



ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФЕКТОВ КРН ПОДЗЕМНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ ООО «ГАЗПРОМ ТРАНСГАЗ САМАРА» НА УЧАСТКАХ, ВЫПОЛНЕННЫХ ИЗ ТРУБ ПРОИЗВОДСТВА ХАРЦЫЗСКОГО ТРУБНОГО ЗАВОДА

Афанасьев Алексей Викторович
ООО «Газпром трансгаз Самара»

На месте аварии образовался котлован размером 35×11 м, глубиной до 4,5 м. В результате аварии разрушен участок газопровода длиной 26,5 м, с выбросом двух фрагментов двухшовных труб.



Согласно представленному сертификату качества от 08.01.1982 г. трубы размером 1420×15,7 мм, изготовленные Харцызским трубным заводом по ТУ 14-3-995-81 в 1982 г., из стали марки Х70.

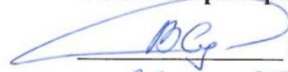
АВАРИЯ НА МГ

Результаты расследования

Трещиноподобные дефекты по линии сплавления продольного заводского шва с основным металлом трубы развивались под действием рабочей нагрузки и коррозионного процесса внутри полости дефекта. Причиной разрушения МГ является дефект образовавшийся по механизму коррозионного растрескивания под напряжением (КРН)



УТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор
ООО «Газпром трансгаз Самара»


В.А. Субботин
« 26 » 05 2016 г.

РЕШЕНИЕ

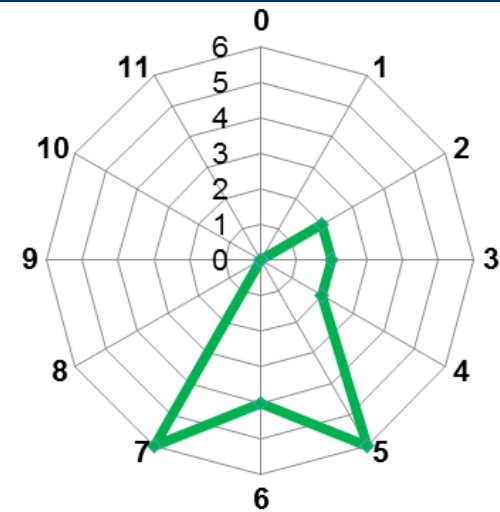
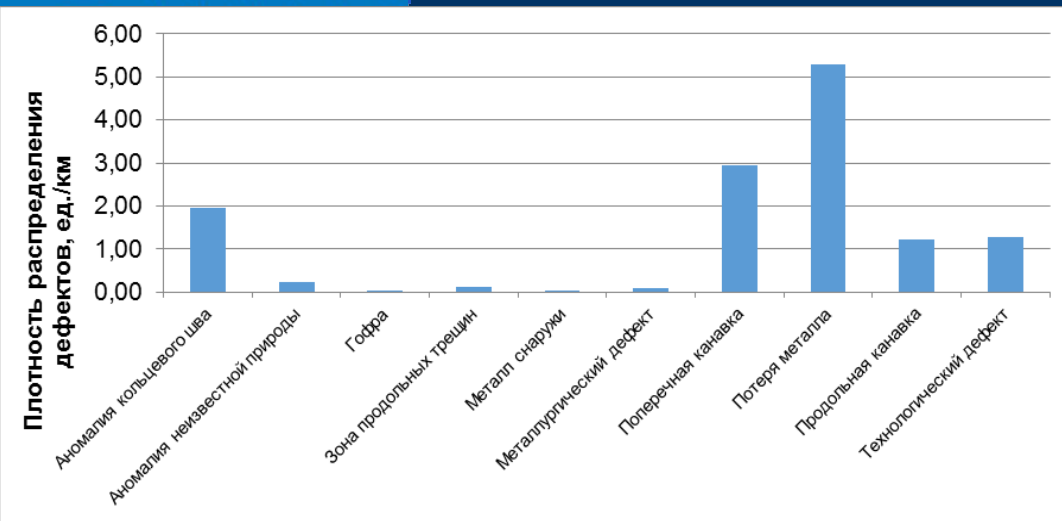
совета руководителей Общества, состоявшегося 12 – 13 апреля 2016 г.

Основная задача ООО «Газпром трансгаз Самара» - транспорт газа, и его поставка потребителям в семи регионах РФ.

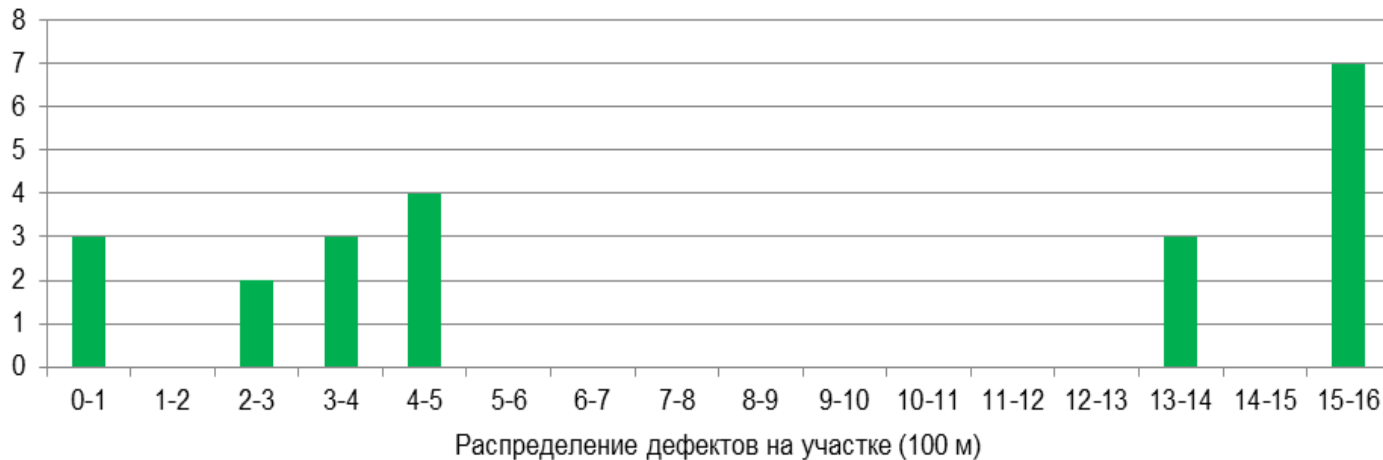
№	Решение	Срок	Ответственный исполнитель	Ответственный за контроль
7.	Провести анализ количества циклов перепада давления на газопроводных трубах, изготовленных Харцызским трубным заводом, с подключением к процессу анализа профильного института (ВНИИГАЗ).	В течение года	Начальник ИТЦ И.В. Щербо	Зам. генерального директора С.И. Корнеев

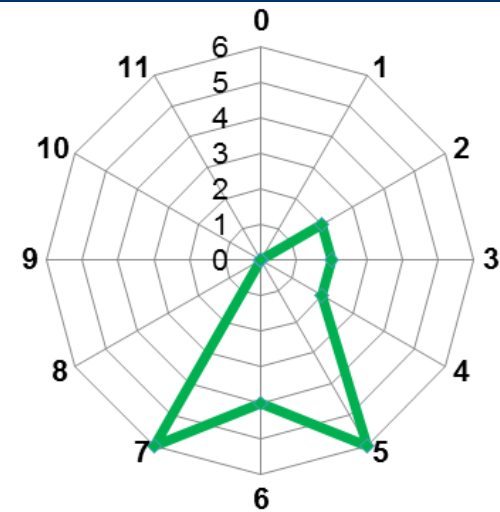
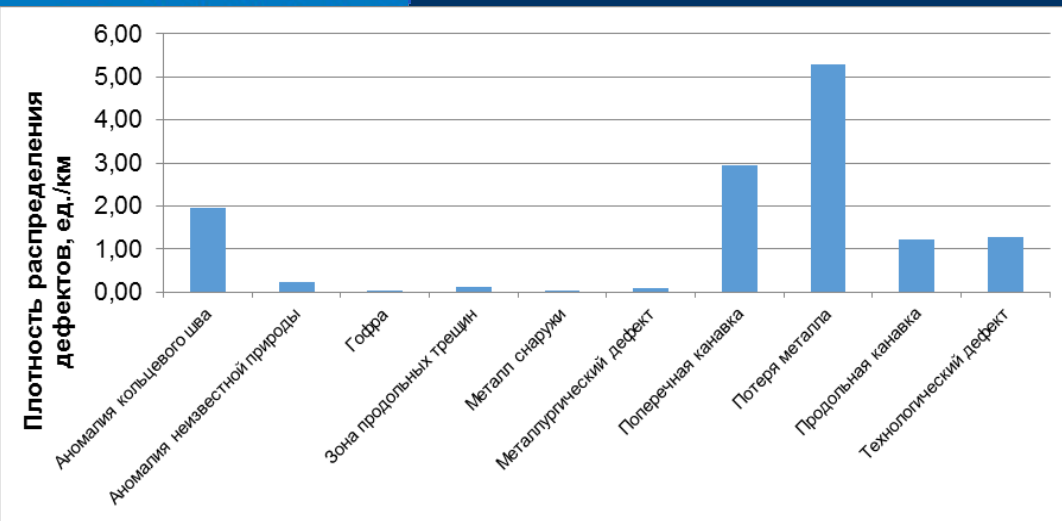
В ООО «Газпром трансгаз Самара» общая протяженность участков большого диаметра, построенных из труб, производства Харцызского трубного завода (ХТЗ), составляет более 720 км.

Для исследования развития процессов КРН на трубах ХТЗ выбран участок магистрального газопровода протяженностью 25 км.



Количество дефектов КРН, шт.

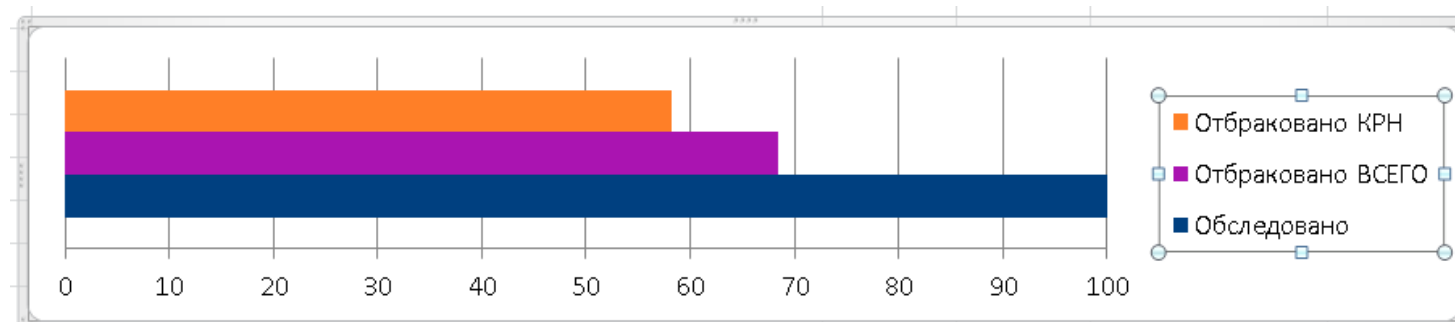
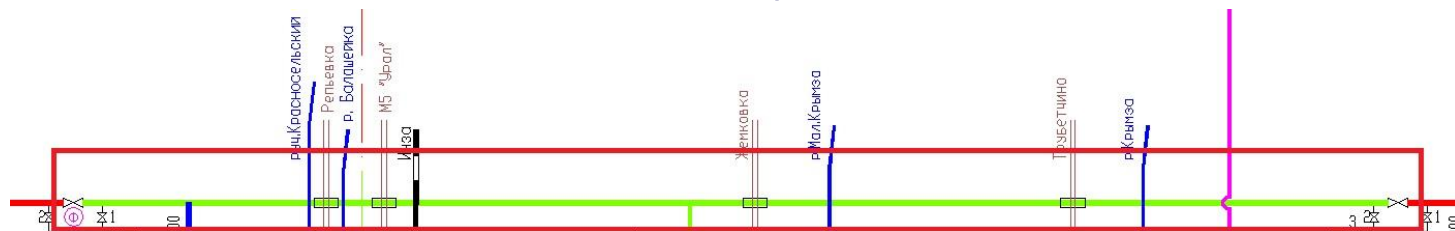




РЕЗУЛЬТАТЫ БРАКОВКИ ПРИ КР



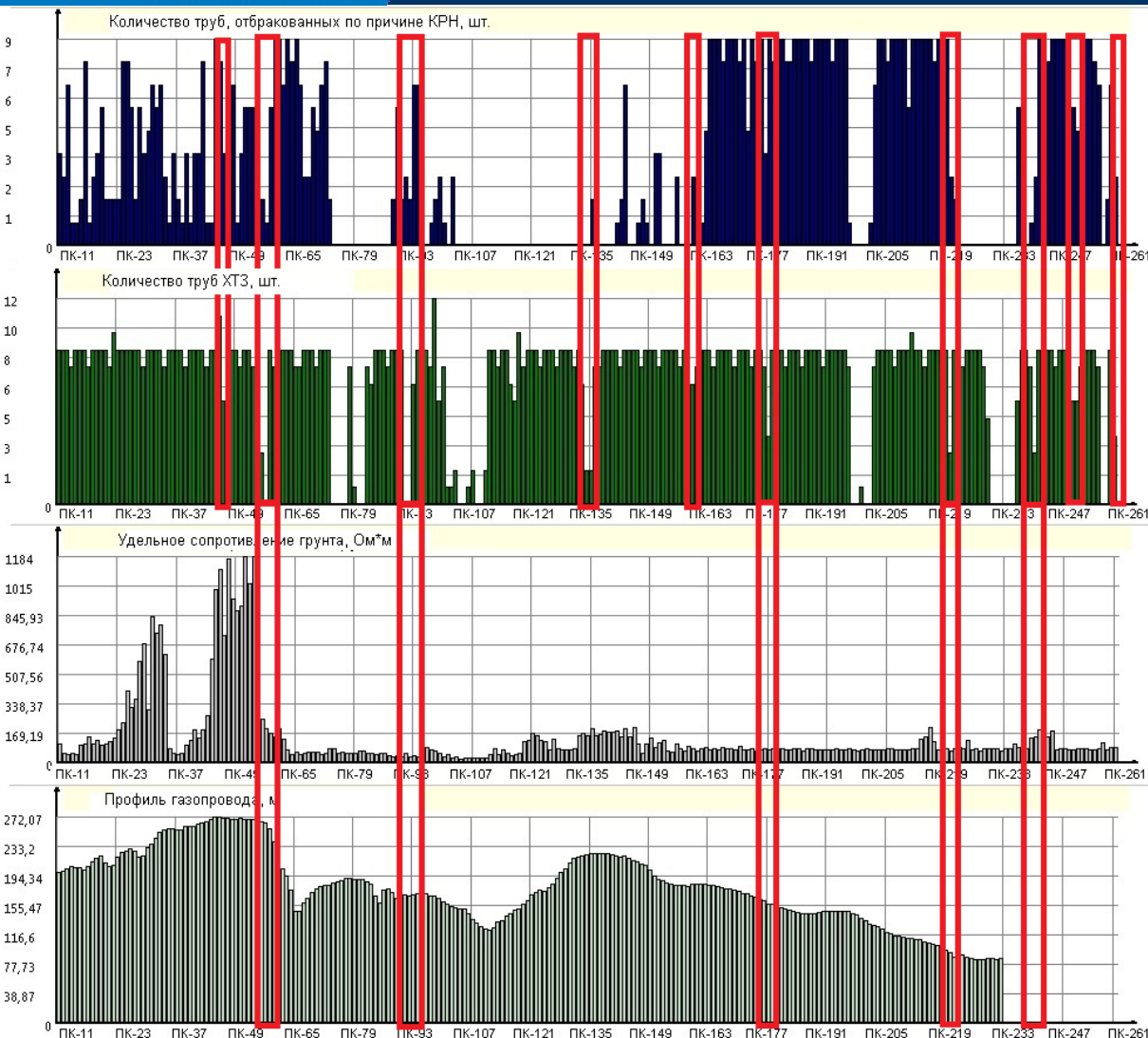
Капитальный ремонт МГ



	Отбраковано КРН			
	метров	труб	труб	метров
Количество обследованных труб, м/шт.	19635,63	1764		
Количество отбракованных труб, м/шт.	13549,99	1206	1028	11636,05
Количество отбракованных катушек, м/шт.	9,56	5		
Итого под под вырезку, м	11755,18			
Отбраковка обследованных труб по всем дефектам, %	59,87	68,37		
Кол-во труб с выявленным КРН в общей массе, %			58,28	59,26
Кол-во труб с выявленным КРН в бракованных трубах, %			85,24	85,87

СОПОСТАВЛЕНИЕ ФАКТОРОВ

Выявленных на исследуемом участке.



- Участок пересекает 4 автомобильные и 1 электрифицированную (пост.ток) железную дороги, 4 водные преграды, 5 оврагов надземным способом и 1 подземным;

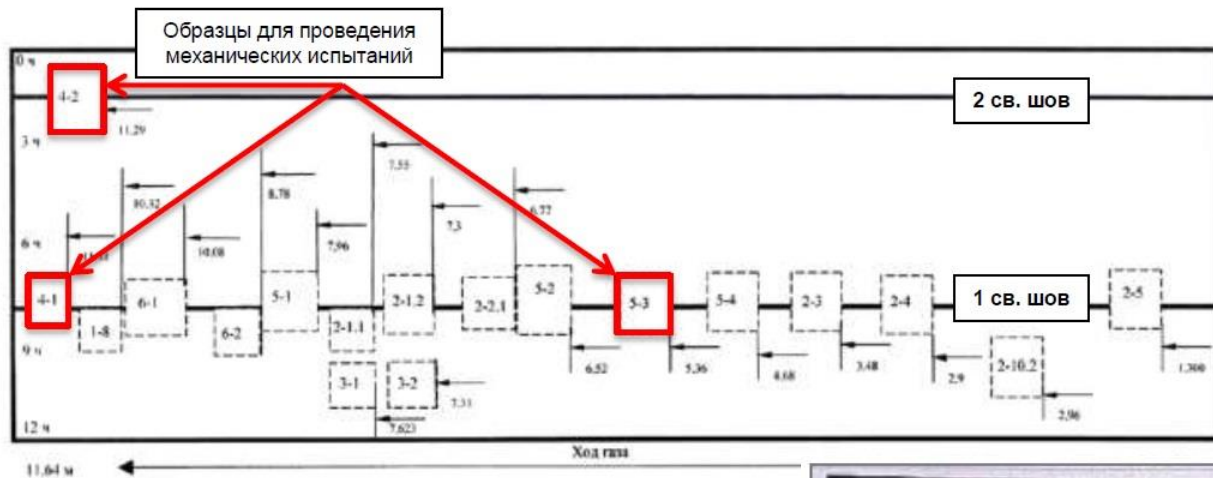
- Электрозащитенность по протяженности и по времени составила 100%, мест недозащиты и перезащиты не обнаружено. Удельное электрическое сопротивление грунта находится в пределах 19-1700 Ом*м, т.е. наблюдается чередование высокоомных и низкоомных грунтов;

- Состав грунта на глубине заложения трубопроводов представляет бурый суглинок. Заглубление исследуемых трубопроводов в пределах от 0,4 м до 3,3 м от поверхности земли до верхней образующей.

ОТБОР ОБРАЗЦОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИСПЫТАНИЙ

Производился отбор для комплекса лабораторных исследований стали на соответствие ТУ 14-3-741-78

Указанные испытания включали стандартные механических испытания и исследования химического состава стали



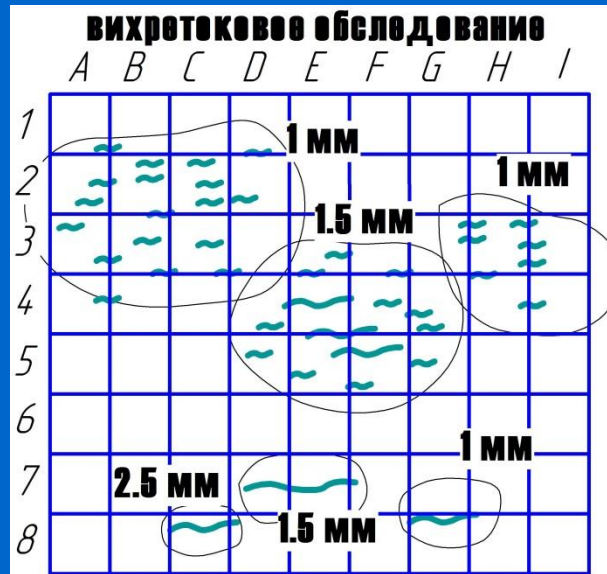
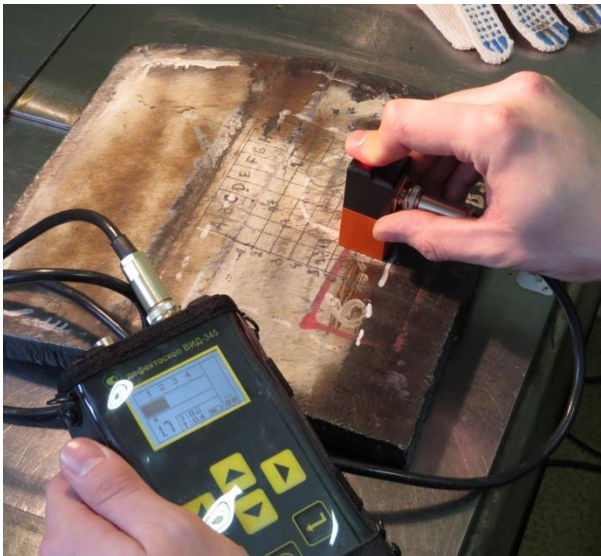
Вид испытания	Количество образцов
Растяжение	3 образца из СШ1
	3 образца из СШ2
	3 образца из ОМ
Удар	3 образца KCV +20 °С из СШ1 (ЦШ)
	3 образца KCV 0 °С из СШ1 (ЦШ)
	3 образца KCV +20 °С из СШ1 (ЗТВ)
	3 образца KCV 0 °С из СШ1 (ЗТВ)
	3 образца KCV +20 °С из СШ2 (ЦШ)
	3 образца KCV 0 °С из СШ2 (ЦШ)
	3 образца KCV +20 °С из СШ2 (ЗТВ)
	3 образца KCV 0 °С из СШ2 (ЗТВ)
	3 образца KCV +20 °С из ОМ
3 образца KCV 0 °С из ОМ	
Твердость	1 образец из СШ1
	1 образец из СШ2
	1 образец из ОМ
Металлографические исследования структуры	1 образец из СШ1
	1 образец из СШ2
	1 образец из ОМ
Химический анализ	1 образец из ОМ

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ НК ПРИ ОЦЕНКЕ ТРЕЩИН

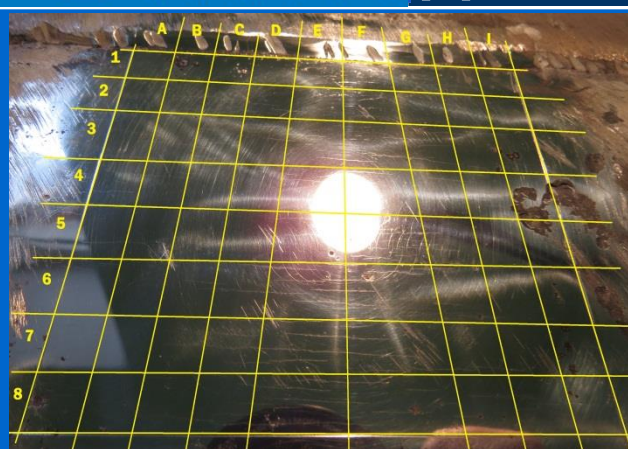


Проблема адекватности оценки глубины трещины малого раскрытия различными методами НК, является одной из наиболее актуальных при диагностике трубопроводов.

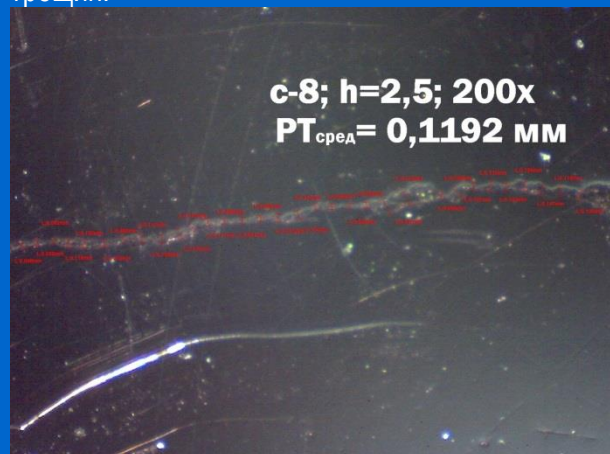
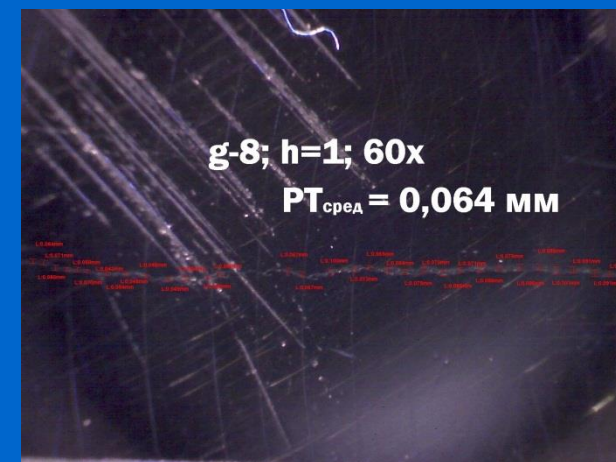
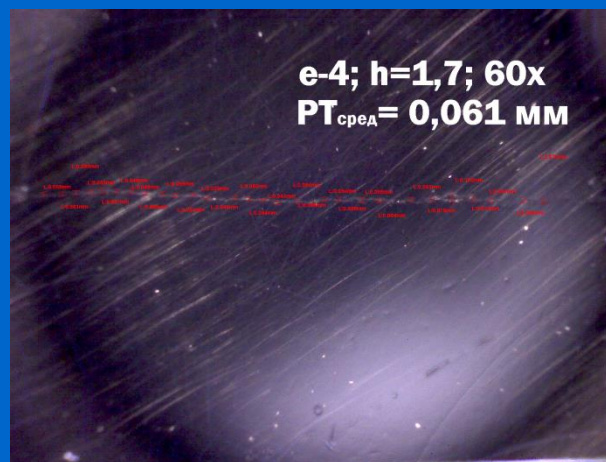
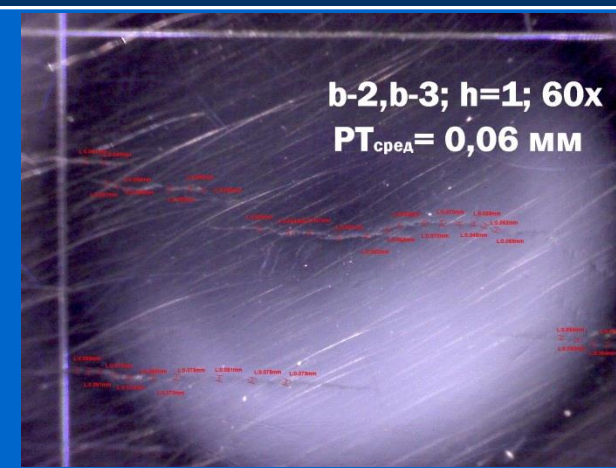
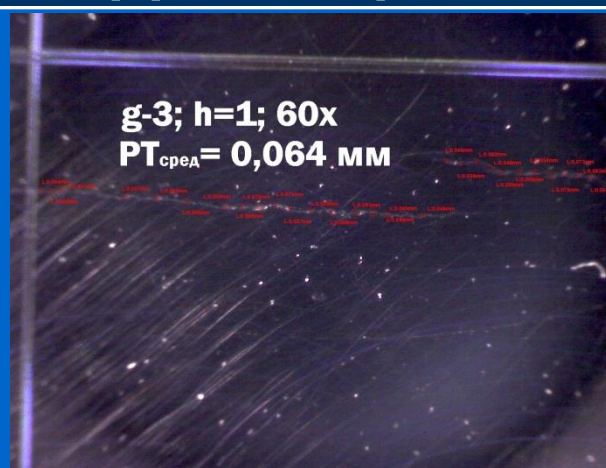
Было решено выбрать контрольный образец с колониями КРН, вырезанный из труб, отбракованных при капитальном ремонте и провести сравнение результатов НК.



ВНЕШНИЕ ПАРАМЕТРЫ ТРЕЩИН КАК ДАННЫЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ГЛУБИНЫ

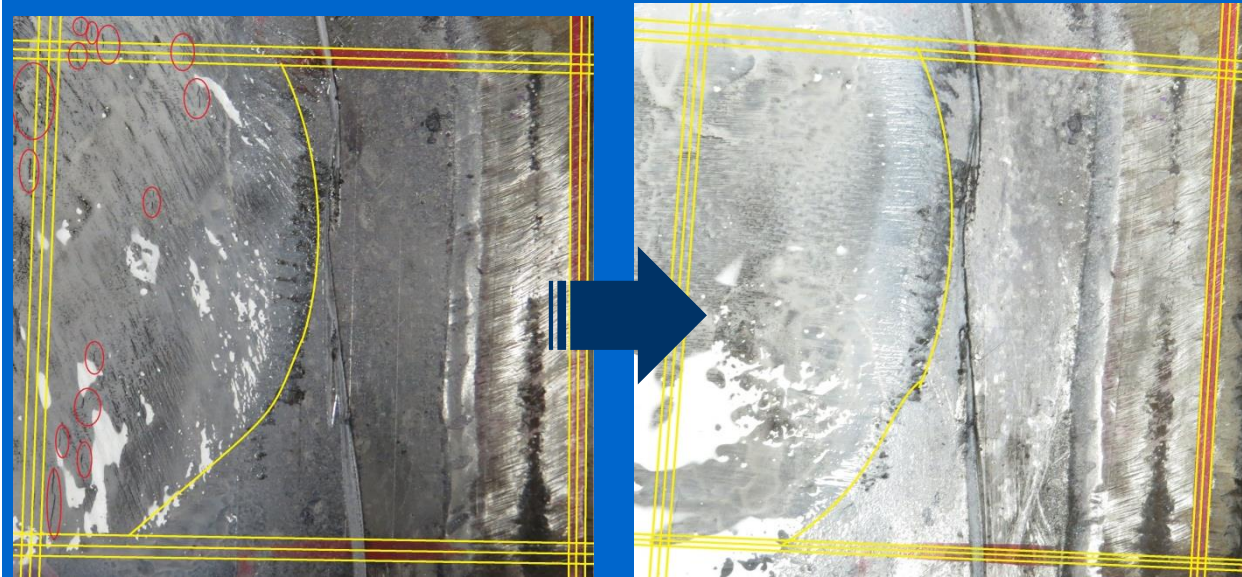


Исследуемый участок был зачищен до зеркального блеска, была восстановлена координатная сетка, выполнен микроскопический анализ ширины раскрытия трещин.

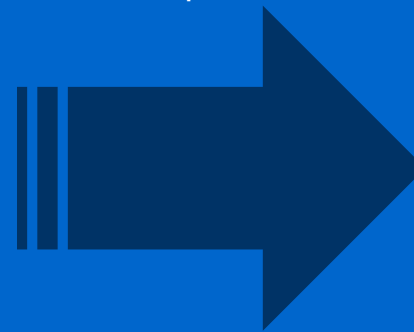


При глубине 1 – 1,5 мм (по данным НК), ширина раскрытия 0,06 мм;
При глубине 2 – 2,5 мм (по данным НК), ширина раскрытия 0,12 мм.

РЕМОНТ ТРЕЩИН КОНТРОЛИРУЕМОЙ ШЛИФОВКОЙ



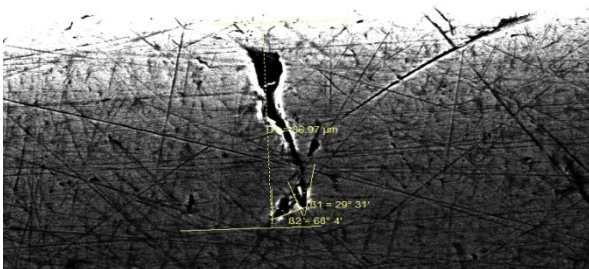
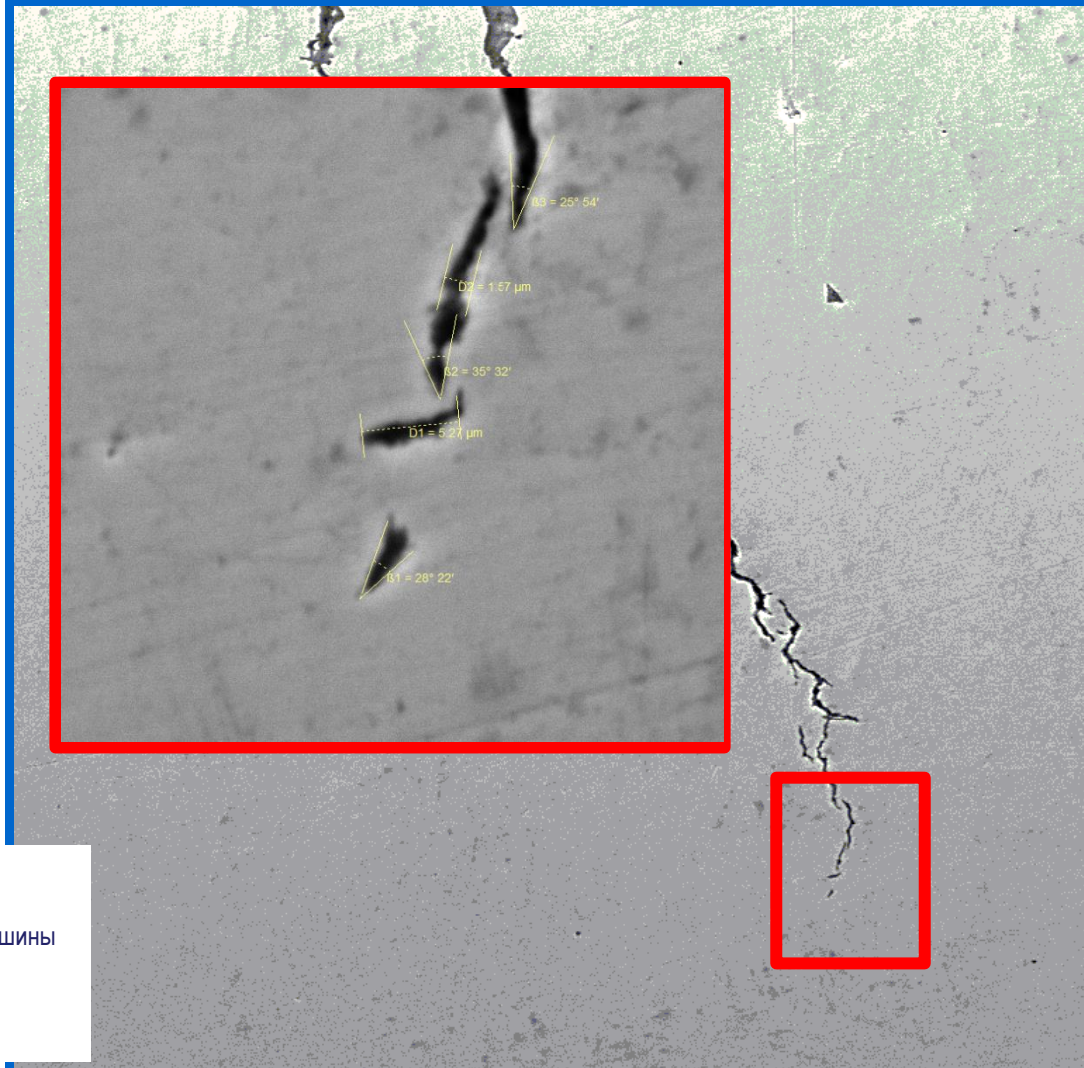
Была проведена шлифовка трещин КРН на выявленную глубину. При этом проводился неразрушающий контроль дефектов, до полного исчезновения индикаторных следов дефекта.



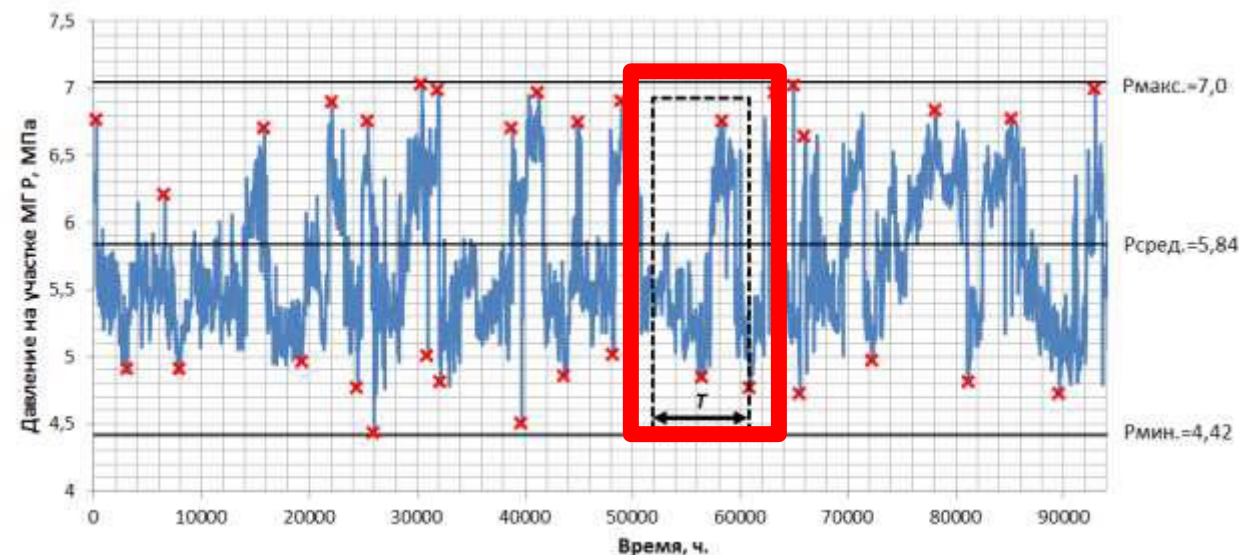


Линия разрезки образца

Были определены истинные параметры трещин КРН. Истинная глубина дефектов, измеренных средствами НК в 1,5 мм составила 2 мм.; Тех, что оценивались в 2,5 мм составила 3,2 мм. Образец был разрезан по середине сектора С, поперек трещин. Торцы были подготовлены для металлографического и фрактографического



Была оценена эффективность шлифовки, контролируемой средствами НК. Оказалось, что после шлифовки в материале остаются вершины трещин, глубиной до 0,1 мм, которые невозможно выявить никаким методом НК



Анализ выделенных циклов показал, что за рассматриваемый период эксплуатации участок 18 раз испытал нагрузку и разгрузку с максимальным отклонением амплитуды колебаний от среднего значения давления $P_{\text{сред}}$. В диапазоне 17-35%.

Полный спектр колебаний давления на рассматриваемом участке МГ за период равный 11 годам эксплуатации.

Период эксплуатации участка МГ, ч.: 96360

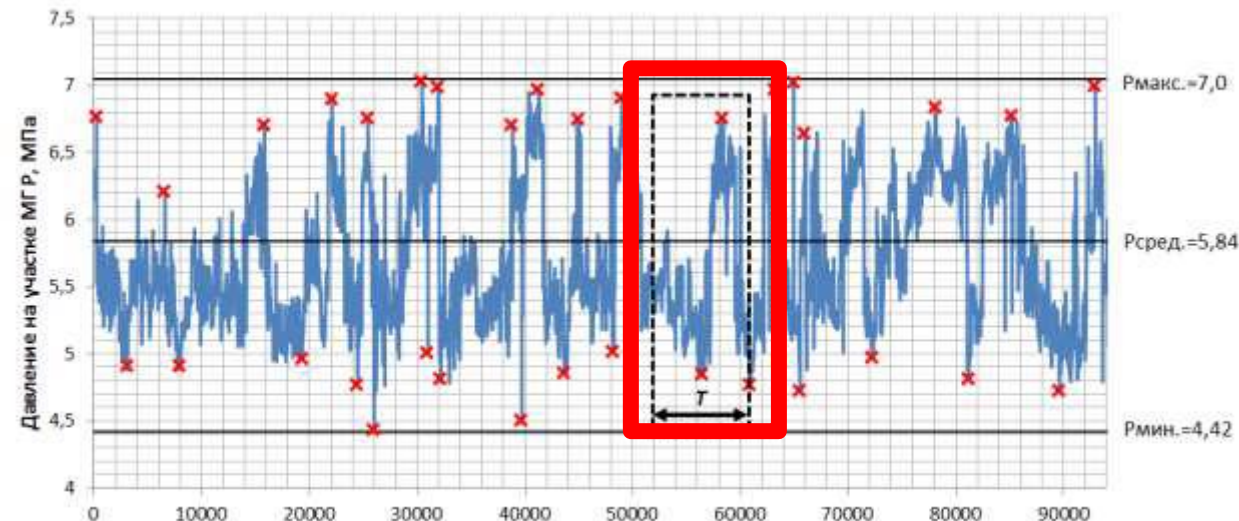
Целое количество циклов перепадов давления в год, шт 2

Средний период одного цикла, ч 2726

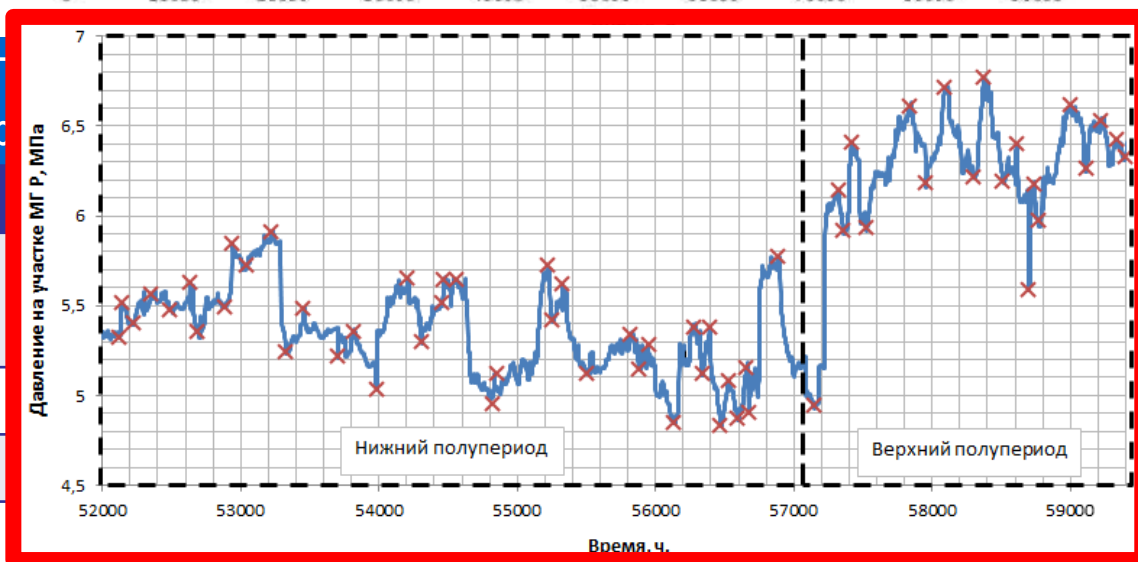
Средняя частота колебаний, Гц $1,01 \cdot 10^{-7}$

Коэффициент асимметрии R 0,63

АНАЛИЗ ЦИКЛИЧНОСТИ РАБОТЫ ИССЛЕДУЕМОГО УЧАСТКА

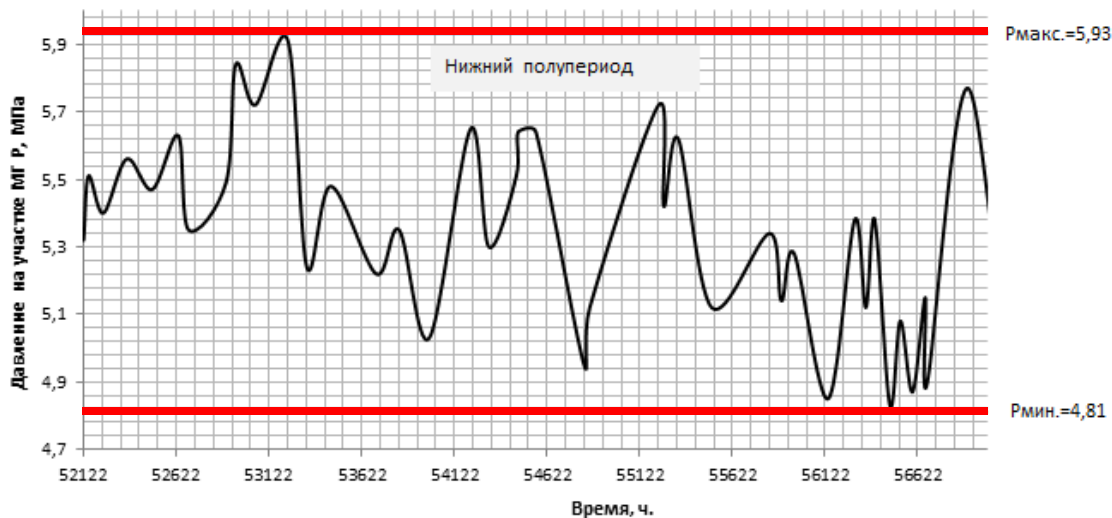


Анализ выделенных циклов показал, что за рассматриваемый период эксплуатации участок 18 раз испытал нагрузку и разгрузку с максимальным отклонением амплитуды колебаний от среднего значения давления $P_{\text{сред.}}$. В диапазоне 17-35%.

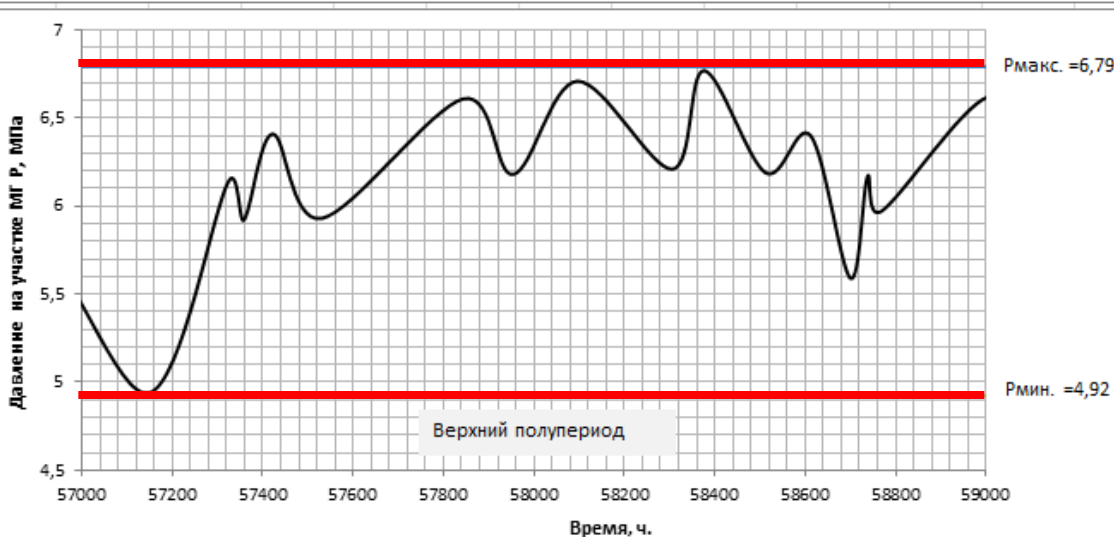


Для исследования характера колебаний давления внутри циклов с наибольшим периодом колебания в полном спектре колебаний давления на участке МГ был выделен интервал протяжённостью T , внутри которого анализировались верхний и нижний полупериоды

АНАЛИЗ ЦИКЛИЧНОСТИ РАБОТЫ ИССЛЕДУЕМОГО УЧАСТКА



В верхнем и нижнем полупериоде колебания выделены циклы с наибольшими отклонениями амплитуды от среднеарифметического значения $P_{\text{сред.}}$ равными 2-11% от рабочего давления.



В течение 1 года участок испытывает относительно среднеарифметического значения давления $P_{\text{сред.}} = 5,84$ следующее количество циклов перепада давления:

- 30 пульсационных с амплитудой в диапазоне 2-1% от $P_{\text{раб.}}$;
- 2 значительных цикла с амплитудой в диапазоне 17-35% от $P_{\text{раб}}$

Нижний полупериод

Длительность полупериода, ч.:	5000
Количество циклов перепадов в полупериоде, шт.:	21
Средний период одного цикла, ч.:	120
Средняя частота колебаний, Гц:	$2,2 \cdot 10^{-6}$
Коэффициент асимметрии R*	0,70

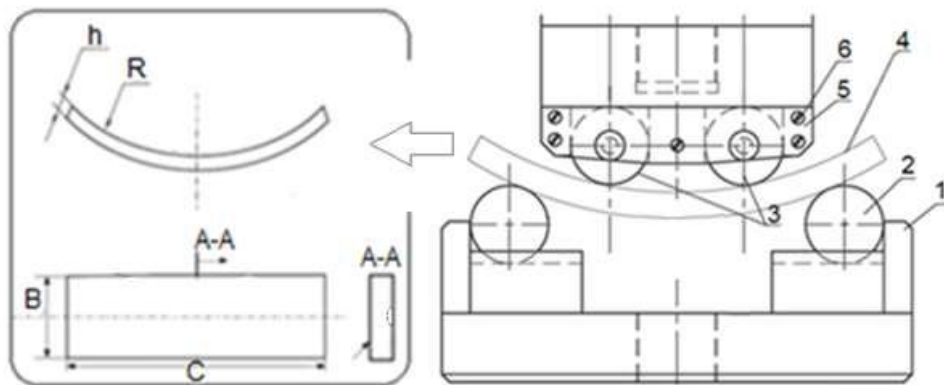
Верхний полупериод

Длительность полупериода, ч.:	3760
Количество циклов перепадов в полупериоде, шт.:	9
Средний период одного цикла, ч.:	123
Средняя частота колебаний, Гц:	$2,4 \cdot 10^{-6}$
Коэффициент асимметрии R*	0,81

Интервал изменения нагрузки для выбранного режима лежит в пределах от 1,1 МПа до максимально разрешенного на участке МГ рабочего давления $P = 7,4$ МПа, что соответствует σ с коэффициентом асимметрии цикла $R=0,15$.

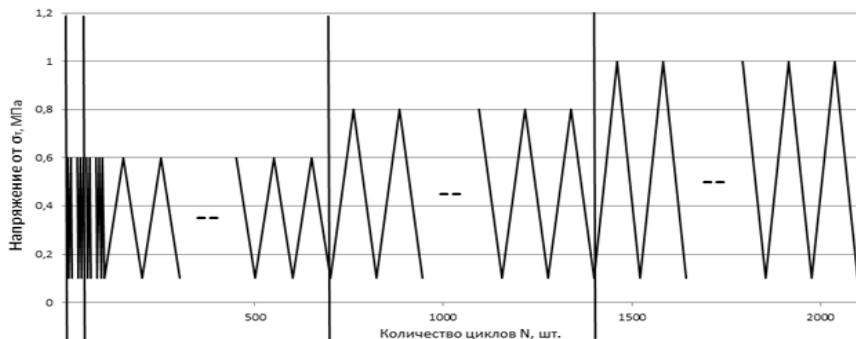
Общее количество циклов нагружения для выбранного режима рассчитано как произведение общего количества всех типов циклов, испытываемых МГ за год на планируемый интервал эксплуатации равный 20 годам.

Таким образом, рекомендуется режим нагружения модельных образцов со ступенчатым изменением нагрузки каждые 640 циклов.



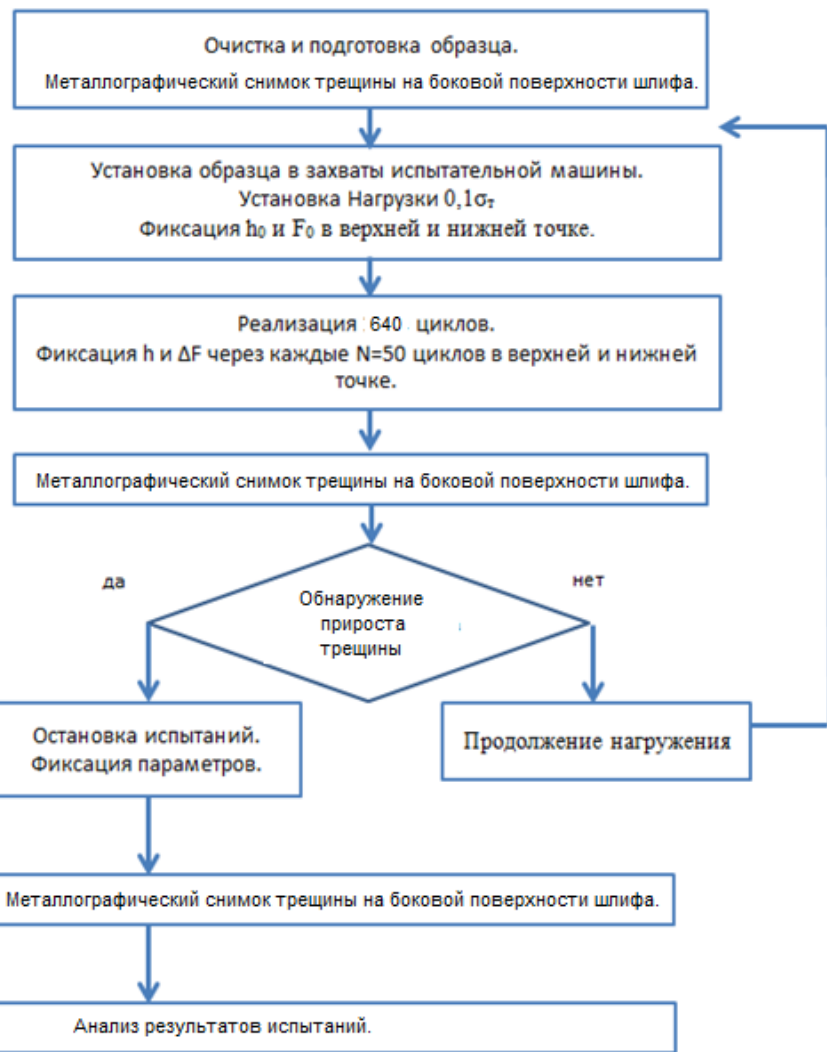
R - радиус трубы;
h - толщина стенки;
B - ширина образца;
C - длина образца

1 - нижняя опора;
2 - нижние опорные ролики;
3 - верхние опорные ролики;
4 - тестовый образец;
5 - верхняя опора;
6 - проставки



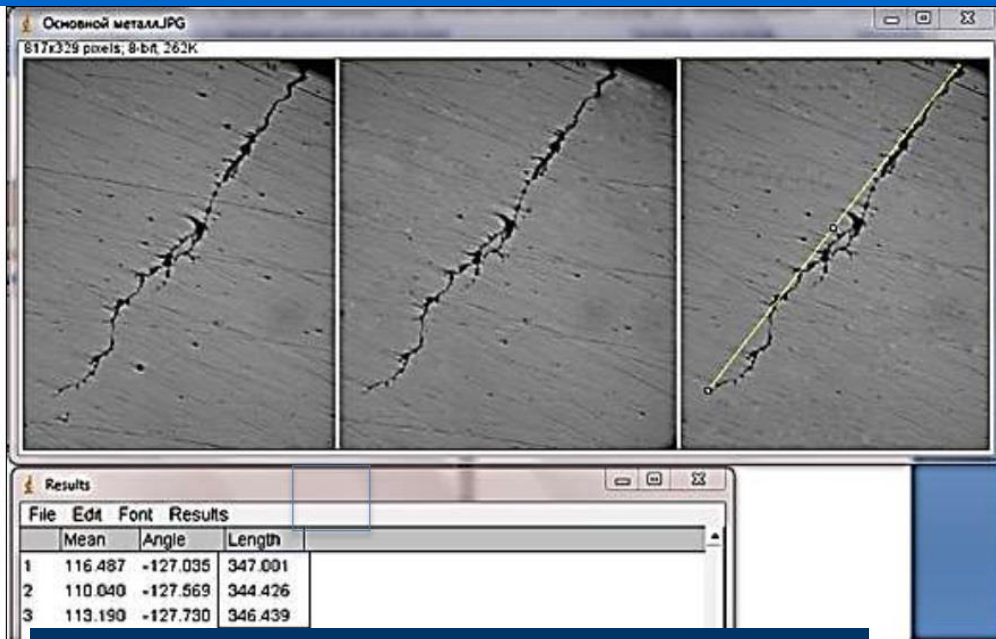
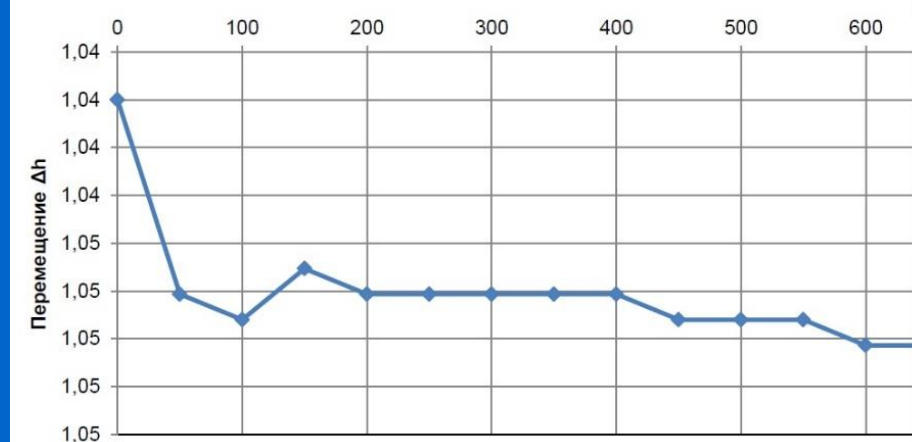
Через каждые 50 циклов:
фиксация $h_{нач}$, $h_{кон}$, $F_{верх}$, $F_{низ}$

Через каждые 640 циклов:
1. Фотографирование на металлографическом микроскопе торцов надреза;
2. Фиксация времени испытания;
3. Поднятие нагрузки на $0,2\sigma_t$.



N50циклов _i	h(нач)	h(кон)	ΔF _i (верх)	ΔF _i (низ)	t1, с.	t2, с.
0	5,561	4,626	65000	6500	32	38
50	5,840	4,860	65000	6500	619,5	626
100	5,876	4,895	65000	6500	1219,5	1226
150	5,899	4,920	65000	6500	1819,5	1826
200	5,908	4,928	65000	6500	3019,5	3026
250	5,928	4,948	65000	6500	4220	4226
300	5,933	4,953	65000	6500	4820	4826
350	5,944	4,964	65000	6500	5420	5426
400	5,947	4,967	65000	6500	6020	6026
450	5,961	4,980	65000	6500	6620	6626
500	5,966	4,985	65000	6500	7720	7726
550	5,966	4,985	65000	6500	7820	7826
600	5,973	4,991	65000	6500	8420	8426
640	5,979	4,997	65000	6500	9020	9026

Количество циклов, N

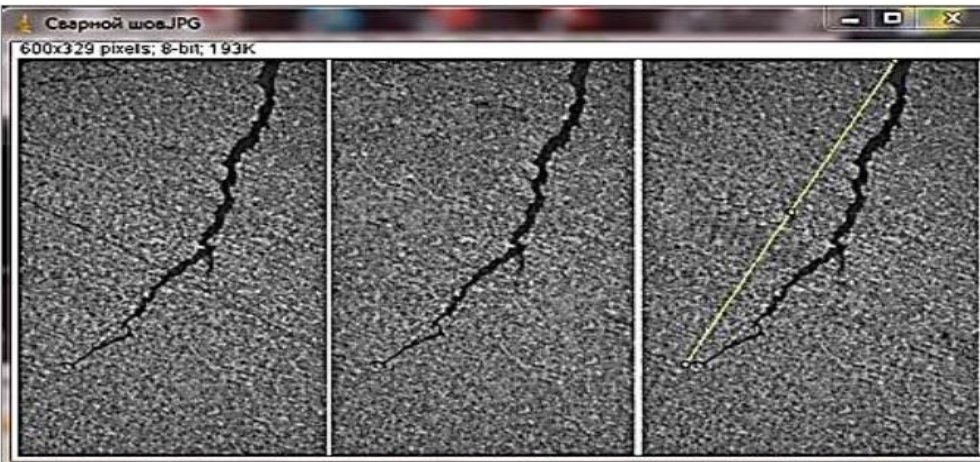
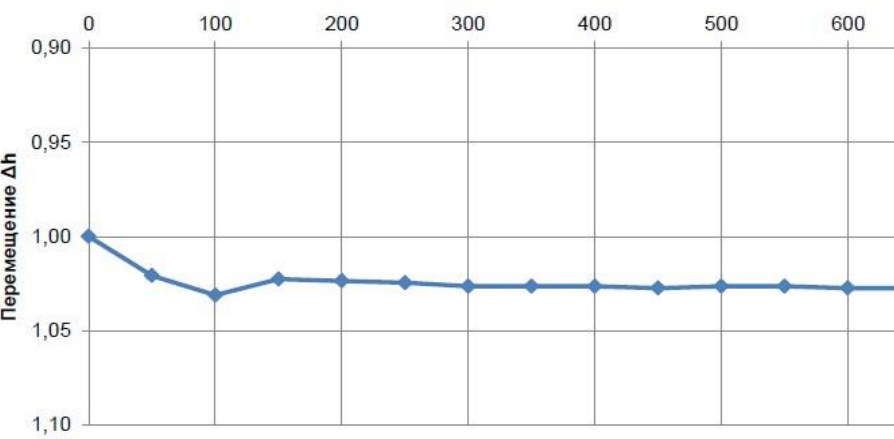


Основной металл, содержащий дефекты КРН

После начального нагружения образца изменений перемещения захватов испытательной машины с увеличением количества циклов испытаний не наблюдается, что показывает отсутствие прироста трещины. Также отсутствие прироста трещины подтверждается пошаговым измерением глубины трещины по металлографическим снимкам.

N50циклов _i	h(нач)	h(кон)	ΔF_i (верх)	ΔF_i (низ)	t1, с.	t2, с.
0	2,356	1,299	65000	6500	15	22
50	2,412	1,333	65000	6500	22	29
100	2,424	1,334	65000	6500	29	36
150	2,433	1,352	65000	6500	36	43
200	2,434	1,352	65000	6500	43	50
250	2,447	1,364	65000	6500	50	57
300	2,455	1,37	65000	6500	57	64
350	2,457	1,372	65000	6500	64	71
400	2,462	1,377	65000	6500	71	78
450	2,458	1,372	65000	6500	78	85
500	2,46	1,375	65000	6500	85	92
550	2,463	1,378	65000	6500	92	99
600	2,463	1,377	65000	6500	99	106
650	2,459	1,373	65000	6500	106	113
700	2,467	1,382	65000	6500	113	120

Количество циклов, N



Results			
File	Edit	Font	Results
	Mean	Angle	Length
1	106.151	-117.282	286.021
2	104.792	-117.196	284.890
3	105.432	-117.375	285.118

Металл сварного шва, содержащий дефекты КРН

Стресс-коррозионная трещина сохранила свое первоначальное состояние после всех ступеней испытаний. Отсутствуют новые трещины - ответвления и другие изменения в морфологии вершины трещины. Таким образом, в течение трех ступеней испытаний циклов нагрузки-разгрузки при режимах испытаний имитирующих работу реального участка МГ развитие стресс-коррозионных трещин не произошло.

- Временное сопротивление, предел текучести и относительное удлинение продольного сварного шва не соответствуют требованиям ТУ;
- Результаты механических испытаний по определению ударной вязкости из металла центра сварного шва, не соответствуют требованиям ТУ;
- Основной металл труб, в том числе в районе дефектов КРН сохранил свои эксплуатационные свойства, его химический состав соответствует требованиям для стали 09Г2ФБ.

Механические характеристики

Образец	Временное сопротивление, σ_b , МПа	Условный предел текучести, $\sigma_{0,2}$, МПа	Относительное удлинение, ψ , %
Основной металл	640	523	17
	639	526	19
	637	584	19
Сварной шов 1 (темплет 4-1)	632	523	8
	492	399	9
	628	511	18
Сварной шов 2 (темплет 4-2)	626	496	17
	616	487	17
	621	491	18
Требования ТУ 14-3-741-78 (09Г2ФБ, не менее)	549	421	19

*пункт 3.7. «по одному плоскому поперечному образцу со снятием усиления сварного шва на растяжение по ГОСТ 6996 (тип XII)»

Значение ударной вязкости

Объект испытаний	Группа прочности /марка стали	Тип надреза	Температура испытания, °С	Работа удара, Дж	Ударная вязкость, Дж/см ²	Среднее значение ударной вязкости, Дж/см ²							
Темплет 5.3	ОМ	09Г2ФБ	V	-15	147	184	164						
					114	143							
					131	164							
					120	150							
					145	181							
160	200	177											
Требования ТУ 14-3-741-78 (не менее)						78,4							
Темплет 4.1	ОМ	09Г2ФБ	U	-60	147	184	214						
					226	283							
					139	174							
Темплет 4.2					156	195	196						
					157	196							
Требования ТУ 14-3-741-78 (не менее)						49							
Объект испытаний	Группа прочности /марка стали	Тип надреза	Температура испытания, °С	Работа удара, Дж	Ударная вязкость, Дж/см ²	Среднее значение ударной вязкости, Дж/см ²							
Темплет 4.1	ЦШ	09Г2ФБ	V	-15	38	48	46						
					37	46							
					34	43							
					152	190							
					128	160							
Темплет 5.3	ЛС	09Г2ФБ	V	-15	137	171	174						
					34	43							
					28	35							
					32	40							
					136	170							
Темплет 4.1	ЛС	09Г2ФБ	V	-15	108	135	170						
					165	206							
					Требования ТУ 14-3-741-78 (не менее)						78,4		
					Темплет 4.1	ЦШ		09Г2ФБ	U	-60	38	48	43
											33	41	
32	40												
140	175												
110	138												
Темплет 4.2	ЛС	09Г2ФБ	U	-60	66	83	69						
					36	45							
					63	79							
					59	74							
					131	164		119					
Требования ТУ 14-3-741-78 (не менее)						49							

- Плотность распределения дефектов КРН более чем в 97 раз превысила количество дефектов, обнаруженных по результатам ВТД;
- При этом глубина большинства выявленных дефектов КРН (до 50% от обнаруженных дефектов) не превышает 15% от толщины стенки;
- Перепады высоты по профилю участка существенного влияния на распределение дефектов стресс-коррозии не оказывают. Количество дефектов КРН резко падает с уменьшением в общей массе количества труб производства ХТЗ. В общей сложности более 58 % всех обследованных на 25 км двухшовных труб забракованы по причине КРН. Для одношовных труб в том числе импортных, процент отбраковки по причине КРН составил всего 7%;
- По результатам проведения циклических испытаний модельных образцов на разрывной машине с трещинами КРН глубиной до 15% от толщины стенки трубы в течение трех ступеней нагружения (каждая ступень соответствует 20 годам эксплуатации) при режимах имитирующих работу реального участка МГ развитие стресс-коррозионных трещин не произошло, при этом механические характеристики (временное сопротивление, предел текучести, относительное удлинение, ударная вязкость) продольного сварного шва, не соответствуют требованиям ТУ;
- Плотность распределения дефектов КРН глубиной менее 15% от толщины стенки трубы на двухшовных трубах более чем в 50 раз больше, чем на одношовных. Дефект КРН максимальной глубиной обнаружен на трубе двухшовной конструкции, следовательно указанные трубы более предрасположены к образованию стресс-коррозионных повреждений, а также обладают меньшей стойкостью против развития трещин. На этих трубах отмечена предрасположенность образования стресс-коррозионных повреждений вблизи продольного сварного шва.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

Инженерно-технический центр
ООО «Газпром трансгаз Самара»
Афанасьев Алексей Викторович.
av.afanasev@samaratransgaz.gazprom.ru

Главный специалист лаборатории исследования процессов
коррозионного растрескивания под напряжением
ООО "Газпром ВНИИГАЗ"
Мельникова Анна Валерьевна
A_Melnikova@gwise.vniigaz.gazprom.ru

Научный сотрудник лаборатории исследования процессов
коррозионного растрескивания под напряжением
ООО "Газпром ВНИИГАЗ"
Мишарин Дмитрий Андреевич
D_Misharin@vniigaz.gazprom.ru

