

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОЦЕНКИ РАЗМЕРОВ СТРЕСС-КОРРОЗИОННЫХ ДЕФЕКТОВ МЕТОДАМИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ. ПОДХОДЫ К КАТЕГОРИРОВАНИЮ ТРУБ С ДЕФЕКТАМИ В ТРАССОВЫХ УСЛОВИЯХ

Examination of the possibility of estimation of the size of stress-corrosion defects by non-destructive testing methods. Approaches to categorizing pipes with defects in field conditions

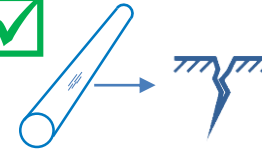
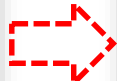
А.А. Каверин, И.В. Ряховских, А.В. Липовик



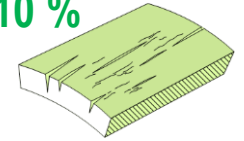
170 000 км МГ
в составе ГТС ПАО «Газпром»
170 000 km. buried gas pipelines



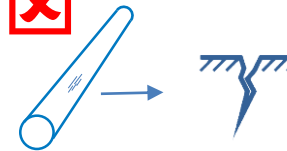
110 тыс. км (65 %)
трубопроводов ГТС
эксплуатируются **более 20 лет**
находятся в зоне риска КРН
из-за износа защитных покрытий
110 000 km. SCC risk



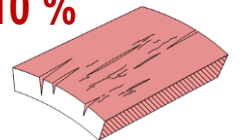
≤ 10 %



Повреждение КРН с глубиной < 10% от
толщины стенки труб
SCC with depth < 10% of wall thickness



> 10 %



Повреждение КРН с глубиной > 10% от
толщины стенки труб
SCC with depth > 10% of wall thickness

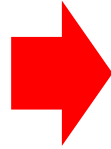
Определение максимальной глубины трещин в колонии КРН (в настоящее время) Determining the maximum depth (currently)

Вихретоковая дефектоскопия,
магнитопорошковый контроль
Eddy current NDT, magnetic particle inspection

Контролируемая шлифовка,
магнитопорошковый контроль, ВИК
Controlled grinding, magnetic particle inspection

Ультразвуковая
толщинометрия
Ultrasonic thickness measurement

1



2



3



?

Подготовлено: **более 100 образцов**
> 100 pipe samples

Отобрано: **63 образца труб с КРН:**
63 SCC pipe samples

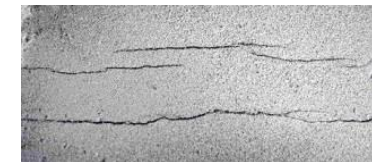
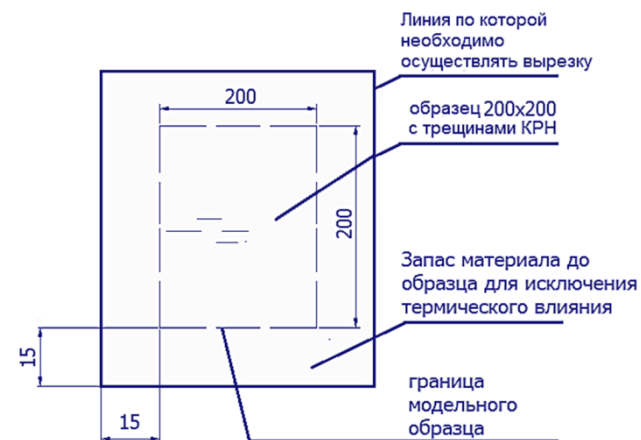
Размеры (size) : 200x200÷400x600 мм

Трещины : глубина 0,1÷10,0 мм
плотность 1÷15 ед./см²

cracks: depth 0,1÷10,0mm
density 1÷15 U/cm²

сталь: класс X60÷X70
толщ. стенки 9,0÷18,7 мм

steel: grade X60÷X70
wall thickness 9,0÷18,7mm





Приборы НК:
 ультразвуковые (**УЗК**) дефектоскопы (2 прибора);
 электропотенциальный (**ЭП**) трещиномер:
 - 2 типа датчиков (1x4, 2x2)

вихретоковых (**ВК**) дефектоскопы,
 с различным типом преобразователей (ВТП)
 - ВТП с $D > 10$ мм
 - ВТП с $D 5-10$ мм
 - ВТП с $D < 5$ мм



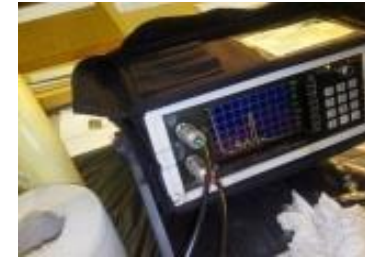
NDT tools

2 ultrasonic
 2 electric potential (**EP**)
 eddy current with 10 transducers

- sensors $D > 10$ mm
- sensors $D 5-10$ mm
- sensors $D < 5$ mm



Ультразвуковой модель
 A1550
 Частота 7,5 мГц
 Ultrasonic
 Model A1550
 Frequency 7,5 MHz
 S-wave



Ультразвуковой
 модель Скаруч
 Частота 5,5 мГц
 Ultrasonic
 Model Skaruch
 Frequency 5,5 MHz
 S- and P-wave



Электропотенциал.
 модель 281M
 2 x2 4x1
 Electric potential.
 Model 281M



Вихретоковый
 модель ВД1
 датчик - Ø2мм, - Ø8мм
 Eddy current
 Model VD-1



Вихретоковый
 модель ВД-70
 Частота 70 кГц
 Eddy current
 Model VD-70
 Frequency 70 KHz



Вихретоковый
 модель ВИД-345
 датчик 25x25мм
 Eddy current
 Model VID-345
 sensor 25x25mm



Вихретоковый
 модель ВД-90 НП
 датчик - Ø1,8мм
 датчик - Ø4,5мм
 Eddy current
 Model VD-90



Вихретоковый
 модель ВИД-100
 датчик - Ø1,5мм
 датчик - Ø3,0мм
 Eddy current
 Model VID-100

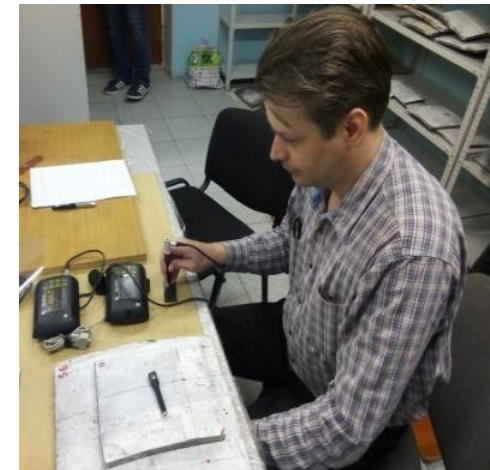


105 точек контроля
5 замеров в каждой точке
более 7600 замеров

7600 measurements

105 control points

5 measurements in each point



Металлографические исследования образцов из темплетов

Metallographic study of template samples

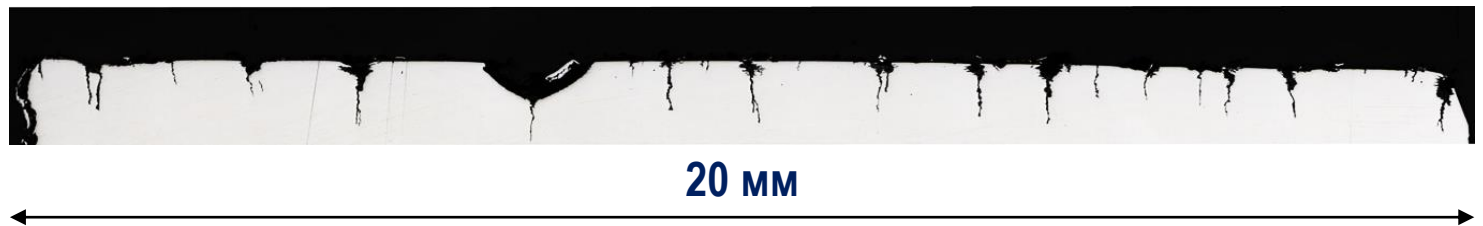
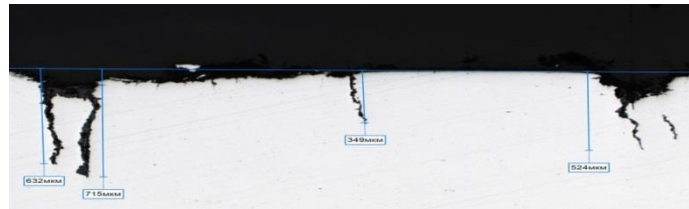


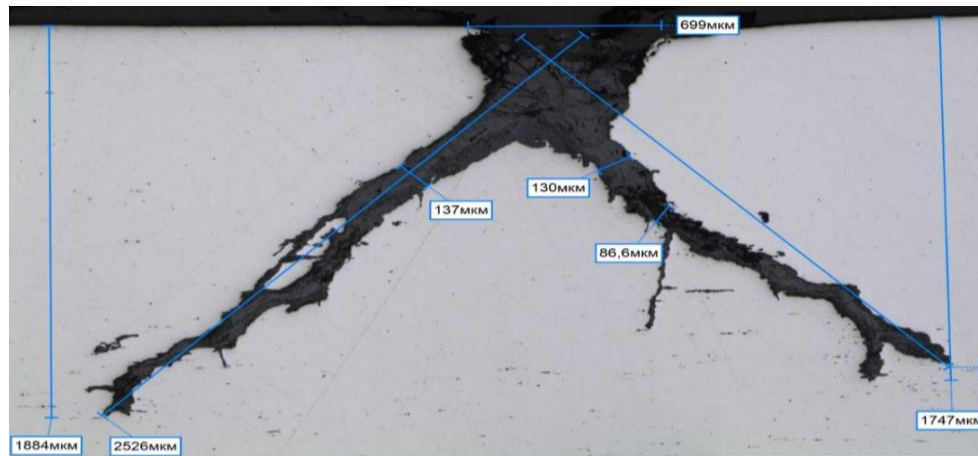
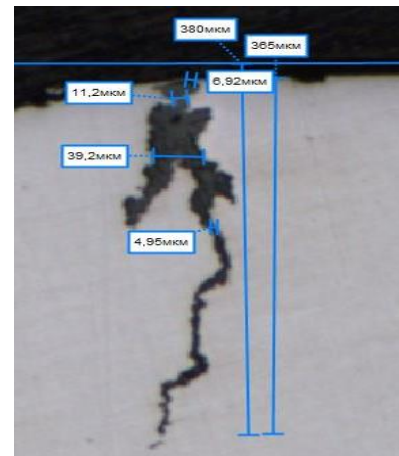
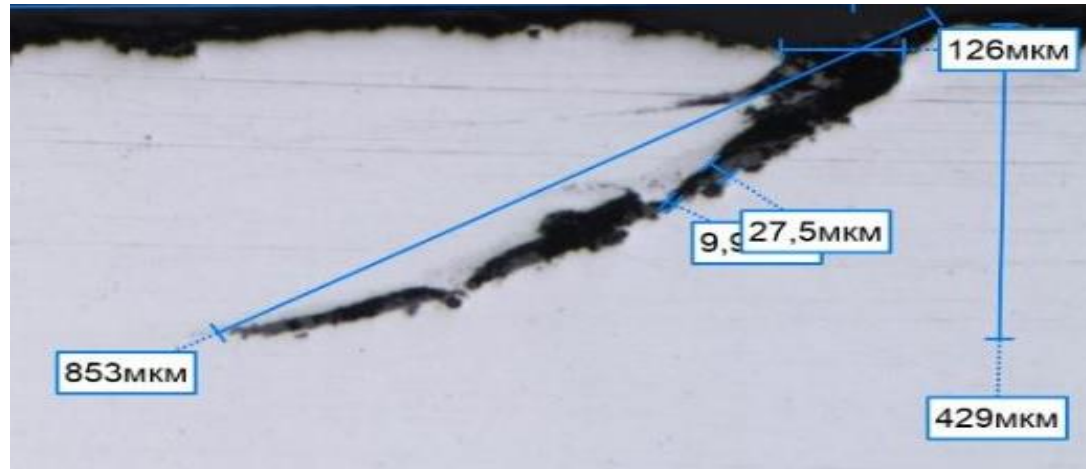
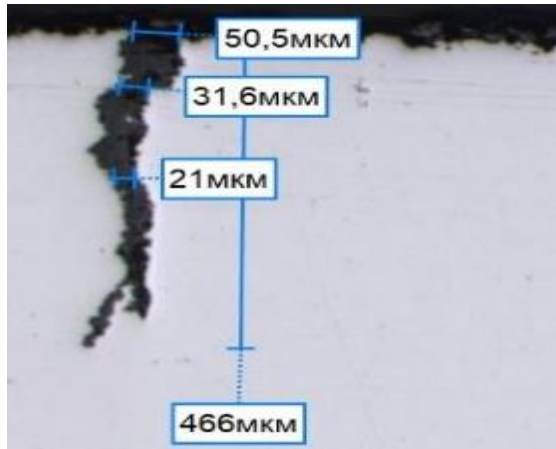
Характеристики темплетов:

- Структура и хим. состав
- Плотность трещин, шт./мм
- Глубины трещин, мм

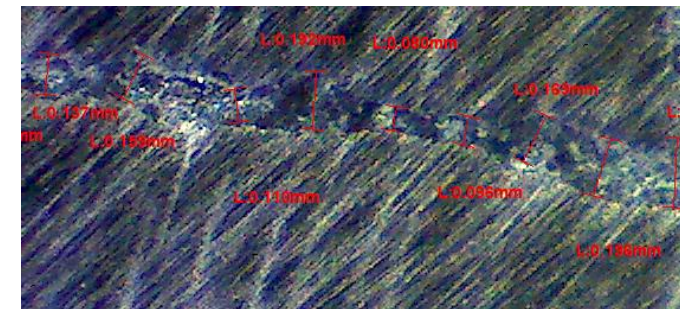
Template parameters:

- Structure and chemical composition
- Crack density, pcs/mm
- Crack depth, mm





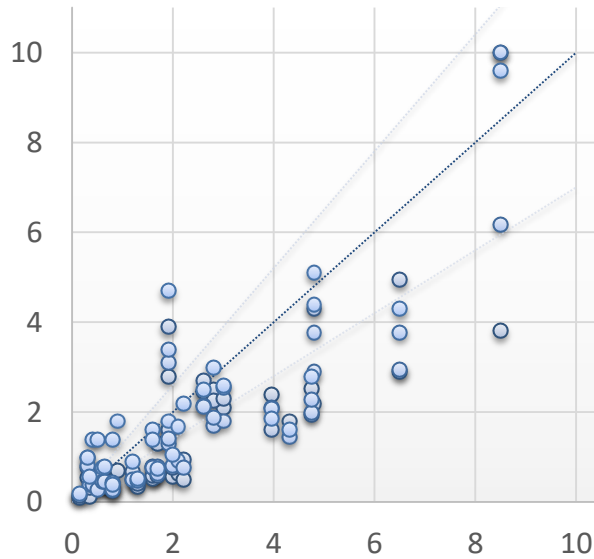
Оптический микроскоп
МИКМЕД
Optical microscope MICMED



Сопоставление фактической глубины трещин КРН от измеренной с применением средств НК Comparison of the actual SCC crack depth with a value measured by NDT

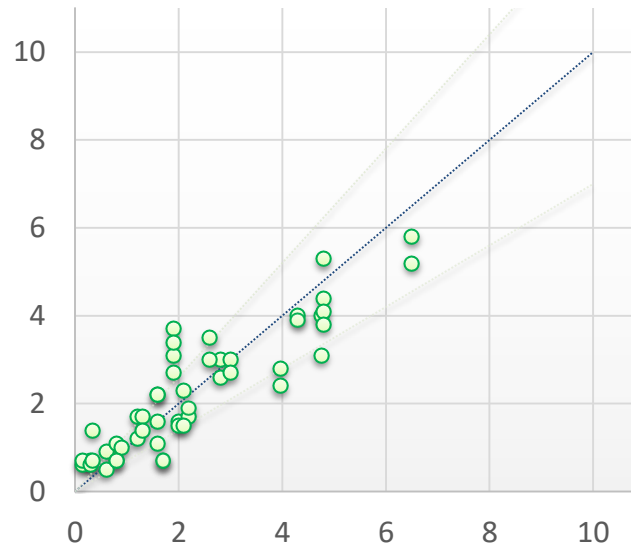
Вихретоковые дефектоскопы (ВК)
Eddy current crack detector (EC)

Измеренная глубина трещин КРН прибором НК, мм
SCC depth as indicated by the tool, mm



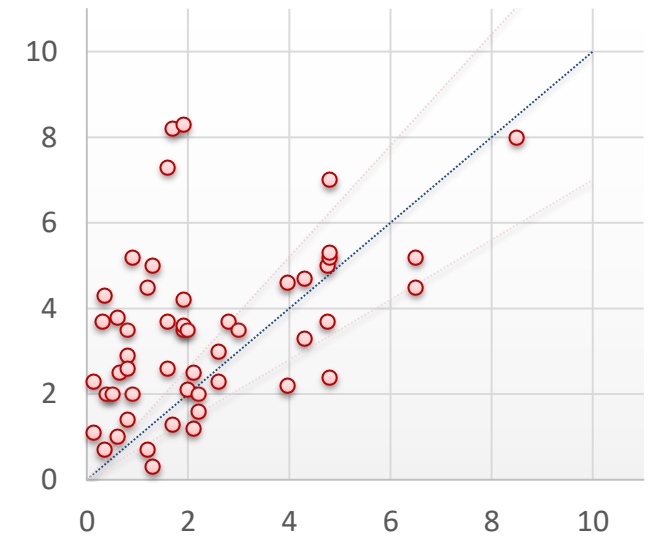
Глубина трещин КРН по результатам металлографии, мм
SCC depth according to metallography h, mm

Электропотенциальные трещиномеры (ЭП)
Electric potential crack gauge (EP)



Глубина трещин КРН по результатам металлографии, мм
SCC depth according to metallography h, mm

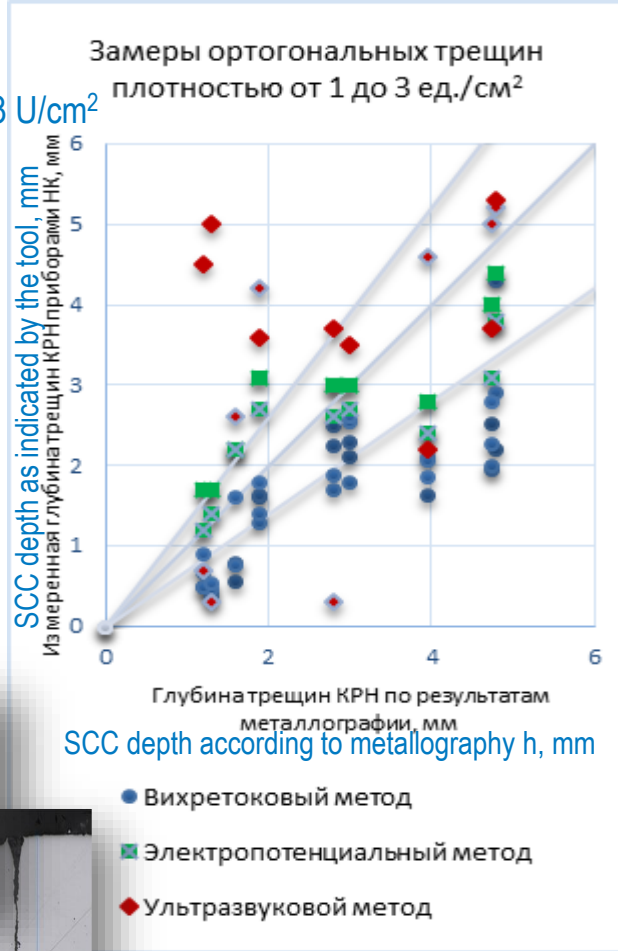
Ультразвуковые дефектоскопы (УЗК)
Ultrasonic (US) detectors



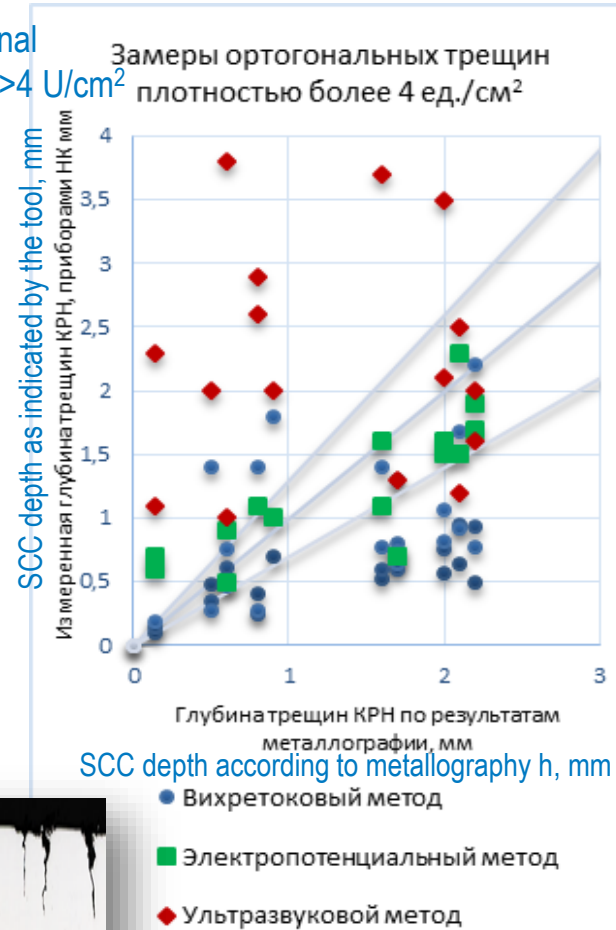
Глубина трещин КРН по результатам металлографии, мм
SCC depth according to metallography h, mm

Сопоставление фактической глубины трещин КРН от измеренной с применением средств НК Comparison of the actual SCC crack depth with a value measured by NDT

cracks:
orthogonal
density 1-3 U/cm²

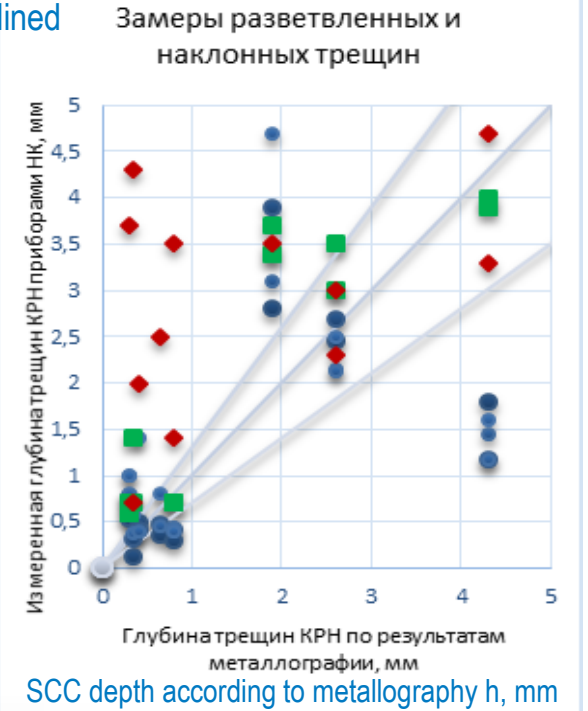


cracks:
orthogonal
density >4 U/cm²



cracks:
inclined

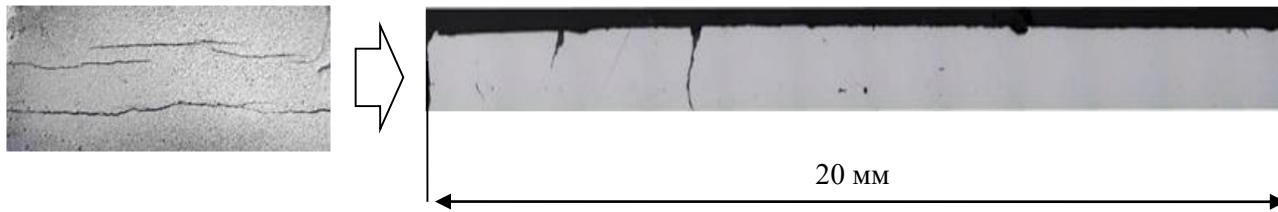
SCC depth as indicated by the tool, mm



Зоны повреждения КРН с различной плотностью трещин



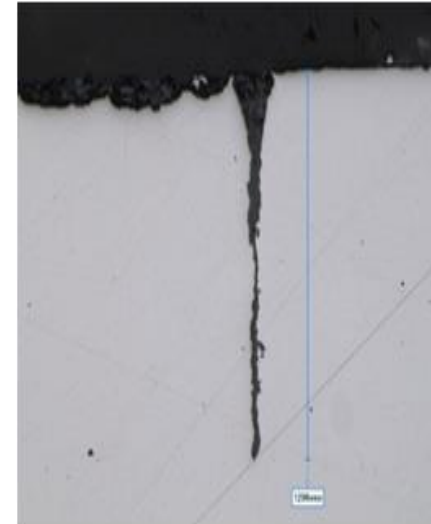
а) зона повреждения КРН с высокой плотностью трещин - погрешность при оценке глубины трещины до 50 % при контроле с применением ВТП $D < 5$ мм и до 65% с ВТП $D > 10$ мм;
 (sensors $D < 5$ mm EC - error from the actual depth $< 50\%$
 sensors $D > 10$ mm EC - error from the actual depth $< 65\%$)
 до 40 % для электропотенциальных трещиномеров.
 (electric potential - error from the actual depth $< 40\%$)



б) зона повреждения КРН с невысокой плотностью трещин, не приводящая к существенной погрешности при оценке глубины дефекта КРН приборами НК (не более 30 %)

$< 30\%$ error from the actual depth

Зоны повреждения КРН с различной ориентацией трещин по глубине



а) форма трещины КРН, не приводящая к существенной погрешности при оценке глубины дефекта КРН приборами НК (не более 30 %)
 $< 30\%$ error from the actual depth



б) форма трещины КРН, оказывающая существенное влияние на оценку глубины дефекта КРН приборами НК (более 30 %)
 $> 30\%$ error from the actual depth

Способ оценки условных размеров дефектов КРН

method for estimating the depth of the SCC

1. Результат измерений глубины дефектов КРН приборами НК, среднеарифметическое значение измерений \tilde{h}
the measurement result

$$\tilde{h} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i$$

2. Оценка глубины дефектов КРН с учетом погрешности приборов НК в зависимости от \tilde{h} и соответствующих δ
to estimate the depth of cracks

$$h_{max} = \tilde{h} + \tilde{h} \times \frac{(+\delta)}{100} \quad h_{min} = \tilde{h} - \tilde{h} \times \frac{|-\delta|}{100}$$

3. Классификация дефектов КРН по результатам оценки их глубины

№ п/п	Класс дефекта КРН Class of SCC	Условие подразделения дефектов КРН (condition)
1	Незначительное повреждение Minor damage	$h_{max} \leq h_{доп}$
2	Дефект требует уточнения The defect requires clarification	$h_{min} < h_{доп} < h_{max}$
3	Недопустимый дефект Invalid defect	$h_{min} \geq h_{доп}$

Экспериментально установленные относительные погрешности измерений приборов НК при измерении глубин трещин КРН
(Validity of results ($\pm\delta$ %))

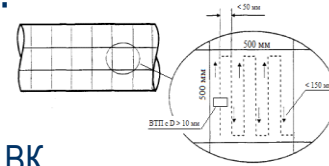
Диапазон изм. значения глубины дефекта КРН (\tilde{h}) прибором НК, мм (measuring range)	ВК (Eddy current) ВТП D >> 10 мм		ВК (Eddy current) ВТП D 5 ÷ 10 мм		ВК (Eddy current) ВТП D ≤ 5 мм		ЭПК (Electric potential)	
	- δ , %	+ δ , %	- δ , %	+ δ , %	- δ , %	+ δ , %	- δ , %	+ δ , %
от 0 до 0,5	-	205	50	100	40	65	-	210
от 0,5 до 1,0	60	200	50	90	40	60	45	30
от 1,0 до 1,5	45	60	45	45	45	40	40	35
от 1,5 до 2,0	60	65	45	60	45	55	40	40
от 2,0 до 2,5	50	65	50	30	50	30	20	20
от 2,5 до 3,0	55	60	45	35	45	45	20	30
от 3,0 до 3,5	40	-	40	-	40	-	20	35
от 3,5 до 4,0	60	-	40	-	50	-	30	-
более 4,0	60	-	50	-	55	-	15	-

Методические указания к проведению НК в трассовых условиях при капитальном ремонте для определения условных размеров дефектов КРН

Practical recommendations

1. Визуальный осмотр и ВК - поиск дефекта на контр. участке трубы:

- ВК проводят в динамическом режиме работы вихретоковых дефектоскопов ВТП с плоской рабочей поверхностью $D \gg 10$ мм;
- определяют условные границы, ориентацию дефекта и зоны с максимальными значениями ВК.
(visual inspection, Eddy current sensors $D > 10$ mm)



Незначительное поврежд.

$$h_{max} \leq h_{доп}$$

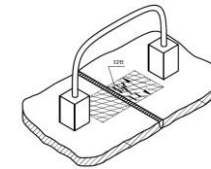
Недопустимый дефект

$$h_{min} \geq h_{доп}$$

ранжируют
~ 60 %
дефектов КРН

2. МПК (200×200 мм)- визуализация и идентификация типа дефекта

- (продольный, поперечный дефект КРН).
(controlled grinding, magnetic particle inspection)



Требует уточнения

$$h_{min} < h_{доп} < h_{max}$$

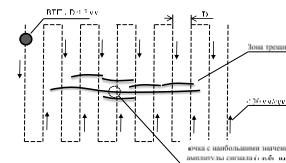
СТО Газпром 2-2.3-760-2013

3. ВИК - длина, ширина и координаты дефекта КРН на трубе.

(visual inspection)

4. ВК, ЭПК - оценка глубины дефектов КРН:

- ВК в статическом режиме работы вихретоковых дефектоскопов ВТП «карандашной конструкции» с $D \leq 5$ мм и/или ЭПК
(visual inspection, Eddy current sensors $D < 5$ mm)



Незначительное поврежд.

$$h_{max} \leq h_{доп}$$

Недопустимый дефект

$$h_{min} \geq h_{доп}$$

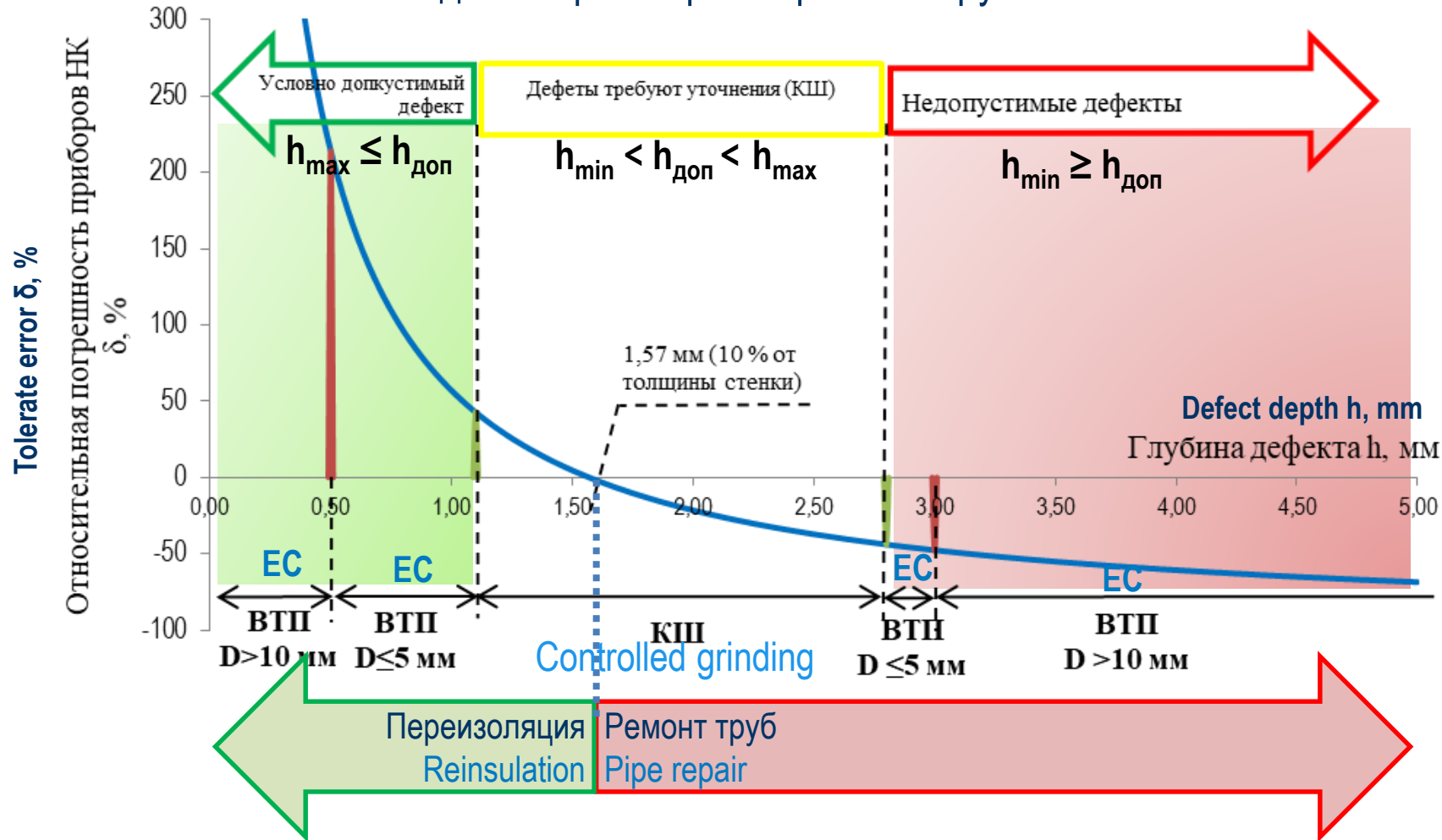
ранжируют
~20 %
дефектов КРН

5. Контролируемая шлифовка «граничных» дефектов КРН:

Controlled grinding

КШ
~20 %
дефектов КРН

Методы контроля при отбраковке труб с КРН < 10%



Для труб
диаметром 1420 мм
толщ. стенки 15,7 мм
класса X70

For pipes
diameter 1420 mm
wall thickness 15,7 mm
grade X70

1. Определено влияние параметров трещин КРН, характеризующихся различной плотностью, глубиной, раскрытием и пространственной ориентацией по толщине стенки трубы, на оценку их глубин приборами НК.
The influence of the parameters of cracks (SCC) on the assessment of their depths by NDT tools devices is determined
2. Установлены предельные погрешности измерений глубины дефектов КРН приборами НК, для ряда диапазонов фактических глубин трещин в колонии.
The limiting errors of measuring the depth of SCC by NDT tools devices are established.
3. Результаты исследований позволили разработать методику ранжирования выявленных дефектов КРН, оптимизирующую объемы НК и затраты на контролируемую шлифовку труб в процессе категорирования и отбраковки труб при капитальном ремонте МГ.
The results of the research made it possible to develop a methodology for ranking the detected SCC.
4. Полученные результаты исследований, представляют практическое значение при автоматизации процесса технического диагностирования и категорирования труб с применением диагностических комплексов при трассовом ремонте протяженных участков МГ.
The obtained research results are of practical importance in automating the process of technical diagnostics of the pipeline.



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ
THANK YOU!