

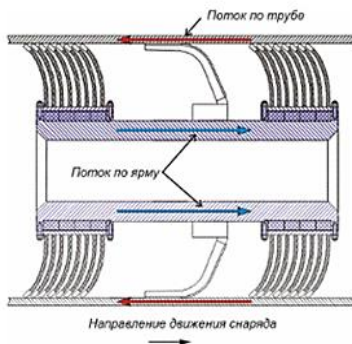
# Особенности выявления дефектов КРН различными средствами диагностирования и методами неразрушающего контроля.

ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

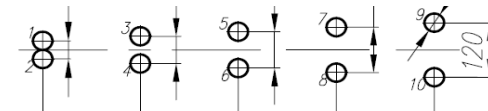
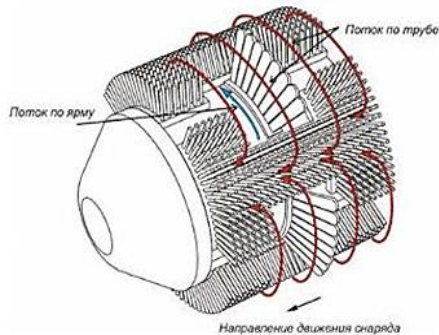
Лаборатория технической диагностики трубопроводов и оборудования

Зотов Дмитрий Андреевич

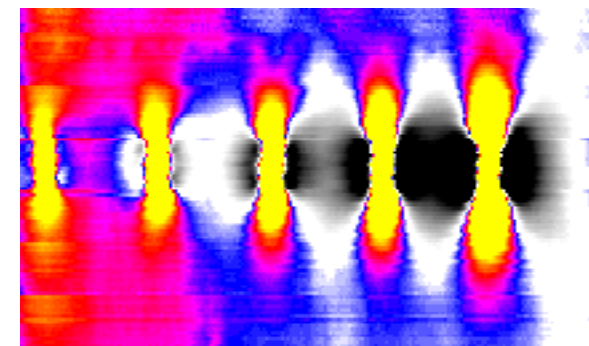
MFL (Продольное намагничивание)



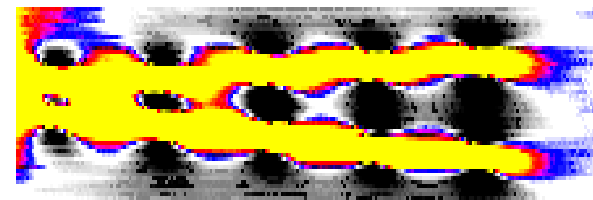
TFI (Поперечное намагничивание)



**MFL**



**TFI**



## Основные задачи ВТД

Выявление

Идентификация

Определение размеров

# Основные факторы, оказывающие влияние на выявляемость трещиноподобных дефектов и их связь с эксплуатационными требованиями к внутритрубным инспекционным приборам.

## Основные факторы, оказывающие влияние на выявляемость трещиноподобных дефектов внутритрубными инспекционными приборами

1. Геометрия трещиноподобных дефектов, скоплений трещин, и их местоположение

2. Мощность магнитной системы

3. Равномерность магнитного поля создаваемого внутритрубными дефектоскопами

4. Скорость внутритрубных инспекционных приборов при диагностировании

5. Быстродействие систем регистрации, датчики Холла

## Основные эксплуатационные требования ПАО «Газпром» к внутритрубным инспекционным приборам в соответствии с Р Газпром 2-2.3-919-2015

Напряженность магнитного поля в межполюсном промежутке:  
-12 кА/м—для MFL; 10 кА/м—для TFI.

Скорость магнитной дефектоскопии:  
Не более 4 м/с

Шаг опроса: не более 5 мм  
Расстояние между сенсорами: не более 5 мм

Обязательное наличие байпасного устройства

Наличие инерциальной навигационной системы

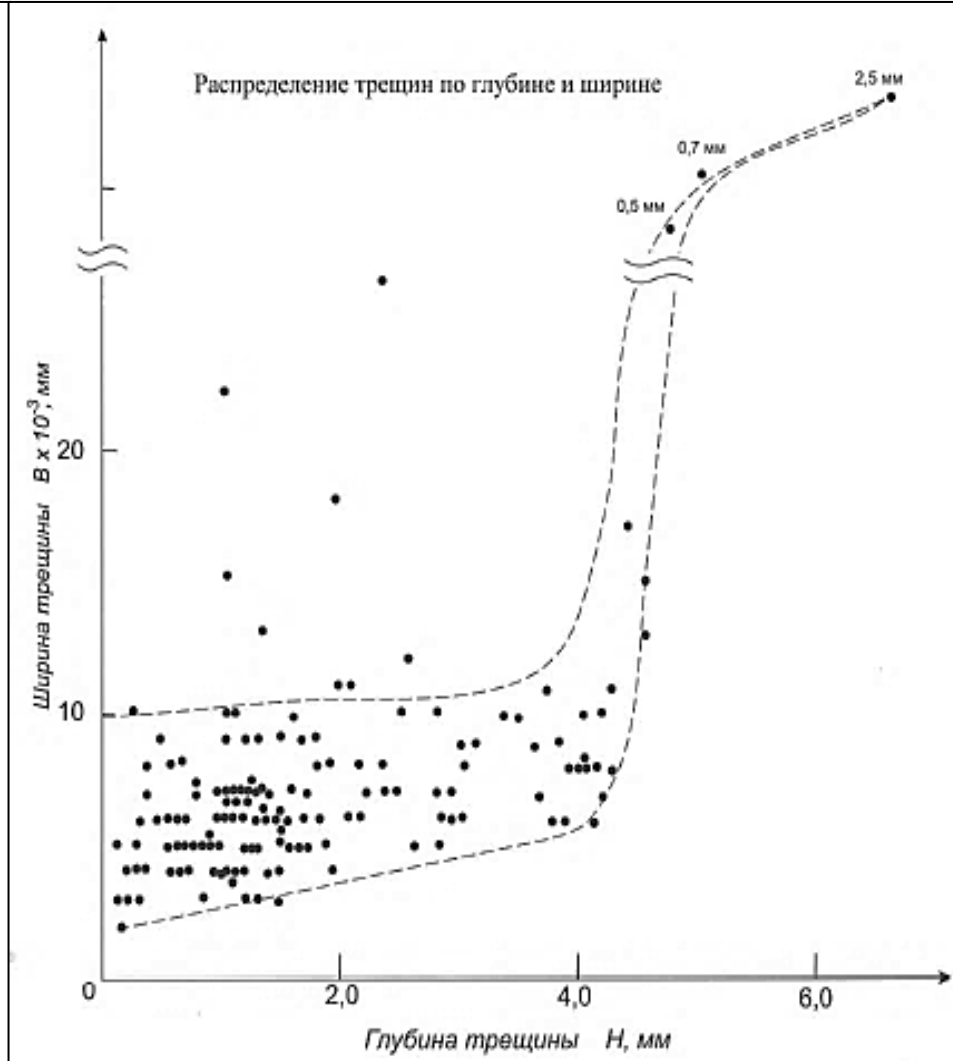
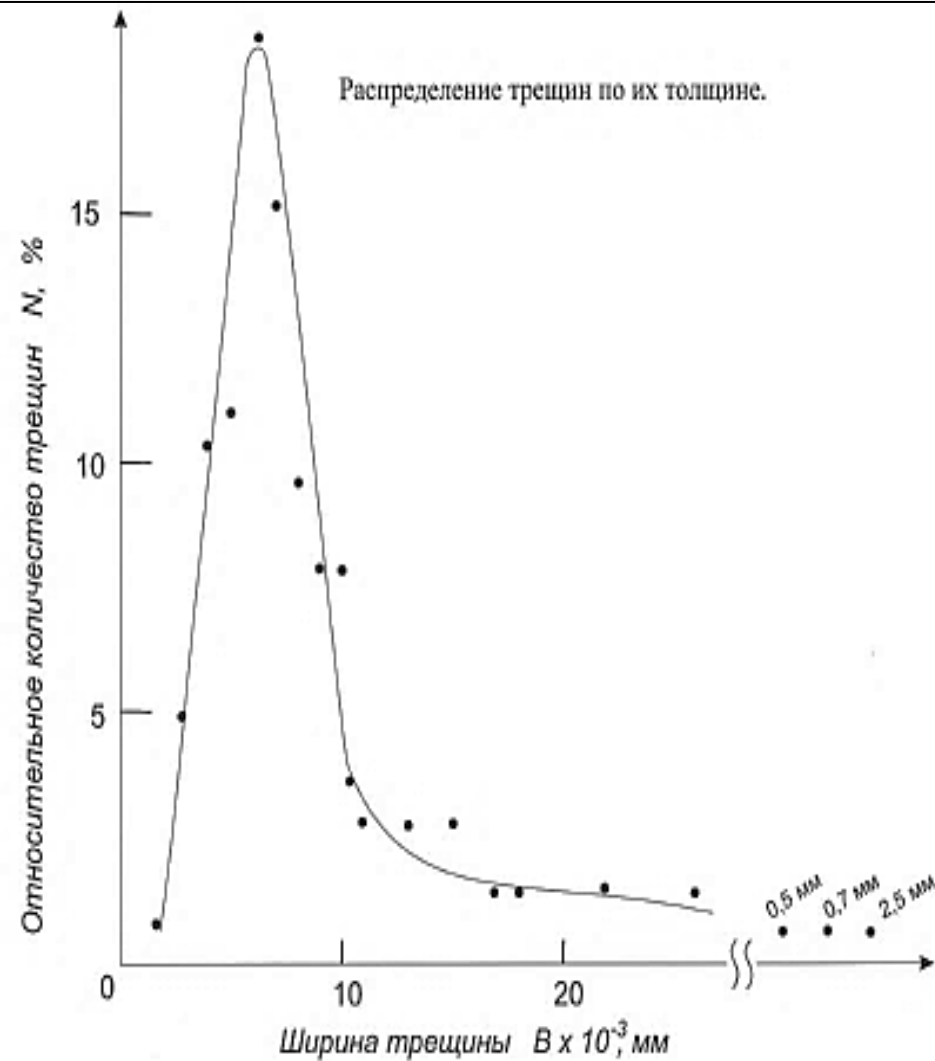
# 1. Влияние геометрических параметров и местоположения. Требования нормативных документов ПАО «Газпром».

Описание, характеристика дефекта	Параметры чувствительности оборудования для внутритрубной дефектоскопии, основанном на магнитном виде НК
	MFL+TFI
Одиночная трещина в основном металле трубы ( $S \geq 60$ мм)	0,2 t (раскрытие от 0,1 мм)
Трещина в зоне заводского сварного шва, направленная вдоль его оси ( $S \geq 60$ мм)	0,25 t (раскрытие от 0,1 мм)
Сетка продольных трещин ( $S \geq 80$ мм)	0,15 t (раскрытие отдельных трещин от 0,03 мм)
Сетка поперечных трещин ( $S \geq 80$ мм)	0,2 t (раскрытие отдельных трещин от 0,03 мм)

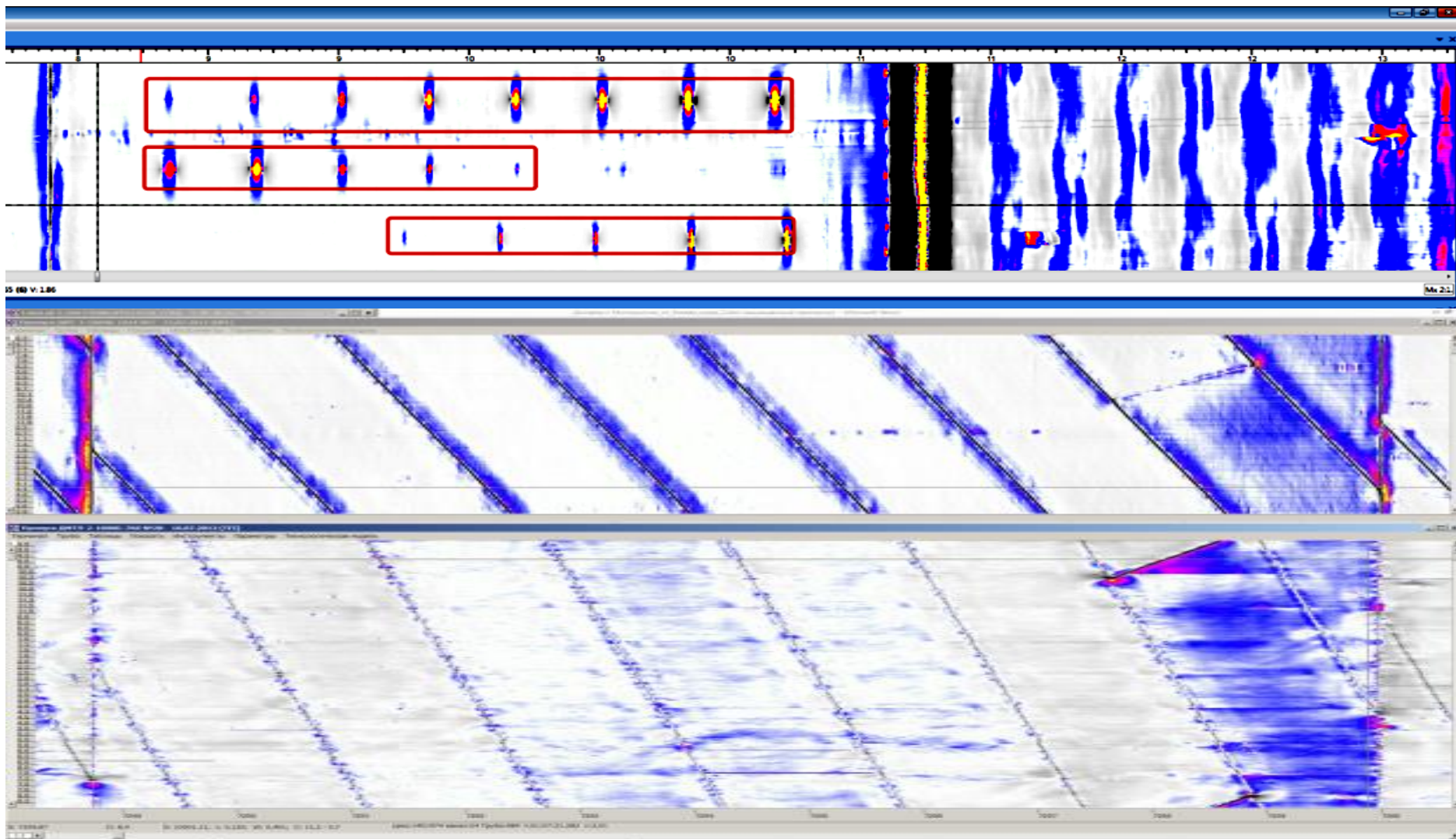
Примечание: t – толщина стенки трубы; S – протяженность дефекта

Пороги обнаружения глубины трещин и зон трещин, расположенных в зоне металлических пригрузов (хомутов пригрузов), в зонах влияния кольцевых и продольных сварных соединений, в зонах наличия опор, футляров, металлических муфт и других подобных особенностей составляют от 0,25 tст.

# 1. Влияние геометрических параметров и местоположения. Результаты исследований трещин КРН.

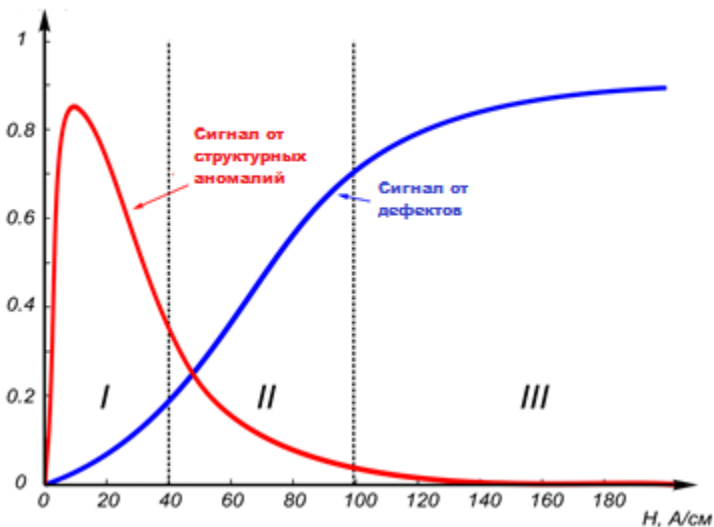


# 1. Влияние геометрических параметров и местоположения. *Испытания средств ВТД. Влияние фоновых шумов.*

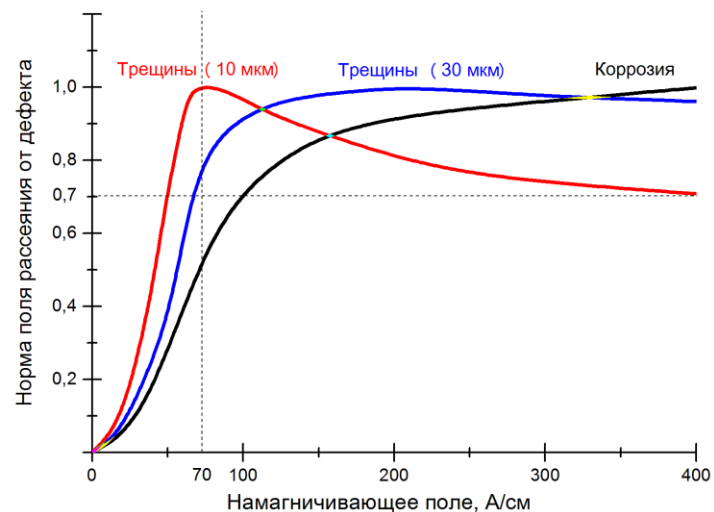
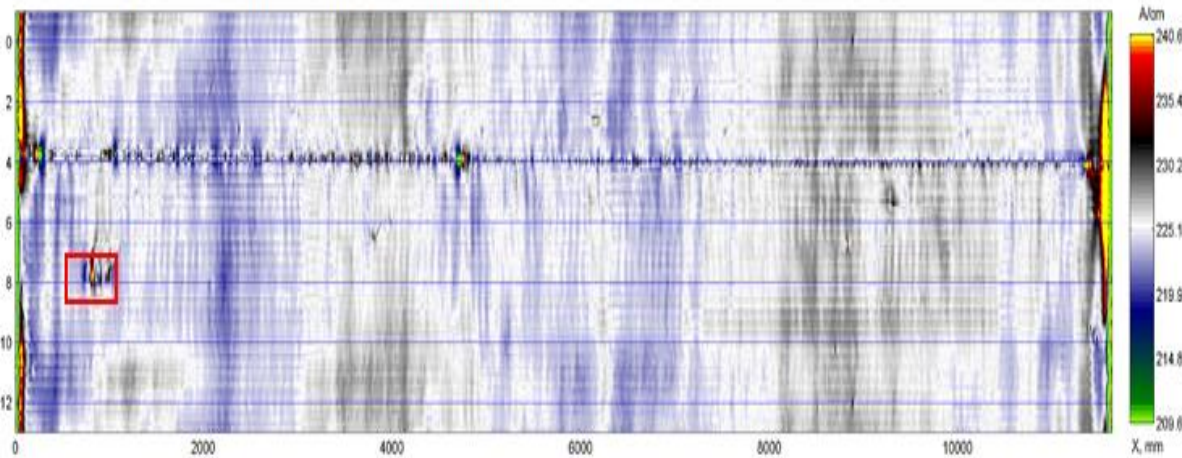




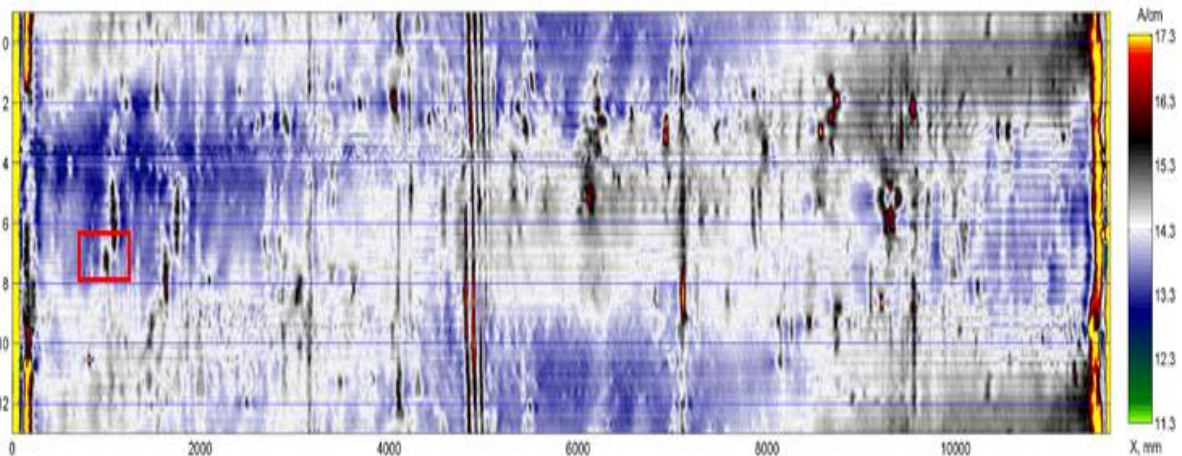
## 2. Влияние мощности магнитной системы на выявление дефектов. Соотношение сигнал-шум. Зависимость нормы поля рассеяния от дефектов от намагничивающего поля.



Снаряд продольного намагничивания (220 А/см)



Снаряд продольного намагничивания (15 А/см)



## 2. Влияние мощности магнитной системы на выявление дефектов. Влияние поля на контролируемый диапазон толщин стенок труб.

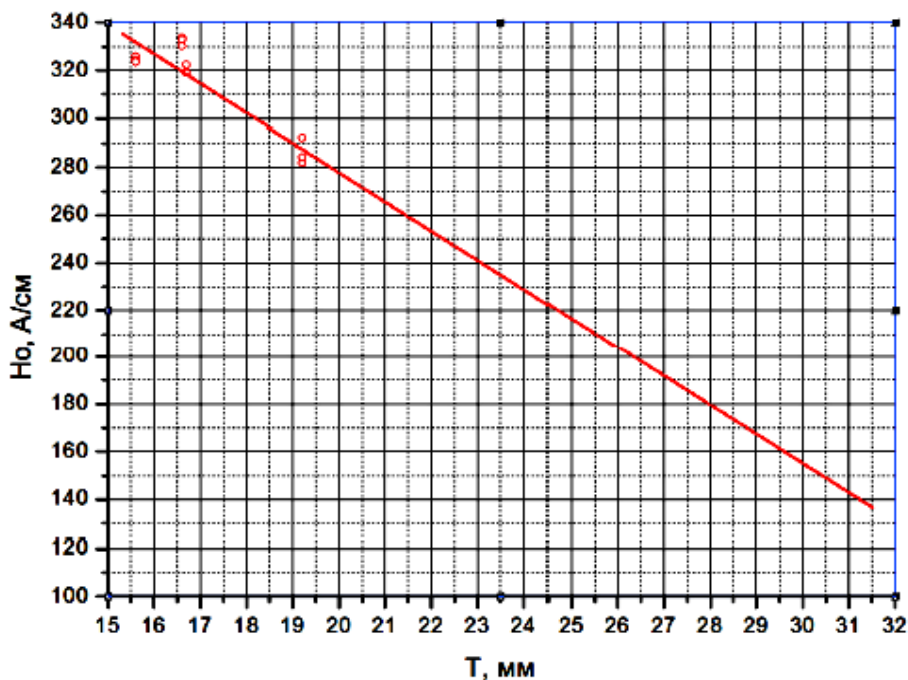


График зависимости величины напряженности намагничивающего (фонового) поля от толщины стенки трубы, полученный по данным протяжек №1-3 внутритрубного инспекционного прибора ДМТБ-1400

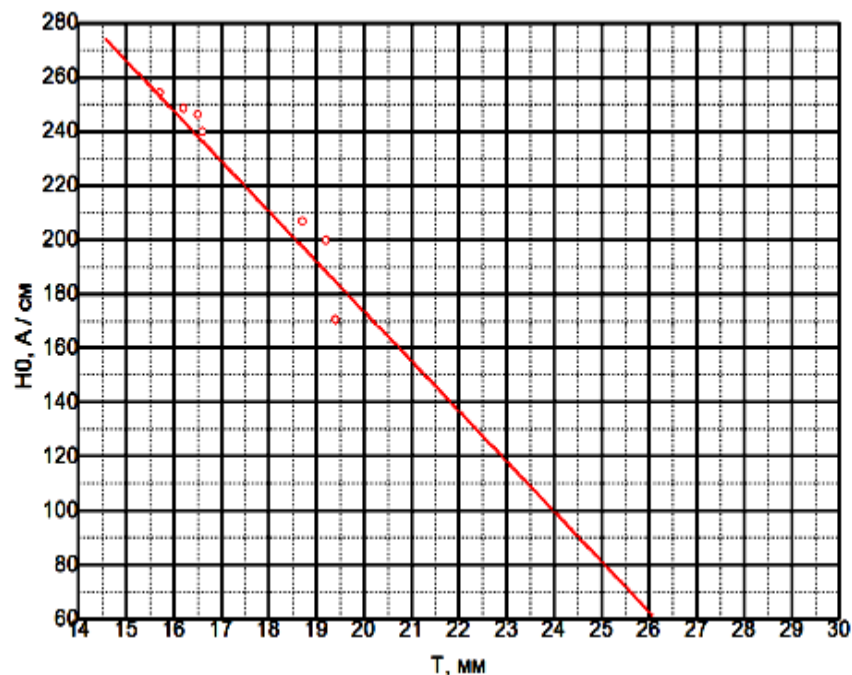
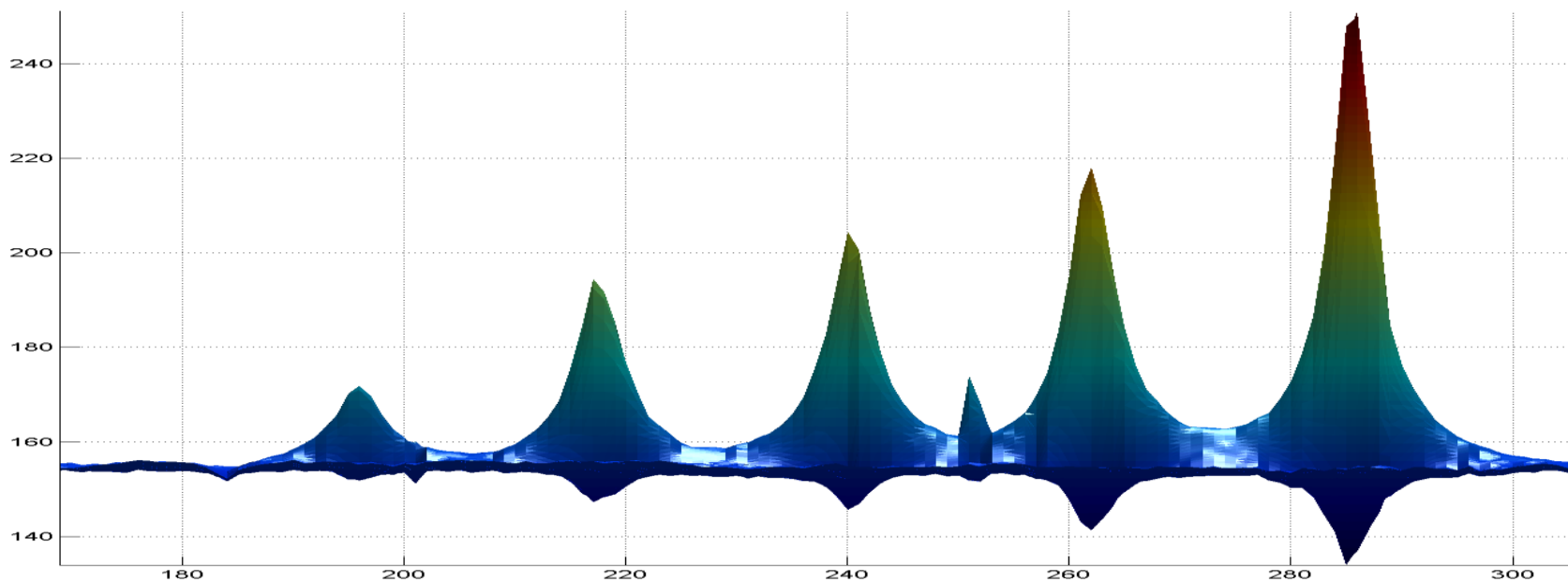


График зависимости величины напряженности намагничивающего (фонового) поля от толщины стенки трубы, полученный по данным протяжек №1-3 внутритрубного инспекционного прибора ДМТБ-1400

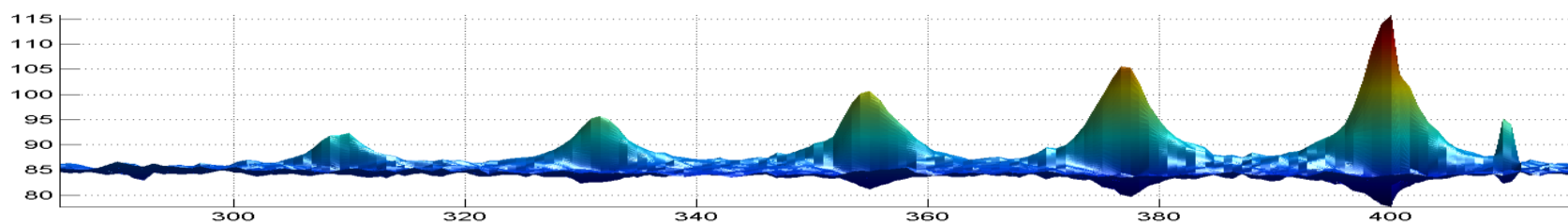


## 2. Влияние мощности магнитной системы на выявление дефектов. Зависимость диапазона амплитуд сигналов от намагничивающего поля.

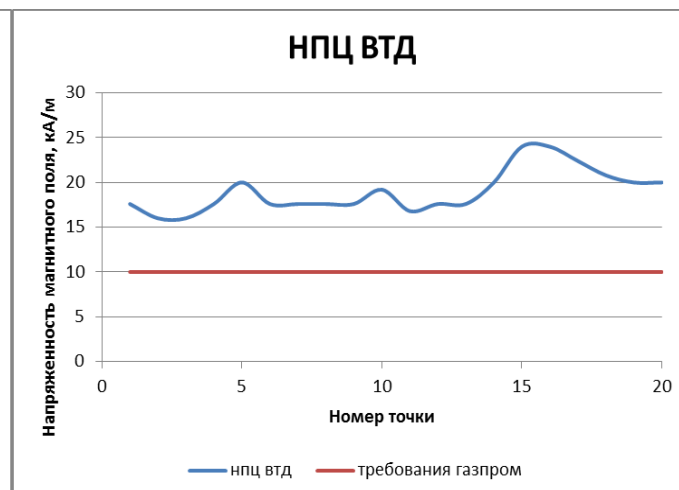
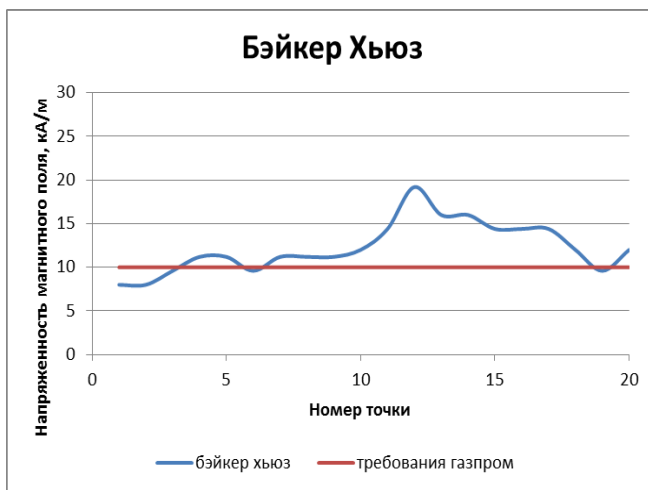
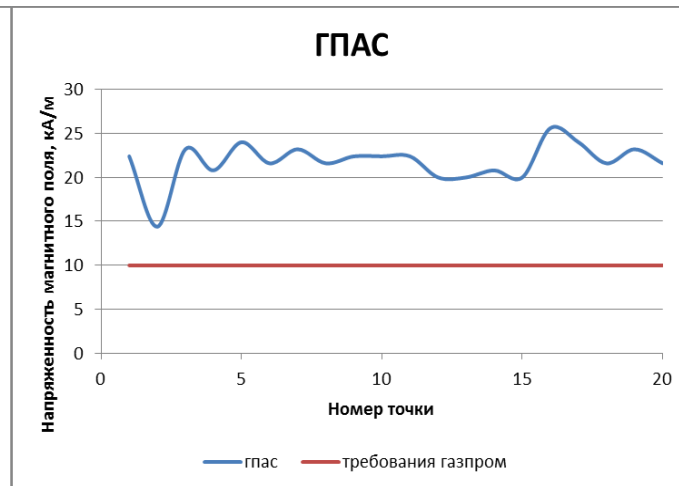
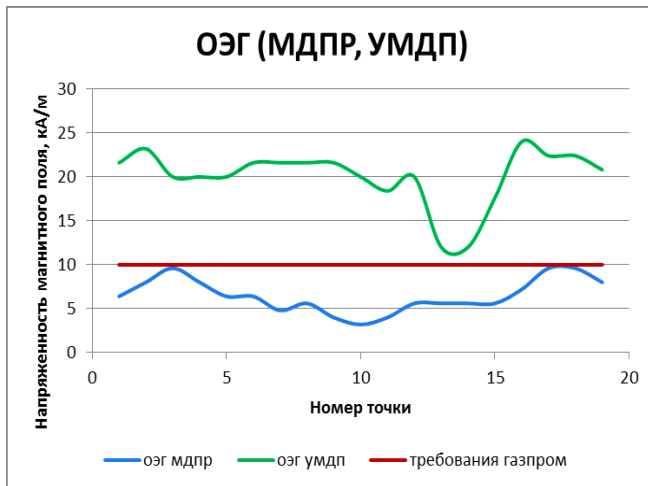
Напряженность магнитного поля (150 А/см)



Напряженность магнитного поля (85 А/см)

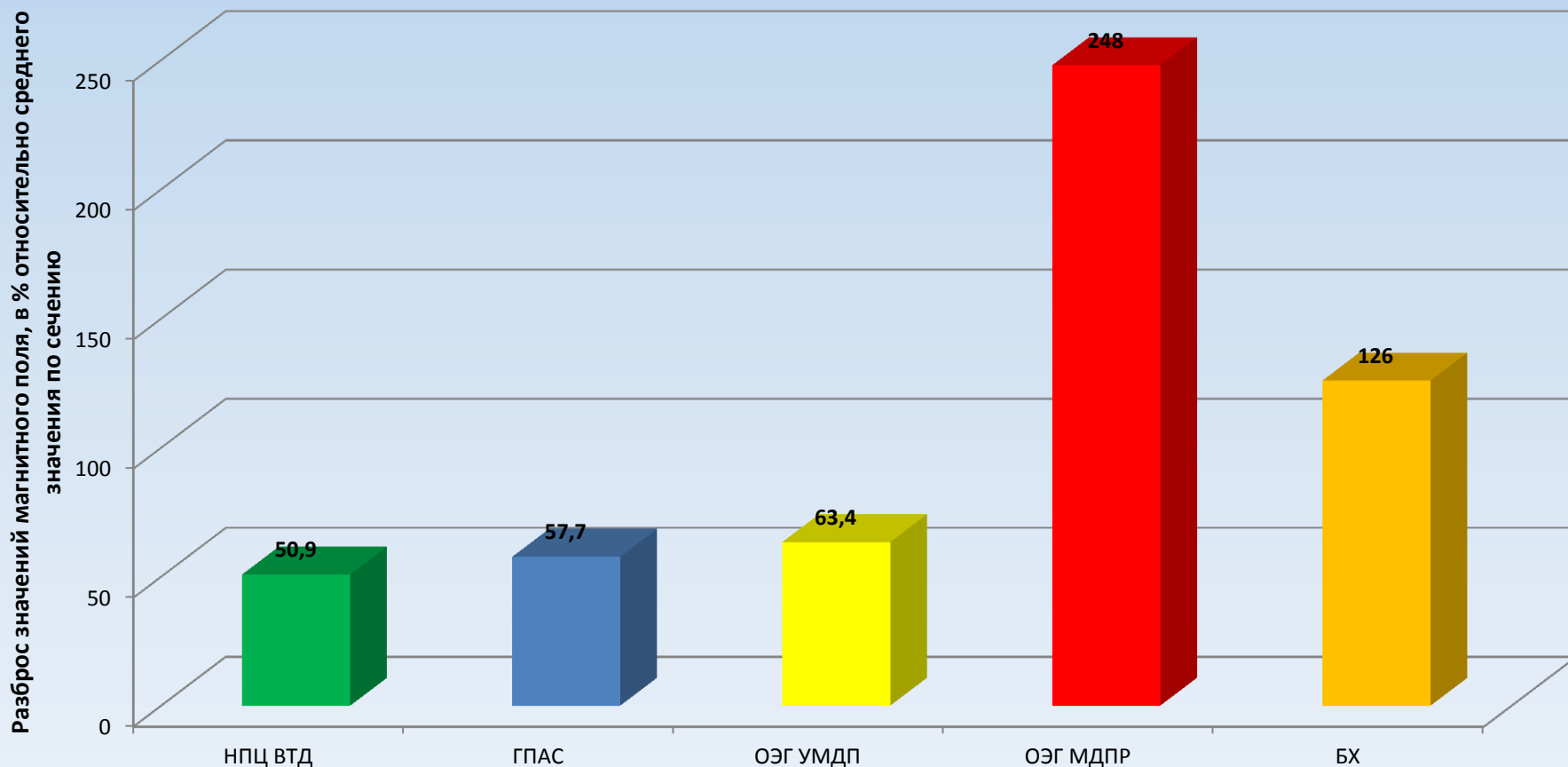


### 3. Влияние равномерности магнитного поля в зоне расположения датчиков Холла. Оценка равномерности магнитного поля. Результаты натурных испытаний средств ВТД.



### 3. Влияние равномерности магнитного поля в зоне расположения датчиков Холла. Оценка равномерности магнитного поля дефектоскопов поперечного намагничивания

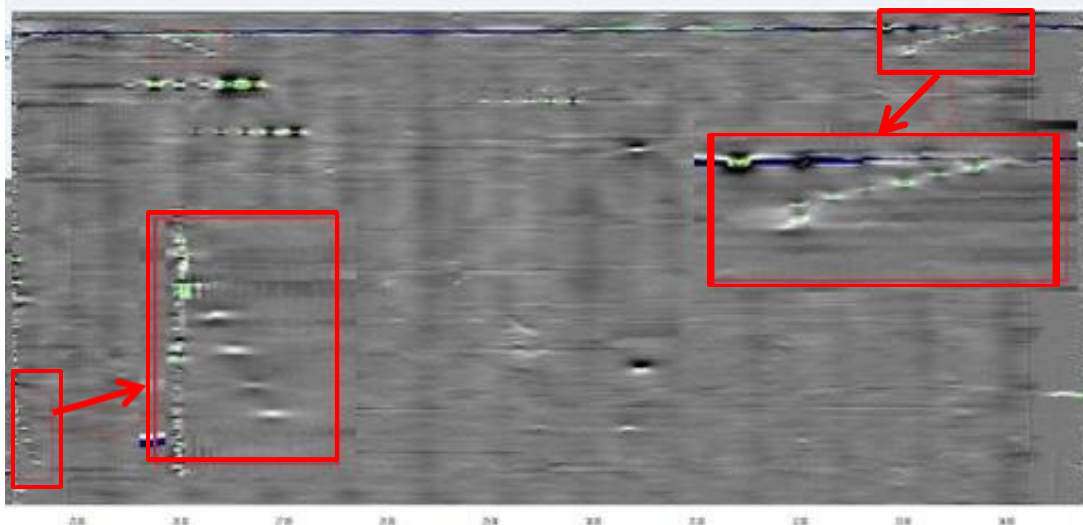
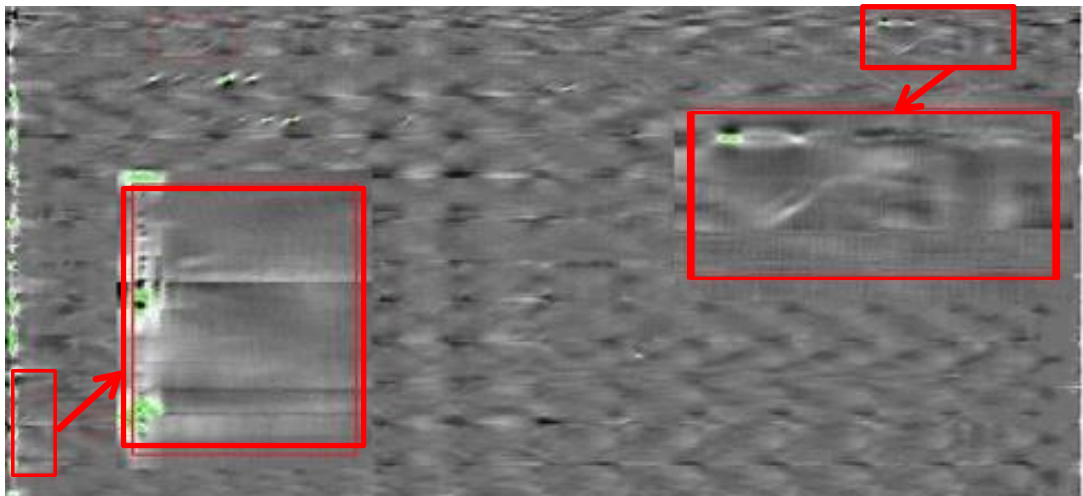
**Неравномерность магнитного поля по окружности трубы для приборов поперечного намагничивания  
(по магнитному срезу, представленному в бездефектном сечении)**



### 3. Влияние равномерности магнитного поля в зоне расположения датчиков Холла для дефектоскопов поперечного намагничивания. Пример. Выявление стандартизованных дефектов.



Сканограммы дефектоскопов поперечного намагничивания ОЭГ (ДМПР-1400 - вверху и УДМП-1400 внизу)





1

- Снижение уровня чувствительности дефектоскопии.

2

- Снижение параметров идентификации.

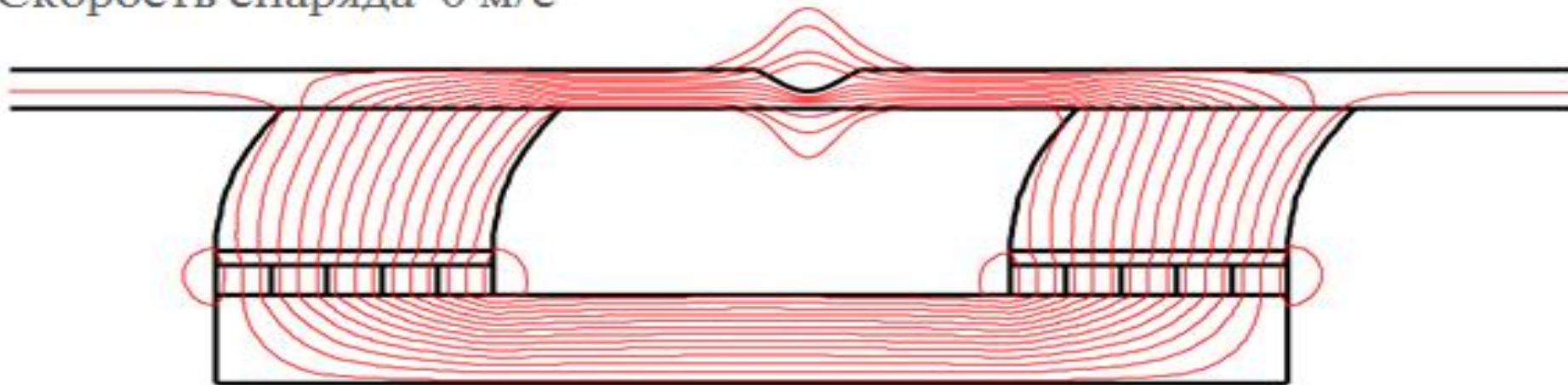
3

- Падение точности определения размеров. Основная тенденция – перебраковка неглубоких дефектов и недобраковка глубоких.

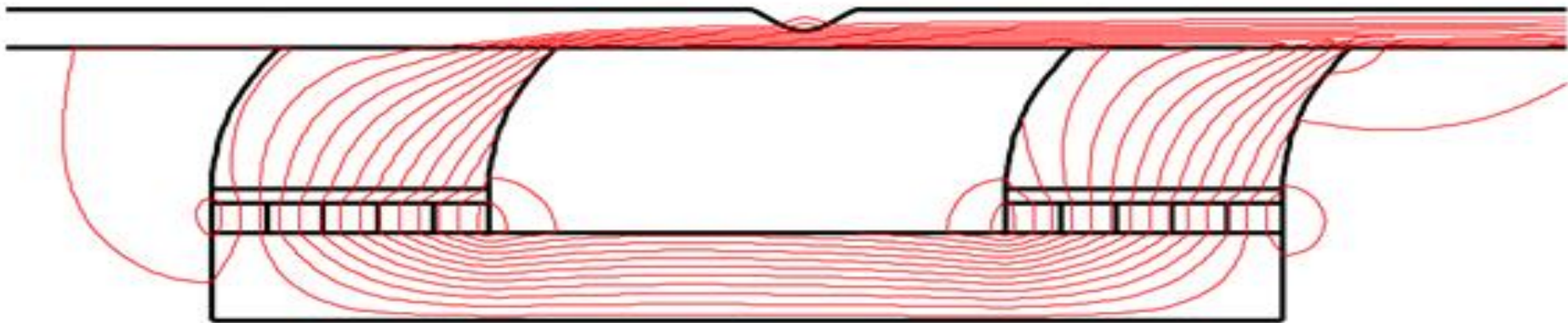
4

- Выявление ложных аномалий, не связанных с дефектами.

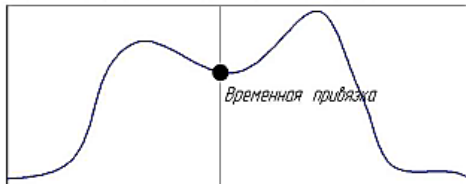
Скорость снаряда 0 м/с



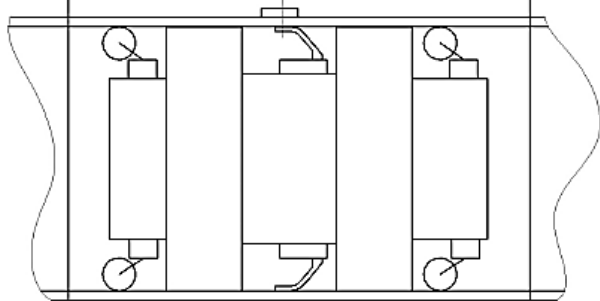
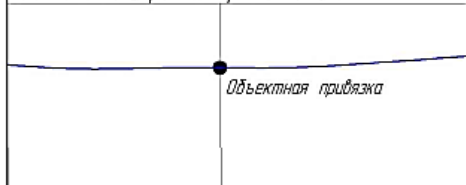
Скорость снаряда 4 м/с



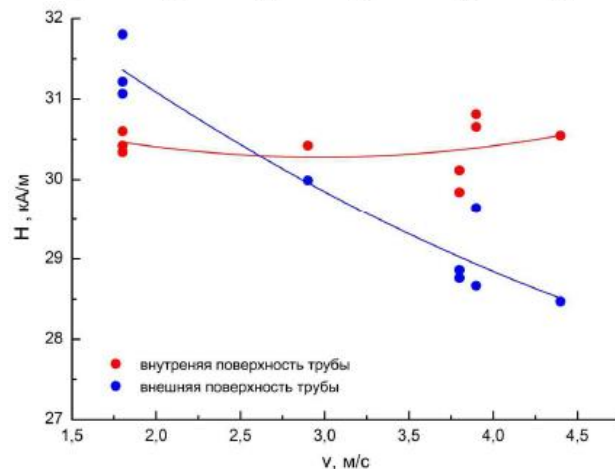
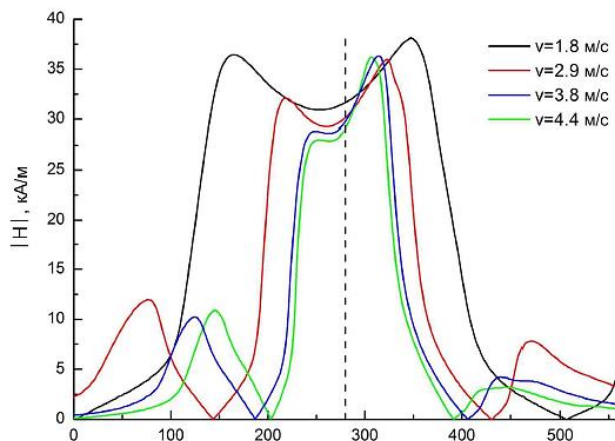
Данные с внешнего массива датчиков



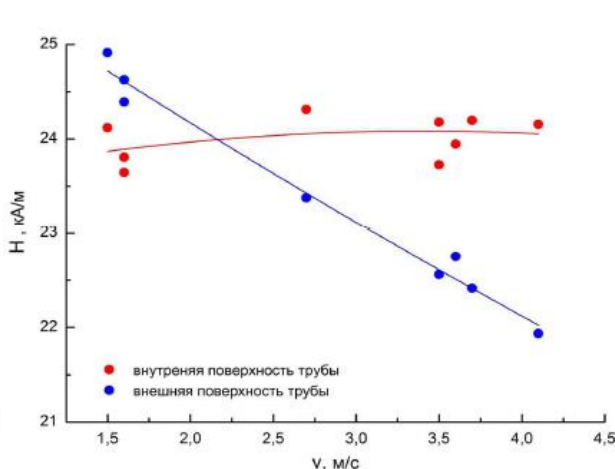
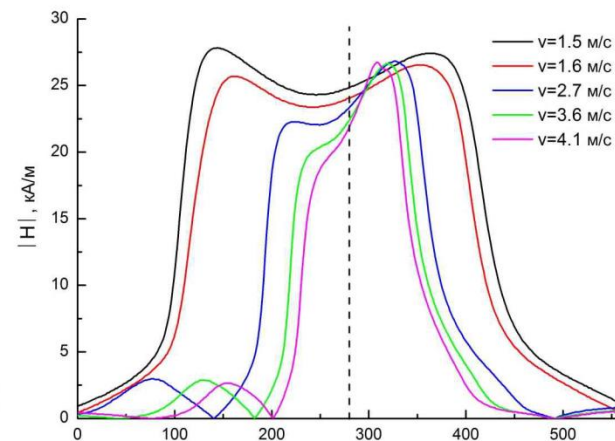
Данные со снаряда-дефектоскопа



Привязка данных измерений напряжённости магнитного поля на внутренней и наружной поверхности труб



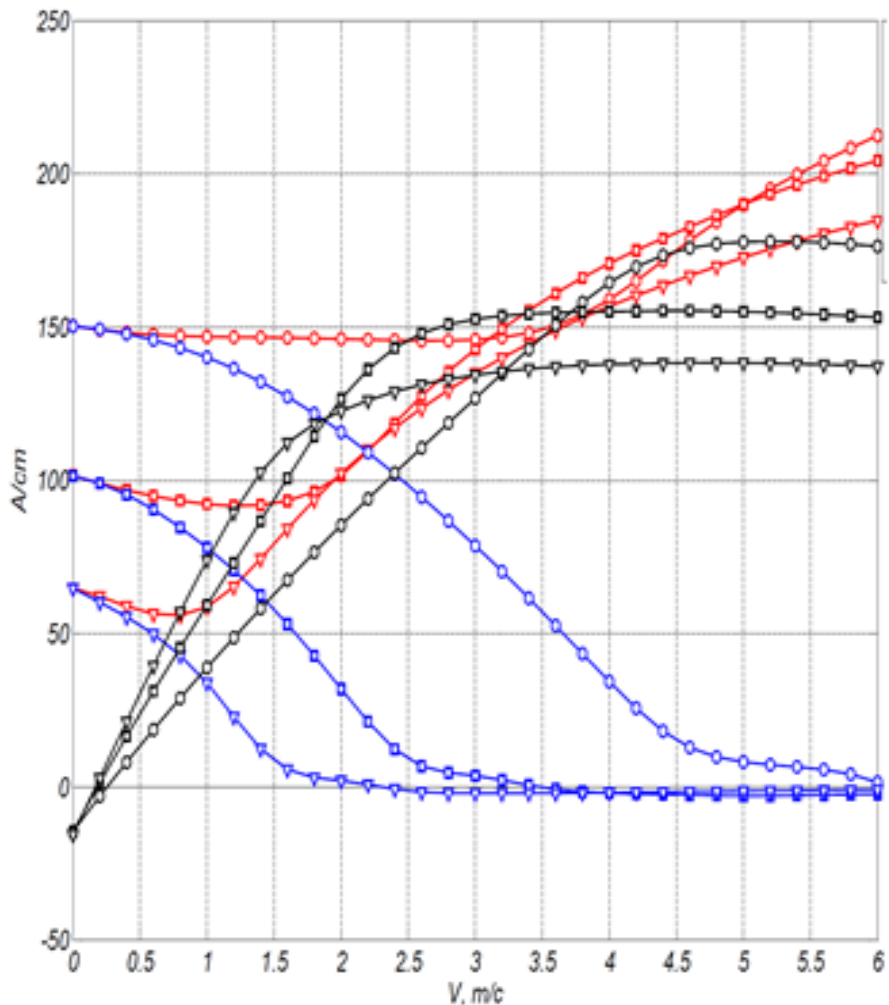
Распределение напряжённости магнитного поля на наружной и внутренней поверхности трубы при прохождении дефектоскопа на стенке 16,5 мм при различных скоростях.



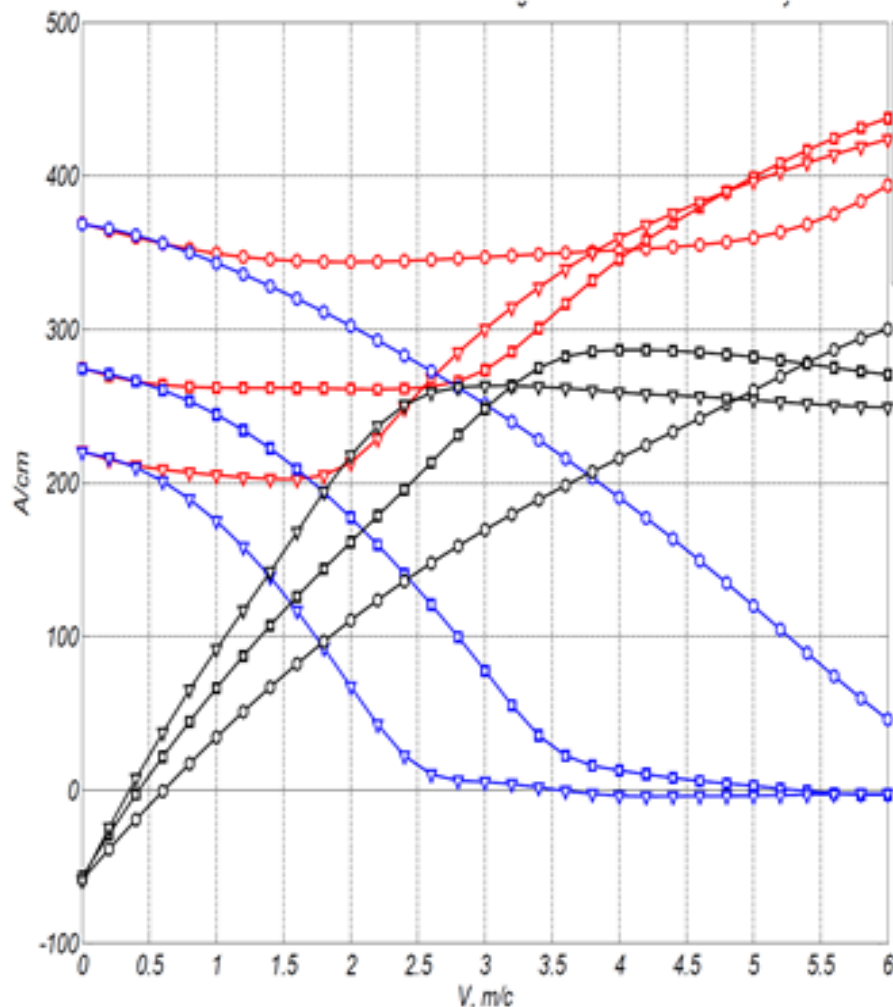
Распределение напряжённости магнитного поля на наружной и внутренней поверхности трубы при прохождении дефектоскопа на стенке 21,6 мм при различных скоростях.

## 4. Влияние скорости движения ВИП на выявление дефектов. Графики распределения магнитного поля на внутренней и внешней поверхности труб и поля вихревых токов.

ДМТ-1400 (150А/см)

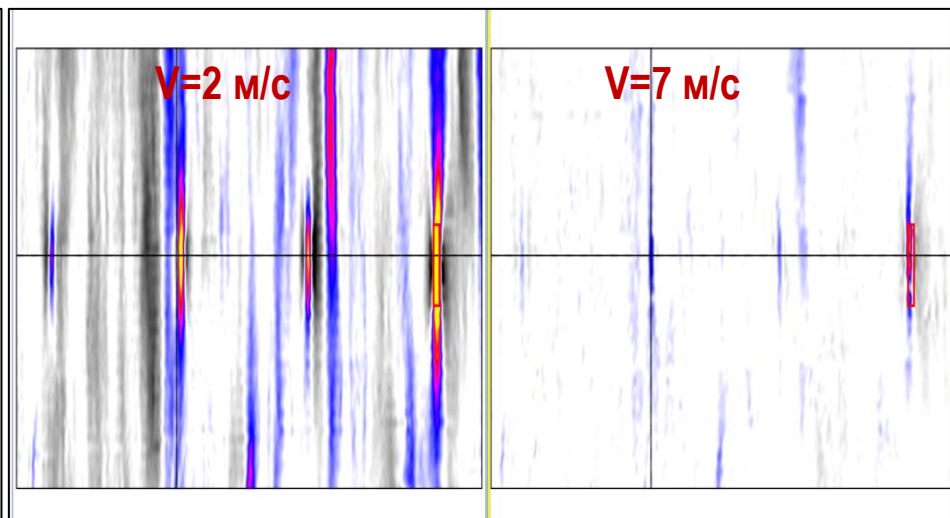
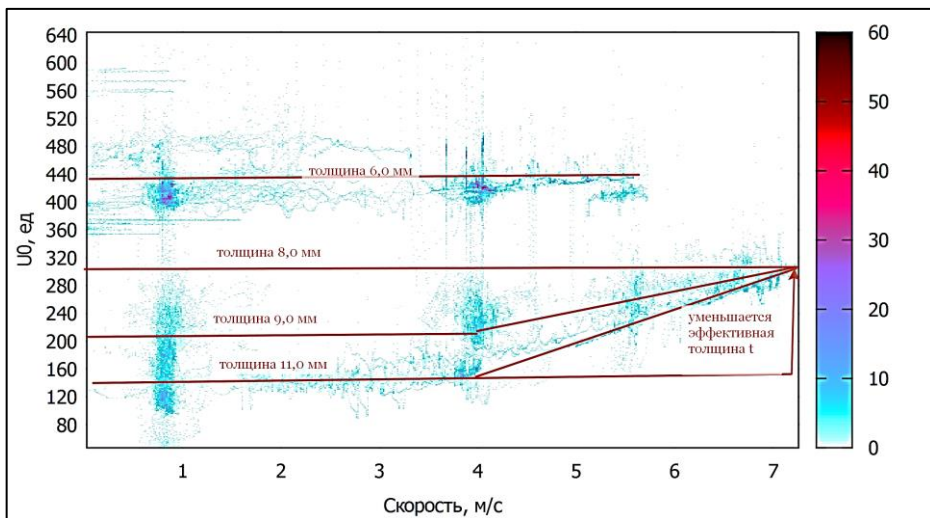
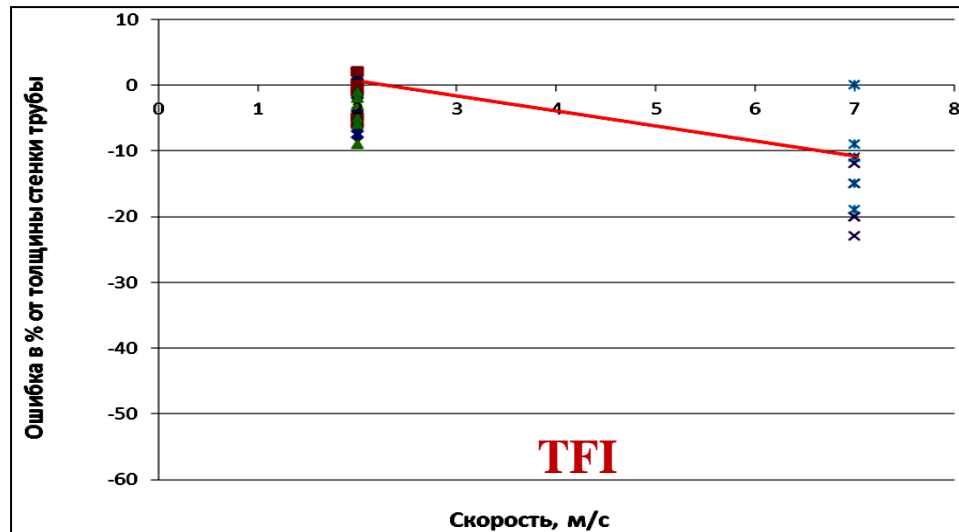
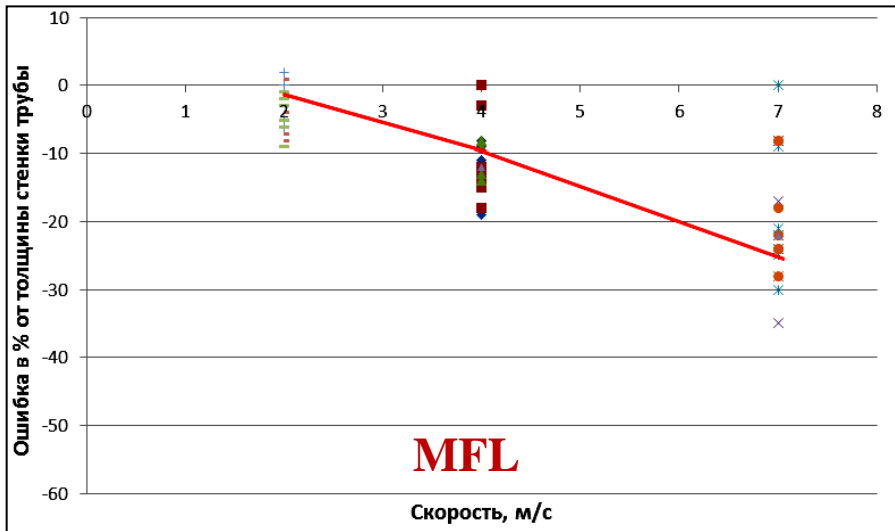


ДМТ-1400 (250А/см)





# 4. Влияние скорости движения ВИП на выявление дефектов. Результаты анализа влияния скорости на оценку глубины дефектов.



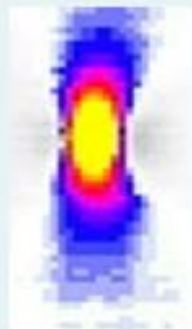
## 4. Влияние скорости движения ВИП на выявление дефектов. Результаты измерения амплитуд сигналов и оценка вероятности выявления.

**V=1,5 м/с**

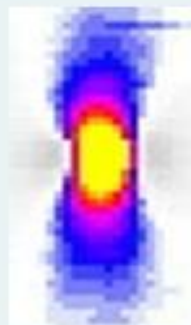
**V=2,5 м/с**

**V=4 м/с**

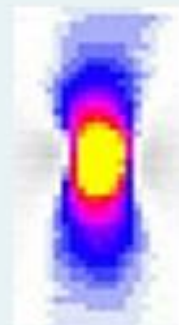
**V=5 м/с**



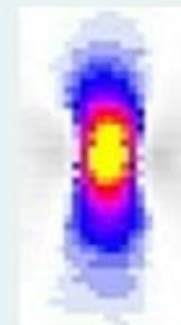
P=1  
H=112  
A/см



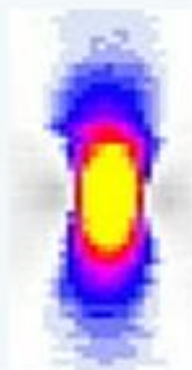
P=1  
H=112  
A/см



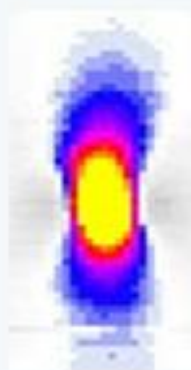
P=0,97  
H=100  
A/см



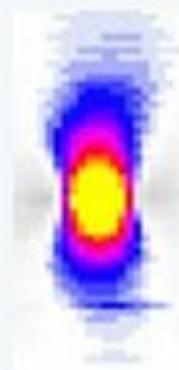
P=0,85  
H=80  
A/см



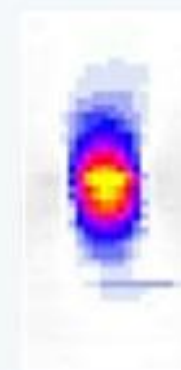
P=1  
H=75  
A/см



P=0,99  
H=65  
A/см



P=0,85  
H=55  
A/см



P=0,58  
H=40  
A/см

Комплексирование результатов ЭМА ультразвукового и традиционного магнитного неразрушающего контроля, позволяет обеспечить более эффективное выявление, идентификацию и определение размеров дефектов, оценку качества защитного изоляционного покрытия.

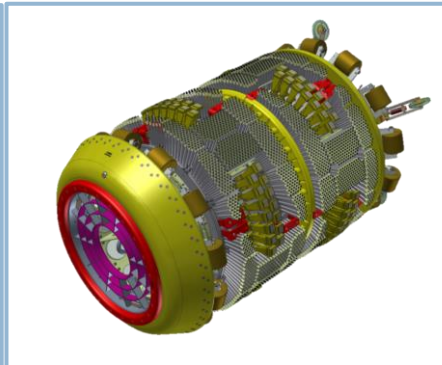
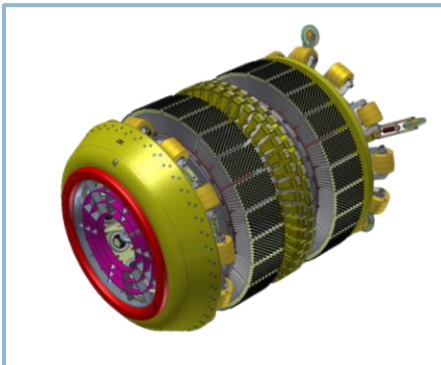
В 2018 году запланировано изготовление и проведение квалификационных испытаний магнитоакустического комплекса внутритрубной диагностики ЛЧМГ диаметром 1420мм, состоящего из двух дефектоскопов продольного и поперечного намагничивания

### ДМТБ-1400Ак/Ат

Многоканальный ЭМА толщиномер  
ЭМА детектор поперечных трещин  
Магнитная система ДМТ высокого разрешения

### ДМТПБ-1400Ат/Аи

ЭМА детектор продольных трещин  
ЭМА детектор отслоений изоляции  
Магнитная система ДМТП высокого разрешения



Дефекты	Магнитный контроль	Магнито-акустический контроль	Дополнительные возможности
Коррозионные дефекты	Точность определения глубины		Мониторинг развития коррозионных дефектов
	$\pm 0,1 \div 0,15t$	$\pm 0,5\text{мм} (<0,05t)$	
	Точность определения линейных размеров		Более точный расчёт остаточного ресурса трубопровода
	$\pm 30\text{мм}$	$\pm 15\text{мм}$	
Определение толщины стенки	Точность определения толщины		Точное определение категории трубы
	$\pm 0,08 \div 0,10t$	$\pm 0,2\text{мм} (<0,02t)$	
Трещиноподобные дефекты	Минимальная глубина обнаружения		Более точный прогноз необходимого запаса труб при осуществлении текущего ремонта  Планирование капитального ремонта на основании информации о наличии трещин на ранней стадии
	$0,15 \div 0,25t$ (раскрытие $>30\mu\text{м}$ )	$0,08 \div 0,12t$	
Контроль качества изоляции	Минимально выявляемое отслоение изоляции		Планирование капитального ремонта на основании информации о целостности изоляционного покрытия
	-	$100 \times 100\text{мм}$	

## Магнитный комплекс

Магнитные данные (MFL) продольного намагничивания

Магнитные данные (TFI) поперечного намагничивания

Магнитные данные (MFL+) интроскопа

Данные профилемера

## Магнитоакустический комплекс

Магнитные данные (MFL) продольного намагничивания

Магнитные данные (TFI) поперечного намагничивания

Магнитные данные (MFL+) интроскопа

Данные профилемера

Данные акустического продольного трещиноскопа.  
Два информационных слоя

Данные акустического поперечного трещиноскопа.  
Два информационных слоя

Данные акустического многоканального толщиномера.  
Два информационных слоя

Данные акустического адгезиометра.  
Два информационных слоя



Телеуправляемый диагностический комплекс  
**ТДК-400-М-Л**  
 (ООО «Газпроект-ДКР» г. Санкт-Петербург)



Внутритрубный ультразвуковой сканер-дефектоскоп  
**A 2072 «IntroScan»**  
 (ЗАО «ИнтроСкан Технолоджи» г. Чайковский)

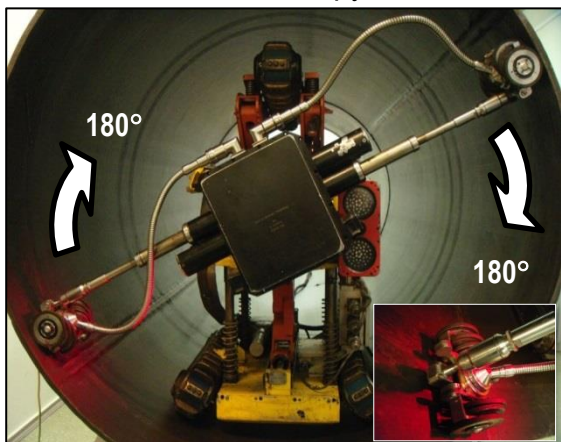


**Основные эксплуатационные показатели:**

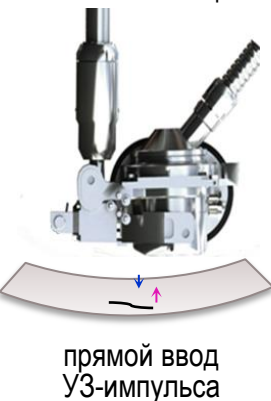
**Реализуемые виды контроля:**

- ✓ Условный диаметр обследуемых трубопроводов **Ду 500-1400**, с толщиной стенки от **10 до 26** мм.
- ✓ Перемещение от места загрузки на расстояние не менее **500** м.
- ✓ Возможность преодоления участков с углами наклона **±90°**.
- ✓ **Визуальное обследование** внутреннего пространства трубопровода.
  - ✓ **Визуальный и измерительный контроль.**
- ✓ **Ультразвуковой контроль** основного металла труб. **Толщинометрия.**

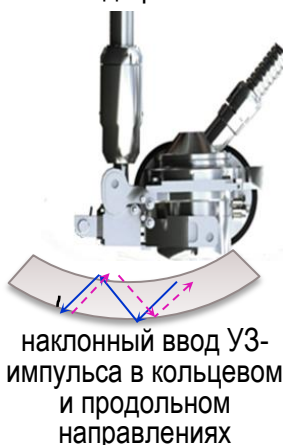
Ультразвуковой контроль основного металла труб



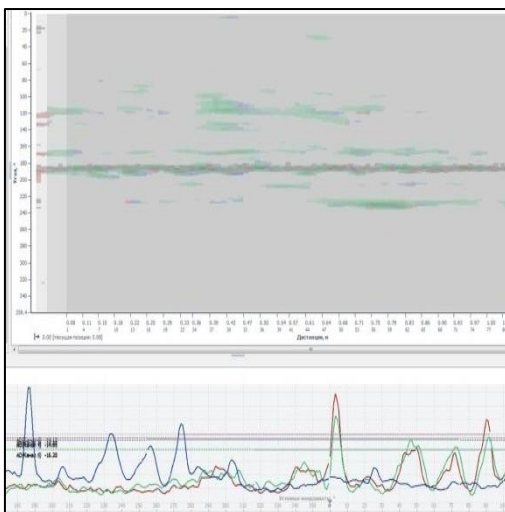
Измерение остаточной толщины



Выявление дефектов



1 Определение типа дефекта



Автоматизированное наложение сканов с различных проходов, распознавание и измерение дефектных участков

Подразделение дефектов выявленных контрольным каналом №3:

- трещиноподобные дефекты;
- механические повреждения;
- язвенная коррозия.

2 Идентификация трещиноподобных дефектов

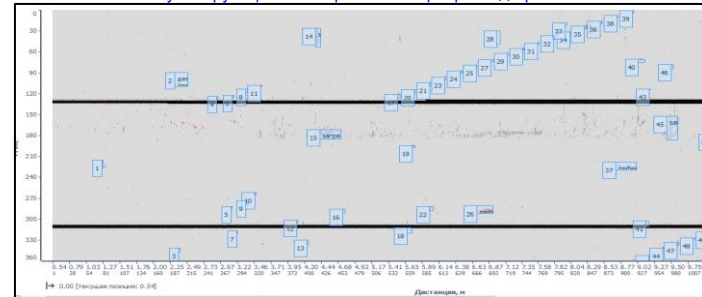
Сканогрмма при наклонном вводе УЗ-импульса в **кольцевом** направлении



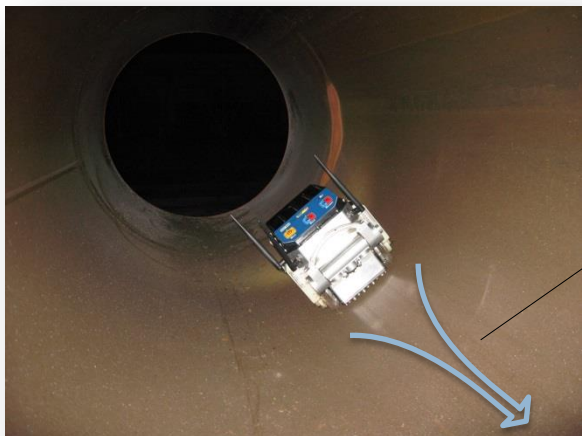
Сканогрмма при наклонном вводе УЗ-импульса в **продольном** направлении



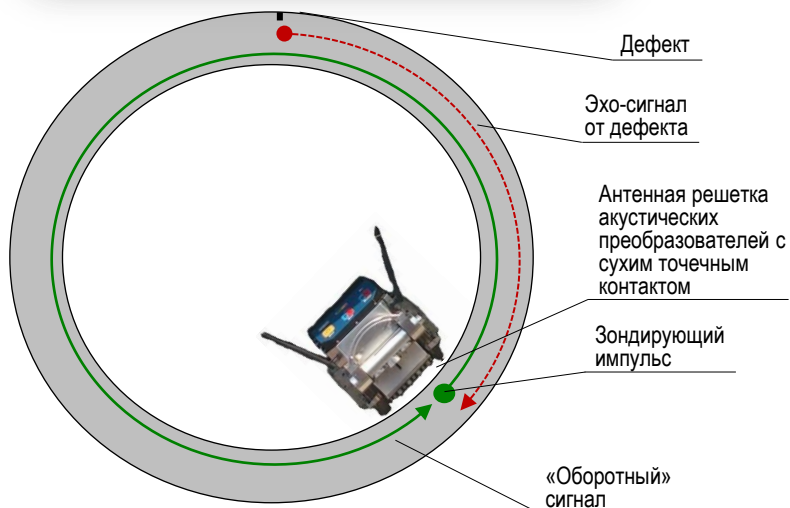
Результирующая сканогрмма с маркерами дефектов



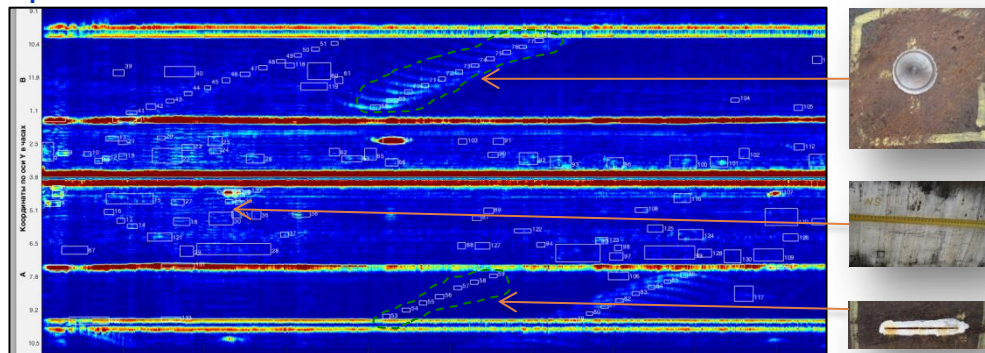
## Технология контроля



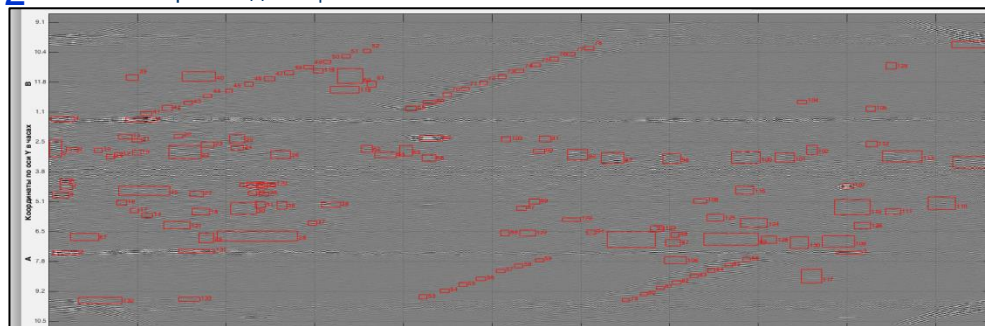
Траектория движения Сканера при сканировании



## 1 Сканограмма для локализации аномальных областей



## 2 Сканограмма для оценки типа локализованных аномальных областей

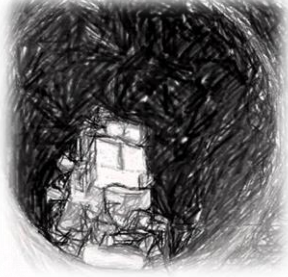


Оценка аномальных зон на следующие типы:


- «плоскостной» дефект
- «объемно-плоскостной» дефект
- «объемный» дефект

$$K_{\Phi} = \frac{A_{\text{Ц}}}{A_{\text{К}}}$$

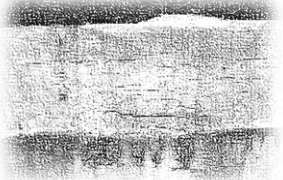




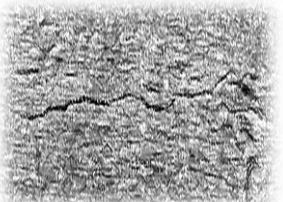
1. Диагностические комплексы обеспечивают выявление аномальных зон с продольными и **поперечными (ТДК-400- М-Л)** трещинами (скоплениями трещин) в основном металле труб глубиной от 10% (15% соответственно).



2. Подтверждение стресс-коррозионных дефектов на основании данных ВТД возможно только по результатам дополнительного диагностического обследования в шурфе.



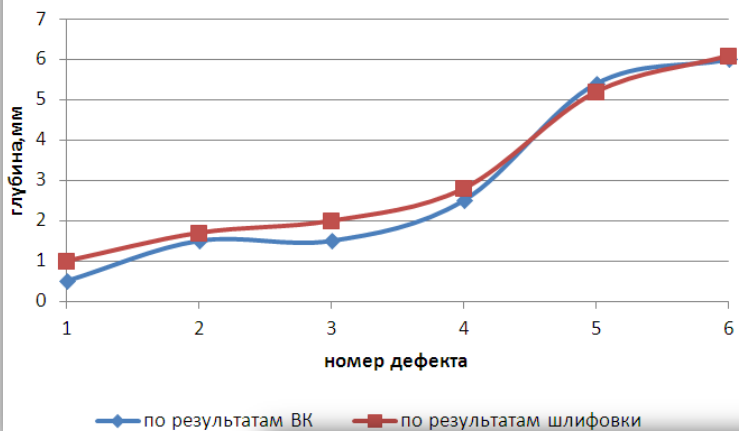
3. Обнаружение дефектов КРН выполняется в индикаторном режиме по превышению порогового сигнала. Требуется доработка диагностических модулей в ранге «измерителя», для контроля для оценки глубины трещиноподобных дефектов, в том числе дефектов КРН.



4. Необходима отработка технологий по идентификации типов дефектов, в том числе дефектов КРН.



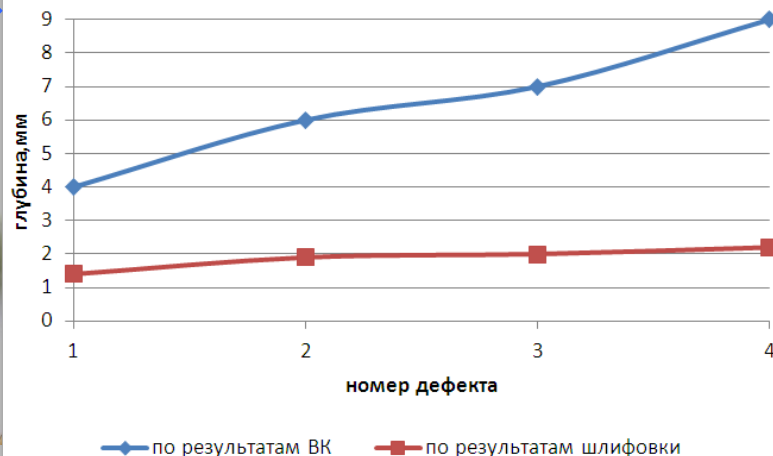
Показания при ВК глубины трещины на ровной поверхности



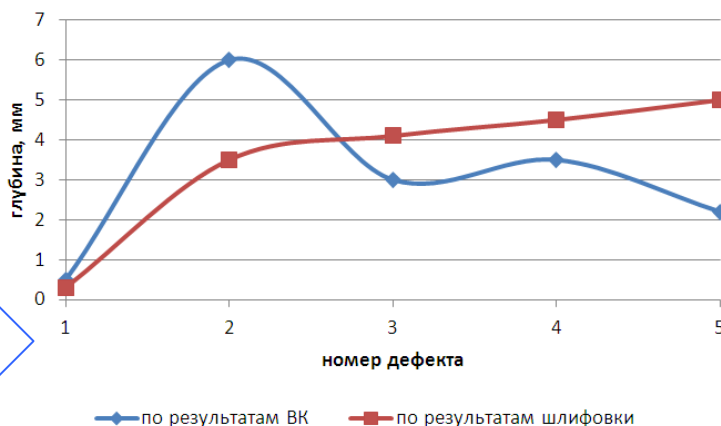
Дефектоскоп МВД-2



Показания при ВК глубины трещины на ровной поверхности

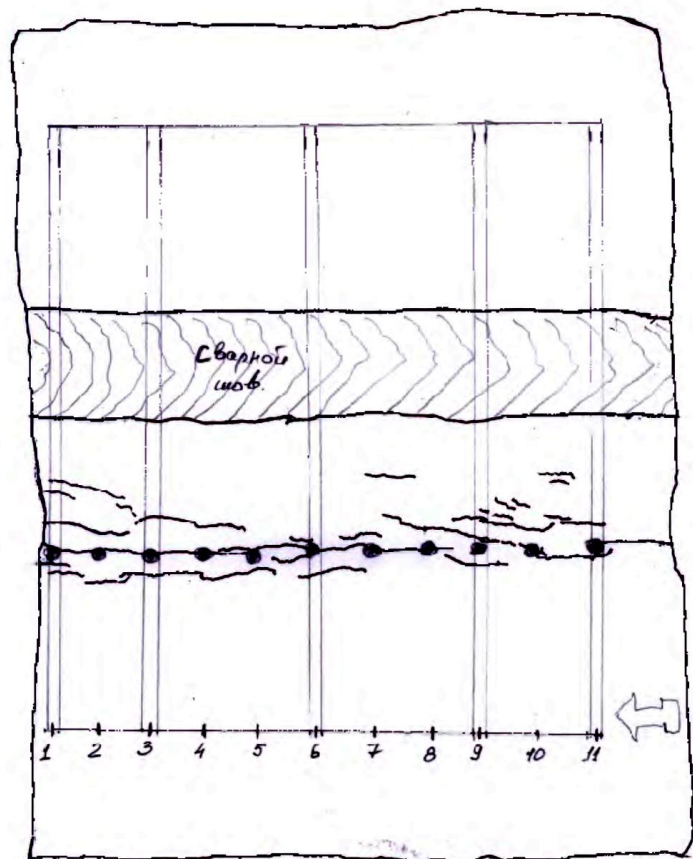


Показания при ВК глубины трещины по коррозии



Дефектоскоп ВК-1





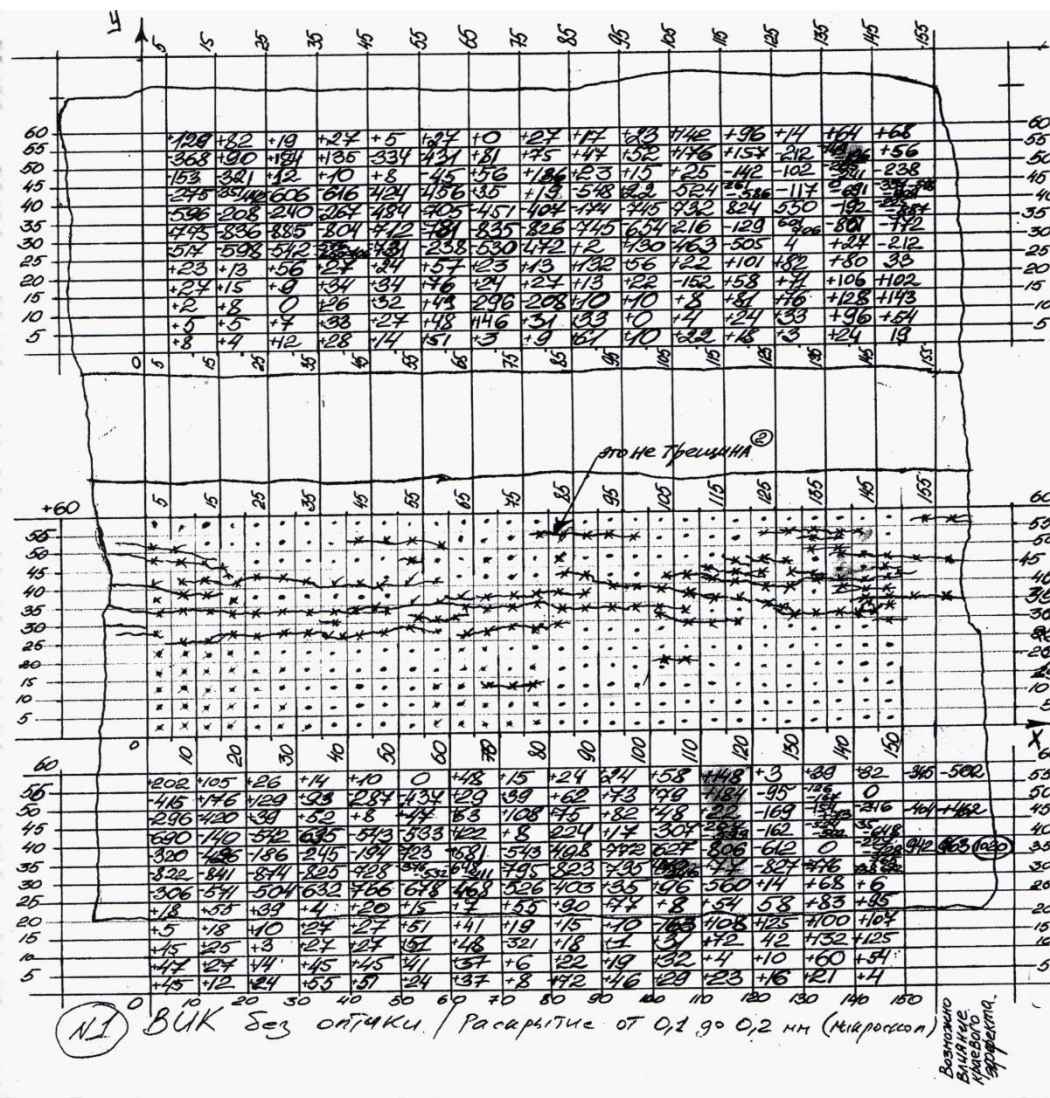
№1 ВУК без отточки / Раскрытие от 0,1 до 0,2 мм (микротрещ.)



ПРОВЕДЕНИЕ ВК С  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
МВД-2



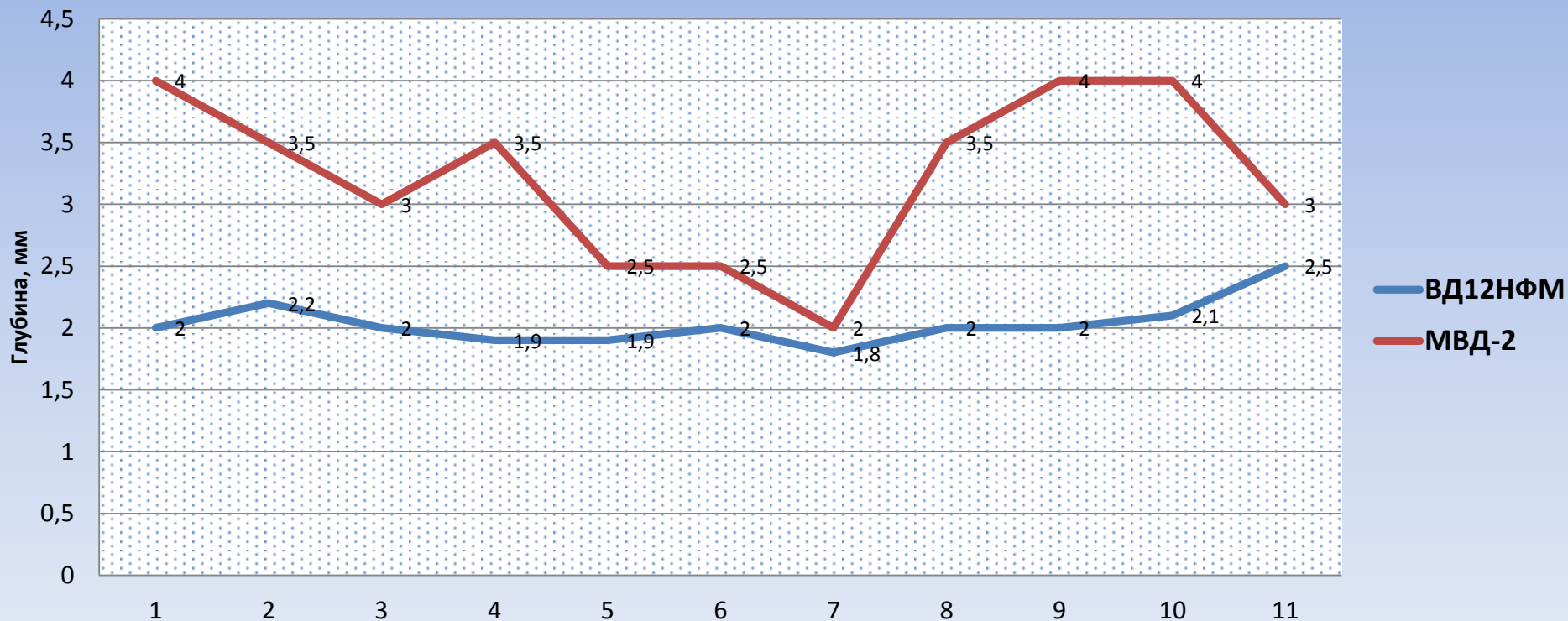




**ПРОВЕДЕНИЕ ВК С  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ВД-12НФМ**

№ точки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ВД12НФМ, мм	2	2,2	2	1,9	1,9	2	1,8	2	2	2,1	2,5
МВД-2, мм	4	3,5	3	3,5	2,5	2,5	2	3,5	4	4	3

## Результаты измерений глубины трещин







1

- Разработка порядка проведения работ по верификации результатов ВТД линейной части магистральных газопроводов ПАО «Газпром».

2

- Разработка рекомендаций по организации и планированию работ по верификации результатов внутритрубного технического диагностирования линейной части магистральных газопроводов ПАО «Газпром».

3

- Разработка рекомендаций к перечню контролируемых параметров дефектов основного металла труб и сварных соединений, в зависимости от их морфологических признаков при проведении верификации результатов внутритрубного технического диагностирования.

4

- Разработка рекомендаций к типовому перечню средств неразрушающего контроля для выполнения работ по верификации результатов внутритрубного технического диагностирования линейной части магистральных газопроводов ПАО «Газпром».

5

- Разработка рекомендаций по обработке и анализу результатов верификации данных внутритрубного технического диагностирования, рекомендаций к формам отчетности.



## Общие требований к выполнению неразрушающего контроля в шурфах на линейной части магистральных газопроводов. Планируемый к разработке документ.

**1**

- Разработка требований к порядку проведения неразрушающего контроля в шурфах на линейной части магистральных газопроводов ПАО «Газпром».

**2**

- Разработка рекомендаций по организации работ по неразрушающему контролю в шурфах на линейной части магистральных газопроводов ПАО «Газпром».

**3**

- Разработка требований к основному и вспомогательному оборудованию и средствам неразрушающего контроля для контроля труб в шурфах на линейной части магистральных газопроводов ПАО «Газпром».

**4**

- Разработка требования к составу и методикам проведения неразрушающего контроля в шурфах на линейной части магистральных газопроводов ПАО «Газпром». Разработка типовых технологических карт.

**5**

- Разработка требований к формам отчетности по результатам неразрушающего контроля в шурфах на линейной части магистральных газопроводов ПАО «Газпром»..

1

- Использование каждого из видов неразрушающего контроля, использующих в качестве диагностических признаков анализ изменений параметров физических полей, связано со значительным количеством ограничений. Соответственно, эффективность решения задач НК и ТД связана в первую очередь с формированием подходов, максимально нивелирующих эти ограничения. Например, использование принципов комплексирования видов и методов НК.

2

- Разрабатываемые методики НК и ТД должны носить узкоспециализированную направленность и учитывать свойства объектов контроля, морфологические признаки дефектов, механизмы развития повреждений и характеристики применяемых средств НК и ТД.

3

- Для повышения эффективности решения задач диагностического обслуживания объектов ПАО «Газпром» необходимо в обязательном порядке проводить квалификационные испытания средств НК и ТД в рамках экспертизы ТУ, с разработкой и аттестацией специализированных методик НК и ТД.

4

- Необходима разработка единых комплексных программ обучения специалистов, задействованных в сфере НК и ТД. Организация обучения.



# Благодарю за внимание



Центральный офис ООО «ВНИИГАЗ»  
п. Развилка, Московская область  
internet: [www.vniigaz.ru](http://www.vniigaz.ru)  
intranet: [www.vniigaz.gazprom.ru](http://www.vniigaz.gazprom.ru)  
e-mail: [vniigaz@vniigaz.gazprom.ru](mailto:vniigaz@vniigaz.gazprom.ru)  
телефон: (+7 498) 657-42-06  
факс: (+7 498) 657-96-05