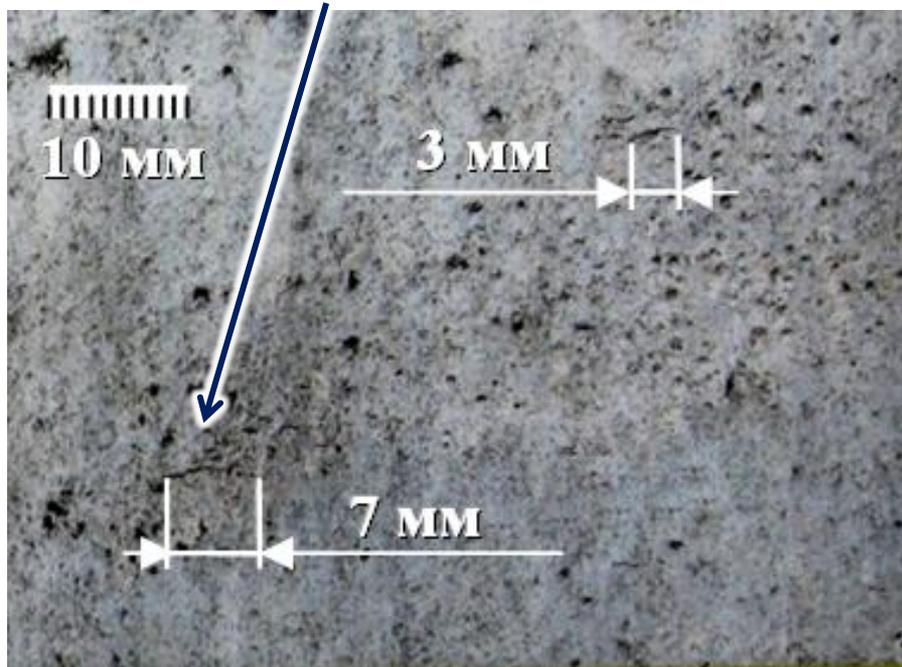
$h = 1,1 \text{ мм}$

$L = 12 \text{ мм}$

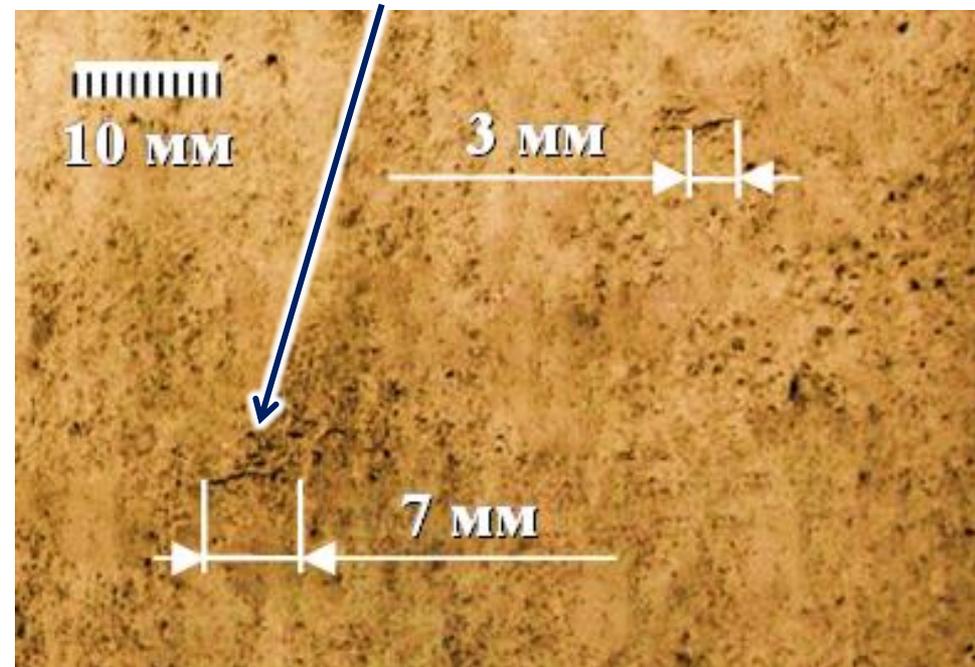
$L \text{ зоны} = 220 \text{ мм}$

$\rho = 10 \text{ ед.} \cdot \text{см}^2$

Область стресс-коррозионных повреждений сентябрь 2015



Область стресс-коррозионных повреждений декабрь 2016



$h = 1,1 \text{ мм}$

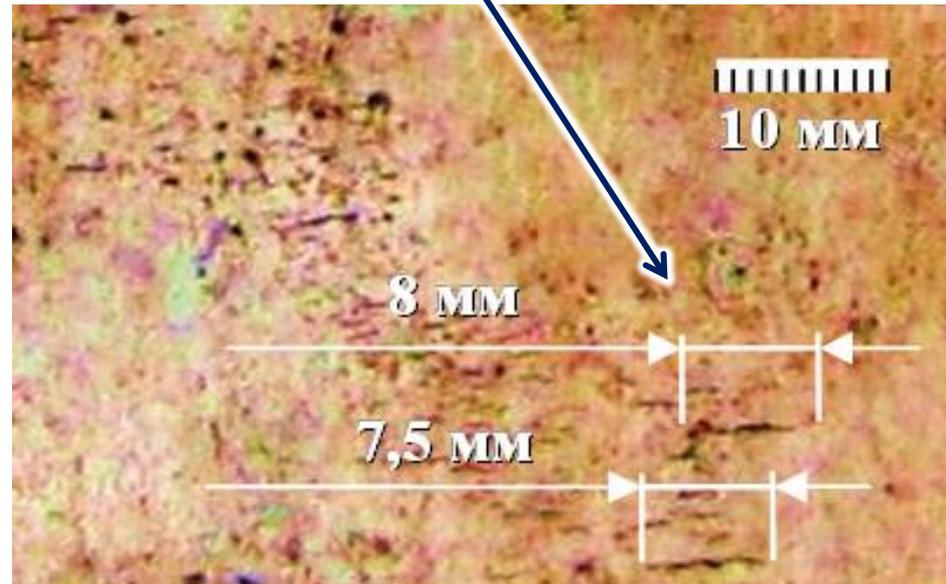
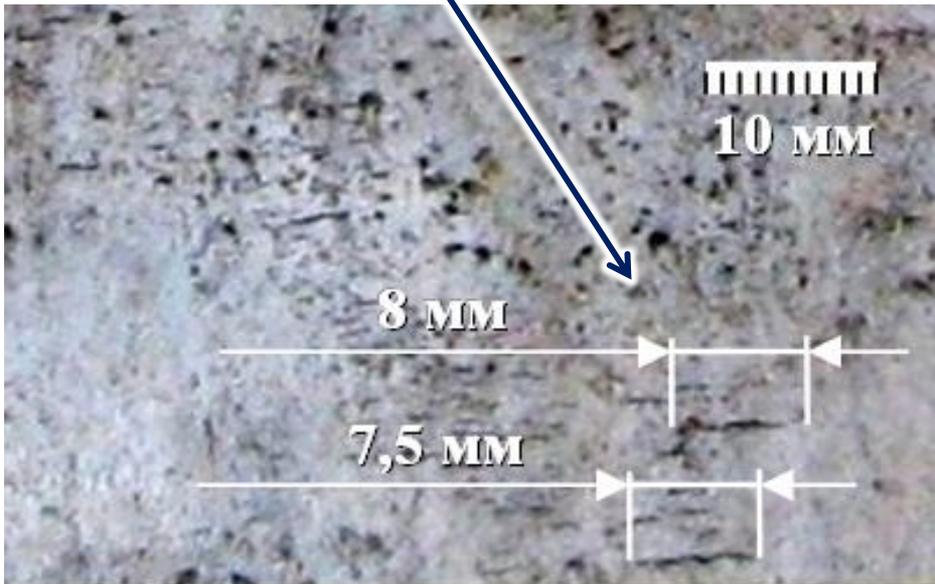
$L = 7 \text{ мм}$

$L \text{ зоны} = 220 \text{ мм}$

$\rho = 10 \text{ ед.}\backslash\text{см}^2$

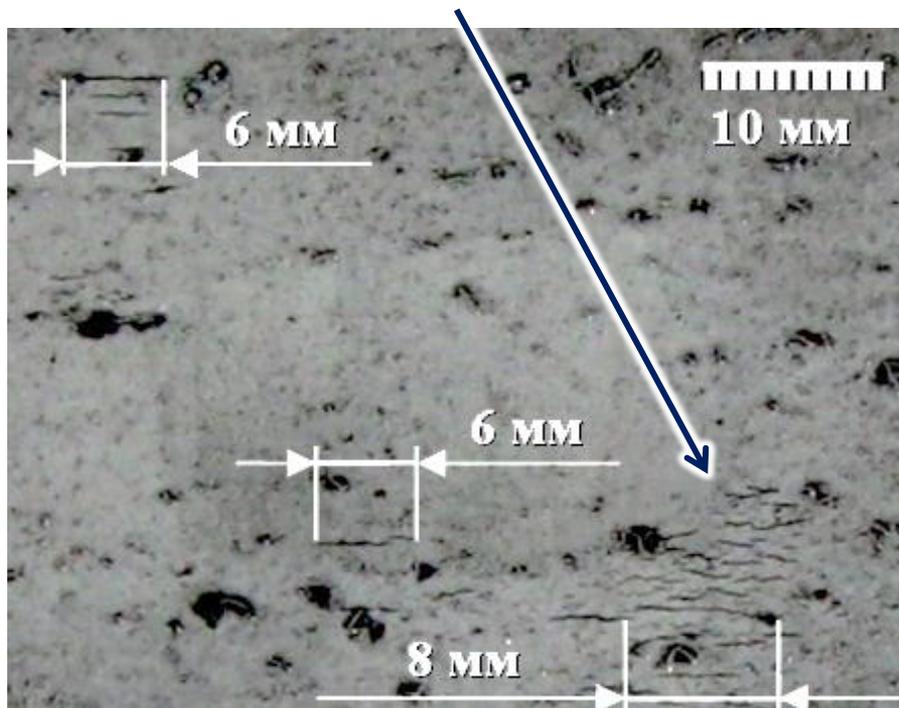
Область стресс-коррозионных повреждений сентябрь 2015

Область стресс-коррозионных повреждений декабрь 2016

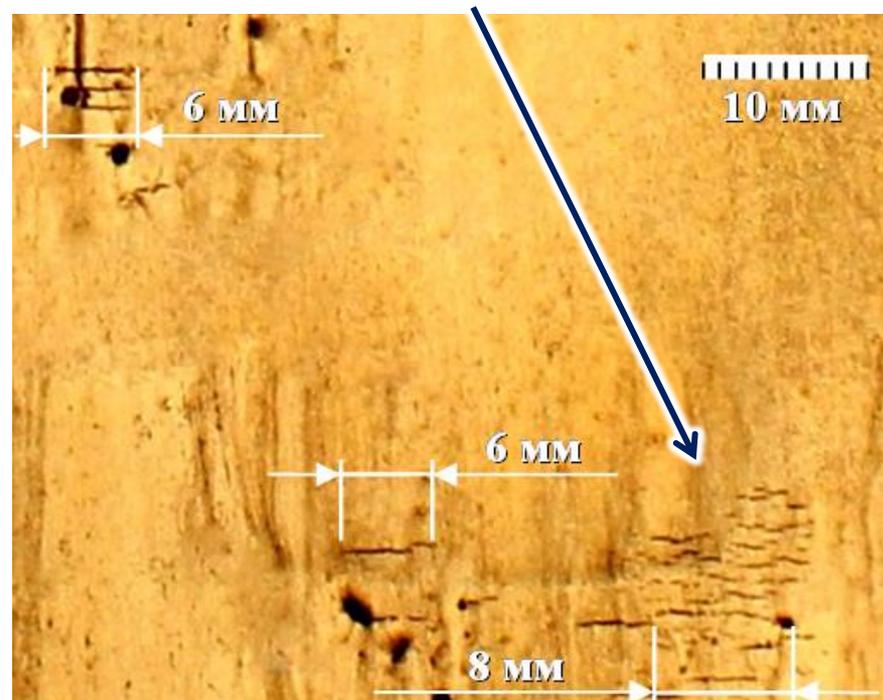


$h = 1,1 \text{ мм}$
 $L = 8 \text{ мм}$
 $L \text{ зоны} = 220 \text{ мм}$
 $\rho = 10 \text{ ед.}\backslash\text{см}^2$

Область стресс-коррозионных повреждений сентябрь 2015



Область стресс-коррозионных повреждений декабрь 2016



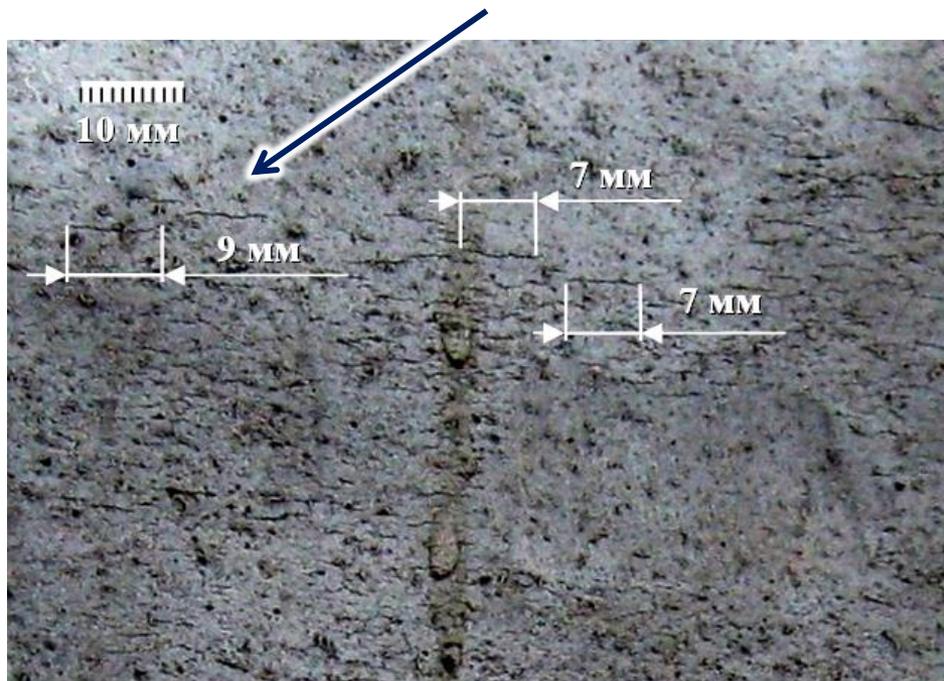
$h = 1,3 \text{ мм}$

$L = 8 \text{ мм}$

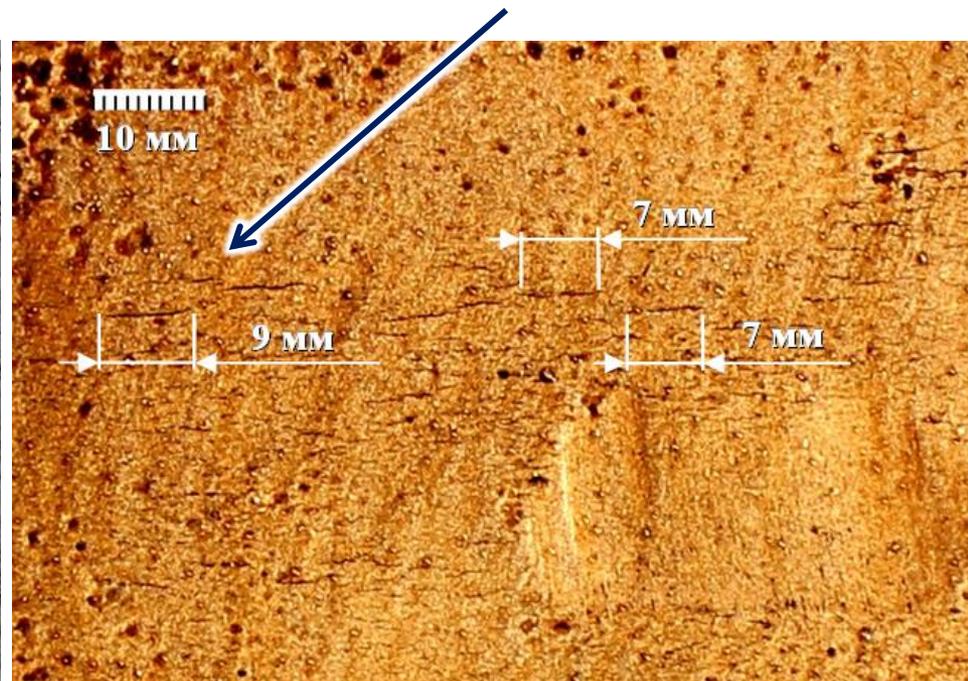
$L \text{ зоны} = 300 \text{ мм}$

$\rho = 18 \text{ ед.}\backslash\text{см}^2$

Область стресс-коррозионных повреждений сентябрь 2015



Область стресс-коррозионных повреждений декабрь 2016



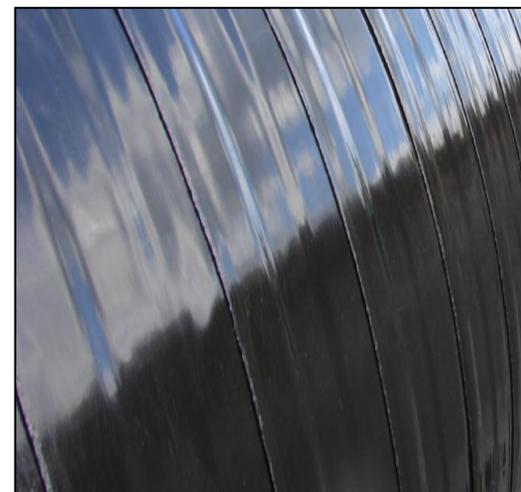
$h = 1,3 \text{ мм}$

$L = 9 \text{ мм}$

$L \text{ зоны} = 470 \text{ мм}$

$\rho = 15 \text{ ед.}\backslash\text{см}^2$

№ п/п	Оцениваемый показатель	Норма	Результат	
			при нанесении	при вскрытии
1.	Качество очистки поверхности	Не ниже степени 3 По ГОСТ 9.402	соответствует	соответствует
2.	Температура поверхности	от +10 до +50 С°	соответствует	от +14 до +16
3.	Толщина покрытия	4,6-4,8 мм	соответствует	4,6
4.	Адгезия методом сдвига	> 0,3 МПа	соответствует	0,5
5.	Адгезия методом отслаивания	> 30 Н/см	соответствует	59
6.	Нахлест края витка На предыдущий	15-30 мм	соответствует	25
7.	Нахлест концов обертки	400-500 мм	соответствует	450



1. По результатам комплекса широкомасштабных экспериментов (лабораторных, стендовых и натуральных испытаний стальных труб), направленных на обоснование возможности длительной безопасной эксплуатации МГ с незначительными стресс-коррозионными повреждениями труб установлено, что трубы со стресс-коррозионными повреждениями глубиной до 10% от толщины стенки трубы обладают достаточным запасом прочности и могут быть оставлены в эксплуатации в составе МГ после замены антикоррозионного покрытия.
2. Рекомендовать к применению на объектах ПАО «Газпром» защитное покрытие на основе термостойкого рулонного армированного материала «ДЕКОМ-РАМ» и термостойкой битумно-полимерной грунтовки «ДЕКОМ-ИНГ» ТУ 2313-030-32989231-2015, содержащей ингибирующую КРН композицию, для переизоляции МГ диаметром до 1420 мм включительно в регионах с высокой предрасположенностью к стресс-коррозии.
3. ООО «Газпром трансгаз Чайковский» продолжить совместно с ООО «Газпром ВНИИГАЗ» реализацию экспериментов в 3 кв. 2017 года вскрыть оставшиеся экспериментальные участки МГ в соответствии с утвержденной программой комплексных опытно-промышленных испытаний возможности консервации дефектов коррозионного растрескивания под напряжением в процессе трассовой переизоляции участка МГ «Ямбург-Западная граница», вырезать темплеты для проведения металлографических исследований металла с заизолированными стресс-коррозионными повреждениями.
4. В рамках Программы сотрудничества ПАО «Газпром» и «Юнипер Холдинг ГмбХ» опубликовать результаты исследований в европейском издании и приступить к разработке проекта межкорпоративного стандарта Э.ОН и ПАО Газпром - Методика оценки прочности магистральных газопроводов со стресс-коррозионными дефектами.

5. В рамках рекомендаций НТС ПАО «Газпром» от 27.06.2016 №7-1, утв. В.А. Маркеловым, ООО «Газпром трансгаз Чайковский» совместно с ООО «Газпром ВНИИГАЗ» подготовить обращение в ПАО «Газпром» по модернизации оборудования и стендов для проведения гидравлических испытаний плетей труб. Разработать и согласовать в ПАО «Газпром» комплексную долгосрочную программу финансирования опытно-экспериментальных исследований фрагментов труб после длительной эксплуатации в составе МГ.
6. ООО «Газпром трансгаз Чайковский» рассмотреть для последующего внедрения на предприятии разработанный ООО «Газпром ВНИИГАЗ» Временный порядок выполнения работ при трассовой переизоляции протяженных участков магистральных газопроводов с незначительными повреждениями поверхности металла труб, образованными в результате коррозионного растрескивания под напряжением.