



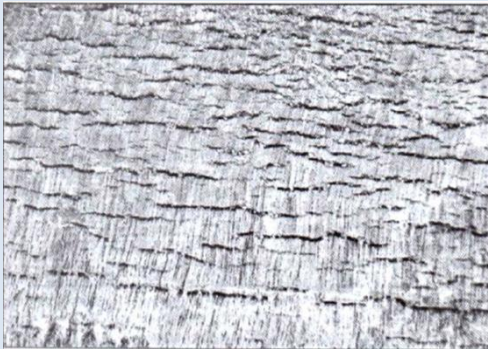
## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВЫЯВЛЕНИЯ ФРАГМЕНТОВ ТРУБ, ПРЕДРАСПОЛОЖЕННЫХ К КРН**

Михалев А. Ю.

Москва  
2015

## Актуальность темы

### Непредсказуемый характер стресс-коррозионных процессов



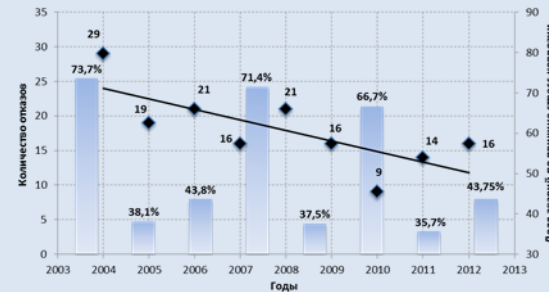
Невозможно достоверно прогнозировать места возникновения и время развития дефектов КРН от незначительных до критических

### Сложности в диагностировании стресс-коррозии



Современные средства диагностики могут быть использованы не на всех трубопроводных системах, дефекты глубиной менее 15(20)% не выявляются или не идентифицируются

### Необходимость разработки мероприятий по предупреждению КРН при реконструкции и сооружении



Старение существующих газотранспортных систем и увеличение протяженности ЕСГ за счет ввода в эксплуатацию новых систем, распространение КРН на технологические газопроводы и нефтепроводы

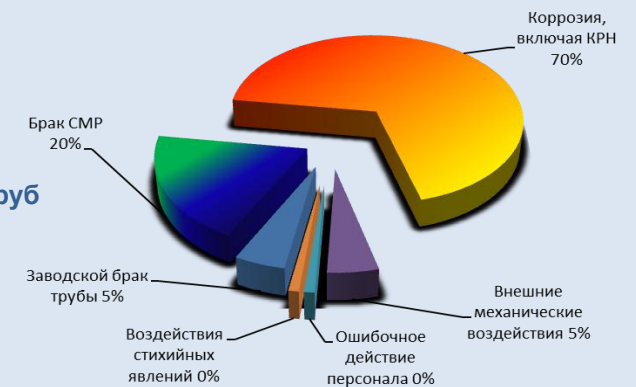
### Повышение эффективности выбраковки труб повторного применения



Разработка дополнительных критериев для минимизации количества случаев отправки труб категории В на труборемонтные заводы



### Необходимость разработки новых и совершенствование существующих методов диагностирования состояния металла труб



Распределение аварий на магистральных газопроводах по причинам



## Анализ распределения продольно ориентированных дефектов\*

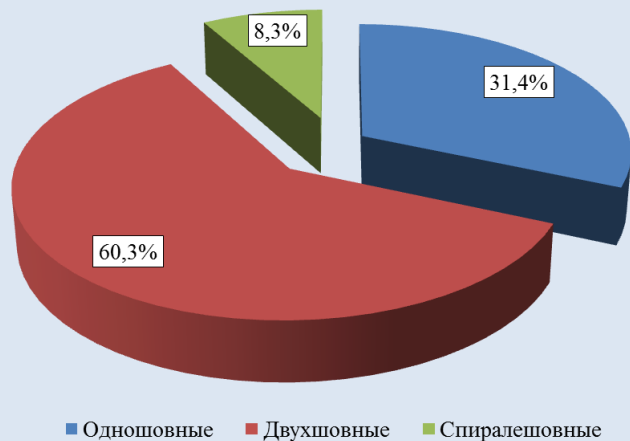
Распределение продольно ориентированных дефектов по типу



Выявление дефектов разного типа



Распределение дефектов по типу труб



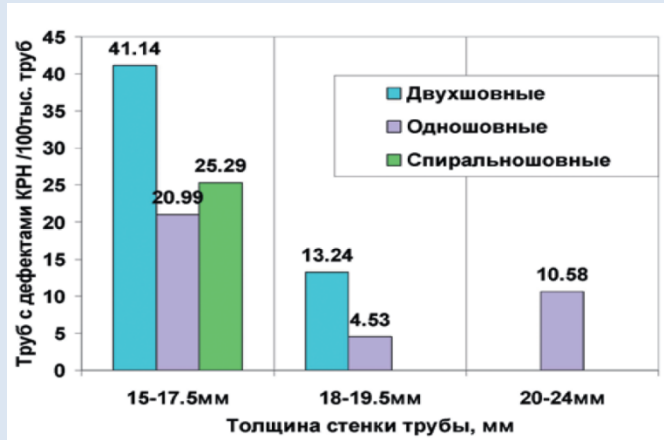
\* - для анализа приняты данные ВТД за 15-летний период диагностирования по одному газотранспортному предприятию (Северный коридор), общая протяженность продиагностированных участков ≈ 25,5 тыс. км, общее количество продольно ориентированных дефектов ≈ 46 тыс. штук.



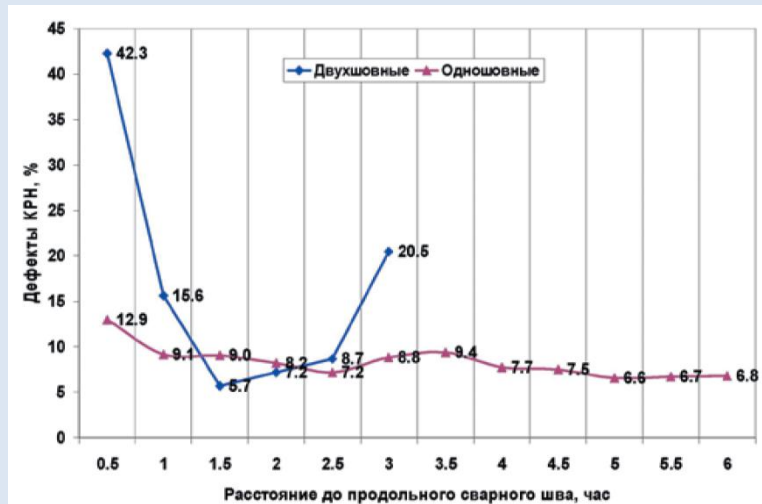
## Распределение стресс-коррозионных дефектов по поверхности труб

Результаты исследований Стеклова О. И.  
(газотранспортные системы Западной Сибири)

Выявление типа труб, наиболее подверженных КРН

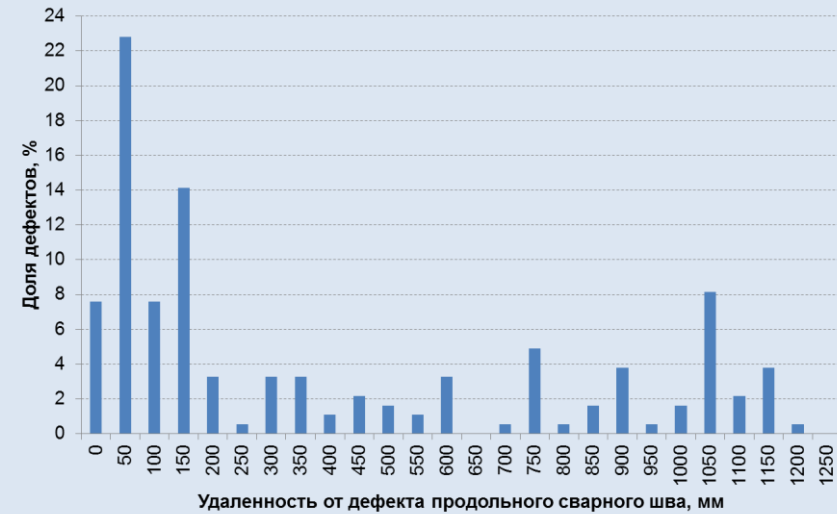


Расстояние дефектов типа КРН до сварного шва для разных типов труб (толщина стенки 15,7 мм)



Результаты исследований ЦПНД ОАО «Гипрогазцентр»  
(газотранспортные системы Центральной части)

Двухшовные трубы



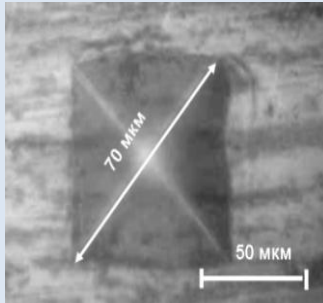
Одношовные трубы



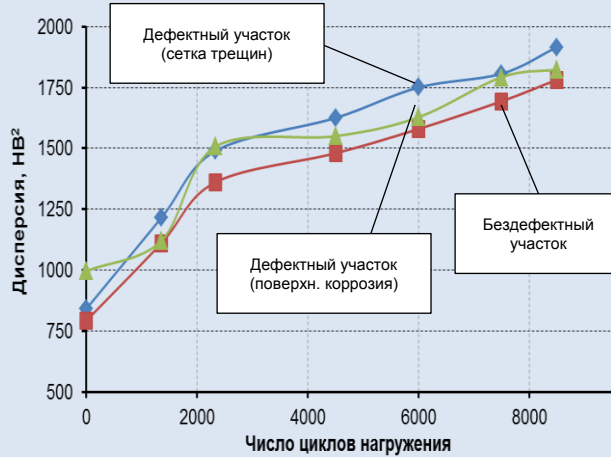


# Оценка функционального состояния металла труб дефектного участка

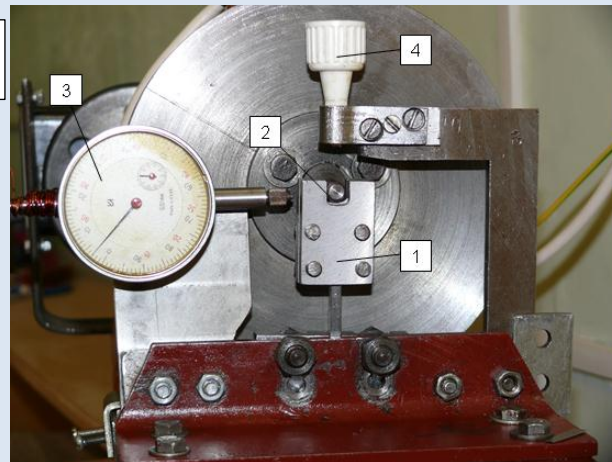
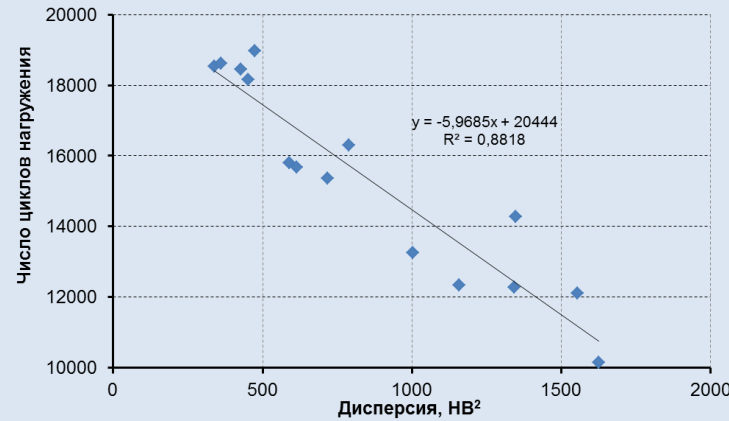
Метод реализуется путем многократного измерения твердости с малой нагрузкой (ТМН) с последующей статистической обработкой результатов. В качестве основного показателя используется дисперсия ТМН.



## Приращение дисперсии ТМН металла трубного элемента полноразмерного стэнда (диаметр 1420 мм)

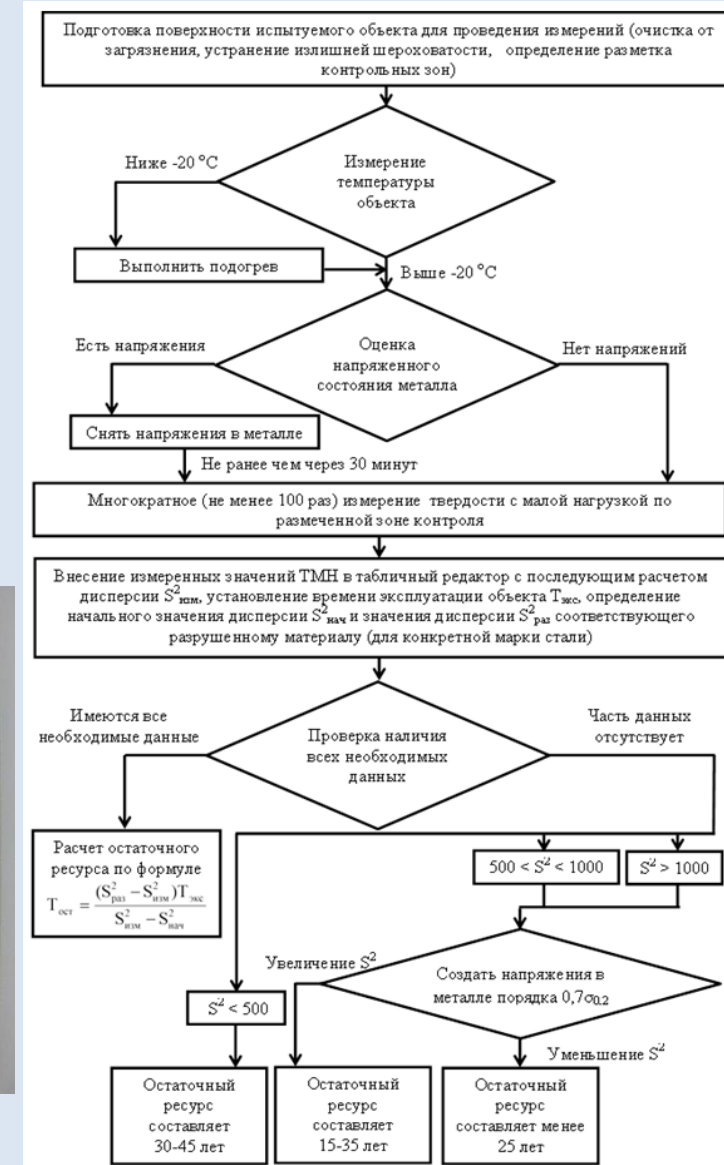


## Зависимость числа циклов нагружения образцов до разрушения от дисперсии ТМН

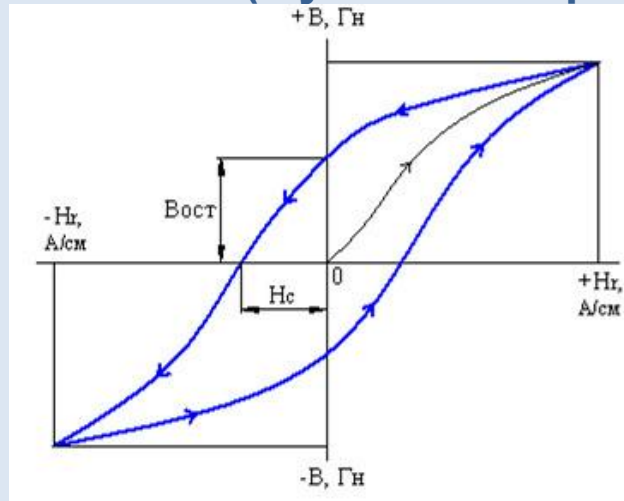


1 – образец с насадкой; 2 – нагрузочный палец; 3 – индикатор контроля амплитуды отклонения; 4 – емкость для подачи смазки

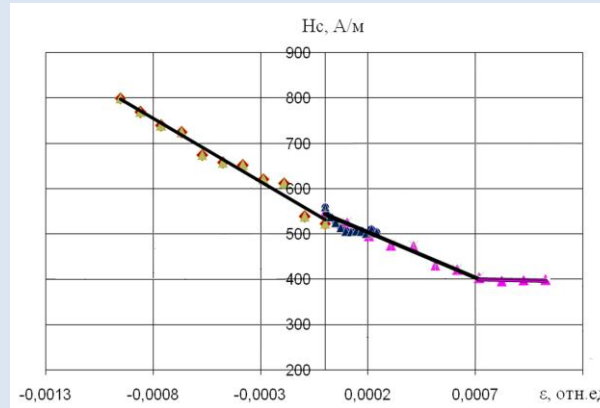
## Оценка остаточного ресурса металла труб



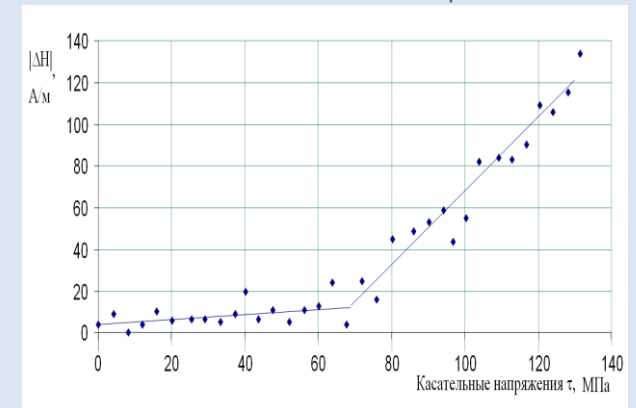
## Оценка состояния металла труб по результатам измерения коэрцитивной силы (с учетом напряженно-деформированного состояния)



Изменение коэрцитивной силы металла от величины деформаций в металле



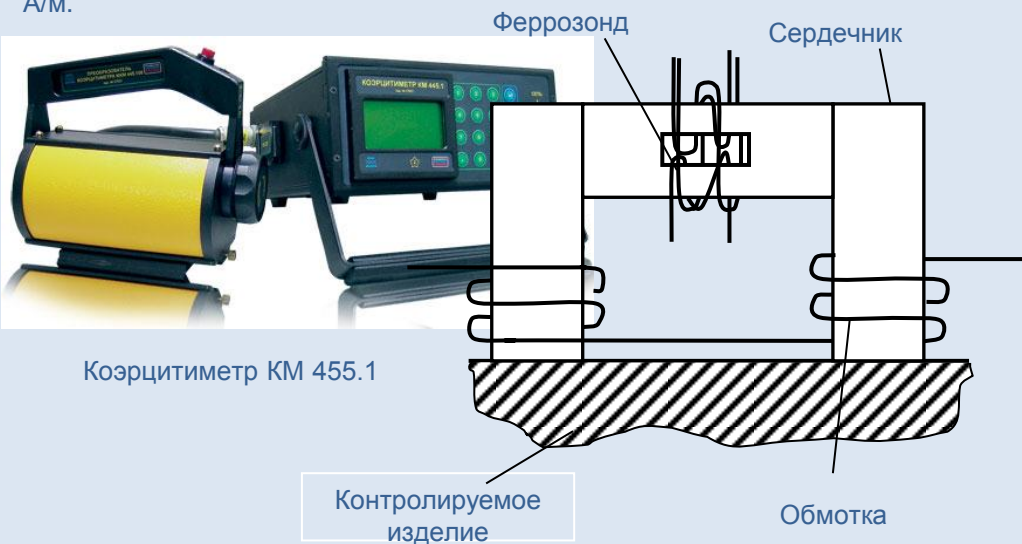
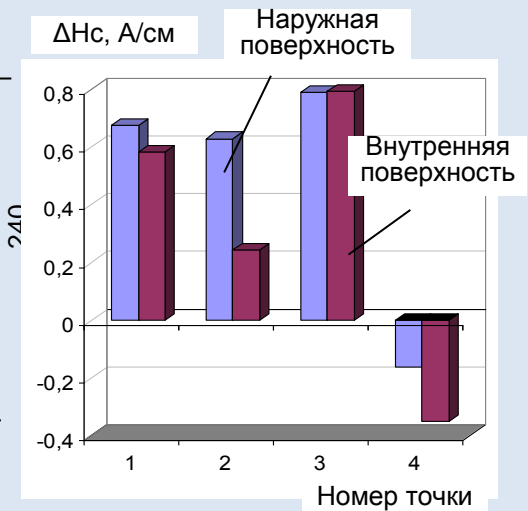
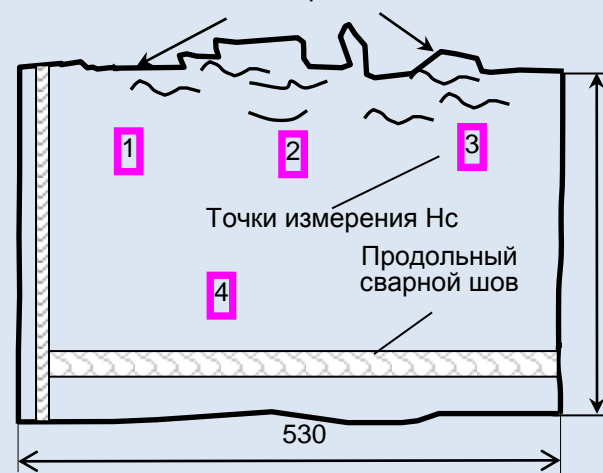
Изменение коэрцитивной силы металла от величины касательных напряжений



**Коэрцитивная сила,  $H_c$**  – напряженность внешнего магнитного поля, которое необходимо приложить к предварительно намагниченному до насыщения ферромагнетику, чтобы довести до нуля индукцию магнитного поля внутри. Единица измерения – А/м.

### Отклонения значений коэрцитивной силы на поврежденных участках (по материалам диссертации Александра Ю. В.)

Очаговая трещина КРН



Коэрцитиметр KM 455.1

Контролируемое изделие

Обмотка



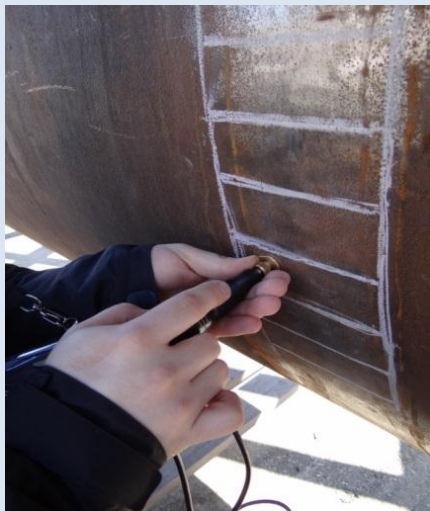
## Оценка изменения свойств металла по окружности трубы

Испытательный стенд на полигоне  
ОАО «Гипрогазцентр»



### Характеристики стенда

- диаметр – 1420 мм;
- 8 катушек, вырезанных из труб разного типа;
- толщина стенки от 16,1 до 19,3 мм;
- трубы эксплуатировались с разным типом изоляции.



Размеченные участки контроля для измерений по окружности трубы (50x100 мм)

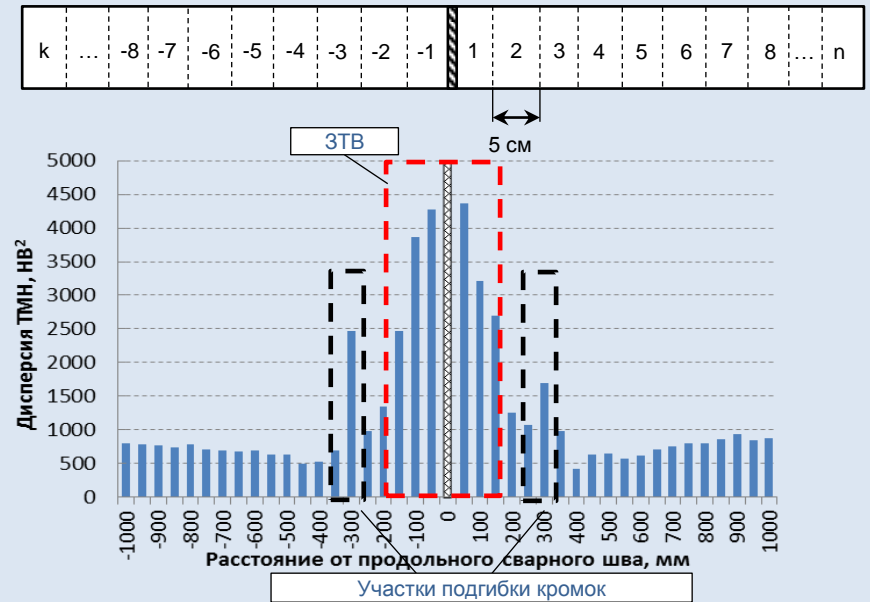


Размеченные участки контроля для измерений в зоне термического влияния (10x100 мм)



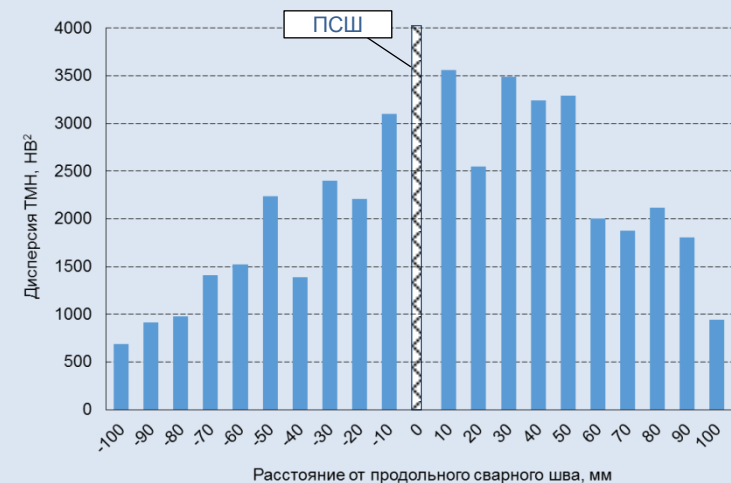
Результаты измерений по окружности трубы

(около 5000 измерений ТМН)



Детализированная оценка свойств металла зоны термического влияния сварного шва

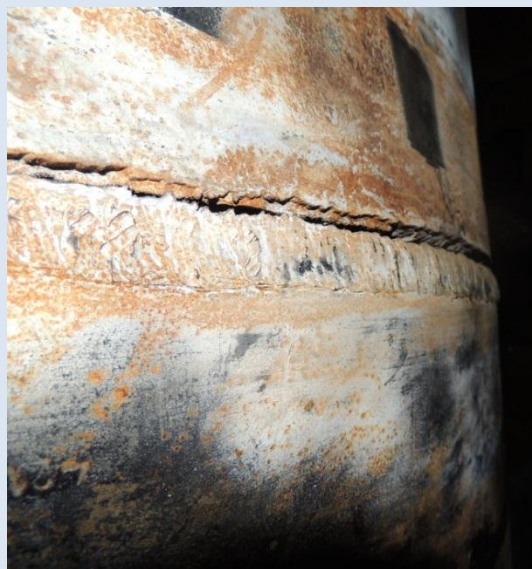
(около 5000 измерений ТМН)



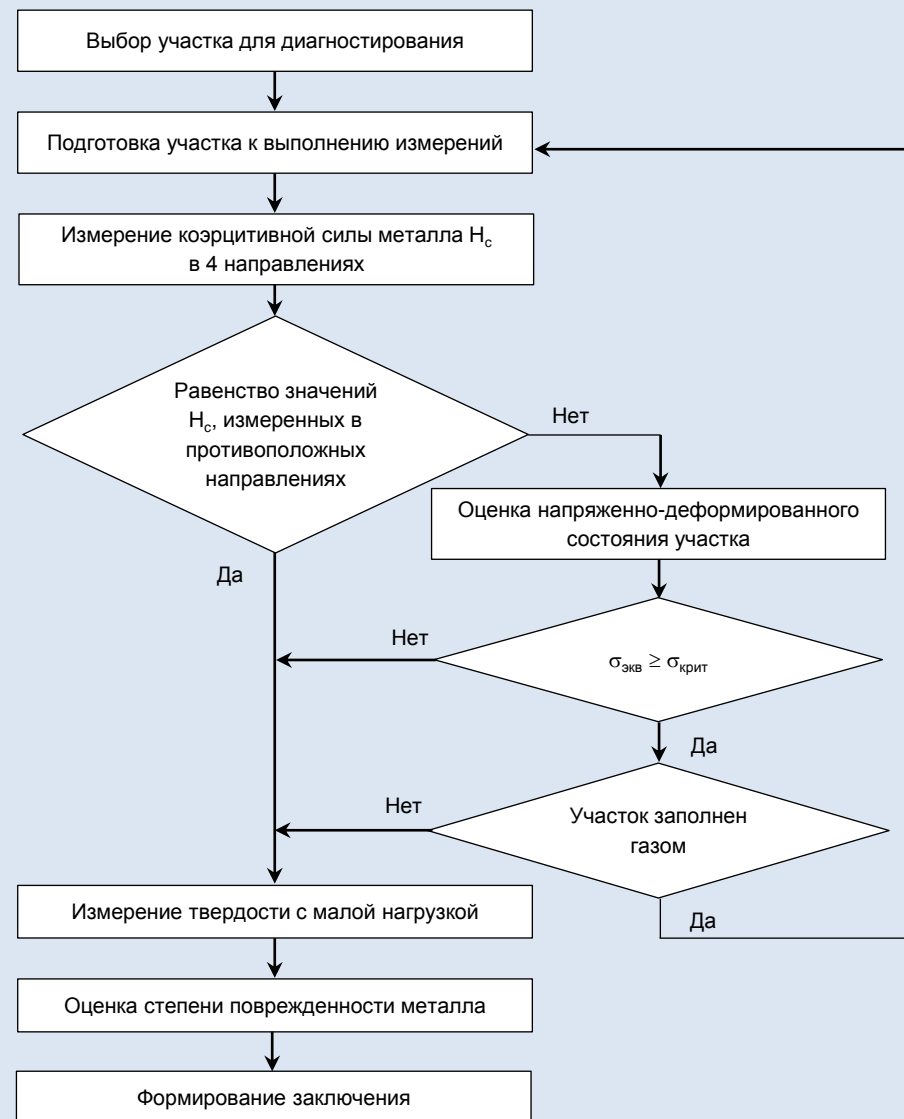


## Оценка свойств металла поврежденных труб (1)

Подводный переход через реку Волга  
(диаметр 1420, срок эксплуатации порядка 30 лет)



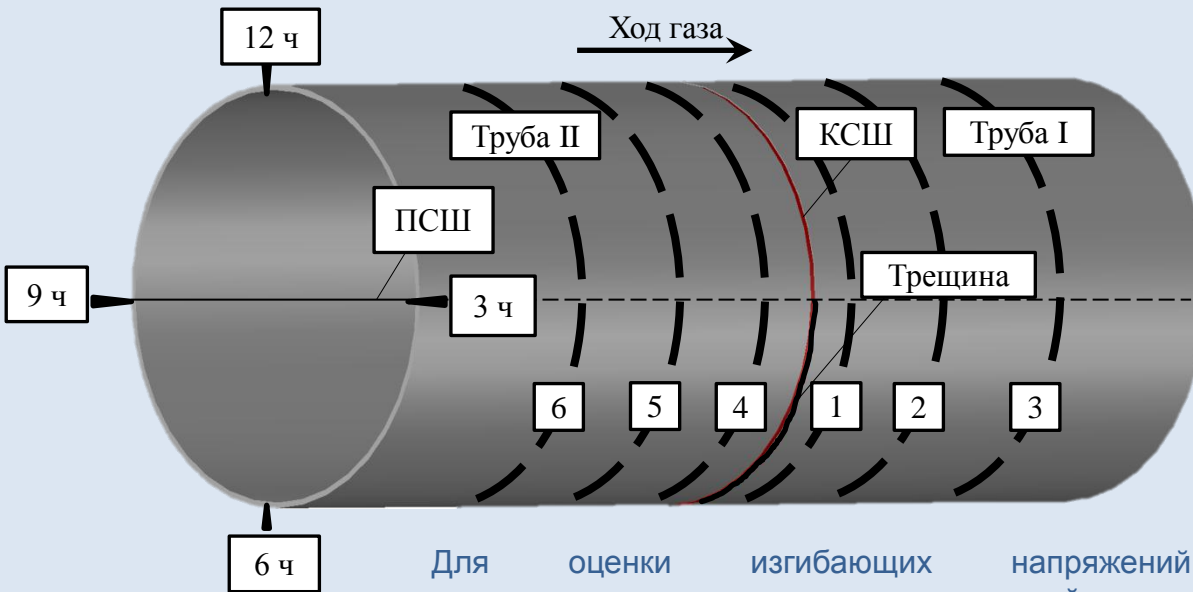
### Порядок проведения исследований





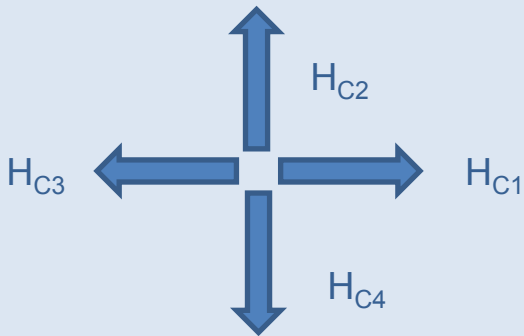
## Оценка свойств металла поврежденных труб (2)

Результаты оценки действующих напряжений



Для оценки изгибающих напряжений определяется анизотропия коэрцитивной силы,  $\Delta H_c^{изг}$ , А/м:

$$\Delta H_c^{изг} = \frac{H_{C2} + H_{C4}}{2} - \frac{H_{C1} + H_{C3}}{2}$$



Для оценки тангенциальных напряжений использовалась разность коэрцитивной силы, измеренной в продольном направлении,  $\Delta H_c^{\tau}$ , А/м:

$$\Delta H_c^{\tau} = |H_{C1} - H_{C3}|$$

Кольцевые напряжения, возникающие в процессе эксплуатации, МПа:

$$\sigma_{кц} = \frac{P \cdot D_{вн}}{2\delta} = \frac{7,4 \cdot 1,42}{2 \cdot 0,0187} \approx 273,5 \text{ МПа}$$

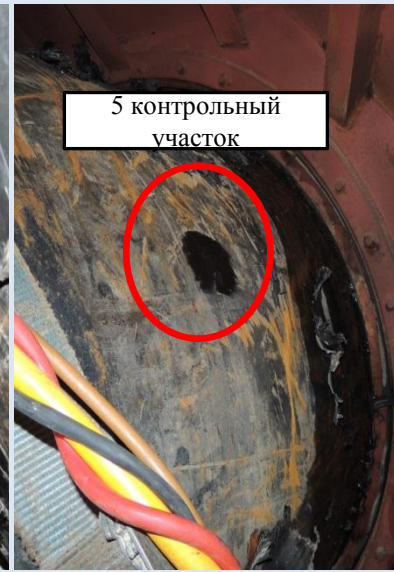
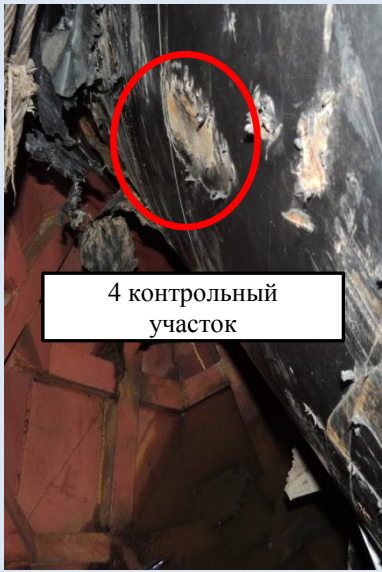
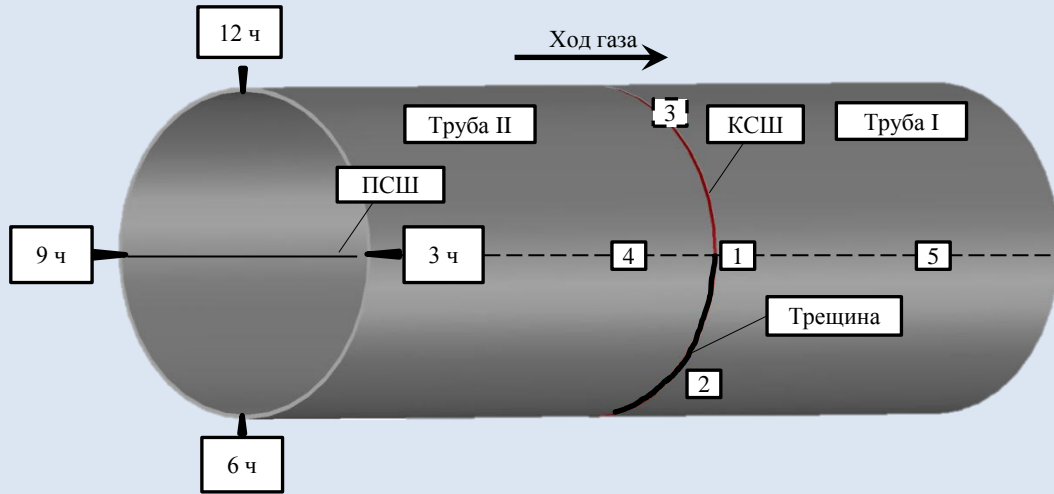
Сечение	Точка контроля, ч	$\Delta H_c^{изг}$ , А/м	$\sigma$ , МПа	$\Delta H_c^{\tau}$ , А/м	$\sigma_{\tau}$ , МПа
1	3	66,5	60	32	80
	6	91	90	9	40
	9	-92,5	-100	4	0
	11	-61,5	-70	39	80
	12	-32	-40	10	50
2	3	104	100	10	50
	9	-88	-95	1	0
	11	-61,5	-70	39	80
	12	-70,5	-80	23	70
3	3	71	70	1	0
	9	-81	-80	10	50
4	6	71	70	3	0
5	12	-45,5	-55	20	70
6	9	-106	-120	7	20

Результаты оценки эквивалентных напряжений (с учетом кольцевых)

Сечение	Точка контроля, ч	$\sigma$ , МПа	$\sigma_{\tau}$ , МПа	$\sigma_{эkv}$ , МПа	$\sigma_{эkv} / \sigma_{0,2}$
1	3	60	80	355	<b>0,87</b>
	6	90	40	370	<b>0,90</b>
	9	-100	0	100	0,24
	11	-70	80	95	0,23
	12	-40	50	50	0,12
2	3	100	50	380	<b>0,93</b>
	9	-95	0	95	0,23
	11	-70	80	90	0,22
	12	-80	70	100	0,24
3	3	70	0	345	<b>0,84</b>
	9	-80	50	100	0,24
4	6	70	0	345	<b>0,84</b>
5	12	-55	70	75	0,18
6	9	-120	20	120	0,29

## Оценка свойств металла поврежденных труб (3)

Результаты измерений



Участок контроля	Среднее значение твердости, НВ	Дисперсия твердости, НВ <sup>2</sup>
1	220	2988
2	179	3300
3	174	563
4	178	2133
5	220	2078





## Оценка свойств металла очагов КРН (1)

Объект капитального ремонта ЛЧ МГ  
(диаметр 1420 мм, срок эксплуатации около 30 лет)

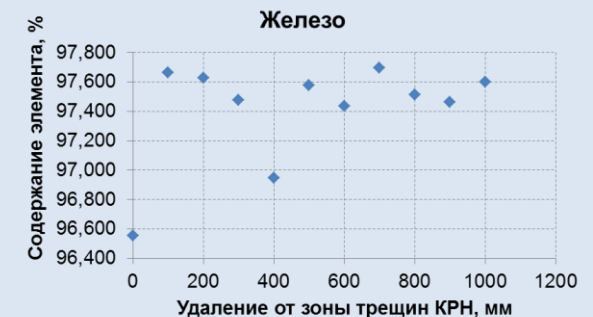
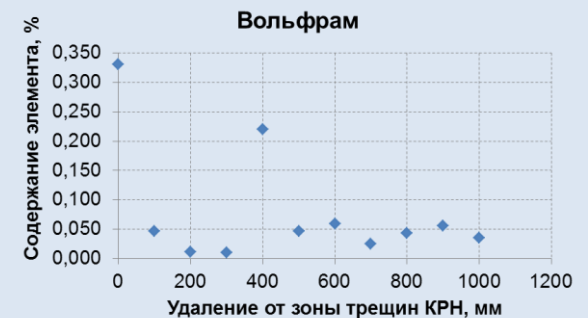
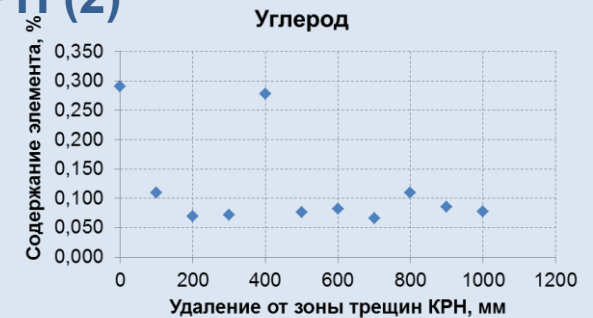
Порядок проведения исследований





## Оценка свойств металла очагов КРН (2)

### Определение химического состава



Сводная таблица результатов измерения

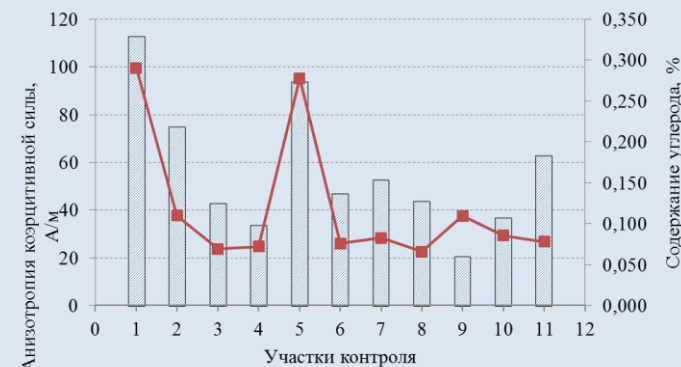
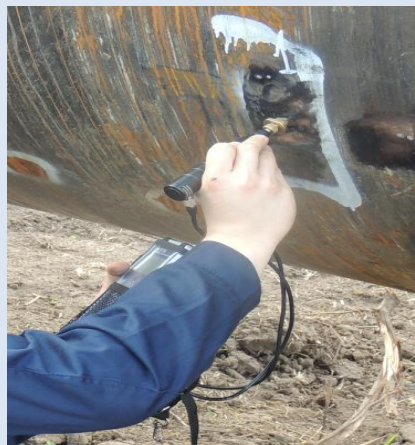
	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
C	<b>0,291</b>	0,110	0,069	0,072	<b>0,278</b>	0,076	0,083	0,066	0,110	0,086	0,078
Si	0,556	0,415	0,459	0,514	0,521	0,455	0,508	0,419	0,473	0,508	0,463
Mn	1,821	1,511	1,586	1,671	1,636	1,570	1,626	1,551	1,581	1,585	1,567
Cr	0,044	0,045	0,044	0,045	0,041	0,046	0,045	0,045	0,047	0,048	0,045
Mo	0,048	0,045	0,043	0,043	0,047	0,046	0,048	0,045	0,048	0,050	0,048
Ni	0,001	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001
Al	0,068	0,034	0,031	0,034	0,079	0,040	0,055	0,034	0,050	0,059	0,040
Cu	0,033	0,021	0,019	0,020	0,034	0,022	0,022	0,019	0,021	0,022	0,021
Ti	0,058	0,004	0,002	0,001	0,012	0,003	0,002	0,002	0,003	0,004	0,002
V	0,061	0,038	0,041	0,046	0,051	0,042	0,047	0,036	0,044	0,047	0,042
Nb	0,067	0,040	0,043	0,049	0,049	0,043	0,047	0,039	0,044	0,047	0,044
Co	0,019	0,021	0,024	0,019	0,017	0,019	0,012	0,019	0,013	0,015	0,014
Pb	<b>0,05</b>	0,006	0,000	0,004	<b>0,07</b>	0,016	0,016	0,005	0,012	0,014	0,005
W	<b>0,331</b>	0,047	0,011	0,010	<b>0,220</b>	0,046	0,059	0,025	0,043	0,055	0,035
Fe	<b>96,55</b>	97,664	97,628	97,475	<b>96,95</b>	97,578	97,434	97,697	97,513	97,463	97,598



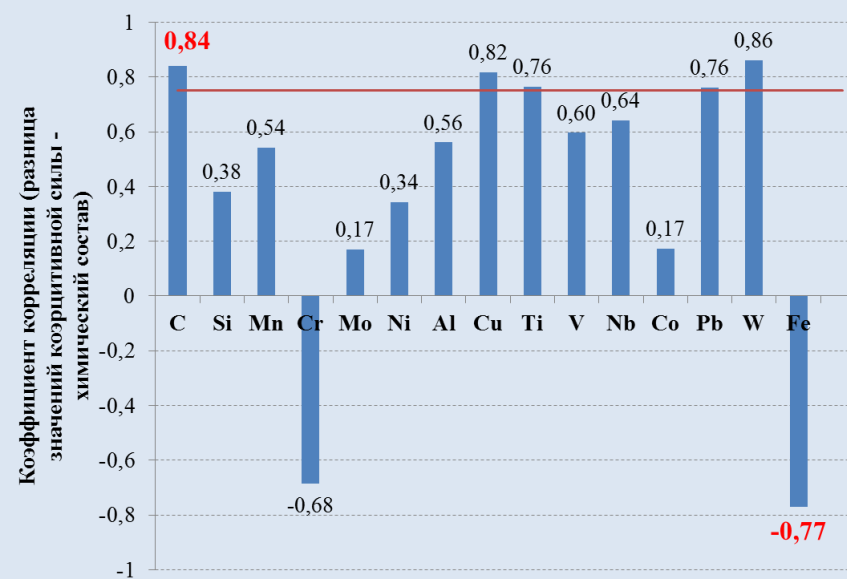
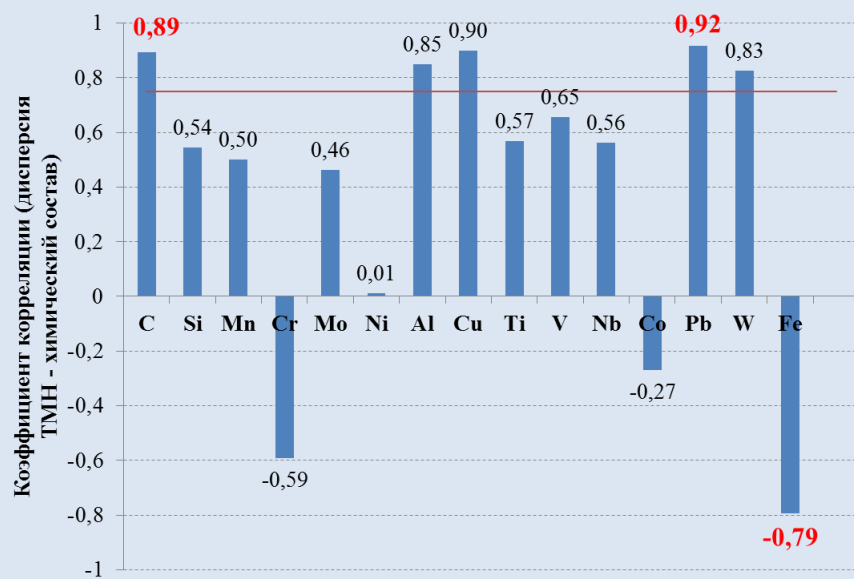
## Оценка свойств металла очагов КРН (3)

Оценка дисперсии ТМН

Оценка коэрцитивной силы



### Анализ результатов измерения



## Основные выводы

1. По результатам анализа отчетов о ВТД установлено, что продольно ориентированные дефекты (в частности, стресс-коррозионной природы) имеют особенности распределения по поверхности труб. Выявлены фрагменты труб, характеризующиеся повышенной вероятностью возникновения стресс-коррозионных дефектов.
2. По результатам экспериментальных исследований на полупромышленном стенде с применением метода оценки дисперсии ТМН установлено, что фрагменты труб, характеризующиеся повышенной вероятностью возникновения стресс-коррозионных дефектов, отличаются повышенными значениями дисперсии ТМН (1500 – 4000 НВ<sup>2</sup> при среднем значении по поверхности до 750 НВ<sup>2</sup>) и имеют локализацию.
3. По итогам измерений коэрцитивной силы и твердости с малой нагрузкой на фрагментах труб, содержащих дефекты усталостной и стресс-коррозионной природы установлено, что дефектные области характеризуются повышенными значениями дисперсии ТМН (до 3700 НВ<sup>2</sup>) и высокой разницей значений коэрцитивной силы, измеренных в разных направлениях (до 115 А/м).
4. Выявлена избыточная неоднородность химического состава поврежденных стресс-коррозией фрагментов, отмечается повышенное содержание углерода (до 3 раз) и свинца (в 5-7 раз), появление примесей вольфрама и меди, содержание которых возрастает от следов до 0,3%. С повышением содержания прочих элементов, пропорционально снижается содержание железа.
5. Установлена сильная связь между изменением химического состава поврежденных КРН участков и значениями дисперсии ТМН, а также разницы значений коэрцитивной силы (коэффициенты корреляции по ряду элементов превышают 0,75). Показано, что избыточная структурная неоднородность может выявлять общедоступными методами, не требующими узкоспециализированного оборудования.





**Спасибо за внимание!**

