

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ МЕТАЛЛА ИЗДЕЛИЙ В РЕЖИМЕ  
ЭКСПРЕСС-КОНТРОЛЯ – НЕДОСТАЮЩЕЕ ЗВЕНО В СИСТЕМЕ  
НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ**

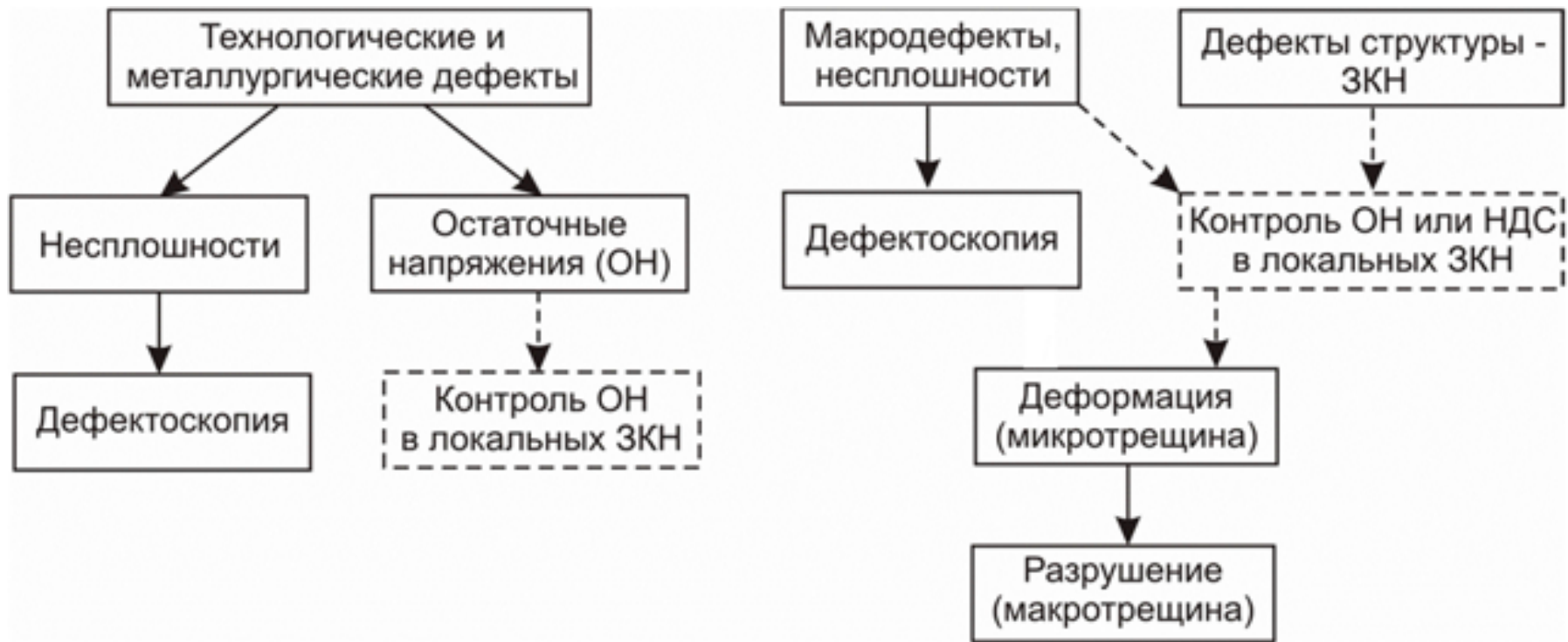
*ООО «Энергодиагностика», Дубов А.А.*




Известно, что основными источниками повреждений при эксплуатации изделий машиностроения являются локальные зоны концентрации напряжений, которые образуются под действием рабочих нагрузок в первую очередь на дефектах металлургического и технологического происхождения. Размеры этих зон концентрации напряжений составляют от нескольких микрон до нескольких миллиметров.

Металлургические и технологические дефекты изготовления создают в локальных зонах изделия высокий уровень остаточных напряжений. Контроль остаточных напряжений на отдельных производствах изделий выполняется выборочно. При этом контролируется средний (объемный) уровень остаточных напряжений, а локальные зоны остаточных напряжений, как правило, не контролируются и пропускаются. Кроме того, неизвестно, где эти локальные зоны расположены, и как их можно обнаружить.





 - недостающее звено в системе НК.

Отсутствие контроля ОН с целью определения концентрации напряжений на дефектах структуры изделий как на заводах-изготовителях, так и в эксплуатации, является недостающим звеном в системе НК изделий, что значительно снижает их надежность.

## Схема организации неразрушающего контроля изделий машиностроения на заводах-изготовителях и в эксплуатации



Для решения указанных проблемных задач предназначен метод МПМ, головным разработчиком которого является ООО «Энергодиагностика», г. Москва.

### **Основные отличительные признаки метода магнитной памяти металла:**

Магнитная память металла - эффект магнитной памяти формы и деформации, обусловленной ориентированными внутренними напряжениями в изделиях из ферро- и парамагнитных материалов.

МПМ – метод неразрушающего контроля, основанный на *регистрации и анализе распределения собственных магнитных полей рассеяния (СМПР)*, возникающих на изделиях и оборудовании в зонах концентрации напряжений (ЗКН) и дефектов металла.

При этом СМПР отображают необратимое изменение намагниченности в направлении действия максимальных напряжений от рабочих нагрузок, а также структурную и технологическую наследственность деталей и сварных соединений после их изготовления и охлаждения в магнитном поле Земли.

При контроле методом МПМ используются естественная намагниченность и последствие, которое проявляется в виде *магнитной памяти металла* к фактическим деформациям и структурным изменениям в металле изделий и оборудования.

Естественная намагниченность формируется в процессе изготовления изделия при охлаждении металла ниже точки Кюри в магнитном поле Земли (цеха), когда магнитная проницаемость максимальная.



## **Промышленное применение метода МПМ осуществляется на основе стандартов и руководящих нормативных документов**

В настоящее время на метод МПМ имеются российские и международные стандарты и сертификаты:

- ГОСТ Р ИСО 24497-1-2009. Контроль неразрушающий. Метод магнитной памяти металла. Часть 1. Термины и определения.
- ГОСТ Р ИСО 24497-2-2009. Контроль неразрушающий. Метод магнитной памяти металла. Часть 2. Общие требования.
- ГОСТ Р ИСО 24497-3-2009. Контроль неразрушающий. Метод магнитной памяти металла. Часть 3. Контроль сварных соединений.
- ISO 24497-1:2007(E), ISO 24497-2:2007(E), ISO 24497-3:2007(E). Non-destructive testing – Metal magnetic memory.
- ГОСТ Р 52330-2005. Контроль неразрушающий. Контроль напряженно-деформированного состояния объектов промышленности и транспорта. Общие требования.
- ГОСТ Р 53006-2008. Оценка ресурса потенциально опасных объектов на основе экспресс-методов. Общие требования.

Разработано и согласовано более 50 методических указаний по контролю оборудования в различных отраслях промышленности. В 2011 году выдан сертификат на метод и приборы контроля серии ИКН Международной экспертной организацией TUV Rheinland InterCert Kft.



## Физические основы метода МПМ

- ➔ Магнитоупругий и магнитомеханические эффекты.
- ➔ Эффект формирования доменов и доменных границ на скоплениях дислокаций в ЗКН (магнитоластика).
- ➔ Эффект рассеяния магнитного поля структурными и механическими неоднородностями в условиях естественной намагниченности металла.



## **Основные задачи метода МПМ:**

- Выявление зон концентрации напряжений – основных источников развития повреждений
- Ранняя диагностика усталостных повреждений и оценка остаточного ресурса оборудования и конструкций
- Определение неоднородности напряженно-деформированного состояния оборудования и конструкций
- Сокращение материальных затрат при использовании метода МПМ в сочетании с традиционными методами НК
- Экспресс-сортировка новых и бывших в эксплуатации изделий машиностроения по их структурной неоднородности.

### **Что определяют при МПМ-контроле?**

- Зоны КН – основные источники развития повреждений
- Микро и макродефекты на поверхности и в глубинных слоях металла.

### **Отличительная особенность метода**

От других методов НК отличается тем, что он определяет концентрацию напряжений на дефектах, т.е. дает оценку степени их опасности для развития повреждений и дает общую оценку напряженно-деформированного состояния металла и сварных соединений.

Метод МПМ не требует подготовки поверхности ОК (зачистки металла, искусственного намагничивания, в отдельных случаях снятия изоляции).







Предприятием «Энергодиагностика» разработаны и серийно производятся специализированные приборы контроля и программное обеспечение по методу МПМ



**ИКН-1М-4**



**ИКН-2М-8**



**ИКН-3М-12**



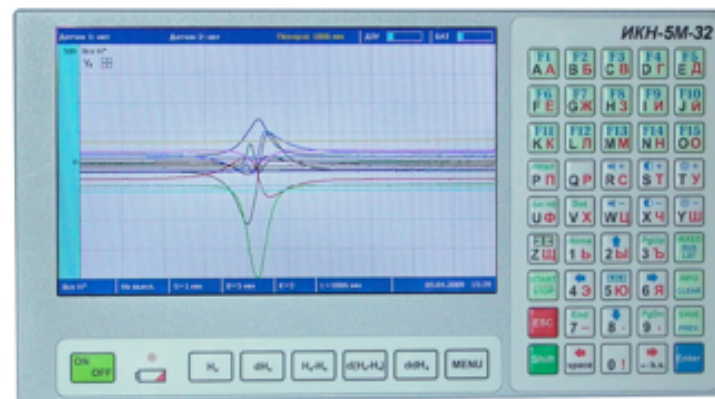
**ИКН-4М-16**



**ИКН-8М-4**



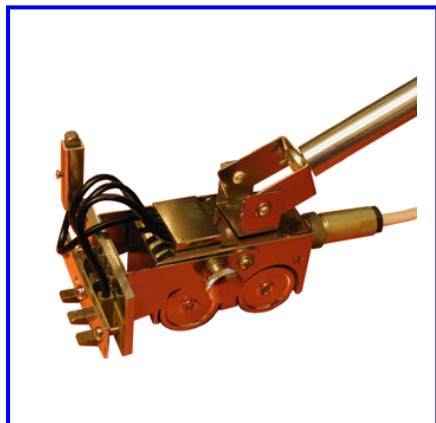
**ИКН-6М-8**



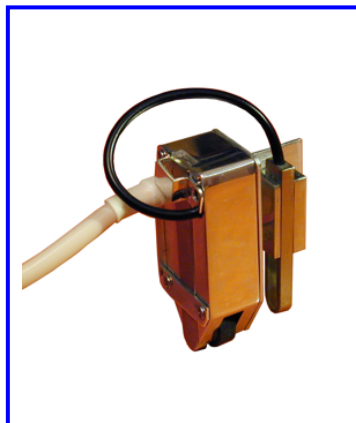
**ИКН-5М-32**



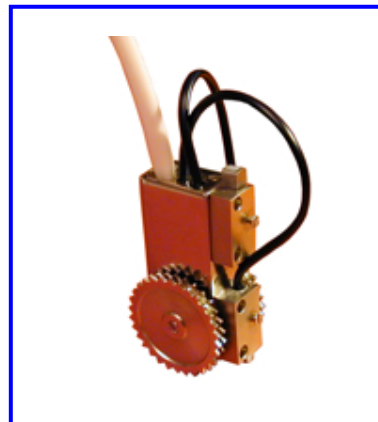
## Сканирующие устройства для приборов типа ИКН



**Тип 1**



**Тип 2**



**Тип 3**



**Тип 6**



**Тип 15**



**Тип 16**



**Тип 17**



**Тип 11**

Анализ возможностей известных методов контроля напряжений и деформаций в основном металле и в сварных соединениях оборудования и конструкций позволяет назвать следующие их существенные недостатки:

- непригодность для контроля протяженных трубопроводов и крупногабаритных изделий, оборудования и сосудов;
- невозможность использования большинства методов в области пластической деформации;
- не учитывается изменение структуры металла;
- невозможность оценки глубинных слоев металла для большинства методов контроля;
- требуется построение градировочных графиков на основе испытаний предварительно изготовленных образцов, которые в силу масштабного фактора не отражают фактическое энергетическое состояние оборудования;
- требуется подготовка контролируемой поверхности и объектов контроля (зачистка, активное намагничивание, клейка датчиков и пр.);
- сложность определения положения датчиков контроля по отношению к месту и направлению действия максимальных напряжений и деформаций, определяющих надежность оборудования.



Усилия большинства специалистов, занимающихся контролем НДС на практике, сосредоточены на оценке средних, объемных напряжений в трубопроводе. В то же время известно, что основными источниками возникновения и развития повреждений трубопроводов являются локальные зоны концентрации напряжений (ЗКН).

ЗКН – это не только заранее известные области, где особенности конструкции создают различные условия для распределения напряжений, создаваемых внешней рабочей нагрузкой, но и случайно расположенные области, где в силу начальной неоднородности структуры металла в сочетании с нерасчетными дополнительными рабочими нагрузками возникли большие локальные деформации. При средних напряжениях в трубе ниже предела текучести в локальных ЗКН напряжения значительно возрастают, достигают разрушающих, вызывая образование трещин.

Как показывают экспериментальные исследования, локальные структурные ЗКН могут иметь размеры в пределах от нескольких микрометров до нескольких миллиметров, а в некоторых случаях десятки миллиметров.



Для оценки состояния газопроводов в локальных зонах концентрации напряжений с использованием метода МПМ еще в 1998 году был введен в действие руководящий документ РД 51-1-98 [4], утвержденный ОАО «Газпром» и допущенный к применению на практике.

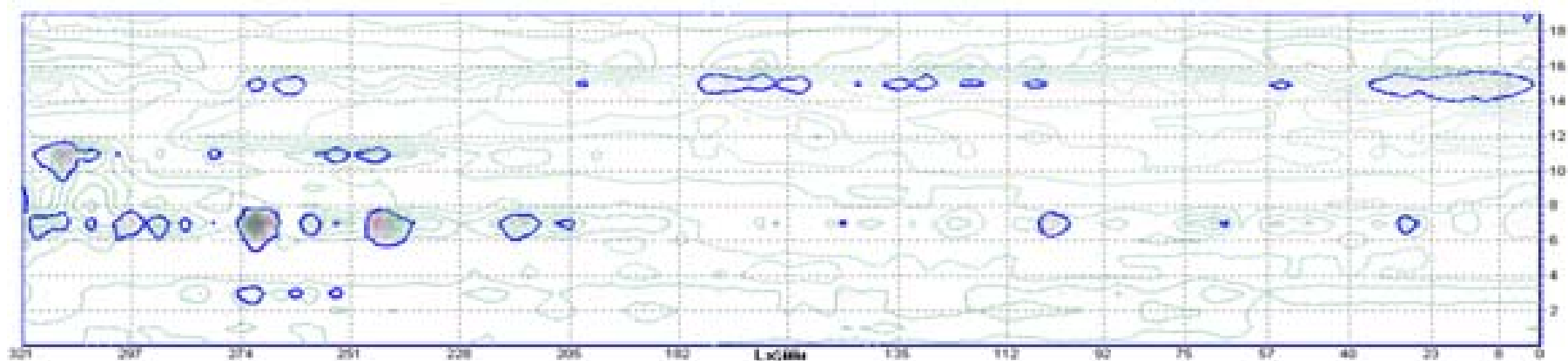
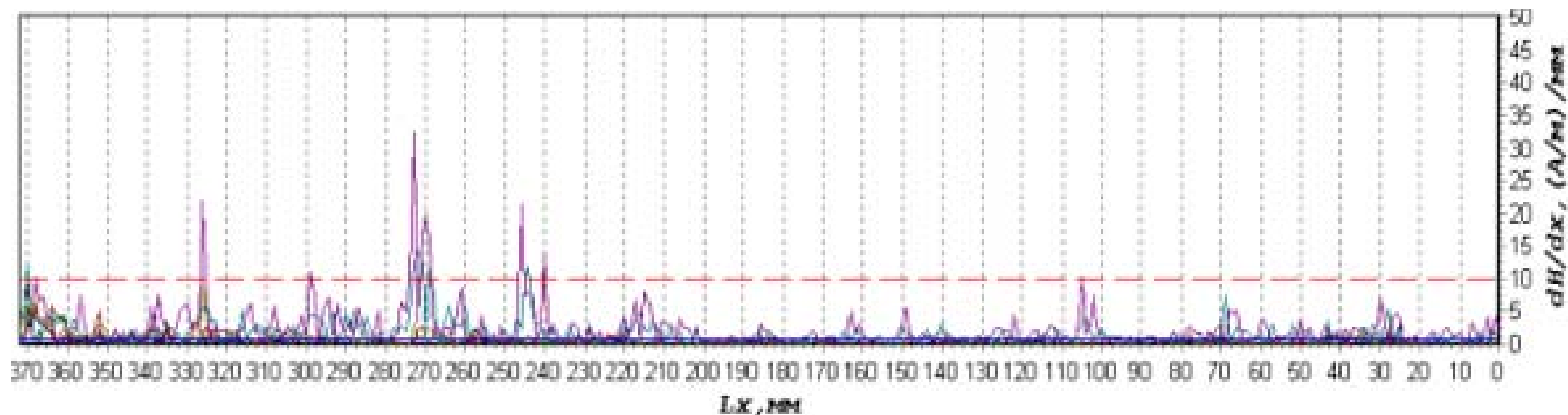
Метод МПМ выполняет при неразрушающем контроле одновременно две задачи.

Первая задача – выявление дефектных зон на внутренней и наружной поверхности трубы с их последующей классификацией, т.е. выполнение обычной задачи дефектоскопии.


Вторая задача – выполнение контроля напряженно-деформированного состояния металла трубы и сварных соединений с определением зон концентрации напряжений – источников всех видов повреждений на раннем этапе их развития.

Кроме того, метод МПМ не требует никаких подготовительных работ при выполнении контроля и отличается от других методов НК тем, что он указывает уровень концентрации напряжений, т.е. указывает степень опасности выявленных дефектов.

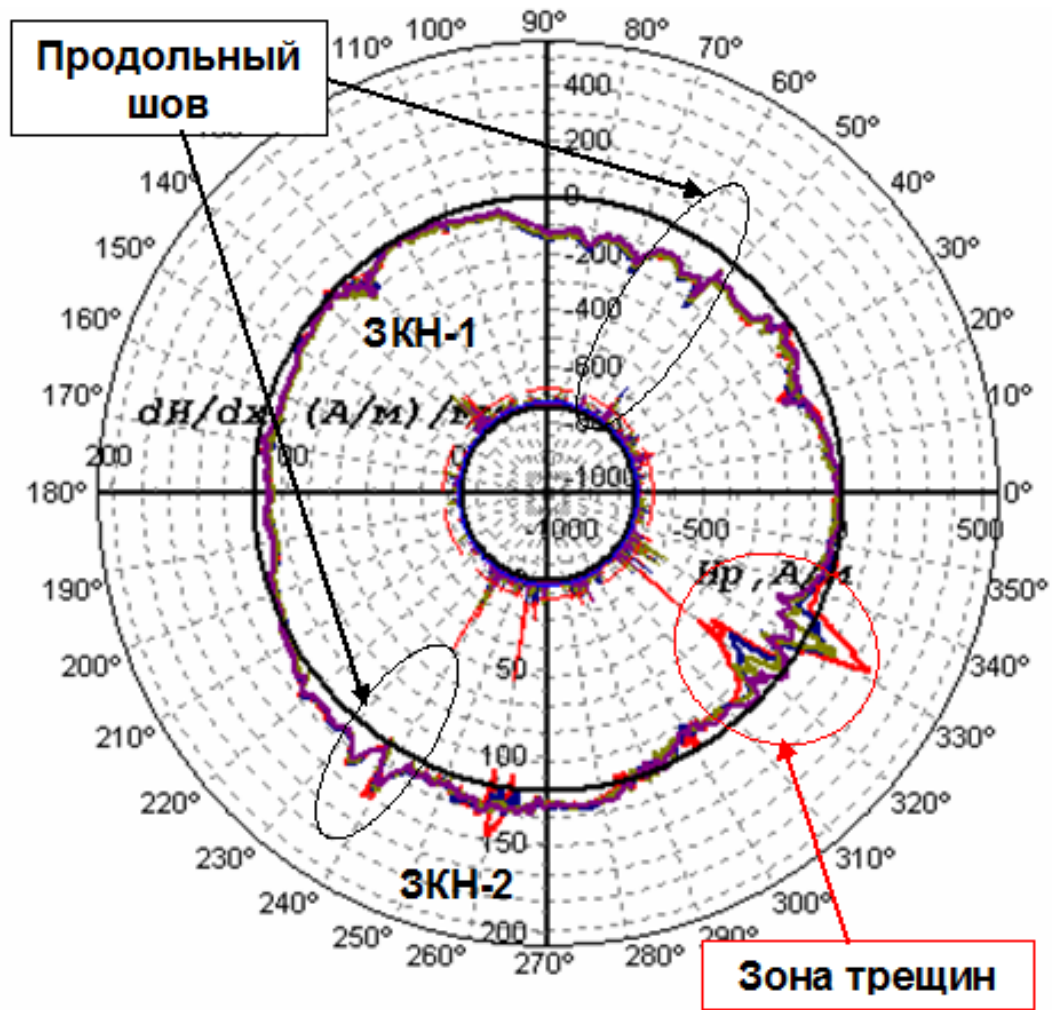




Результаты контроля методом МПМ основного металла газопровода  $\varnothing 1020$  мм:  
 а – распределение изменения градиента магнитного поля вдоль поверхности участка трубы с биокоррозией;

 – локальные зоны КН с «пятнами» биокоррозии, ограниченные изолиниями градиента магнитного поля (б).





Результаты контроля в сечении газопроводной трубы  $\varnothing 1420 \times 16$  мм с трещинами КРН.





Из результатов контроля следует, что метод МПМ позволяет делать оценку НДС как по объему всей трубы, так и в локальных ЗКН.

Другим местом локализации повышенных остаточных и рабочих напряжений, в которых интенсивно развиваются коррозионно-усталостные повреждения, являются зоны термического влияния кольцевых и продольных сварных соединений газопроводов.

В 2008 году по договору с ООО «Газпром трансгаз Томск» по плану НИОКР предприятием ООО «Энергодиагностика» разработана «Методика контроля кольцевых сварных соединений магистральных газопроводов, бывших в эксплуатации, методом магнитной памяти металла». Методика согласована с Департаментом по транспортировке, подземному хранению и использованию газа.

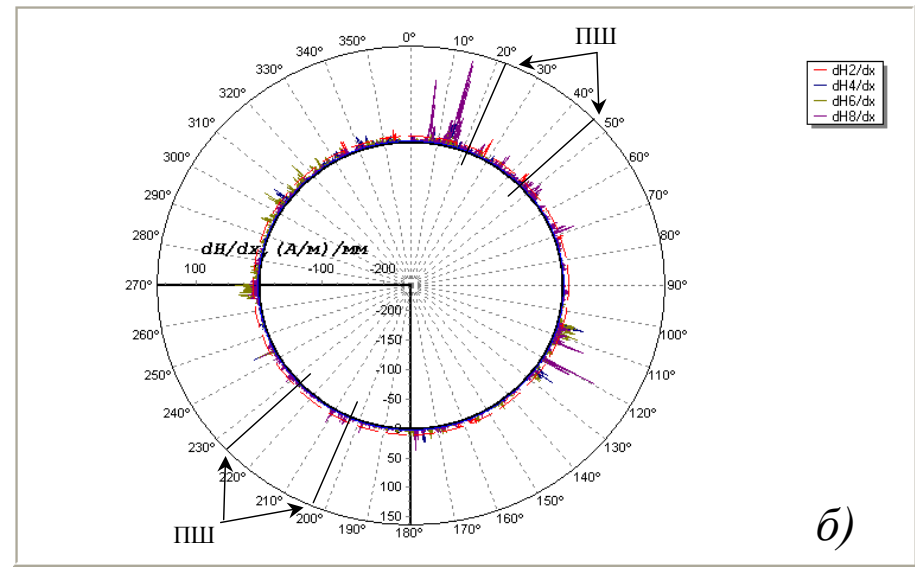
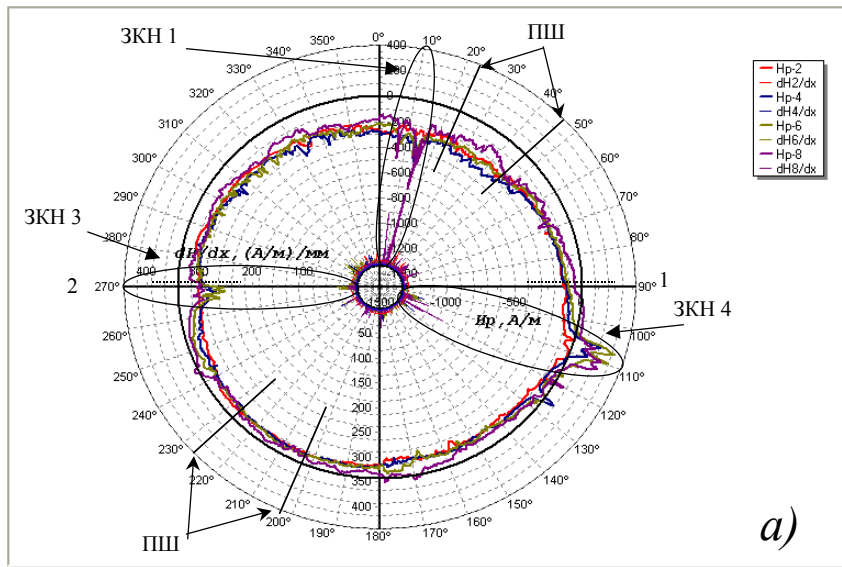
Методика прошла широкую промышленную проверку, в первую очередь, в ООО «Газпром трансгаз Томск» и может быть рекомендована для использования на других предприятиях ОАО «Газпром» при выполнении капитальных ремонтов магистральных газопроводов.

Применение данной методики в сочетании с ультразвуковым методом повышает скорость и эффективность контроля кольцевых сварных соединений.





# Результаты контроля методом МПМ кольцевого сварного соединения Т1 труб.



*а* - поля ( $H_r$ ) и его градиента ( $dH/dx$ ) вдоль сварного соединения;

*б* - градиента магнитного поля ( $dH/dx$ ) вдоль сварного соединения.

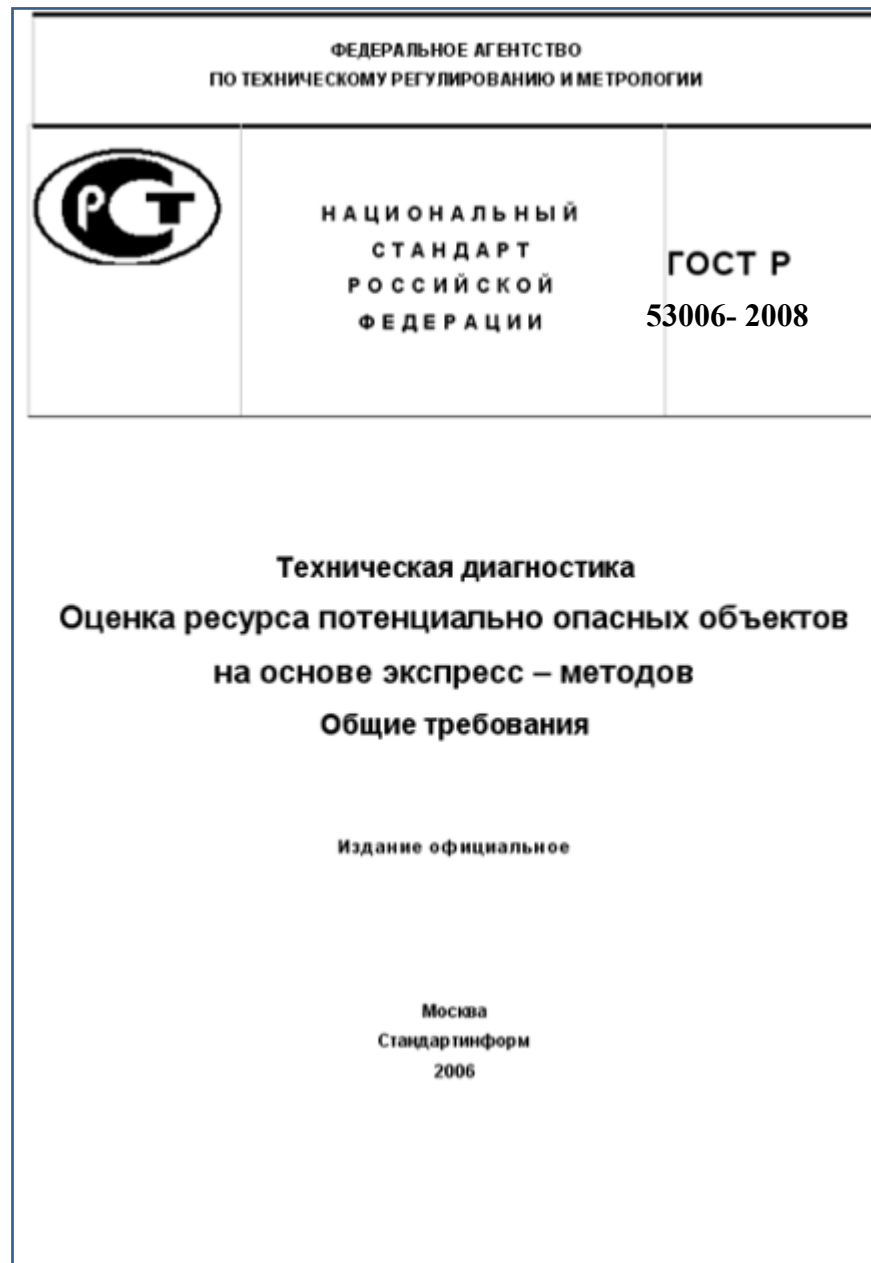
ЗКН 1, 2, 3 - зона концентрации напряжений.

Самое главное, что данная методика позволяет выявить не только развитые дефекты, но и дает возможность определить уровень концентрации напряжений на этих дефектах, т.е. оценить степень их опасности. Кроме того, методика позволяет сделать оценку НДС в ЗТВ сварного соединения и выявить локальные ЗКН – источники будущих повреждений.



В 2008 введен в действие стандарт России ГОСТ Р 53006-2008 «Оценка ресурса потенциально опасных объектов на основе экспресс-методов. Общие требования».

К экспресс-методам в данном стандарте отнесены метод АЭ, метод МПМ, Тепловой контроль.



Необходимо отметить, что отсутствие технологической операции – НК НДС при выполнении капитального ремонта газопроводов является недостающим звеном в обеспечении их надежности. Более широкое применение метода МПМ при выполнении работ на МГ позволит решить задачу НК НДС газопроводов.



**БЕСКОНТАКТНАЯ МАГНИТОМЕТРИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА (БМД).**

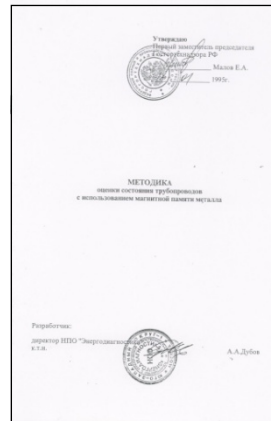
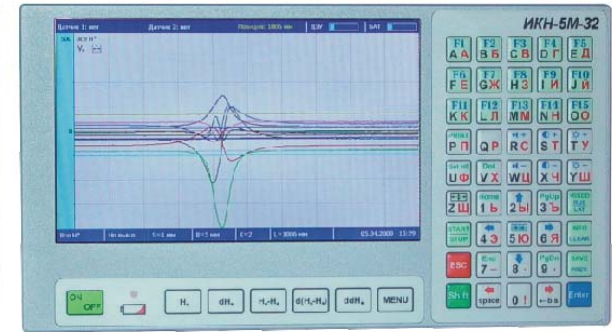
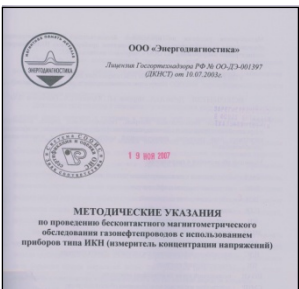
**МЕТОД МАГНИТНОЙ ПАМЯТИ МЕТАЛЛА (МПМ) –**

**ОСНОВА КРИТЕРИЕВ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ.**



# ИКН-6М-8

# ИКН-5М-32

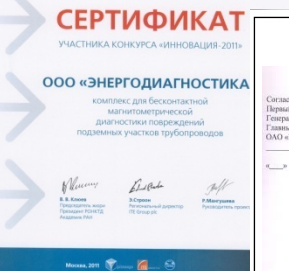
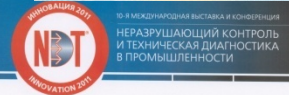


# ИКН-3М-12

## Современный комплекс для проведения

### бесконтактной магнитометрической диагностики (БМД):

*1* – дорожное колесо; *2* – узел счета длины; *3* – узел крепления сканирующего устройства Тип 11-12; *4* – сканирующее устройство Тип 11-12; *5* – ручка; *6* – узел крепления измерительного прибора; *7* – складная опорная стойка; *8* - универсальная головка



## Метод МПМ –

### основа бесконтактной магнитометрической диагностики без вскрытия грунта

В 2000 году предприятие ООО «Энергодиагностика», имея к тому времени более чем 20-летний опыт развития метода магнитной памяти металла и приборов типа ИКН, приступило к освоению бесконтактной магнитометрической диагностики (БМД) газонефтепроводов, расположенных под слоем грунта. В комплекте с приборами типа ИКН были изготовлены специализированные многоканальные высокочувствительные датчики, блоки счета длины.

Первые же работы, выполненные нами на практике по БМД, выявили те же диагностические параметры оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) газонефтепроводов, которые мы к тому времени разработали в методе магнитной памяти металла (МПМ) при непосредственном контроле.





# Примеры выполнения бесконтактной магнитометрической диагностики подземных участков трубопроводов с использованием комплекса в различных условиях

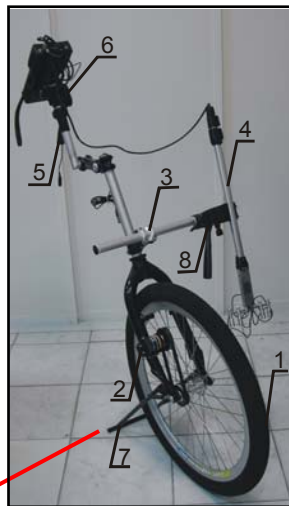




## Бесконтактная магнитометрическая диагностика в зимних условиях

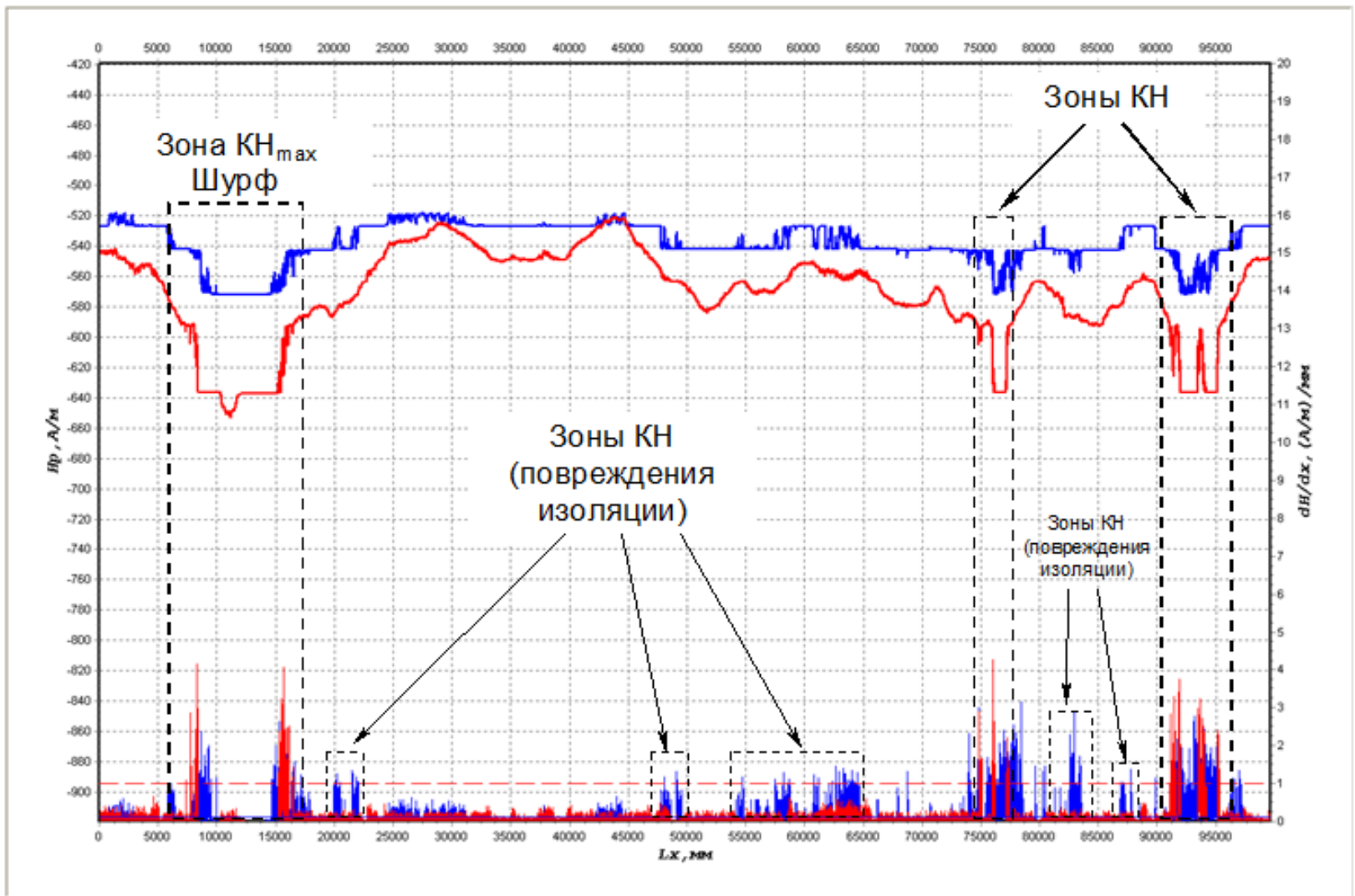
Сканирующее устройство (Тип 11-6БК) устанавливается на специальные сани, которые транспортируются вдоль трассы газонефтепровода за снегоходом.

Скорость контроля (снятия информации) составляет до 8 км/рабочий день.



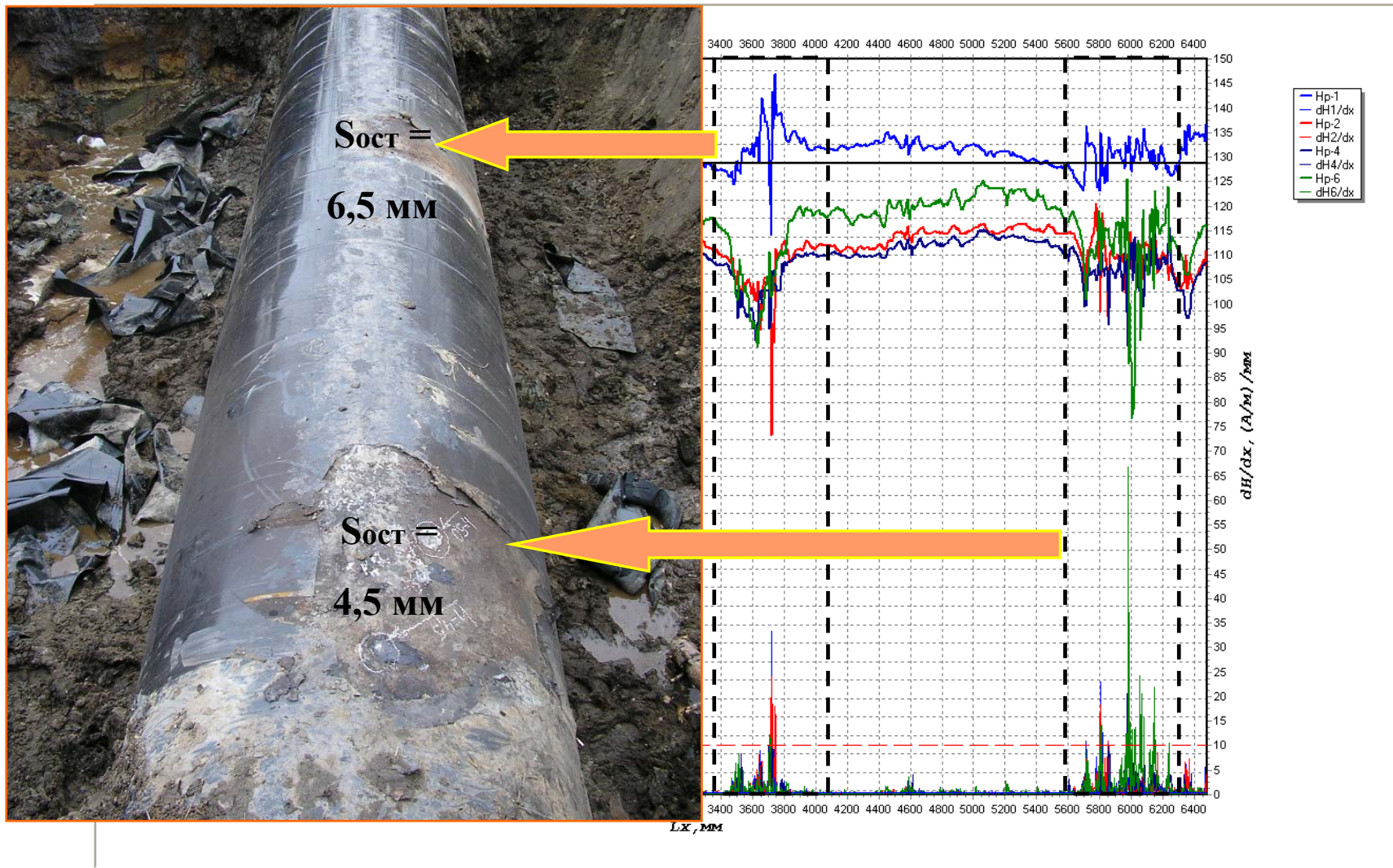
**ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ БМД ПРИ КОМПЛЕКСНОЙ  
ДИАГНОСТИКЕ МАГИСТРАЛЬНЫХ  
И МЕЖПРОМЫСЛОВЫХ ГАЗОНЕФТЕПРОВОДОВ**





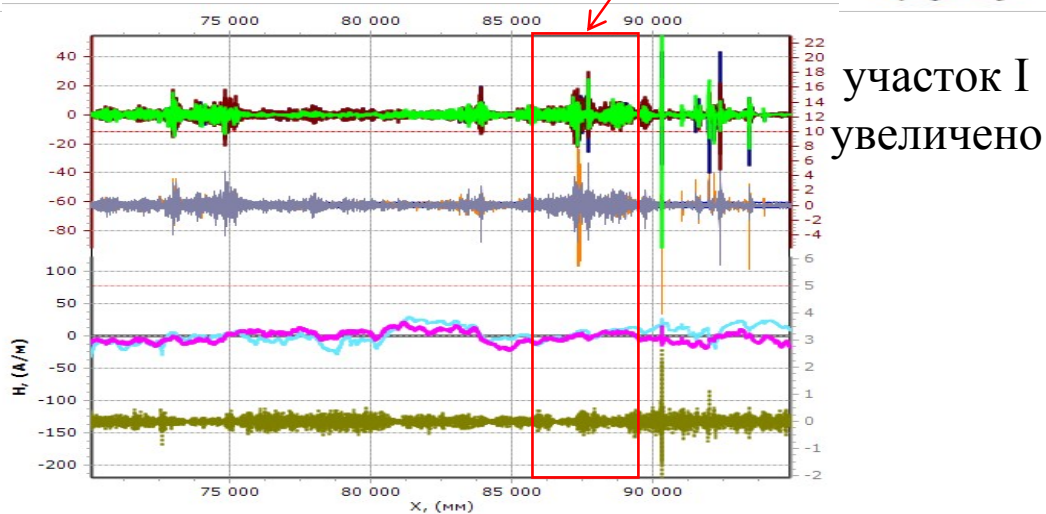
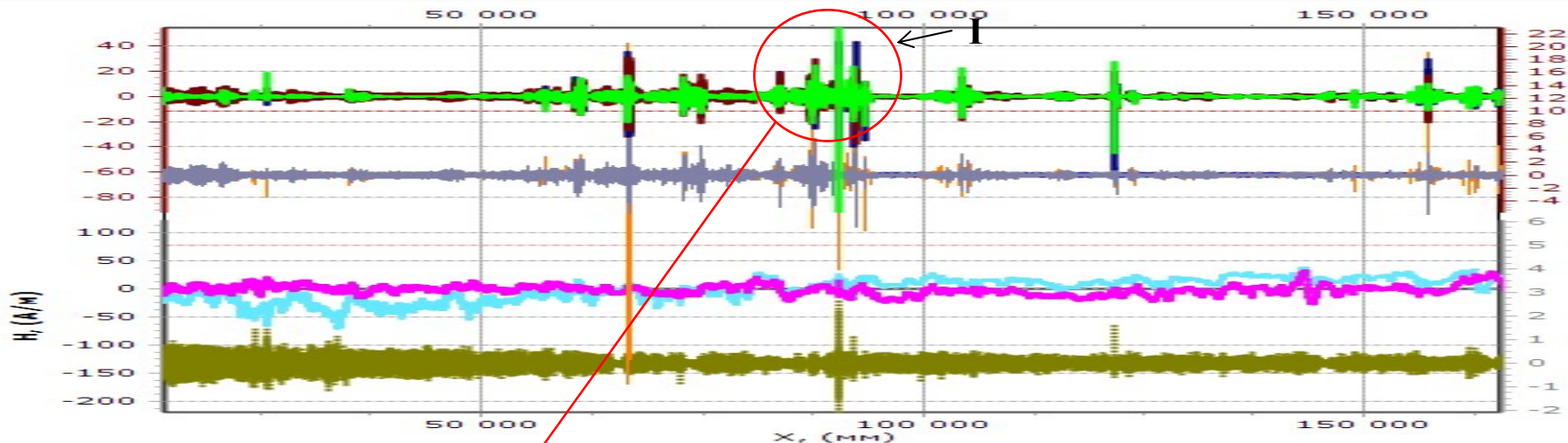
Результаты бесконтактного магнитного контроля участка (1600÷1700 м) магистрального нефтепровода (Ø1020×10) с использованием прибора серии ИКН.





Результаты контроля участка магистрального нефтепровода ( $\text{Ø}1020 \times 10$ ) в зоне  $\text{KH}_{\text{max}}$ , в шурфе.





Результаты контроля межпромыслового трубопровода (нефтепровод)  $\varnothing 377 \times 10$  (11).

Срок эксплуатации с 1965 года.

Давление среды  $P = 2,5$  МПа.

При шурфе выявлено отслоение изоляции и внешняя язвенная коррозия на глубину  $2 \div 4$  мм.



В заключение необходимо отметить следующее.

Основной задачей всех методов и средств диагностики при оценке состояния газонефтепроводов, находящихся в длительной эксплуатации является поиск (или определение) потенциально опасных участков с развивающимися повреждениями. В результате обследования необходимо ответить на вопрос: «Где и когда следует ожидать повреждения или аварии?». Если такая задача решается, то в этом случае обеспечивается возможность своевременной замены или ремонта потенциально опасного участка. Именно на решение этой задачи направлено применение БМД в сочетании с дополнительным контролем трубопроводов (ММП, ВИК, УК, ВК и др.) в шурфах.

