

Возможности метода магнитной памяти металла при решении проблемных задач технической диагностики

Дубов А.А.
Генеральный директор
ООО «Энергодиагностика»
Москва, Россия
mail@energodiagnostika.ru



ЭНЕРГОДИАГНОСТИКА

Технология неразрушающего контроля (НК) на основе использования магнитной памяти металла (МПМ) развивается уже в течение 30 лет, однако дискуссия по восприятию этой технологии среди специалистов продолжается. Оппоненты метода МПМ пытаются отнести его к известным магнитным методам НК. Не вникая в физические основы и не имея, как правило, практического опыта по этой технологии, одни специалисты относят метод к магнитному потоку рассеяния (MFL), другие – к феррозондовому методу по типу используемых датчиков в наших приборах ИКН.

МПМ к известным магнитным методам имеет условное отношение. Метод МПМ, в первую очередь, решает вопрос контроля напряженно-деформированного состояния оборудования и, в частном случае, когда известны критерии отбраковки, его можно использовать как метод дефектоскопии. Метод МПМ по физической сущности наиболее близок к акустической эмиссии (АЭ). Источники магнитного сигнала (аномалии) в методе МПМ и сигналы АЭ одни и те же по месту своего расположения на объекте контроля. Сигналы АЭ и МПМ возникают в зонах концентрации напряжений – источниках развивающихся повреждений. В настоящее время ряд российских и зарубежных фирм используют на практике метод МПМ в комплексе с АЭ и другими методами НК с целью повышения эффективности контроля.



ЭНЕРГОДИАГНОСТИКА

Метод МПМ основан на сочетании механики разрушений, материаловедении, неразрушающего контроля и позволяет решать сложные, проблемные задачи в технической диагностике оборудования и при контроле качества продукции машиностроения.



ЭНЕРГОДИАГНОСТИКА

Согласно ГОСТ Р ИСО 24497-1-2009 метод 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).

СМПР, отображающее термоостаточную намагниченность, сформировавшуюся естественным образом в процессе изготовления изделия, следует отличать от магнитных полей рассеяния (МПР), возникающих на дефектах металла и трещинах при искусственном намагничивании изделия (например, при выполнении магнитопорошковой дефектоскопии).

Контроль методом МПМ осуществляется без зачистки металла и искусственного намагничивания. Используется остаточная намагниченность, которая сложилась естественным образом при изготовлении изделий и в процессе их эксплуатации.



ЭНЕРГОДИАГНОСТИКА

Физические основы метода МПМ

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



Формирование остаточной намагниченности в ферромагнитных изделиях в процессе остывания металла ниже точки Кюри

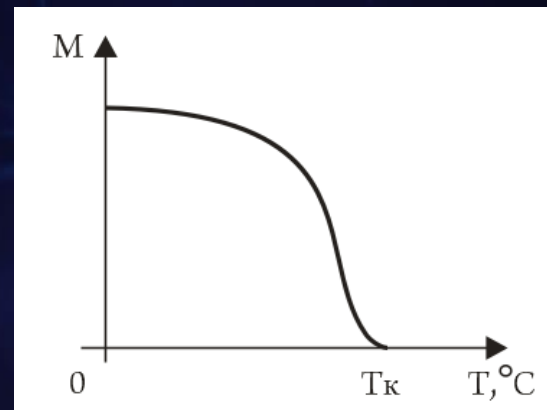
T_K температура точки Кюри (для сталей углеродистых $T_K \approx 760-770^\circ\text{C}$). При остывании металла изделий в момент прохождения через T_K магнитная проницаемость μ максимальна.

Сформировавшаяся таким образом термоостаточная намагниченность в изделиях по величине и направлению будет определяться формой изделия, направлением и величиной внутренних (остаточных) напряжений и расположением изделия в магнитном поле Земли или в слабом магнитном поле цеха конкретного производства.

В многочисленных экспериментальных работах установлено, что остаточная намагниченность, сформировавшаяся естественным образом в процессе изготовления изделий, отображает в них структурную и технологическую наследственность. То есть в этом смысле можно говорить о магнитной памяти металла.

Рис.1. Схематическое изменение намагниченности ферромагнетика (M) в зависимости от температуры:

T_K – температура точки Кюри (768°C для Fe)



В процессе эксплуатации изделий термоостаточная намагниченность перераспределяется (изменяется) под действием рабочих нагрузок и в ЗКН (источниках развития повреждений) возникают магнитные аномалии, которые фиксируются специализированными приборами. При этом очень важным в метрологическом аспекте параметром является магнитомеханический критерий, характеризующий предельное состояние металла в ЗКН, при котором начинается процесс трещинообразования. В докладе представлено экспериментальное обоснование данного диагностического параметра.

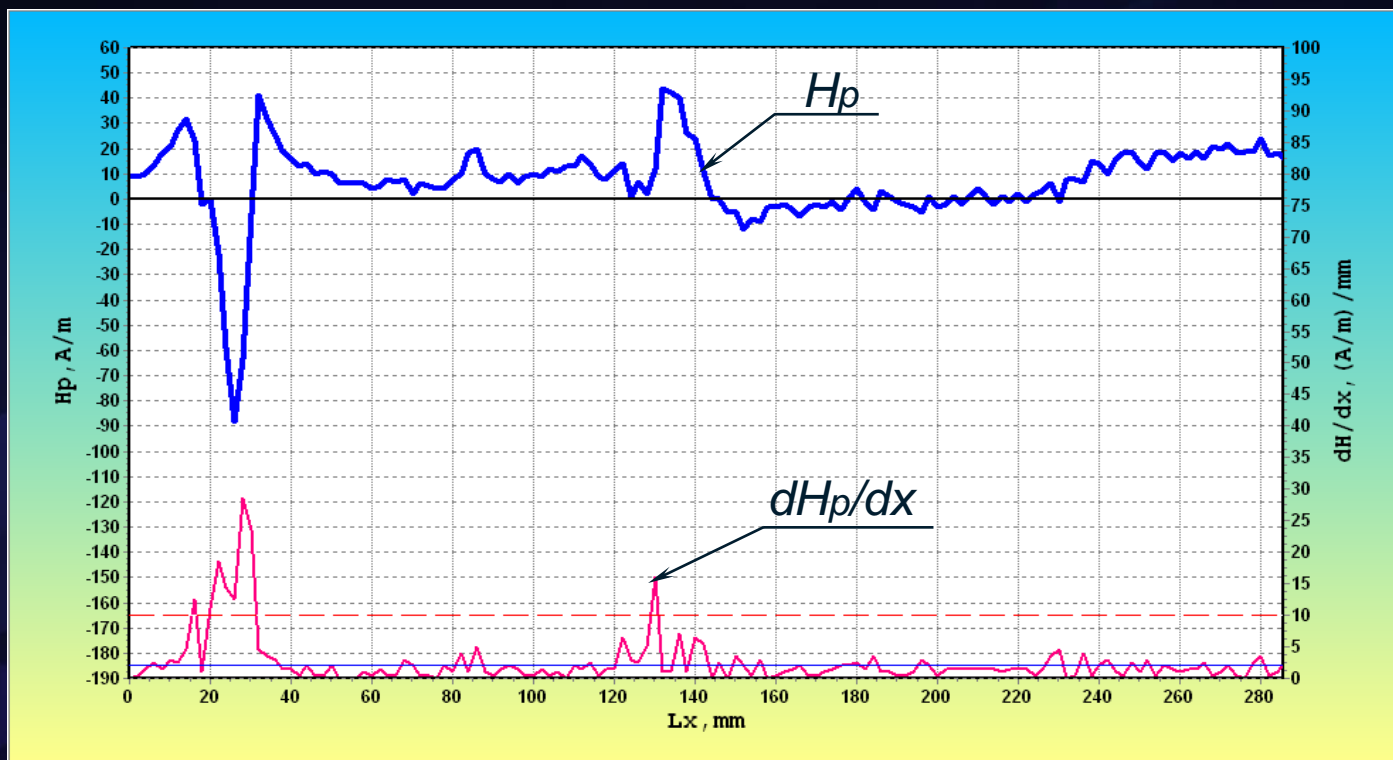
Геометрическим признаком магнитных аномалий, характеризующим ЗКН, является расстояние между экстремальными значениями собственного магнитного поля, кратное типоразмеру изделия (толщине, ширине, диаметру). Это расстояние соответствует минимальному расстоянию между соседними площадками скольжения или критическому размеру оболочки, возникающему, например, при потере устойчивости трубы.



ЭНЕРГОДИАГНОСТИКА

Магнитные параметры, используемые при контроле методом МПМ:

- нормальная и/или тангенциальная составляющие СМГР – H_p ;
- градиент магнитного поля по длине dH/dx и/или по базе dH/dz между каналами измерений.



ЭНЕРГОДИАГНОСТИКА

Среди основных расчетных диагностических параметров в методе МГМ применяется параметр m , характеризующий предельную деформационную способность материала:

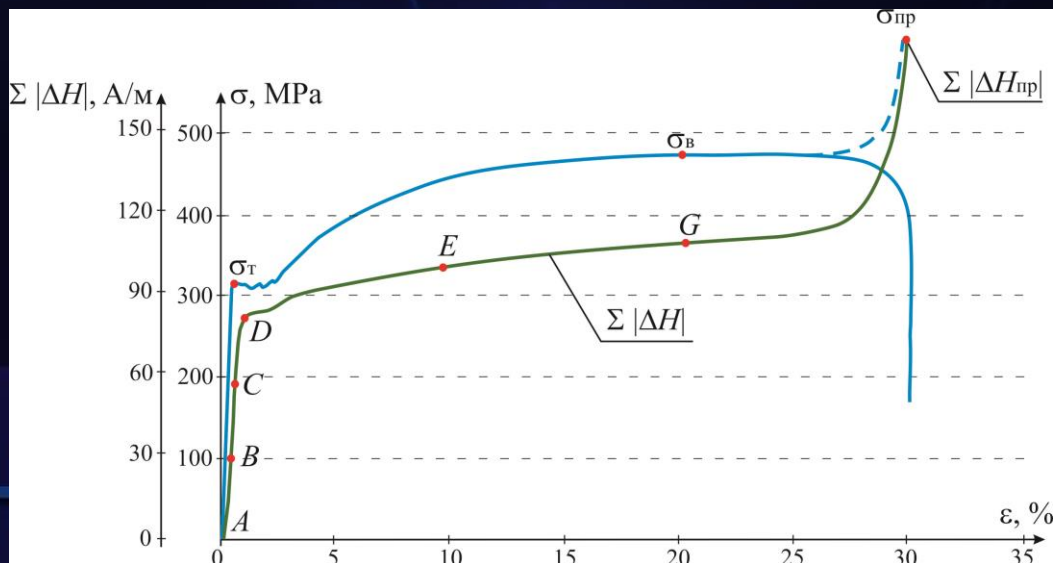
$$m = \frac{K_{ин}^{max}}{K_{ин}^{cp}} \quad (2)$$

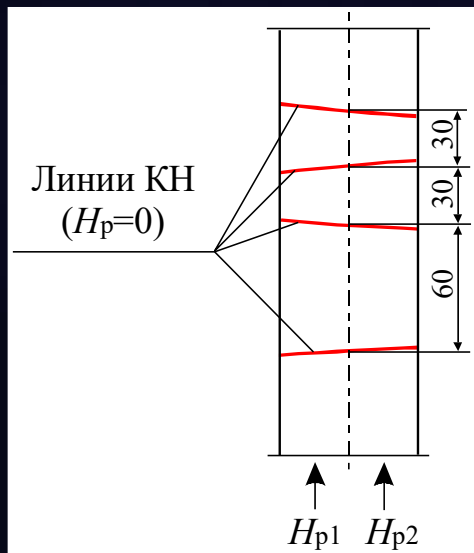
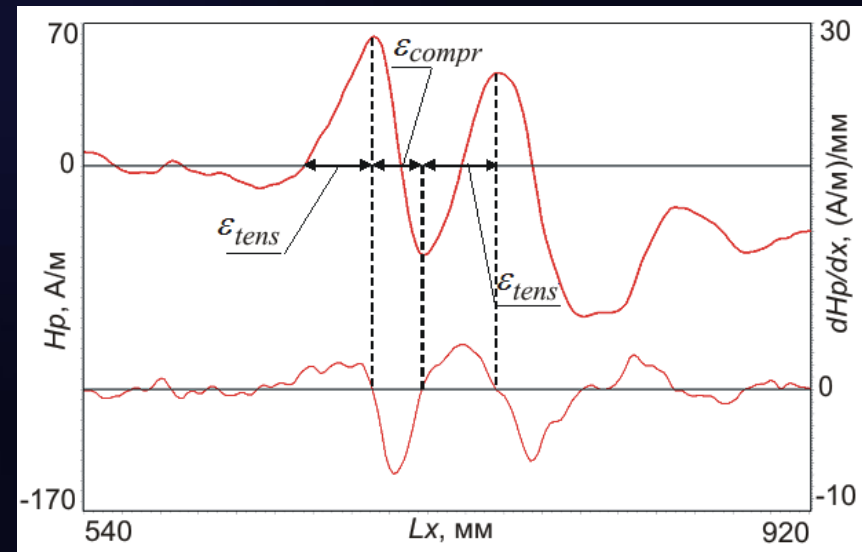
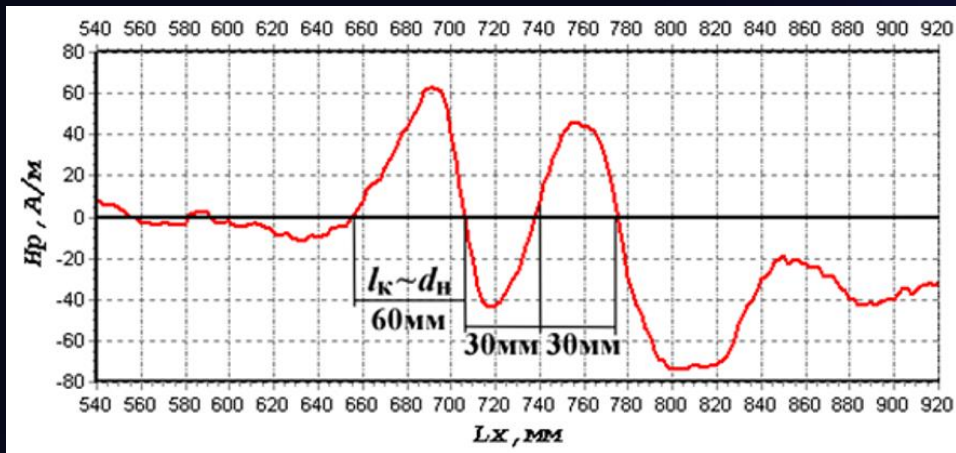
где $K_{ин}^{max}$, со $K_{ин}^{cp}$ соответственно, максимальное и среднее значения градиента поля, которые определяются при контроле методом МГМ однотипных узлов оборудования.

В ходе промышленных и лабораторных исследований на образцах установлено соотношение между предельными значениями магнитных и механических параметров:

$$m_{пр} = \frac{K_{ин}^{max}}{K_{ин}^{cp}} \approx \frac{K_{ин}^{пр}}{K_{ин}^в} \approx \frac{\sigma_{пр}}{\sigma_в} \quad (3)$$

где значения $K_{ин}^{max}$ и $K_{ин}^{cp}$, полученные в результате контроля однотипных узлов оборудования, соответствуют значениям $K_{ин}^{пр}$ и $K_{ин}^в$, полученным в результате испытаний на растяжение образцов, изготовленных из той же марки стали, при достижении, соответственно, истинного предела прочности при разрушении $\sigma_{пр}$ и условного предела прочности $\sigma_в$.





На данном слайде показаны результаты контроля методом МПМ трубы $\varnothing 60 \times 4$ водогрейного котла КВГМ-50. Видно, что в зоне концентрации напряжений на поверхности трубы образовались волны деформации и площадки скольжения. Площадки скольжения отображаются в виде линии смены знака нормальной составляющей собственного магнитного поля рассеяния трубы. Здесь мы видим магнитомеханические домены с размерами кратными диаметру трубы.



Разработаны и серийно производятся специализированные приборы контроля и программное обеспечение по методу МПМ



ИКН-2М-16



ИКН-3М-12



ИКН-7М-16



ИКН-8М-4
ИКН-9М-12



ИКН-6М-8



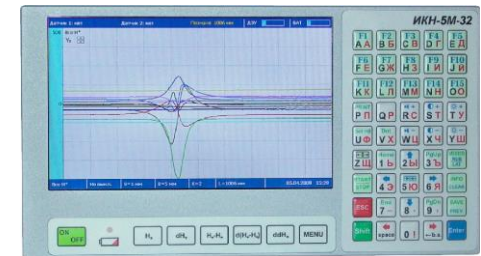
ИКН-4М-16



ЭМИТ

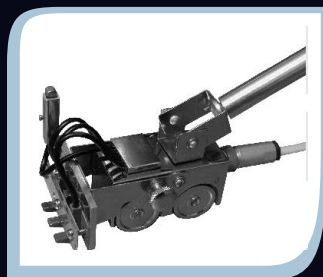


ИКН-5М-32

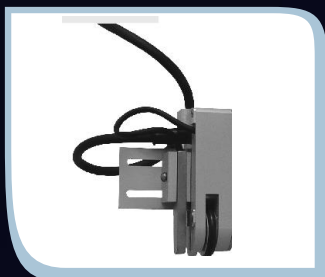


ЭНЕРГОДИАГНОСТИКА

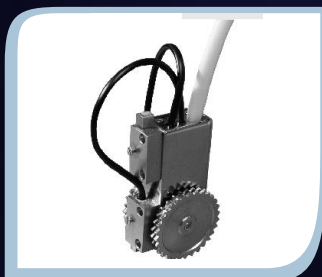
Сканирующие устройства для приборов типа ИКН



Тип 1-8М



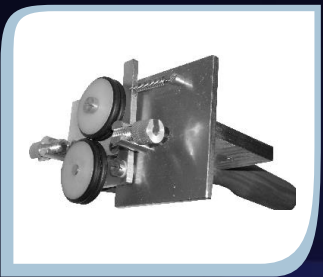
Тип 2М



Тип 3М



Тип 3М-4К



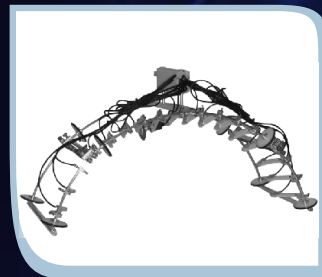
Тип 13



Тип 15



Тип 16



Тип 17



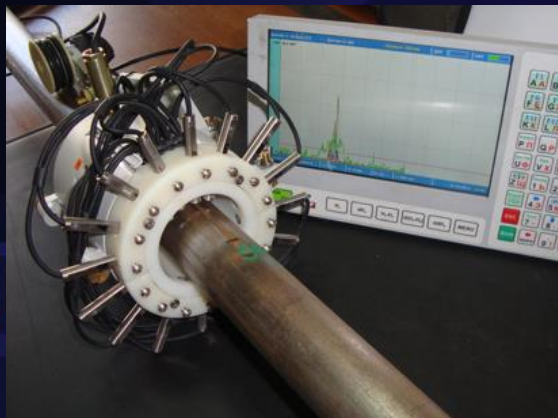
Тип 11-6К

Тип 15-16

Тип 15-12

Тип 6-12

Тип 6-8



ЭНЕРГОДИАГНОСТИКА

Метод магнитной памяти металла (метод МПМ) – метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации и анализе распределения собственного магнитного поля рассеяния (СМПП) на поверхности сварного шва, позволяющий выполнять оценку его фактического состояния с учетом структурной неоднородности, распределения остаточных напряжений и дефектов сварки.

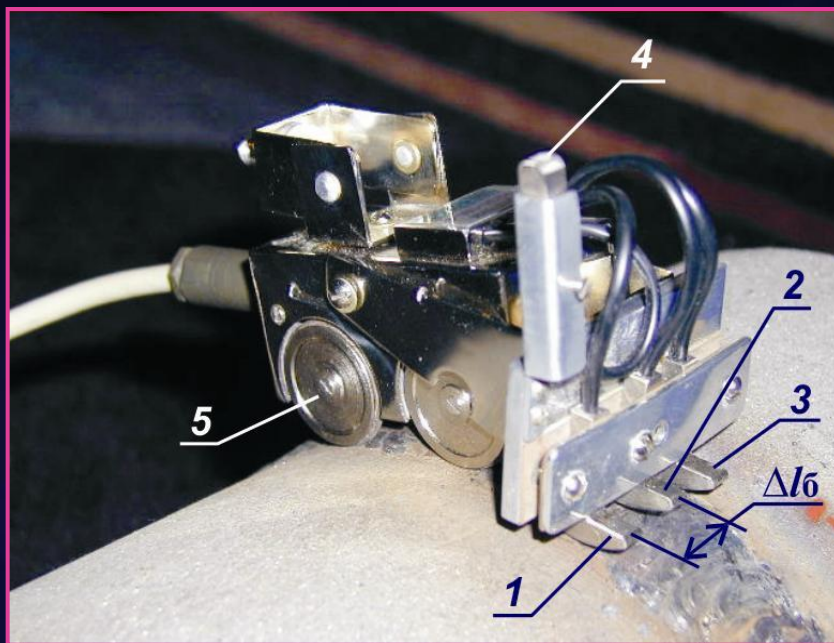


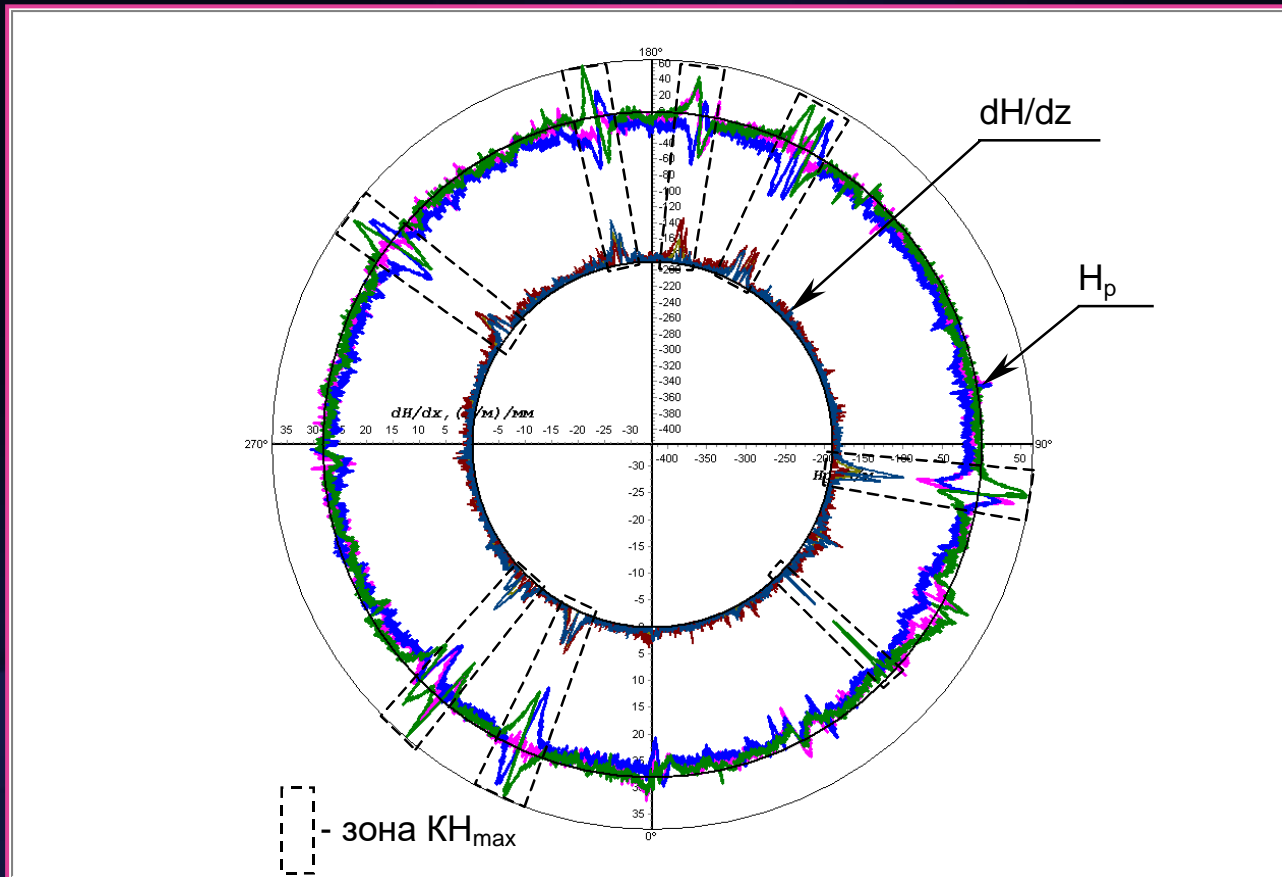
Схема контроля сварного соединения многоканальным сканирующим устройством прибора типа ИКН



ЭНЕРГОДИАГНОСТИКА



ЭНЕРГОДИАГНОСТИКА



Результаты контроля кольцевого сварного шва



ЭНЕРГОДИАГНОСТИКА

Новолипецкий металлургический комбинат (ПАО «НЛМК») Контроль слябов из изотропной динамной стали методом магнитной памяти металла (МПМ)

В результате работы специалистами ООО «Энергодиагностика» с использованием прибора ИКН-5М-32 и многоканального сканирующего устройства Тип 17-16 выполнен инструментальный контроль двух литых слябов (с разными режимами термообработки) с вакуумированием в цикле – до и после кантования и значительной динамической нагрузки при транспортировке слябов железнодорожным транспортом.

Выявлены зоны концентрации напряжений (ЗКН). Проведена оценка прочностных свойств по замерам твердости (НВ) твердомером статического действия в максимальных ЗКН и вне их.

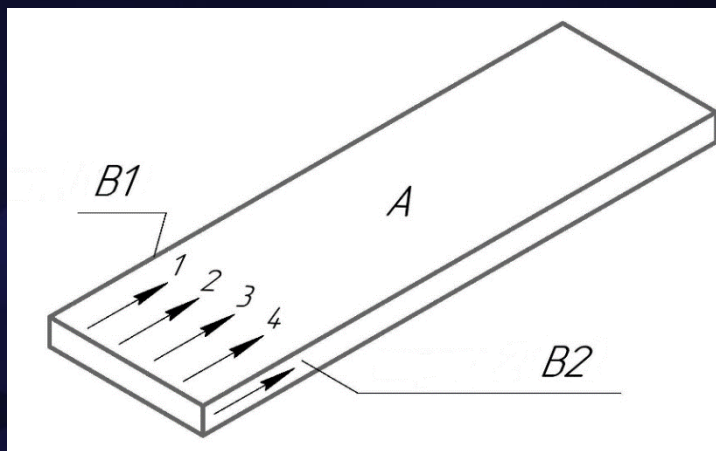


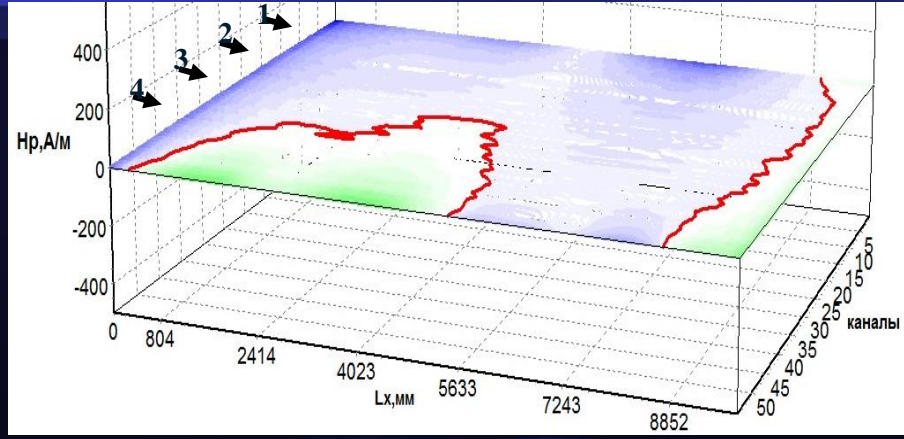
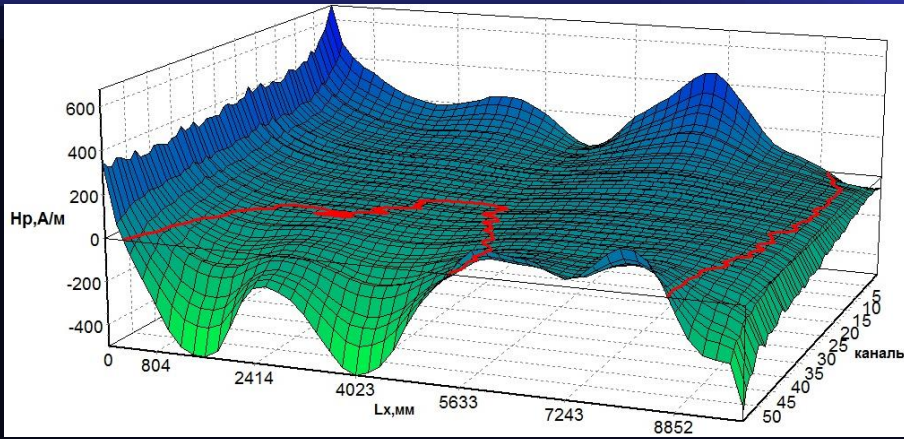
Схема контроля сляба методом МПМ



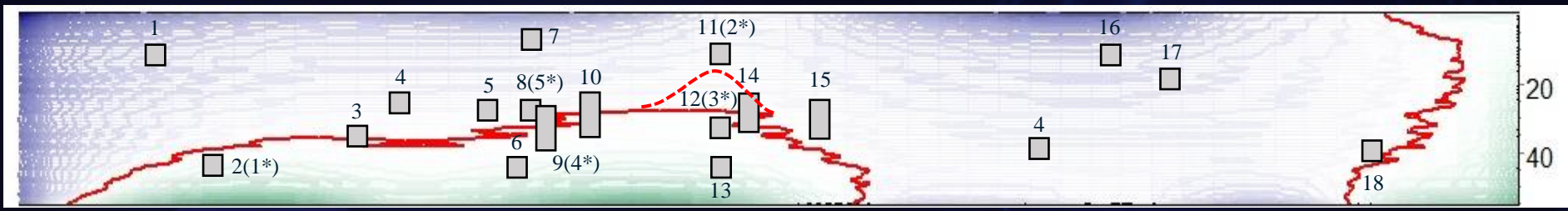
Рабочий момент контроля



ЭНЕРГОДИАГНОСТИКА



Распределение изолиний СМГР по поверхности А сляба №5: объемное изображение (а); проекция изолиний СМГР (б)

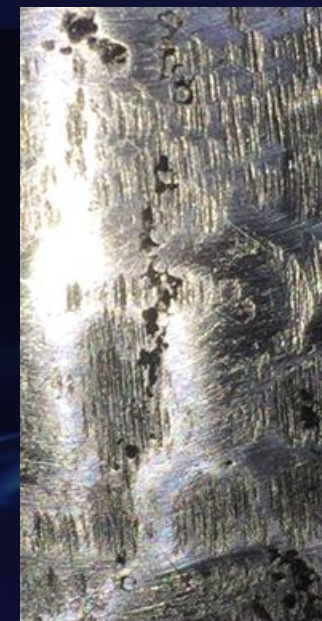


Совмещение расположения зон контроля прочностных свойств с проекцией изолиний СМГР H_p (А/м) (в).

■ - Расположение участков проведения измерений твердости и определения прочностных свойств.



ЭНЕРГОДИАГНОСТИКА



Очаговые каверны вытянутой или округлой формы в ЗКН 8 (5*) и 15 сляба №5.

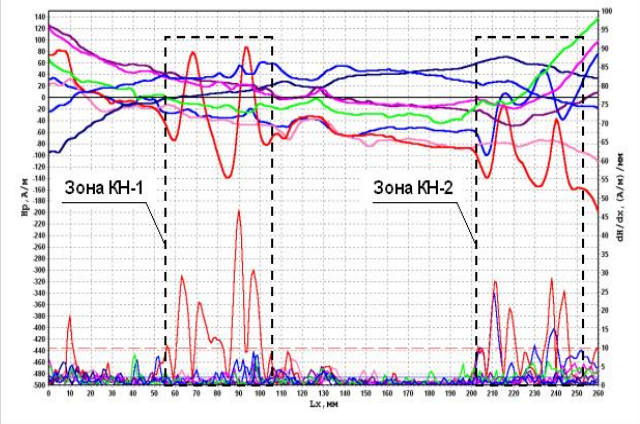
Очаговые каверны вытянутой или округлой формы в ЗКН 14 сляба №8

В результате сопоставления данных контроля НДС слябов методом МПМ и измерений твердости установлено, что в отдельных локальных ЗКН уровень остаточных напряжений на поверхности слябов достигает предельных значений (предела прочности), что приводит к растрескиванию металла в виде появления участков с очаговыми кавернами различной формы. При этом снижается пластичность металла ниже допустимого уровня.

Установлено, что показательной механической характеристикой для оценки состояния металла в локальных ЗКН может быть относительное удлинение и его изменения



ЭНЕРГОДИАГНОСТИКА



Распределение поля H_z по восьми образующим вдоль лодильной головки.

Выявленные зоны КН.

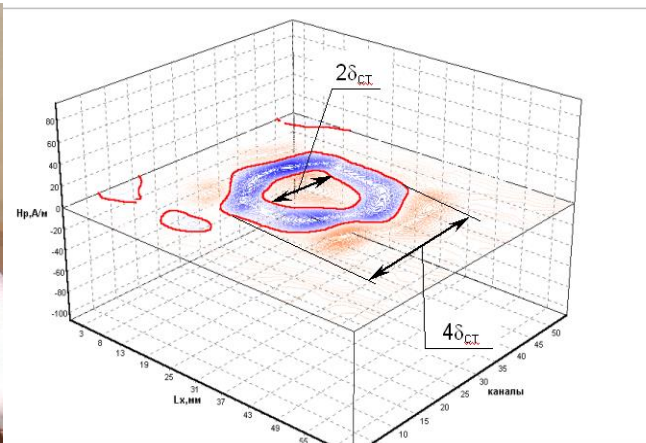
Сканирование по образующим



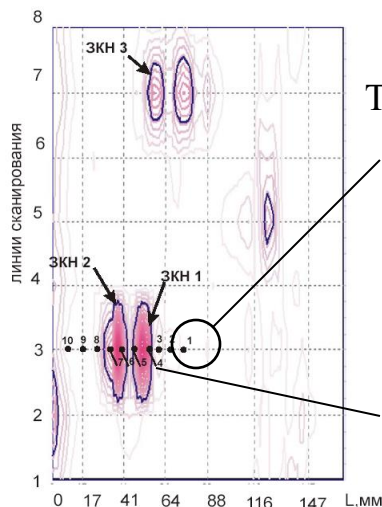
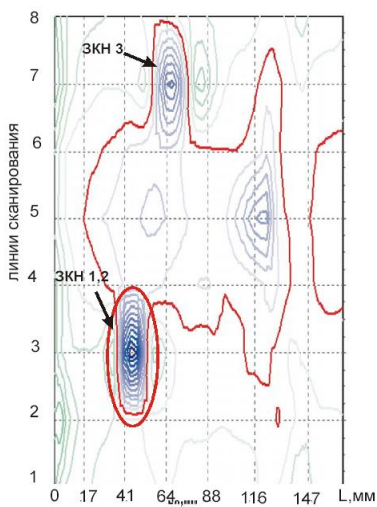
Расположение линий КН ($H_z=0$) в зоне КН-1



Схема контроля.

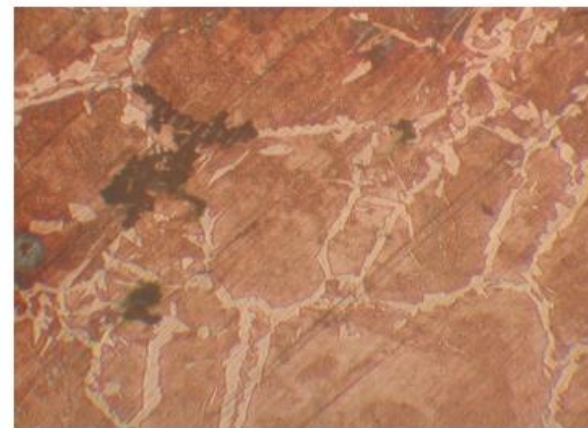


Изолинии СМДР в зоне КН.



Точки 1,3 – 8 ÷ 10
160 ÷ 178 НВ

Точки 5 ÷ 7
230 ÷ 250 НВ



X150 структурная неоднородность.
Разнозернистость структуры. Скопления включений по границам зерен. Начальный этап развития микротрещины.

Изолинии градиента концентрации напряжений.
Результаты измерений твердости в ЗКН.

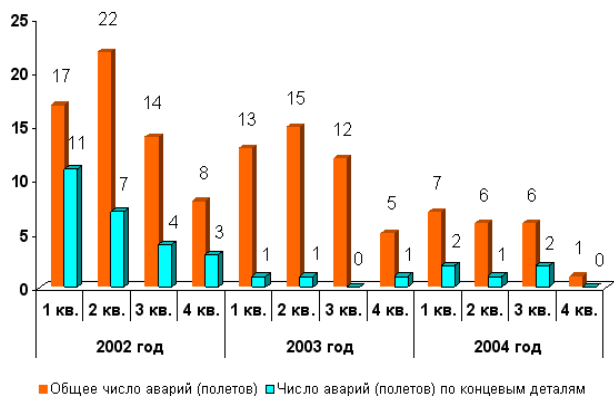
Контроль лодильных головок, УЭЦН, муфт подвески НКТ.



Количество проверенных корпусных и концевых деталей

№ п/п	Наименование детали	Количество проверенных деталей, шт.	Количество отбракованных деталей, шт.
1	Головка УЭ	6770	670
2	Основание ЭЦН	16383	1276
3	Ловильная головка	5515	626
4	Основание газосепаратора	3528	222
5	Головка газосепаратора	3651	149
6	Корпус газосепаратора	3523	317
7	Вал ЭЦН	12675	329
ИТОГО за период 2002г.-2005г.:		52045	3589


Динамика эффективности применения диагностического комплекса с использованием МПМ концевых деталей УЭЦН в 2002-2004г.г.



Результаты внедрения комплекса НК деталей УЭЦН на основе метода МПМ. Контроль проводится специалистами ООО «Грэй» г.Нижневартовск на ремонтном предприятии ЗАО «Центрофорс» и объектах добычи ОАО «ТНК- Нижневартовск»

Результаты применения метода МПМ при диагностике корпусных деталей.

МЕТОД МАГНИТНОЙ ПАМЯТИ МЕТАЛЛА



ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
ГОРНЫЙ И ПРОМЫШЛЕННЫЙ
НАДЗОР РОССИИ
(Гостехнадзор России)

107066, г. Москва, ул. А. Лукьянова, 4, корп. 8
Телефон: 263-97-75 Телеракс: 261-60-43
E-mail: gosnadzor@gosnadzor.ru

05.04.2002 № 10-03/343

На № _____

Генеральному директору
ООО «Энергодиагностика»

А.А. Дубову

Управление по надзору в нефтяной и газовой промышленности, рассмотрев «Методические указания по техническому диагностированию концевых деталей установок электрического центробежного насоса (УЭЦН) с использованием магнитной памяти металла», согласовывает их на основании экспертного заключения АНО «Технонефтегаз» от 06.04.2002.

Заместитель начальника Управления
по надзору в нефтяной и газовой
промышленности

А.А. Шестаков
А.А. Шестаков

исп. Глухов М.С.
тел. 263-97-67

г. Нижневартовск.

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ООО «Грэй»

И.Н. Матаев

«21» января 2003 г.

АКТ-ОТВЕТ

составлен по результатам применения метода магнитной памяти металла при диагностике концевых и трубных деталей погружных установок на нефтедобывающем предприятии ОАО «ТНК-Нижневартовск»

С 2000 года и по настоящее время предприятием ООО «Грэй» выполняется на договорной основе с ОАО «ТНК-Нижневартовск» контроль концевых и трубных деталей погружного насосного оборудования методом магнитной памяти металла (МПМ). Необходимость выполнения данного вида работ по неразрушающему контролю обусловлена значительным количеством случаев внезапного усталостного разрушения деталей при эксплуатации установок электроцентробежных насосов (УЭЦН) в нефтяной скважине. В течение календарного года происходит в среднем до 26 аварий (43%) по концевым и трубным деталям УЭЦН. Нефтедобывающее предприятие несет в среднем по 2,5 млн. руб. убытков по каждой аварии.

Установлено, что применение традиционных методов НК (УЗД, МПД, рентген и др.) не приносит положительных результатов, так как обладал возможностями обнаружения уже развитых дефектов.

Метод МПМ для диагностирования деталей УЭЦН доказал свою надежность и эффективность, так как позволил снизить количество аварий УЭЦН на действующем фонде скважин до 3 в квартал.

Стоимость НК МПМ деталей УЭЦН в год составляет около 3,5 млн. руб. Общее количество деталей УЭЦН, проверяемых методом МПМ 10 600 шт. в год.

Убытки ОАО «ТНК-Нижневартовск» от аварий в год:

2,5 млн. руб. × 26 аварий = 65 млн. руб.

Экономический эффект в год:

65 млн. руб. - 3,5 млн. руб. = 62,5 млн. руб.

Таким образом, внедрение метода магнитной памяти металла в производство позволило снизить количество аварий, увеличить среднюю наработку на отказ, увеличить добычу нефти.

Главный инженер:

Руководитель лаборатории НК:

Главный специалист по НК:

С.Г. Кулаков
С.Г. Кулаков
О.В. Калачкин
О.В. Калачкин
С.В. Якунин
С.В. Якунин





УТВЕРЖДЕНЫ
Распоряжением ПАО «НК «Роснефть»
от «11» декабря 2019 г. № 248
Введены в действие «11» декабря 2019 г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ КОМПАНИИ
ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ НА ВХОДНОЙ КОНТРОЛЬ, РЕМОНТ УСТАНОВОК
ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

№ П1-01.05 М-0183

ВЕРСИЯ 1.00

МОСКВА
2019

СОГЛАСОВАНО
Технический директор
ООО «ГРЭИ»


Кулаков С.Г.
« » 2017 г.

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель генерального директора
ООО «Энергодиагностика»


А.А. Дубов
« » 2017 г.

Методические указания
по контролю качества деталей УЭЦН
с использованием метода магнитной памяти металла

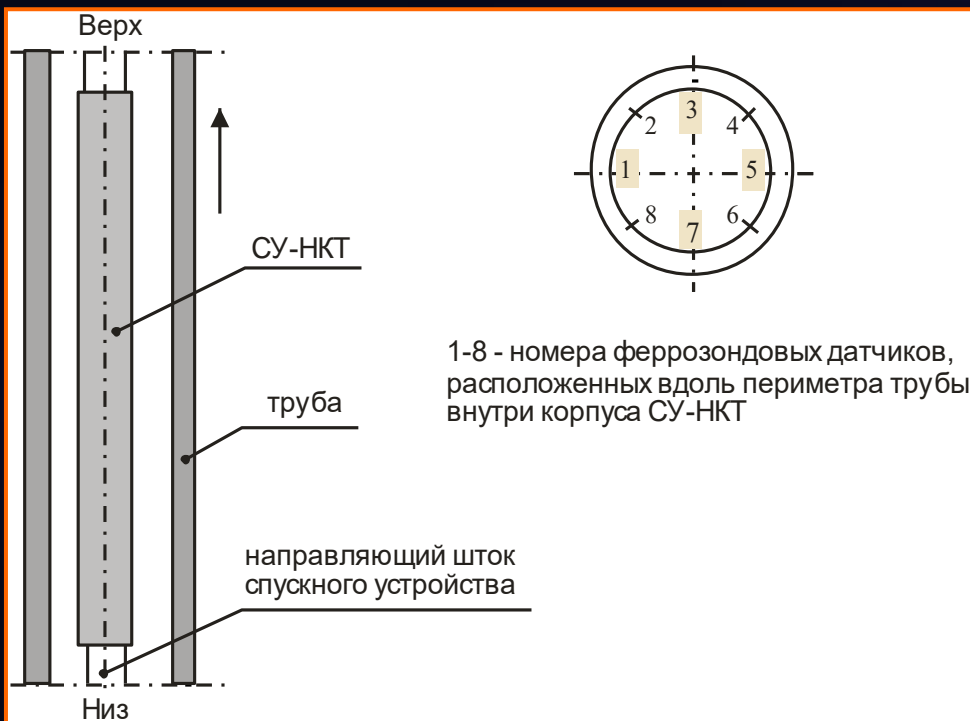
Москва, 2017



За период с 2018 по 2022 г. в НОАП «Энергодиагностика»
подготовлено около 200 специалистов по контролю деталей УЭЦН

ЭНЕРГОДИАГНОСТИКА

Диагностика насосно-компрессорных труб (НКТ) в скважинах нефтедобычи с использованием сканирующего устройства по методу магнитной памяти металла



ЭНЕРГОДИАГНОСТИКА

Бесконтактное магнитометрическое диагностирование. Оценка фактического напряженно- деформированного состояния. Классификация магнитных аномалий по категориям.

Кроме критериев используемых в программе МПМ Система 4.0 в настоящее время разработана методика и программа обработки, позволяющие с вероятностью более 75 % определять участки с развивающимися повреждениями и проводить сортировку аномалий по категориям на основе расчета магнитомеханического угла скольжения.



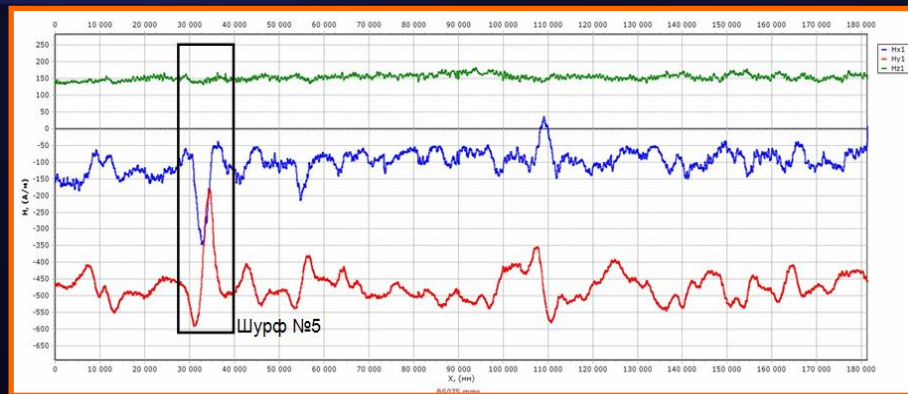
ЭНЕРГОДИАГНОСТИКА

Движение специалистов вдоль трассы подземного участка трубопровода.
Впереди – специалист с трассоискателем. Сзади – специалист по БМД.



ЭНЕРГОДИАГНОСТИКА

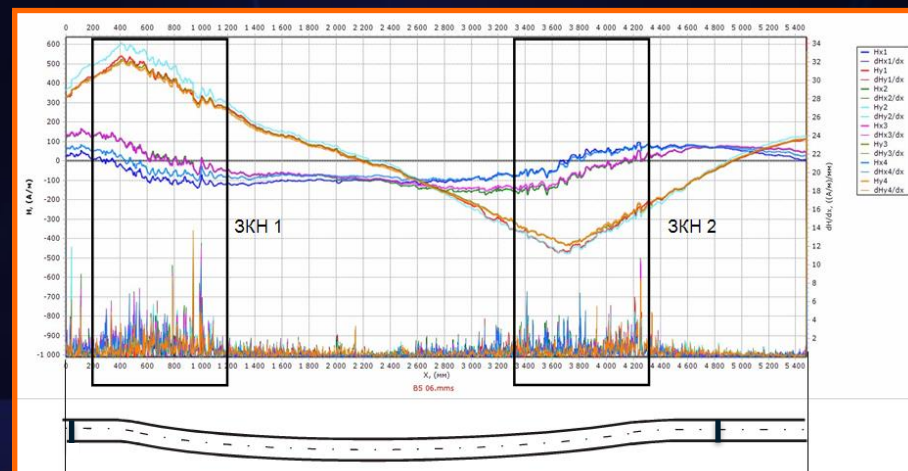
Результаты БМД газопровода Ø219x6 мм Хынчешть, Молдоватрансгаз



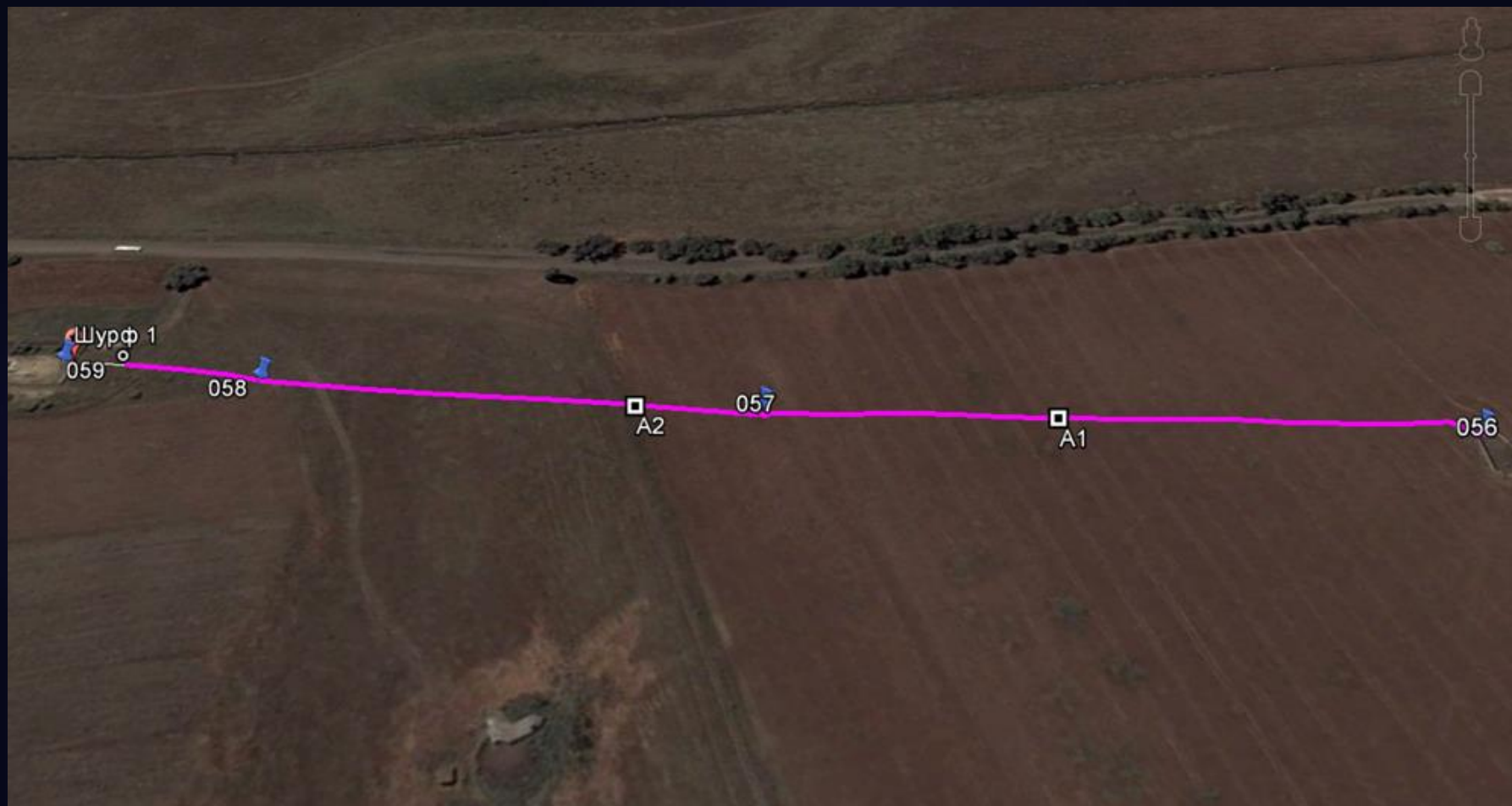
Фрагмент магнитограммы БМД в месте шурфовки (шурф №5)



Сопоставление результатов БМД и контактного контроля МПМ в шурфе с деформацией газопровода



Проекция газопровода на схему местности с указанием выявленных аномалий



ЭНЕРГОДИАГНОСТИКА



Аварийный участок нефтепровода на ПК 328+00



ЭНЕРГОДИАГНОСТИКА



Выполнение контроля напряженно-деформированного состояния нефтепровода с использованием метода МПМ и специализированного сканирующего устройства



ЭНЕРГОДИАГНОСТИКА

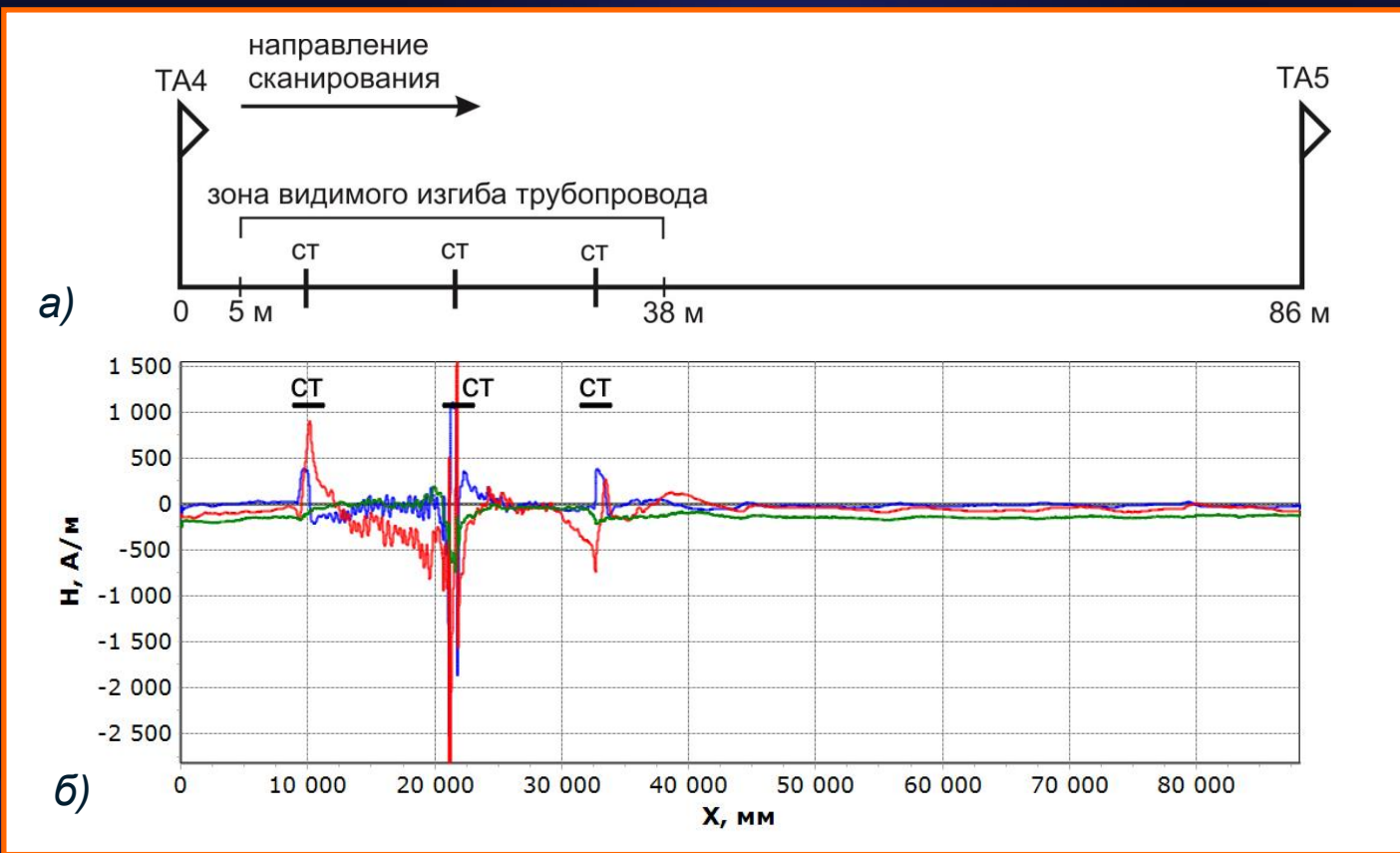


Схема трассировки нефтепровода на участке ПК 59+60 (а) и магнитограмма БМД участка (б): ст – монтажный стык.



ЭНЕРГОДИАГНОСТИКА

Согласовано
Первый заместитель
Генерального директора –
Главный инженер
ОАО «МОЭК»



И.Е.Романцов

Утверждаю
Генеральный директор
ООО «Энергодиагностика»



А.А.Дубов

2009г.

Методика определения остаточного ресурса действующих теплопроводов бесконтактным магнитометрическим методом

(Договор № 157/08/2 от 30.03.2009 г.)

Москва, 2009

ЭНЕРГИЯ

СТОЛИЦЫ

№ 07 (84)

Июль 2012

МОЭК

ГАЗЕТА ОАО «МОСКОВСКАЯ ОБЪЕДИНЕННАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ КОМПАНИЯ»

Все о методах неразрушающего контроля сетей

В этом номере газеты «Энергия Столицы» мы продолжаем публикацию анализа рынка оборудования неразрушающих методов контроля. О наиболее известных методах неразрушающего контроля (НК) и методиках диагностики тепловых сетей рассказывает начальник отдела диагностики тепловых сетей филиала №2 «Северный» Сергей Писчасов.



После окончания работ специалисты оборудования

Метод акустической эмиссии

Этот метод основан на принципе генерации (иначе – эмиссии) акустических сигналов в местах нарушения структуры металла при резком повышении давления рабочей среды. Метод нашел широкое применение при диагностике состояния энергетических агрегатов, в том числе корпусов ядерных реакторов. Как показал опыт практического применения, для обследования участка тепловой сети, нужна тщательная подготовка рабочего места. Датчики устанавливаются на трубопроводе продольно по длине участка, расстояние между соседними датчиками должно быть около 20 м. Ме-

тала необходимо тщательно зачищать до зеркального блеска «пятнами» диаметром около 7 см на тех местах трубопровода, где нет неровностей. Для проведения исследования (замера) давление теплоносителя необходимо поднять на 10% от эксплуатационного значения и затем в течение 10 минут производить запись акустических сигналов. После компьютерной обработки полученной информации в отчете представляются координаты дефектов в металле с указанием степени их опасности. Один комплект аппаратуры включает в себя 16 датчиков. Это значит, что при одном подъеме давления можно диагностировать около 300 м трубопровода. Метод

акустической эмиссии имеет несколько особенностей:

- при проведении диагностики в несколько этапов можно в каждом последующем эксперименте переходить только к более высоким значениям давления теплоносителя;
- при более высоких значениях давления источники акустической эмиссии (дефекты), выявленные ранее как неопасные, могут соответствовать более высокому классу;
- для возобновления диагностики при более низком давлении на участке, где уже проводился эксперимент, металл трубопровода должен длительно «отдыхать».

К сожалению, проводить диагностику данным методом на наших сетях не представляется возможным, так как, например, в отстойный период просто невозможно поднимать и опускать давление в трубе.

Метод магнитной памяти металла

Данный метод основан на регистрации собственных магнитных полей рассеяния, возникающих в оборудовании в локальных зонах концентрации напряжений под действием рабочих нагрузок. Необратимое изменение намагниченности в направлении действия главных напряжений от рабочих нагрузок, а также остаточную намагниченность деталей и сварных соединений после их изготовления и охлаждения в магнитном поле Земли предложено автором метода называть магнитной памятью металла. Уникальность метода магнитной памяти заключается также в том, что он основан на использовании собственного магнитного поля рассеяния, возникающего в зонах устойчивых полос скольжения и дислокации, обусловленных действием



После окончания работ специалисты

Однако при искусственном намагничивании в работающих конструкциях такой источник информации, как собственное магнитное поле рассеяния, получить невозможно. Только в малом внешнем поле (им является магнитное поле Земли), в нагруженных конструкциях, куда энергия деформации внешнего превосходит энергию внешнего магнитного поля, такая информация формируется и может быть получена.

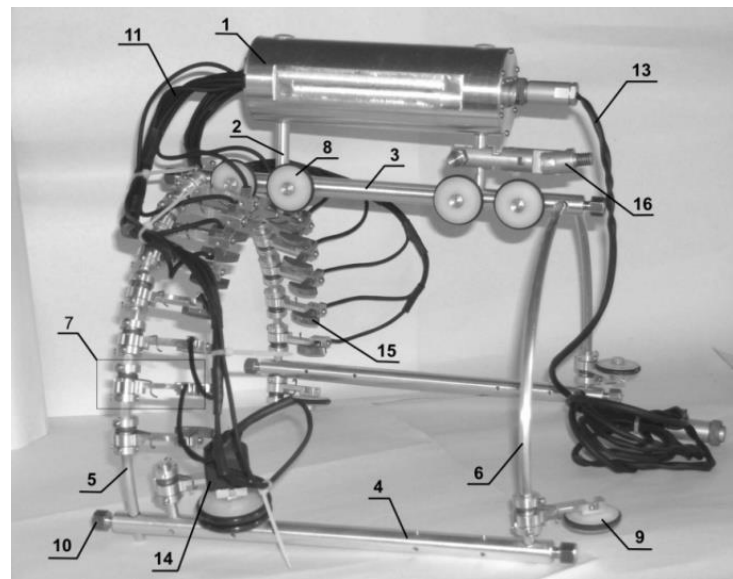
При испытании метода на наших сетях, подлежащих переделке, у нас была возможность наблюдать за процессом сбора данных, их обработки. Прогнозируемые участки были вскрыты, и мы убедились, что выявленные дефекты соответствуют действительности.

(Продолжение в следующем номере)

Применение метода МПМ при контроле теплопроводов на предприятии ПАО «МОЭК»

МЕТОД МАГНИТНОЙ ПАМЯТИ МЕТАЛЛА





СУ тип 17-16



Контроль выполняется с использованием приборов типа ИКН (ИКН-5М-32, ИКН-7М-16) и специальных сканирующих устройства СУ тип 17-16. Контроль выполняют два специалиста.

Выполнение контроля теплопроводов через слой изоляции.

МЕТОД МАГНИТНОЙ ПАМЯТИ МЕТАЛЛА



11th January 2014

To whom it may concern,

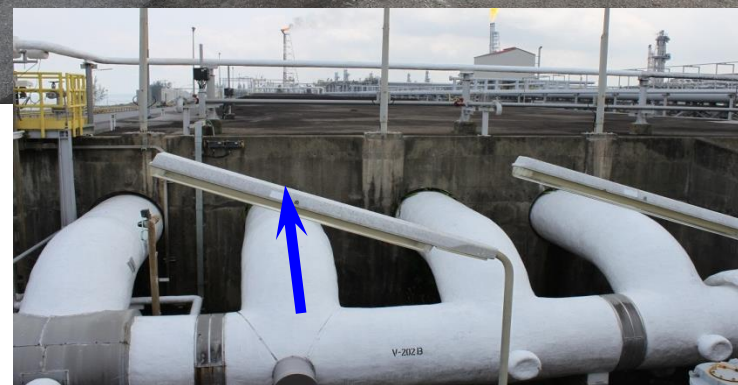
I would like to inform that the Metal Magnetic Memory (MMM) technology is an advanced NDT inspection technique that has been selected and recognised by PETRONAS to be used in MSCIA Project in MNG Buntar under the supervision of Group Technical Solutions of PETRONAS. The main function of the MMM technology is as the free scanning inspection method for engineering components, structures and welding. The MMM technology will display the Strain and Stress profiles and mainly focus on the Stress Concentration Zones (SCZs). MR Technology by Energodagnostika, Moscow, Russia has been appointed as the Sole Distributor of the MMM Technology in Malaysia.

Thank you.

With Regards,

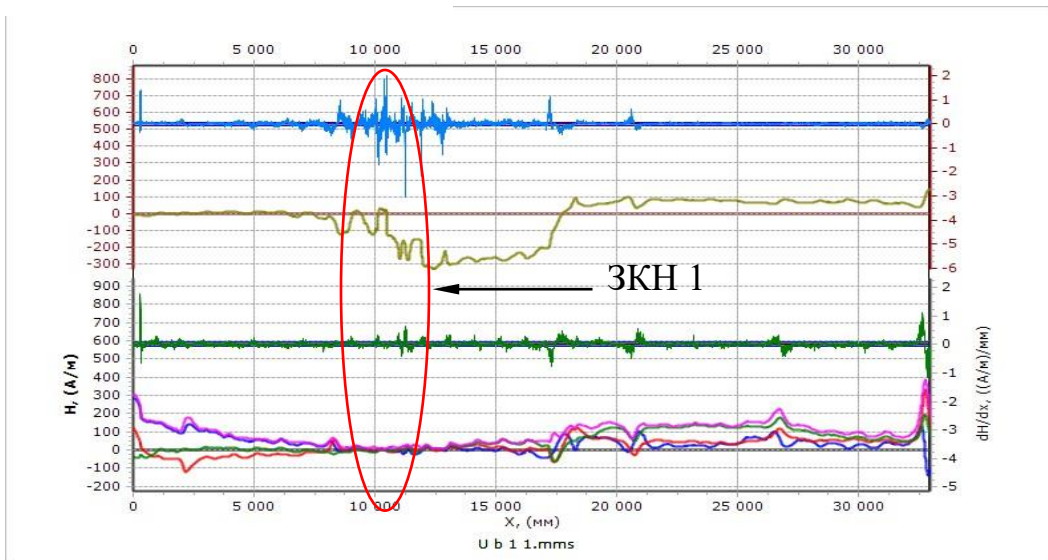

Zaynahidin Ali
Corrosion Engineer (Inspector)
PETRONAS Group Technical Solutions

ENERGODIAGNOSTIKA
MAGNETIC MEMORY
MAGNETIC MEMORY

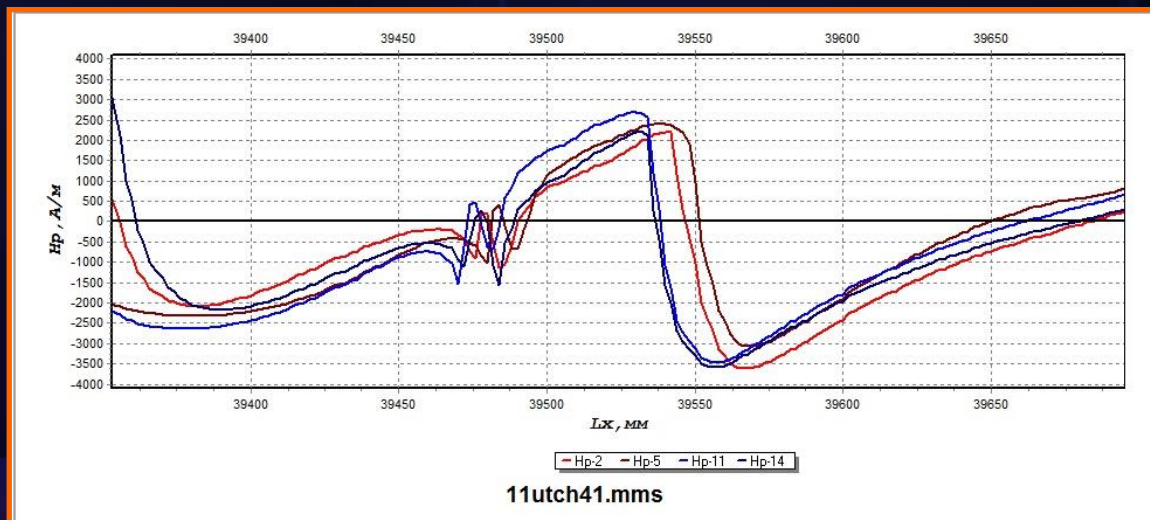


Трассировка и направление сканирования

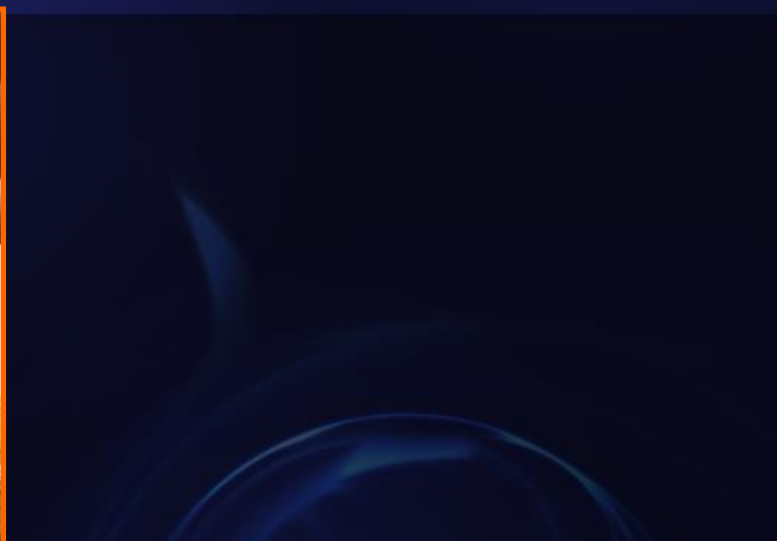
Магнитограмма участка газопровода. В ЗКН1 при ДДК после вскрытия покрытия выявлено утонение до 26,4мм.



Результаты БМД-контроля участка газопровода (сжиженный газ) Ø1058,4×30мм (42дюйма).
Корпорация PETRONAS, Малайзия.

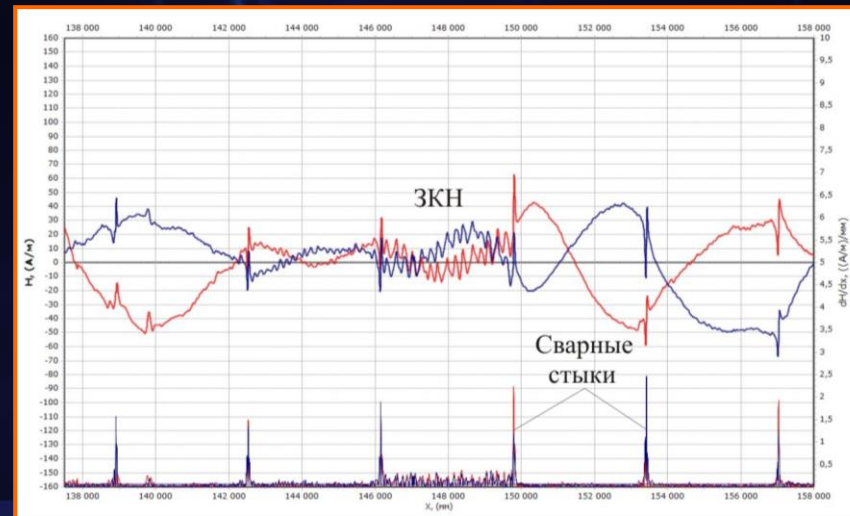
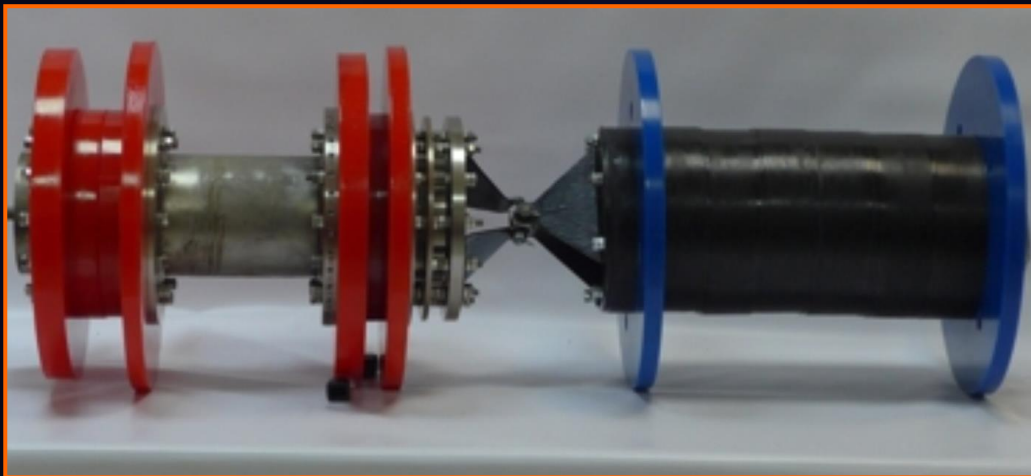


ЭНЕРГОДИАГНОСТИКА



ЭНЕРГОДИАГНОСТИКА

Внутритрубная диагностика напряженно-деформированного состояния нефтегазопроводов с использованием сканирующего устройства по методу магнитной памяти металла (СУ-ВТД-МПМ)



ЭНЕРГОДИАГНОСТИКА



Материал - сталь
07X16H6-Ш.
Среда – воздух,
рабочее давление до
27,5 МПа.

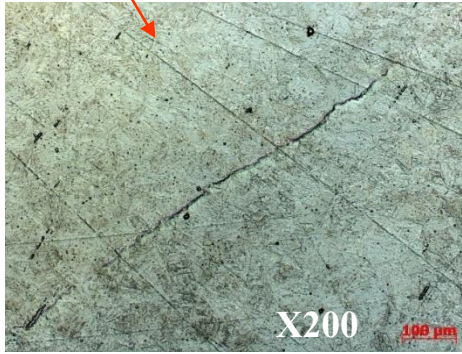
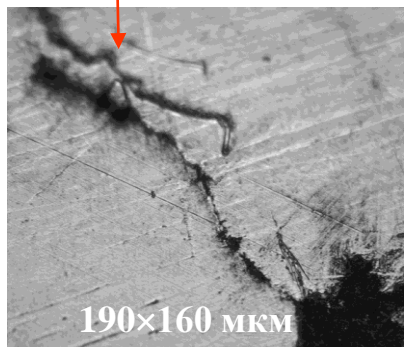
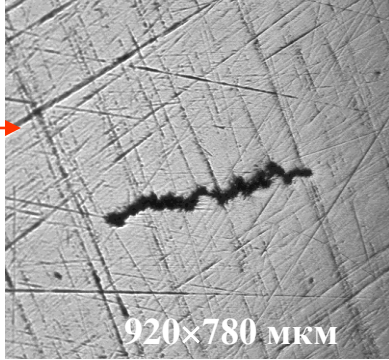
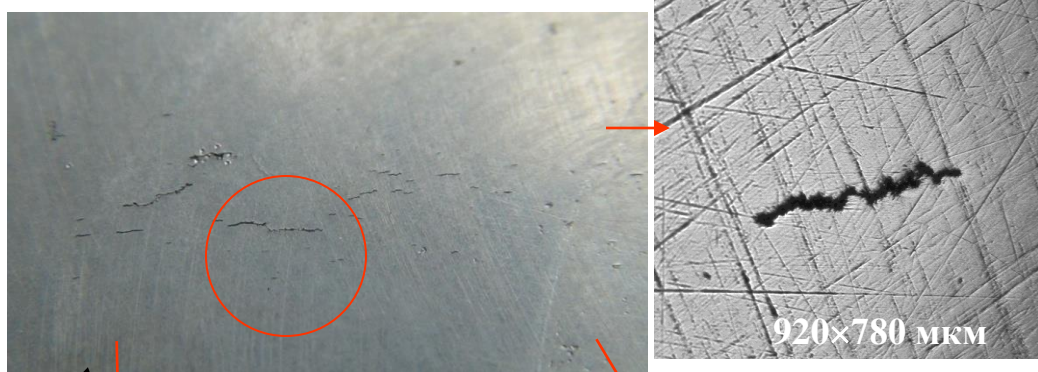


Расположение
выявленных ЗКН

Контроль баллонов высокого давления типа 1-2-25-280.

МЕТОД МАГНИТНОЙ ПАМЯТИ МЕТАЛЛА





АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«КОТЛАССКИЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ ЗАВОД»

Генеральному директору
ООО «Энергодиагностика»
Дубову А.А.

ТЕХНОДИНАМИКА 
ИИИД

165300, Россия, Архангельская область,
г. Котлас, ул. Кузнецова, 20
Тел: +7 (81837) 5-13-63
Факс: +7 (81837) 2-10-21
e-mail: info@kemz.ru
http: www.kemz.ru

Иск.№ 08/П-176 30.08.2016г.

Отзыв

В ноябре 2015 г. специалистами ООО «Энергодиагностика» на ОАО «Котласский электромеханический завод» в г. Котлас был выполнен контроль листового проката толщиной 5 мм из стали 07Х16Н6-Ш и баллонов высокого давления для сжатого воздуха, изготовленных из того же листа.

Контроль выполнялся с использованием метода магнитной памяти металла (МПМ) с применением магнитометрических измерителей концентрации напряжений типа ИКН-7М-16 и ИКН-5М-32 с целью выявления в листах и баллонах зон концентрации остаточных напряжений (ЗКН), обусловленных структурной неоднородностью и технологией изготовления листового проката.

Контроль квадратов листового проката (заготовок для изготовления баллонов) выполнялся до и после термической обработки. Из 304 квадратов листового проката после термической обработки на 29^{ти} квадратах методом МПМ были выявлены ЗКН, на остальных 275^{ти} квадратах ЗКН – отсутствовали и они были допущены для дальнейшего технологического процесса по изготовлению баллонов.

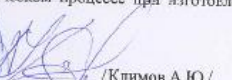
С использованием метода МПМ и соответствующих приборов типа ИКН и сканирующих устройств были также проконтролированы 15 ранее изготовленных баллонов из заготовок листового проката без выполнения предварительного контроля методом МПМ. В результате контроля методом МПМ на 9^{ти} баллонах были выявлены ЗКН и эти баллоны были забракованы. Данные МПМ - контроля подтверждены рентгеновским контролем и металлографическими исследованиями проведенными специалистами завода.


На основе анализа результатов выполненного контроля заготовок листового проката и готовых баллонов было принято решение:

1. Выполнять предварительный контроль методом МПМ заготовок листового проката после их термической обработки.
2. После изготовления баллонов выполнять 100% их контроль методом МПМ до нанесения изоляции.
3. Учитывая высокую эффективность метода МПМ соответствующих приборов типа ИКН и сканирующих устройств для выявления ЗКН и структурных неоднородностей в металлах, рекомендуется распространить их применение в технологическом процессе при изготовлении других изделий электромеханического завода.

Директор по производству
(должность предполагает предприятие)




/Климов А.Ю./
(подпись)

Механические свойства	$\sigma_{0,2} / \sigma_s$	Равномерное удлинение δ_p %
Параметр МПМ		
$K_{ИИ} \leq 10-15$	0,76	13* * Согласно ТУ $\delta_p \geq 12\%$
$K_{ИИ} 15 \div 35$	0,79	11,7
$K_{ИИ}$ до 280	0,88	6,5
$K_{ИИ}$ до 460	0,96	2,1

По результатам контроля разработана и согласована инструкция

Контроль баллонов высокого давления типа 1-2-25-280.

МЕТОД МАГНИТНОЙ ПАМЯТИ МЕТАЛЛА



Лента из аустенитно-мартенситной стали ВНС9-Ш используется для изготовления торсионов рулевого винта вертолета Ми-26, промежуточных демпирующих шайб в трансмиссии вертолета Ка-52, пластин торсиона несущей системы Ка-52 и др. Особенностью высокопрочной ленты (толщиной 0,3...0,8мм) из стали ВНС9-Ш является то, что структура стали содержит две основные фазы: метастабильный аустенит (аустенит, обеспечивающий высокую пластичность при холодной прокатке, при этом происходит аустенитно-мартенситное превращение) и мартенсит деформации (образованный из аустенита при холодной прокатке материала). Кроме того, в структуре содержится небольшое количество мартенсита охлаждения (образованного на этапе отливки сляба). Количество мартенсита охлаждения определяет потенциальные технологические свойства материала при холодной прокатке и эксплуатации.

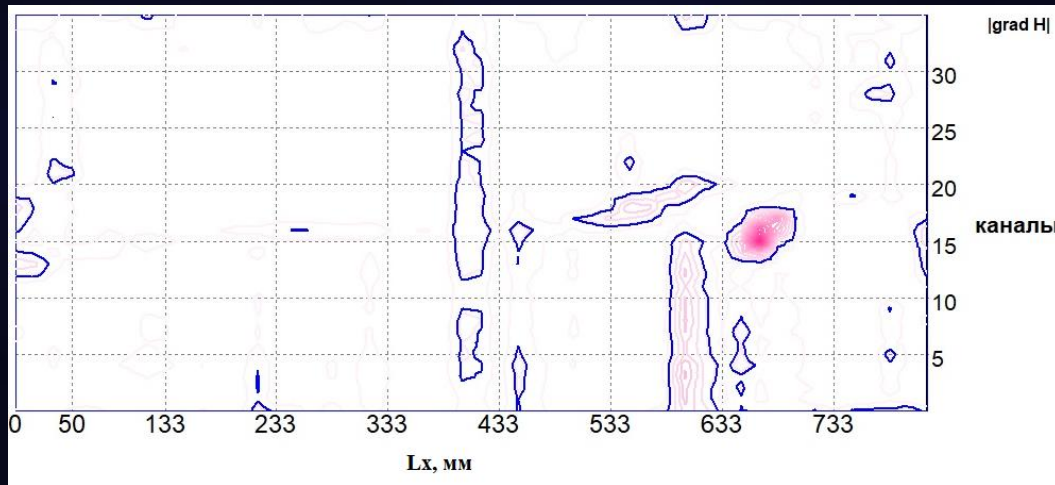
В составе поставки ленты с металлургического комбината на поверхности ленты и в основном металле (под поверхностью) присутствуют дефекты структуры: «каверны», посторонние фазовые включения (карбиды) и прочие дефекты. Указанные дефекты не выявляются традиционными методами НК и, соответственно, не определены техническими условиями на материал как «недопустимые дефекты», но являются концентраторами напряжений. Наличие дефектов структуры в металле, значительно снижает прочность деталей в эксплуатации и их ресурс.



ЭНЕРГОДИАГНОСТИКА



Предварительная разбивка ленты на
продольные зоны контроля

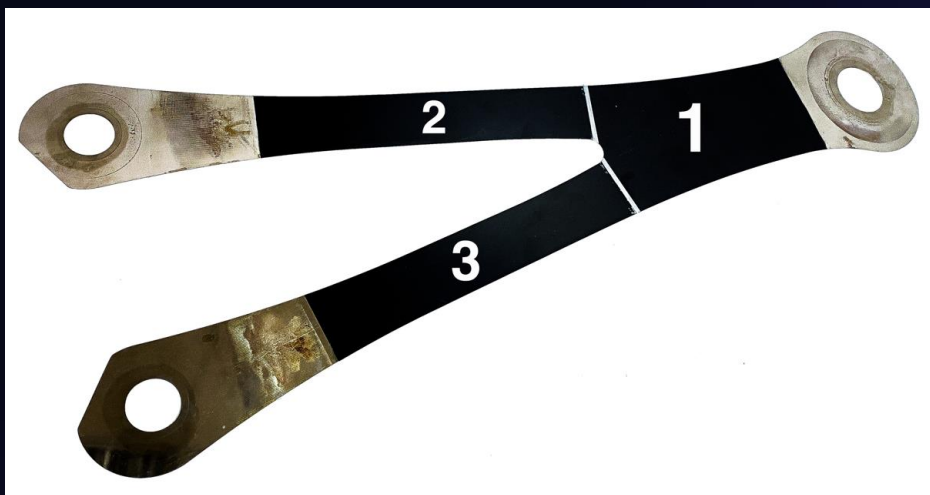


Изолинии градиента поля $K_y \geq 50 \times 10^3 \text{ A/m}^2$ ($S = 1 \text{ мм}$, $b = 5 \text{ мм}$)



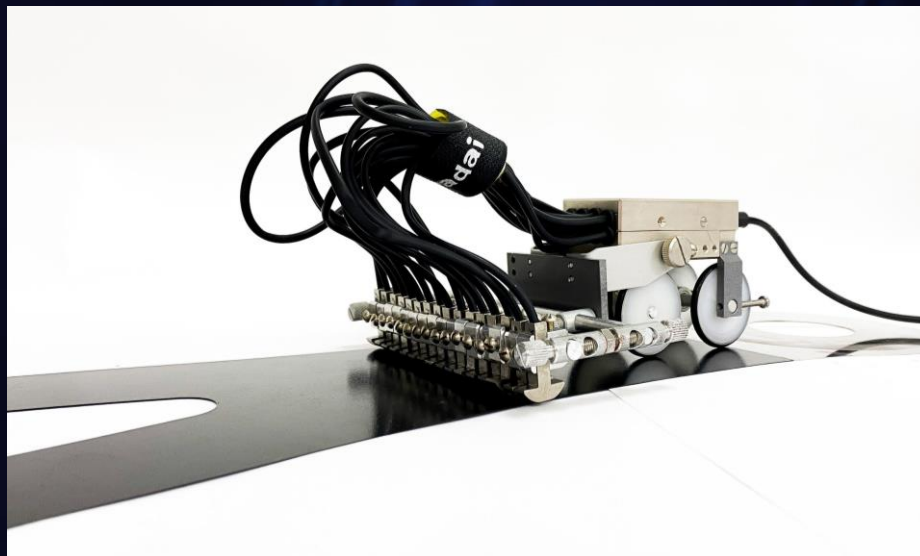
СУ Тип 6-16





Условная разбивка торсиона
на зоны контроля: 1, 2, 3

Контроль торсиона с
использованием
СУ Тип 6-16М



ЭНЕРГОДИАГНОСТИКА

Для снижения риска попадания указанных дефектов и обеспечения оптимального фазового состава в металле ленты и в изделиях (торсионах), изготавливаемых из этой ленты, АО «НЦВ имени М.Л. Миля и Н.И. Камова» совместно с ООО «Энергодиагностика» была выполнена научно-исследовательская работа (НИР) с целью определения критериев отбраковки и разработки специальной методики неразрушающего контроля (НК) на основе использования магнитной памяти металла (МПМ).

В соответствии с программой НИР были выполнены следующие испытания на образцах:

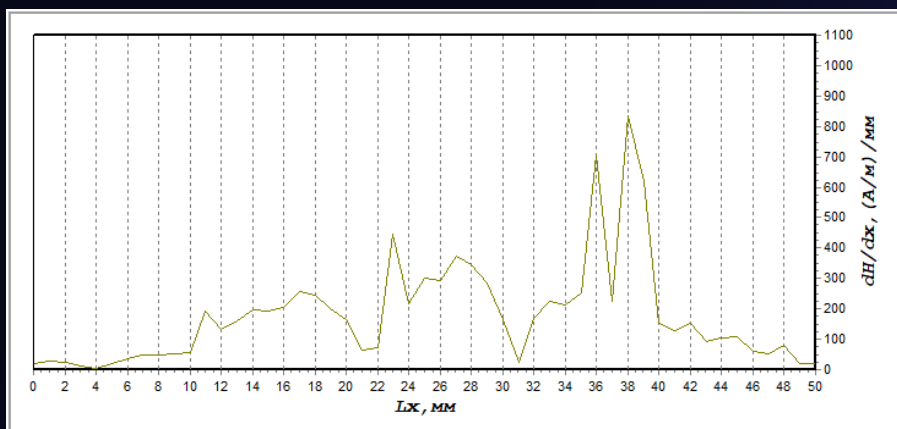
- определение механических свойств образцов при статических испытаниях на растяжение;
- исследование микротвердости;
- металлографические исследования;
- усталостные испытания при циклической нагрузке растяжения.

Таблица №1

№ партии	Образец тип 1			Образец тип 2		
	$K \leq 100$	$K 100-300$	$K > 300$	$K \leq 100$	$K 100-300$	$K > 300$
1	6	13	7	13	11	17
2	4	9	10	3	5	6
3	12	6	24	-	1	5
4	6	3	8	-	3	10
5	8	5	3	10	3	4
Итого	36	36	52	26	23	42



а)

в) Увеличение $\times 600$

б)



В зоне максимального градиента поля выявлен макродефект в форме волнообразной линии протяженностью 15 мм. Наблюдается резкий переход типичной аустенитно-мартенситной структуры в узкую (до $\sim 20\text{мк}$) прослойку, обедненную цементитом с одной стороны и уплотненную мартенситом с другой стороны

Результаты контроля образца №3-2-1 методом МПМ в ЗКН I категории (а) и металлографического исследования (б), (в)



ЭНЕРГОДИАГНОСТИКА

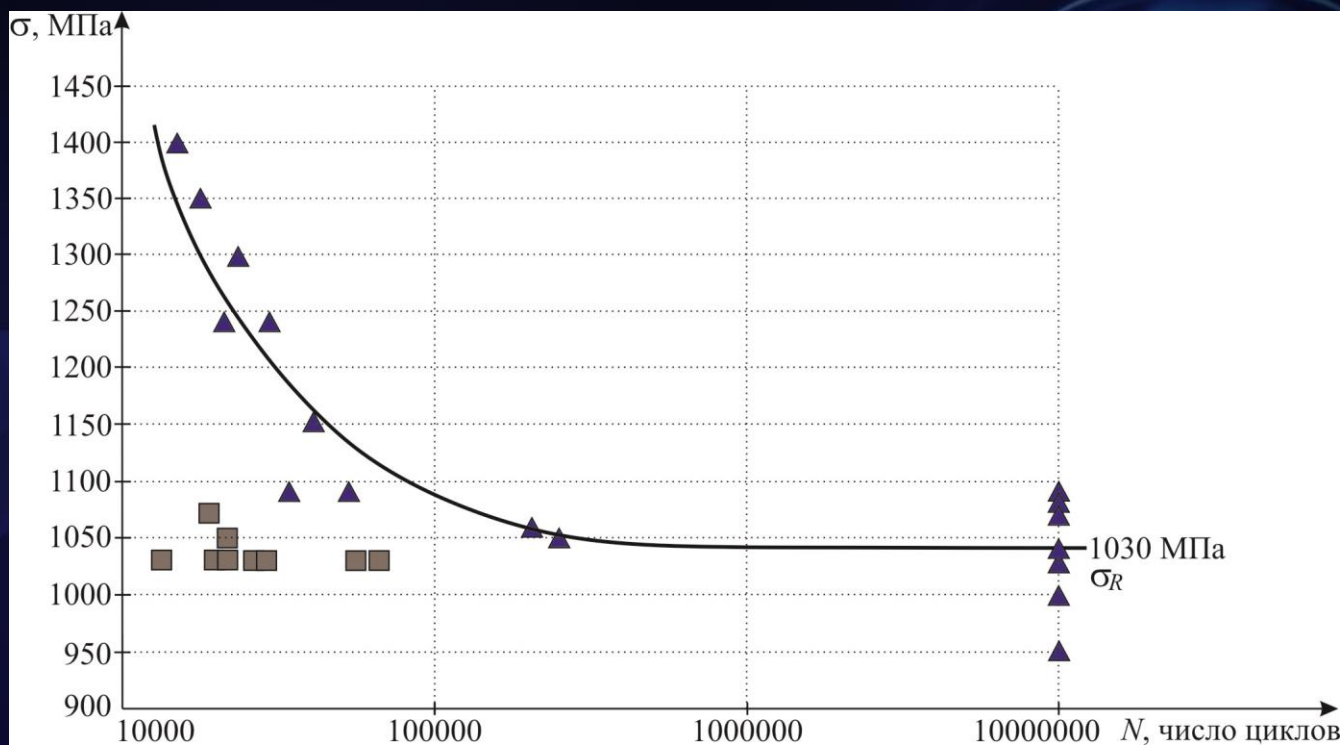
В результате выполненной НИР было показано, что источниками снижения прочности образцов, изготовленных из ленты ВНС9-Ш, при их испытании на статическую циклическую нагрузку являются локальные зоны концентрации напряжений (ЗКН), обусловленные как дефектами структуры, так и резкими локальными колебаниями фазового состава ленты (процентного содержания мартенсита).

По результатам усталостных испытаний образцов на растяжение установлено, что наличие ЗКН в рабочей части значительно уменьшают число циклов до разрушения в сравнении с образцами без ЗКН. При установленной базе 10^7 циклов в диапазоне нагрузок от $\sigma_{\min} = 100$ МПа до уровня предела выносливости 47 образцов с ЗКН из 52 испытанных (примерно 90%) разрушились на 1 – 2 порядка раньше.



ЭНЕРГОДИАГНОСТИКА

На рисунке для примера представлена кривая усталости, полученная при испытании на циклическую прочность образцов партии 2 с ЗКН (■) и без ЗКН (▲). Из рисунка видно, что практически все образцы с ЗКН, выявленные предварительно методом МПМ разрушились на количестве циклов меньше чем 10^5 при ресурсной базе не менее 10^7 степени циклов нагружения.



ЭНЕРГОДИАГНОСТИКА

Ранняя диагностика усталостных повреждений лопаток, дисков и роторов турбин, компрессорных и насосных установок



ЭНЕРГОДИАГНОСТИКА

σ , МПа

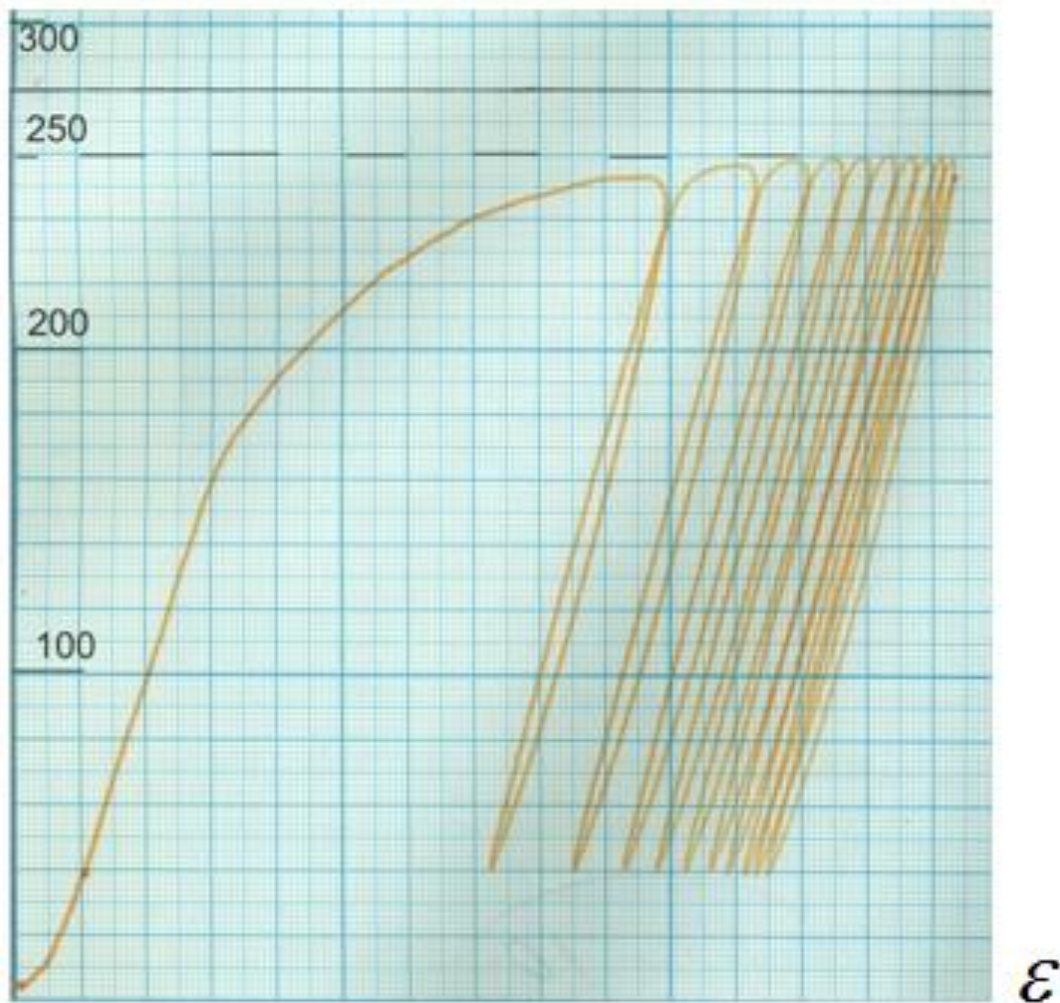
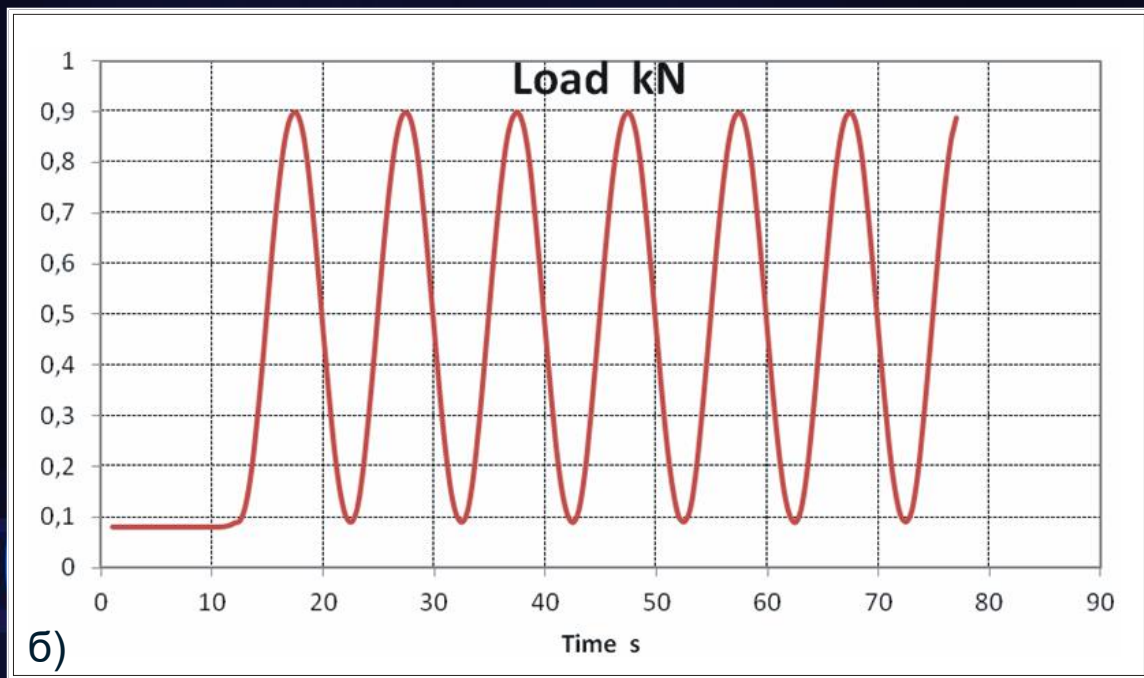
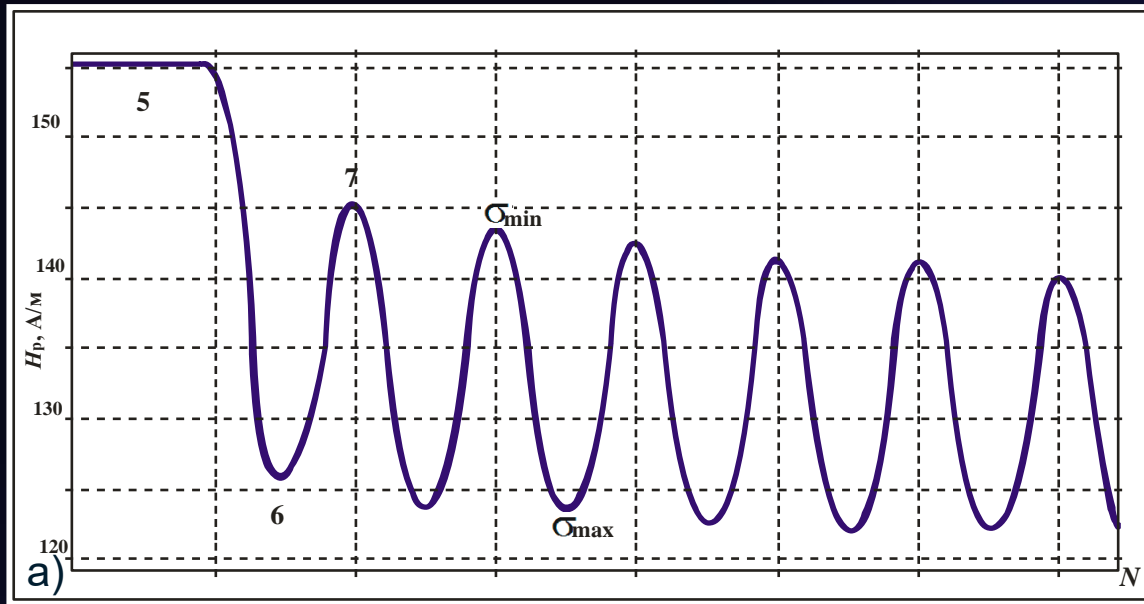
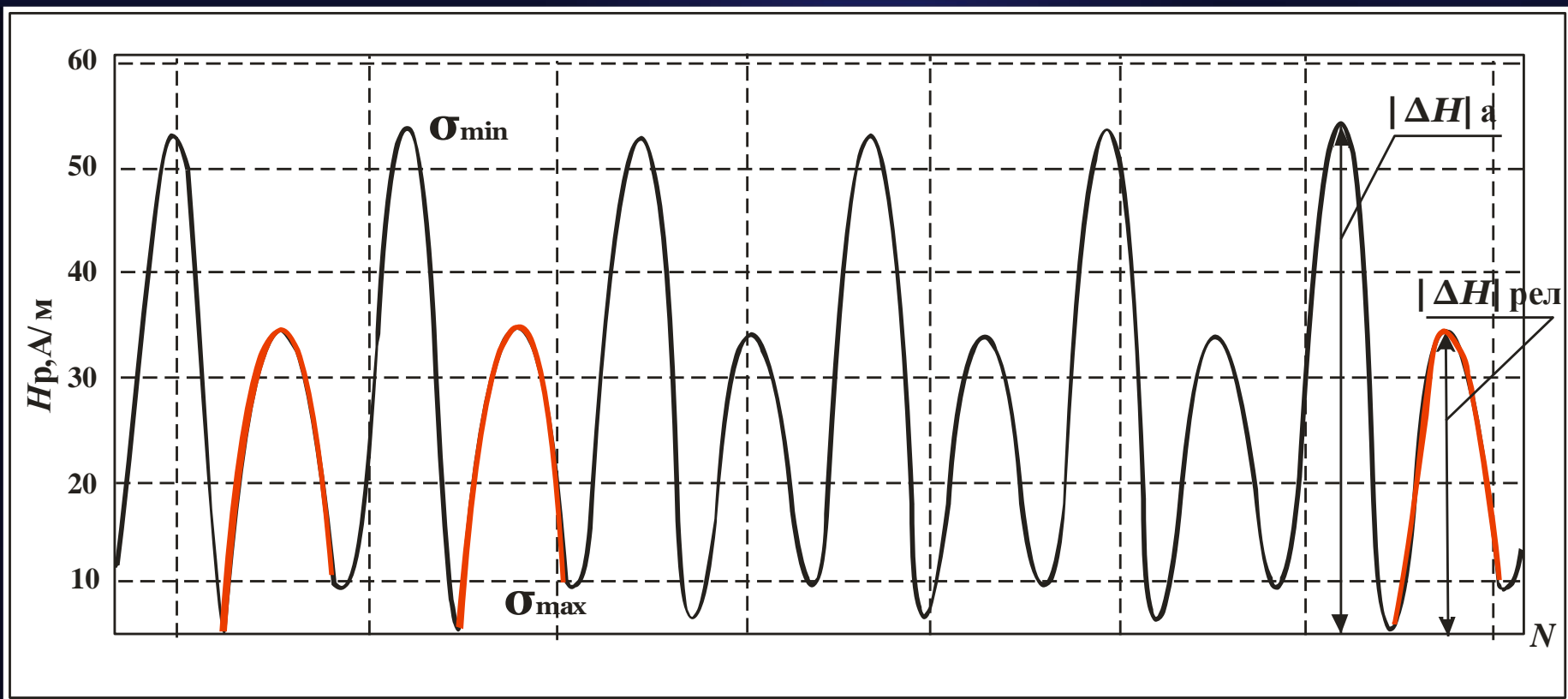


Диаграмма
циклического
деформирования σ - ϵ ,
зафиксированная на
образце №2 типа II.



Метод МПМ представляет уникальную возможность при экспериментальных исследованиях физико-механических и прочностных свойств металла на циклическую нагрузку в лабораторных условиях.

Представлены кривая изменения напряженности собственного магнитного поля H_p при циклировании с частотой 0,1 Гц в диапазоне нагрузок растяжения от 7,7 МПа до 77 МПа (а) в сопоставлении с механической кривой (б), зафиксированной на испытательном машине. N – количество циклов.

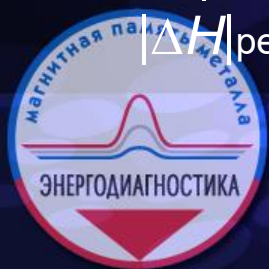


Зависимость продольной магнитной компоненты от времени на начальном этапе нагружения образца (до 100000 циклов):

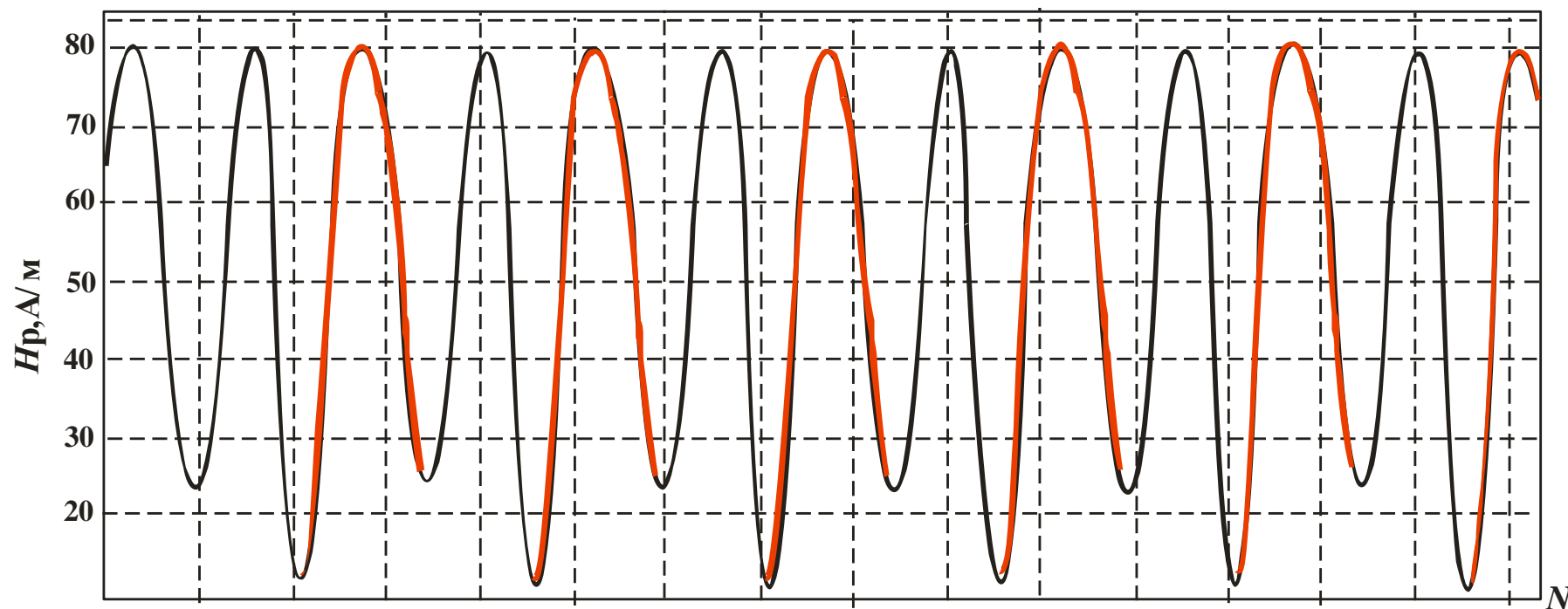
N - количество циклов нагрузки;

$|\Delta H|_a$ – изменение магнитного поля от амплитуды нагрузки;

$|\Delta H|_{\text{рел}}$ - изменение магнитного поля образца, характеризующее релаксацию напряжений.



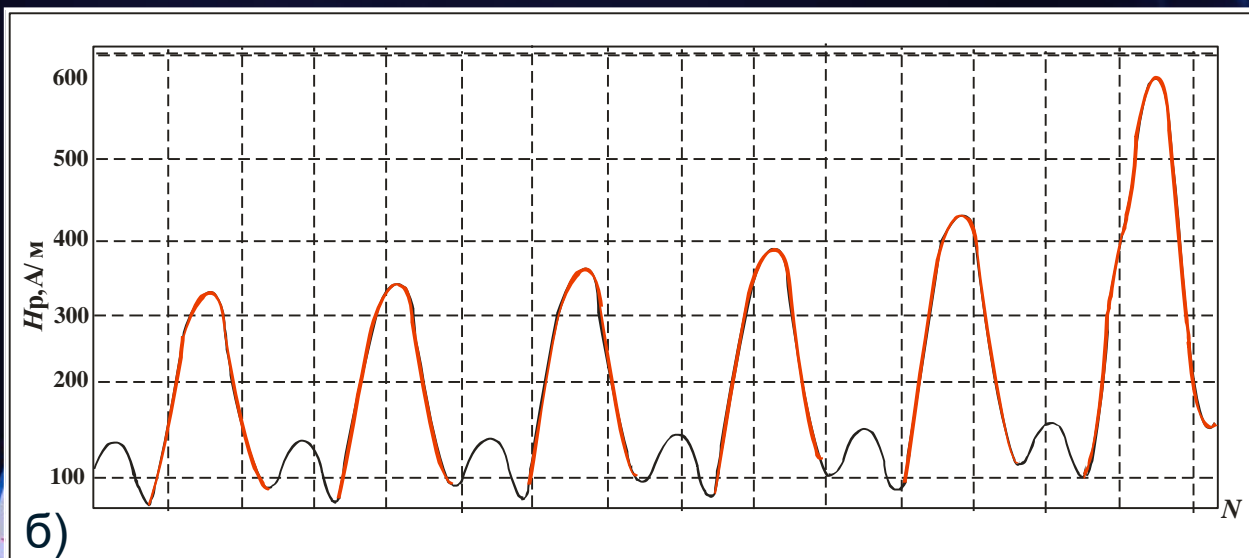
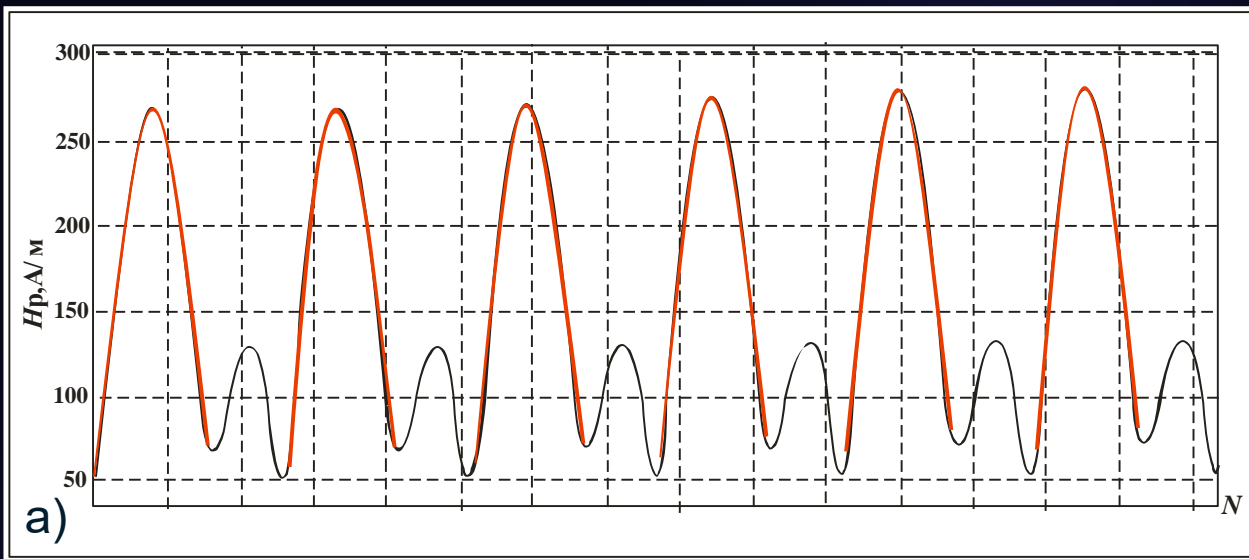
ЭНЕРГОДИАГНОСТИКА



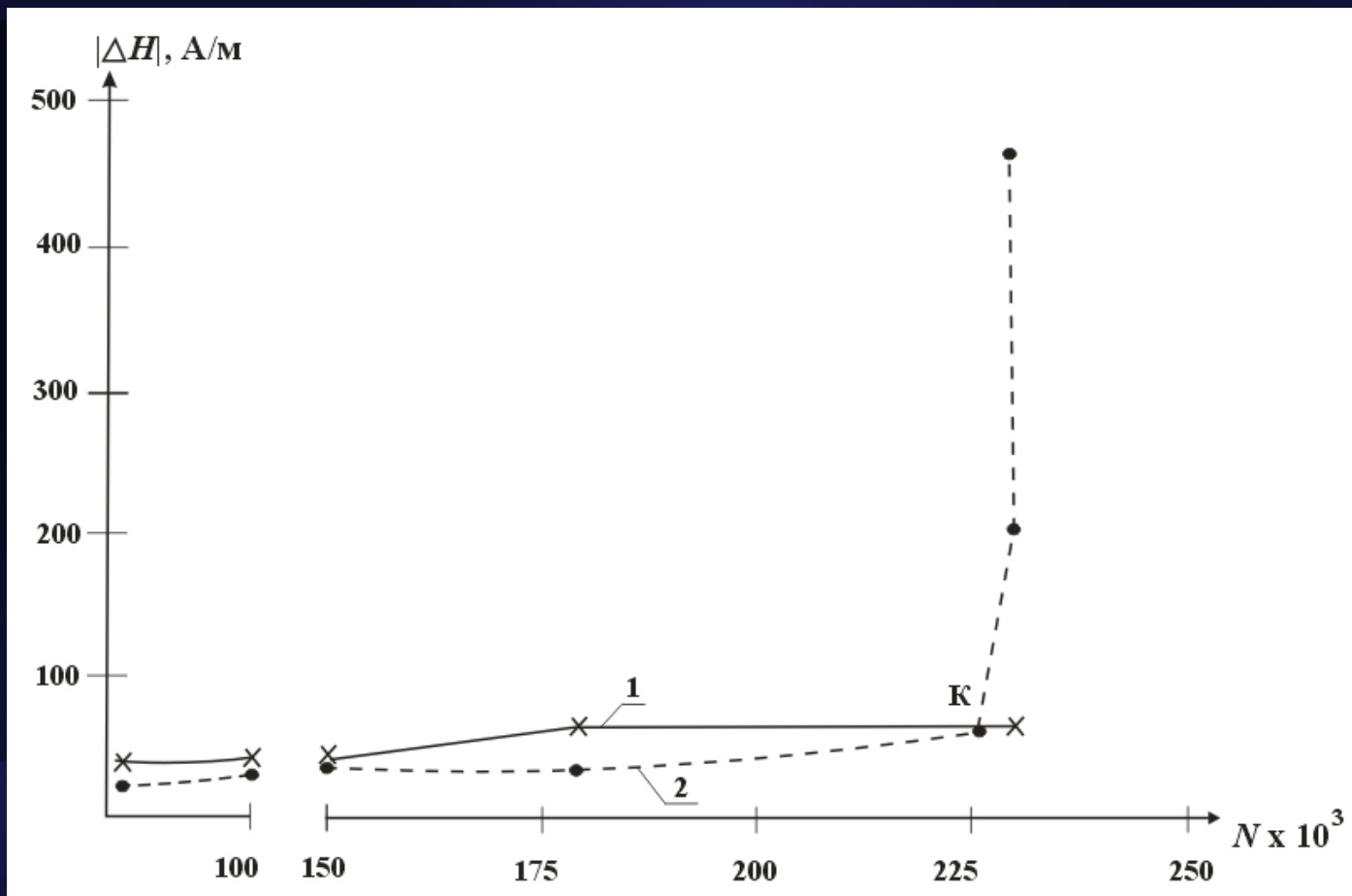
Магнитограмма изменения составляющих собственного магнитного поля образца $|\Delta H|_a$ и $|\Delta H|_{\text{рел}}$, зафиксированная после 226900 циклов нагрузки.



ЭНЕРГОДИАГНОСТИКА



Магнитограммы изменения составляющих собственного магнитного поля образца $|\Delta H|_a$ и $|\Delta H|_{\text{рел}}$, зафиксированные после 229960 циклов на заключительном этапе нагружения.



Изменение составляющих собственного магнитного поля $|\Delta H|_a$ (1) и $|\Delta H|_{rel}$ (2) в зависимости от количества циклов нагрузки растяжения N . K – точка пересечения (равенства значения) составляющих $|\Delta H|_a$ и $|\Delta H|_{rel}$ при $N=227350$. Точка K характеризует стадию глобальной потери устойчивости, в которой возникает необратимый процесс усталостного разрушения образца.



ЭНЕРГОДИАГНОСТИКА

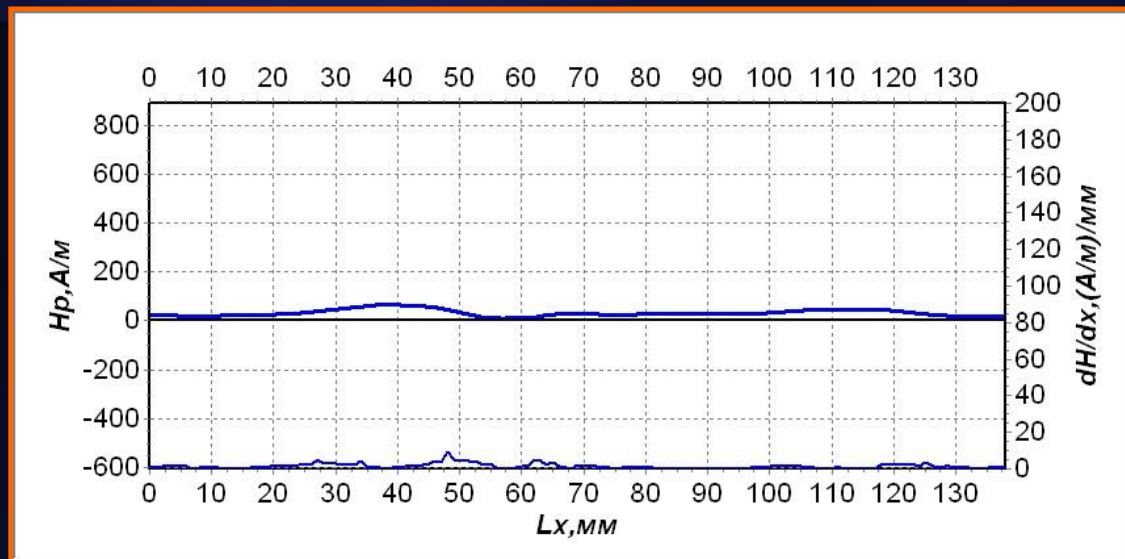


Контроль лопаток компрессоров и турбин

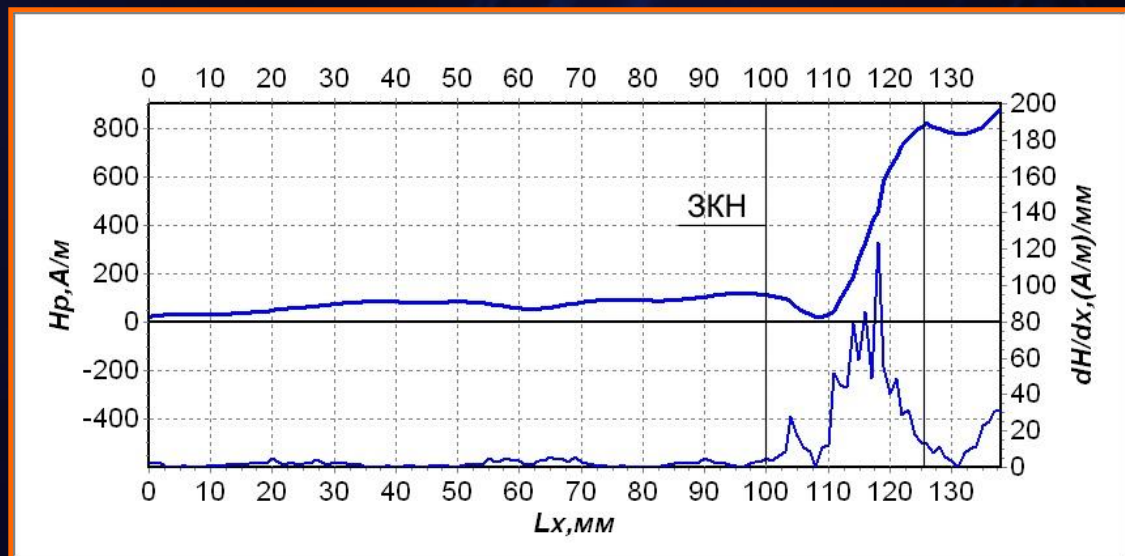
ЭНЕРГОДИАГНОСТИКА

Результаты
контроля методом
МГМ лопаток №15 (а)
и №17 (б) ступени 9
турбины К-15-41

а)



б)



В заключение необходимо отметить основное назначение метода МПМ и области его применения:

- экспресс-контроль качества изделий машиностроения с целью выявления дефектов металла и локальных ЗКН;
- ранняя диагностика коррозионно-усталостных повреждений и оценка остаточного ресурса оборудования и конструкций;
- определение дефектов (расслоение, дефекты литья и другие) в глубинных слоях металла за счет использования геометрических параметров СМПР, обусловленных площадками скольжения дислокаций в ЗКН;
- 100% обследование ОК с целью выявления локальных ЗКН – источников развития повреждений;
- повышение эффективности неразрушающего контроля ОК за счёт применения метода МПМ в комплексе с другими методами НК;
- сокращение материальных затрат на выполнение контроля за счёт отказа от искусственного намагничивания ОК и от зачистки поверхности (а в отдельных случаях – от снятия изоляции с ОК).

С использованием метода МПМ предоставляется возможность исследовать структурные и механические свойства металла на физическом уровне при испытании образцов в лабораторных условиях.

Область применения метода МПМ распространяется на любые изделия, изготовленные из ферро- и парамагнитного материала. В настоящее время в энергетике, нефтехимии, нефтяной, газовой и др. отраслях промышленности России метод МПМ включен в ряд руководящих документов и отраслевых стандартов (более 50 документов).



ЭНЕРГОДИАГНОСТИКА

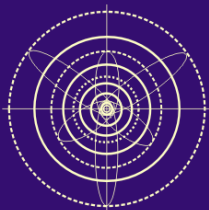
Учебный процесс и разработка методик контроля сопровождаются фундаментальными научными исследованиями

В 2004 опубликована книга
Власов В.Т., Дубов А.А.
Физические основы метода
магнитной памяти металла

В 2007 и 2016 опубликованы 2 части книги
Власов В.Т., Дубов А.А. Физическая теория
процесса «деформация-разрушение»

В.Т. Власов
А.А. Дубов

Физические основы МЕТОДА МАГНИТНОЙ ПАМЯТИ МЕТАЛЛА



Дубов А.А.
Дубов Ал.А.
Колокольников С.М.



МЕТОД МАГНИТНОЙ ПАМЯТИ МЕТАЛЛА И ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ

Учебное пособие

Москва, 2012

В.Т. Власов, А.А. Дубов

Физическая теория процесса “деформация - разрушение”

Часть I.
Физические критерии
пределных состояний
металла

В.Т. Власов, А.А. Дубов

Физическая теория процесса “деформация - разрушение”

Часть II.
Термодинамика
процесса



ЭНЕРГОДИАГНОСТИКА

**СПАСИБО
ЗА
ВНИМАНИЕ**



ЭНЕРГОДИАГНОСТИКА