



ЗАКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ
ОБЩЕСТВО

**«ДИАГНОСТИКА ПОДВОДНЫХ
ТРУБОПРОВОДОВ»**

тел. +7 499 7671450, +7 499 7671460

факс +7 499 7671449

e-mail: info@zaoDPT.ru web: www.zaoDPT.ru



ГРУППА СЕРВИСНЫХ КОМПАНИЙ
«МОРИНЖЕОЛОГИЯ»

Информационно-рекламный проспект

Метод магнитной памяти металла. Обзор методики и техники работ

Содержание

1. [Физические основы метода магнитной памяти металла \(МПМ\)](#)
2. [Методика обследования](#)
3. [Аппаратура и программное обеспечение](#)
4. [Достоинства и преимущества метода МПМ](#)

Физические основы метода магнитной памяти металла (метод МПМ)

Магнитная память металла - последствие, которое проявляется в виде остаточной намагниченности металла изделий и сварных соединений, сформировавшейся в процессе их изготовления и охлаждения в слабом магнитном поле или в виде необратимого изменения намагниченности изделий в зонах концентрации напряжений и повреждений от рабочих нагрузок.

Метод магнитной памяти металла - метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации и анализе распределения собственных магнитных полей рассеяния (СМПП), возникающих на изделиях и оборудовании в зонах концентрации напряжений (ЗКН) и дефектов металла. При этом СМПП 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 слабом магнитном поле, как правило, в поле Земли. В методе МПМ используются естественная намагниченность и последствие, которое проявляется в виде магнитной памяти металла к фактическим деформациям и структурным изменениям в металле изделий и оборудования.

Физические основы метода МПМ:

- магнитоупругий эффект – изменение индукции в ферромагнетике, находящемся во внешнем магнитном поле под действием механических нагрузок;
- магнитомеханический эффект – изменение вектора остаточной намагниченности ферромагнитного изделия в направлении действия максимальных напряжений и Ю соответственно, СМПП, измеряемого при контроле;
- магнитоластика - эффект формирования доменов и доменных границ на скоплениях дислокаций в зонах концентрации напряжений;
- эффект рассеяния магнитного поля структурными и механическими неоднородностями в условиях естественной намагниченности металла.

Магнитные параметры, используемые при контроле методом МПМ:

- нормальная и/или тангенциальная составляющая СМПП - H_p ;
- градиент магнитного поля по длине (dH_p/dx) или по базе между каналами измерений.

Методом МПМ определяют:

- зоны концентрации напряжений - основные источники развития повреждений;
- микро и макро-дефекты на поверхности и в глубинных слоях металла.

Методика обследования

Старение систем магистральных газонефтепроводов выдвигает задачу обеспечения безопасности и надежности их функционирования в ряд важнейших государственных проблем. В настоящее время общая протяженность магистральных трубопроводов России превышает 300 тыс. км. При этом около 40% газопроводов и 60% нефтепроводов находится в эксплуатации более 20 лет.

Очевидно, что традиционный подход к поддержанию работоспособности трубопроводов путем проведения капитальных ремонтов отдельных участков труб со сплошной заменой изоляционного покрытия не может обеспечить надежность и безопасность магистральных газонефтепроводов из-за их большой протяженности и резкоразличного состояния. Поэтому, основной стратегией обеспечения высокой надежности магистральных систем становится эксплуатация и ремонт "по фактическому состоянию", т. е. переход к выборочному "точечному" ремонту элементов и участков по результатам 100% диагностического обследования многокилометровых трубопроводов.

Предлагается следующая концепция обеспечения надежной и безопасной эксплуатации газонефтепроводов, находящихся в длительной эксплуатации:

1. Анализ повреждений, результатов неразрушающего и разрушающего контроля металла и выполненных замен изношенных участков по имеющейся статистике эксплуатирующей организации.

2. 100% обследование всех участков газонефтепроводов с использованием современных методов и средств НК (внутритрубная диагностика, бесконтактная магнитометрическая диагностика, метод магнитной памяти металла, акустическая эмиссия), позволяющих выполнять раннюю диагностику повреждений и выявлять зоны концентрации напряжений (ЗКН) - основные источники развивающихся повреждений.

3. На участках газонефтепроводов с выявленными ЗКН после операции "шурфовка" дополнительно выполняется контроль традиционными средствами НК (УЗД, рентген, исследования механических свойств и структуры металла).

4. Для отдельных наиболее напряженных участков с ЗКН, оставляемых в эксплуатацию, делается поверочный расчет на прочность с учетом характера повреждений и износа металла трубопроводов.

5. 100% обследование арматуры с использованием метода магнитной памяти металла и других методов НК.

6. Обобщение результатов комплексного 100% обследования и разработка мероприятий по обеспечению надежности газонефтепроводов с составлением плана-графика замены физически изношенных участков труб, наиболее предрасположенных к повреждению.

В основе предлагаемой концепции лежит оценка реального ресурса газонефтепроводов, так как такая оценка наиболее оптимально сочетает опыт эксплуатации (статистику бывших повреждений) и раннюю диагностику будущих повреждений с использованием современных методов.



Разработан измерительный комплекс (рис.3) для бесконтактного магнитометрического обследования газонефтепроводов, расположенных под слоем грунта на глубине до 2 м. При движении оператора вдоль трассы со скоростью не менее 2 км/час определяются участки, работающие в наиболее напряженных условиях и предрасположенные к повреждениям. На этих участках делается шурфовка и дополнительный контроль с целью выявления конкретных дефектов.

Рис.3. Бесконтактное магнитометрическое обследование газонефтепроводов, расположенных под слоем грунта

Для оперативного 100% контроля сварных швов и стенок газонефтепроводов большого диаметра ($\text{Ø}530\div 1420\text{мм}$) разработан сканер-дефектоскоп, позволяющий выполнять оценку состояния всей поверхности трубы со скоростью 100 п.м в час и более (рис.4 и рис.5). При этом снятие изоляции и зачистки поверхности трубы не требуется и используется естественная намагниченность металла, сформировавшаяся в процессе эксплуатации (магнитная память металла).



Рис.4. Обследование газонефтепроводов контактным способом.



Рис.5. Обследование газонефтепроводов контактным способом.

На рис.6 представлены результаты контроля деформированного участка газопровода ($\text{Ø}1420\text{х}18,7\text{мм}$) Уренгойской ГКМ.

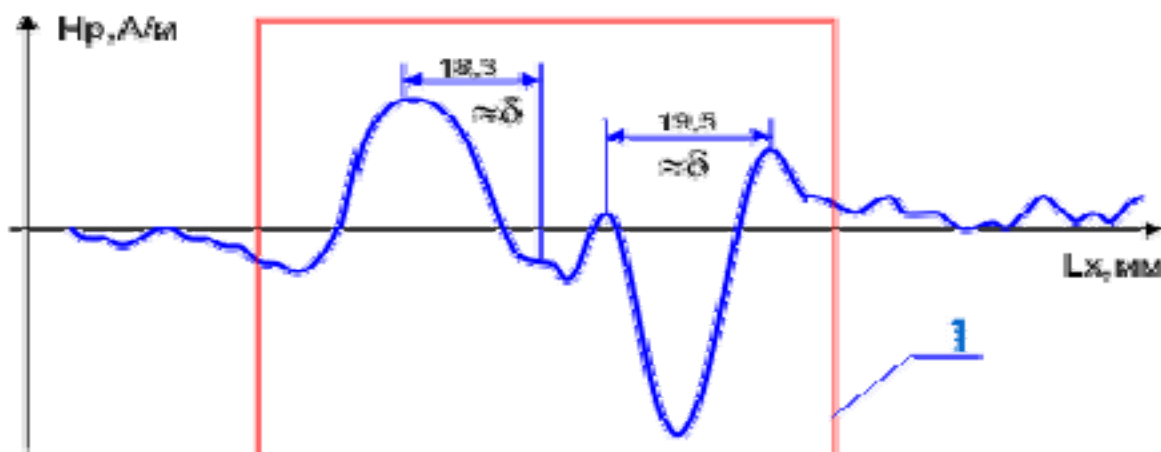


Рис.6. Результаты контроля деформированного участка газопровода: 1 - зона КН.

Разработаны методические указания по проведению бесконтактной магнитометрической диагностики (БМД) газонефтепроводов с использованием приборов типа ИКН. Предлагаемые методические указания содержат описание принципа БМД, позволяющей выявить и локализовать напряженно-деформированное состояние и наличие повреждений различной природы в металле трубопроводов, находящихся под землей, водой и другой средой.

БМД основана на измерении искажений магнитного поля Земли (H_z), обусловленных изменением магнитной проницаемости металла трубы в ЗКН и в зонах развивающихся коррозионно-усталостных повреждений. При этом характер изменений поля H_z (частота, амплитуда) обусловлен деформацией трубопровода, возникающей в нем вследствие воздействия ряда факторов: остаточных технологических и монтажных напряжений, рабочей нагрузки и напряжений самокомпенсации при колебаниях температуры наружного воздуха и среды (грунта, воды и т.д.).

При расшифровке магнитограмм и классификации магнитных аномалий используются критерии, разработанные на основании более чем 20-летнего опыта применения метода магнитной памяти металла при непосредственном контроле трубопроводов.

Для обработки результатов и выявления участков, работающих в наиболее напряженных условиях, используется программный продукт "ММП-Система".

На рис.7 и рис.8 представлены фрагменты результатов контроля отдельных участков газо- и нефтепроводов, расположенных под слоем грунта на глубине около двух метров.

На рис.7 показаны результаты контроля участка подземного газопровода $\varnothing 530$, ст.20. На графиках распределения поля H_p по трем составляющим (нормальной и тангенциальным (продольной и поперечной)) имеет место локальное изменение магнитного поля с максимальным градиентом в зоне КН (смотрите нижнюю часть магнитограммы).

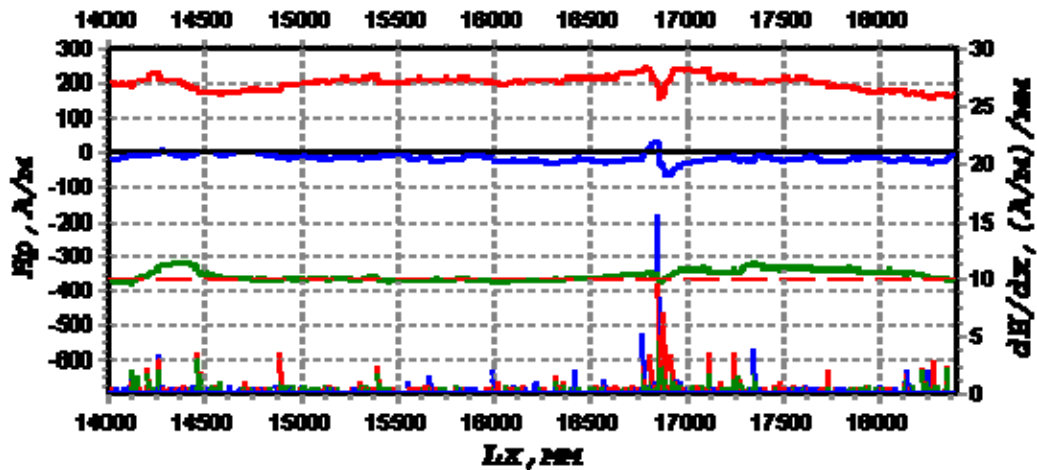


Рис.7. Результаты контроля участка подземного газопровода.

На рис.8 представлено распределение результирующего магнитного поля H_p над нефтепроводом $\varnothing 219 \times 8$ мм, сталь 20, находящемся под грунтом на глубине около 2 м. Отмеченные зоны КН характерны для трубопроводов, работающих в условиях недостатка самокомпенсации в сочетании с высокими остаточными напряжениями после изготовления и монтажа.

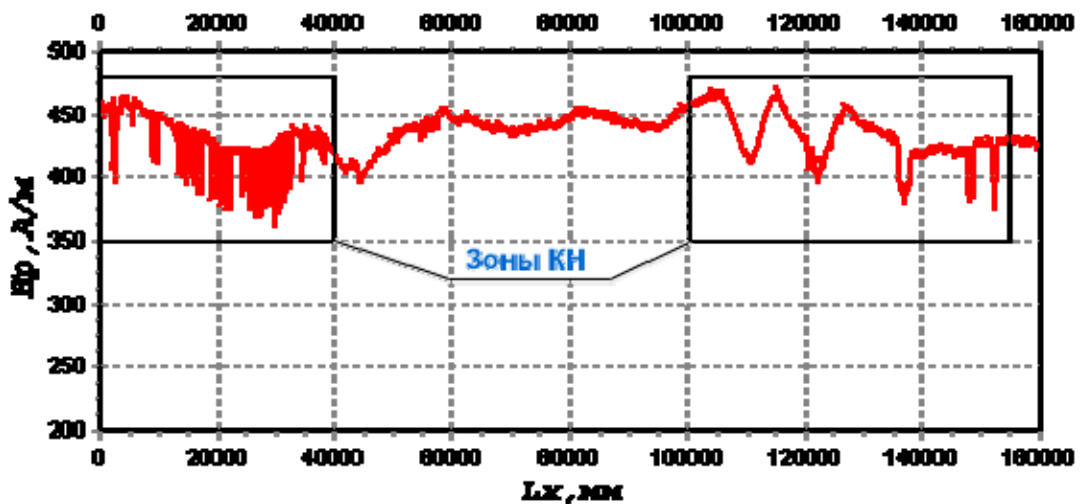


Рис.8. Распределение результирующего магнитного поля H_p над нефтепроводом.

Аппаратура и программное обеспечение

Прибор неразрушающего контроля. Метод магнитной памяти металла



Измеритель Концентрации Напряжений ИКН-ЗМ-12

ИКН - система измерения, регистрации и обработки данных диагностики напряженно-деформированного состояния оборудования и конструкций с использованием метода магнитной памяти металла.

Сертификат Ростехрегулирования RU.C.34.003.A №22258.

Приборы типа ИКН выпускаются серийно. По принципу работы они являются специализированными многоканальными феррозондовыми магнитометрами. Напряженность магнитного поля H_r на шкалах приборов проградуирована в А/м (Ампер/метр). Длина регистрируемого перемещения датчика проградуирована в мм (миллиметрах).

Приборы типа ИКН являются уникальными средствами измерений и имеют ряд существенных отличий от производимых в России и за рубежом измерителей напряженности магнитного поля (магнитометров) на основе феррозондовых преобразователей. Их уникальность заключается как в функциональном назначении (определение зон концентрации напряжений - основных источников развития повреждений оборудования), так и в конструктивных специфических особенностях, заметно выделяющих их среди известных магнитометров

Отличительные особенности приборов типа ИКН:

- многоканальность (одновременно производится измерение поля H_r по нескольким каналам);
- наличие специализированных сканирующих устройств для контроля различного оборудования (14 типов), позволяющих со скоростью до 0,5 м/сек снимать показания напряженности поля и длины объекта контроля (все сканирующие устройства защищены российскими и международными патентами);
- возможность проведения автоматической обработки результатов контроля непосредственно на объекте контроля, используя установленное на приборе программное обеспечение;
- наличие энергонезависимой памяти (flash-памяти) для записи результатов контроля на объекте и возможность передачи данных на компьютер через RS232;
- возможность записи параметров контроля с заданной частотой в единицу времени (режим "таймера"), что позволяет выполнять контроль при движении изделий относительно датчиков (контроль вращающихся элементов, движущихся тросов и канатов, контроль рельс при движении вагона-дефектоскопа и т.д.);
- наличие в комплекте поставки программного обеспечения "ММП-Система 3.0", предназначенного для углубленной обработки результатов контроля на компьютере под Windows 95-XP, и учебного пособия по методу магнитной памяти металла.

ИКН-3М-12 имеет следующие конструктивные и функциональные отличия от других приборов типа ИКН:

- от 2 до 16 феррозондовых преобразователей;
 - микропроцессор 16 бит;
 - ёмкость оперативной памяти 1 Мб;
 - блок flash-памяти 32 Мб для записи результатов контроля на объекте в течение 10-15 дней без сброса информации на компьютер;
 - специальная клавиатура (45 кнопок), позволяющая не только управлять процессом контроля, но и делать необходимые записи и комментарии в память прибора;
 - жидкокристаллический экран с разрешением 320x240 точек для отображения графической информации непосредственно при контроле оборудования;
 - возможность применения всех типов сканирующих устройств, что расширяет область его применения;
 - габаритные размеры 230x105x40 мм;
 - масса с аккумуляторными батареями 0,6 кг;
 - питание от четырех аккумуляторов DC 4,8В = 4x1,2В или от шести встроенных аккумуляторов DC 7,2В = 6x1,2В.

Общие технические характеристики приборов типа ИКН:

Диапазон измерения величины H_p	± 2000 А/м
Основная относительная погрешность измеряемого магнитного поля для каждого канала, не более	5%
Относительная погрешность измеряемой длины, не более	5%
Минимальный / максимальный шаг сканирования (расстояние между двумя соседними точками измерений поля и длины)	1 / 128 мм
Максимальная скорость сканирования при шаге 1 мм	0,2 (0,5) м/с
Скорость передачи данных на компьютер через RS232	115 кбод
Потребляемая мощность	0,8-3,0 ВxА
Рабочий температурный диапазон	-15°C...+55°C
Диапазон относительной влажности	45% - 85%



Тип 11-12. Специализированное высокочувствительное двенадцатиканальное сканирующее устройство со встроенными трехкомпонентными феррозондовыми преобразователями и аналого-цифровым преобразователем. Предназначено для бесконтактной магнитометрической диагностики газонефтепроводов, находящихся под землей на глубине 2-3м. Сканирующее устройство изготавливается в виде раздвижной штанги с прутком для крепления четырех трехкомпонентных датчиков. Длина прутка и расстояние между датчиками зависят от диаметра контролируемой трубы. Специальный внешний блок обеспечивает отсчет длины при контроле. Используется в комплекте с прибором ИКН-3М-12



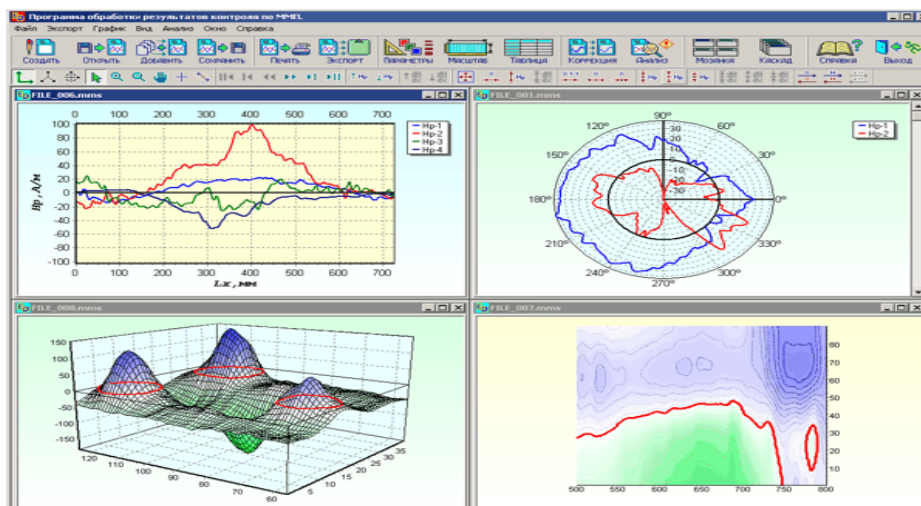
Тип 1-8М. Сканирующее устройство предназначено для контроля трубопроводов, сосудов, протяженных сварных соединений. Изготовлено в виде "тележки" на четырёх колёсах, имеющее восемь феррозондовых преобразователей в двухкомпонентном их расположении для измерения одновременно нормальной (H_{py}) и тангенциальной (H_{px}) составляющих магнитного поля и счётчик длины. При использовании специализированной штанги можно осуществлять контроль на расстоянии 2-5 м от объектов. При установке специализированных накладок сканирующее устройство может использоваться для контроля рельсового пути. Используется в комплекте с прибором ИКН-3М-12

"ММП-Система" - специализированная программа обработки данных о напряжённо-деформированном состоянии оборудования и конструкций по методу магнитной памяти металла. Данная программа предназначена для обработки и анализа результатов диагностического контроля по методу МПМ, формирования банка данных и подготовки отчетов.

"ММП-Система" является завершающим звеном в процессе проведения диагностики по методу магнитной памяти металла.

"ММП-Система" позволяет одновременно обрабатывать несколько сотен графиков распределения остаточной намагниченности. Имеется возможность управления параметрами построения графиков. По графикам распределения остаточной намагниченности (H_p -графикам) программа может автоматически построить графики распределения дифференциалов и градиента функции H_p (dH/dx , dH/dz , $|\text{grad } H_p|$ - графики), характеризующие уровень концентрации напряжений, и по ним, в соответствии с методикой контроля, определить зоны предельной концентрации напряжений (зоны развития повреждений).

"ММП-Система" может обрабатывать данные, полученные в результате работы с приборами-регистраторами типа ИКН, после их сброса на компьютер, а также данные, непосредственно введённые с клавиатуры компьютера (при работе с прибором ИКНМ-2ФП). В программе предусмотрена возможность редактирования и коррекции данных. При желании, пользователь может распечатать графики на принтере или осуществить запись файлов в форматах bmp, wmf, emf, gif, jpeg, vml, png, psx, txt для дальнейшей обработки с помощью других программ.



"МПМ-Ресурс" - специализированная программа оценки остаточного ресурса металла оборудования по усталостному повреждению в зонах концентрации напряжений (ЗКН) по данным диагностики с использованием метода магнитной памяти металла (метода МПМ).

Программа может быть использована для оценки уровня напряжений в ЗКН.

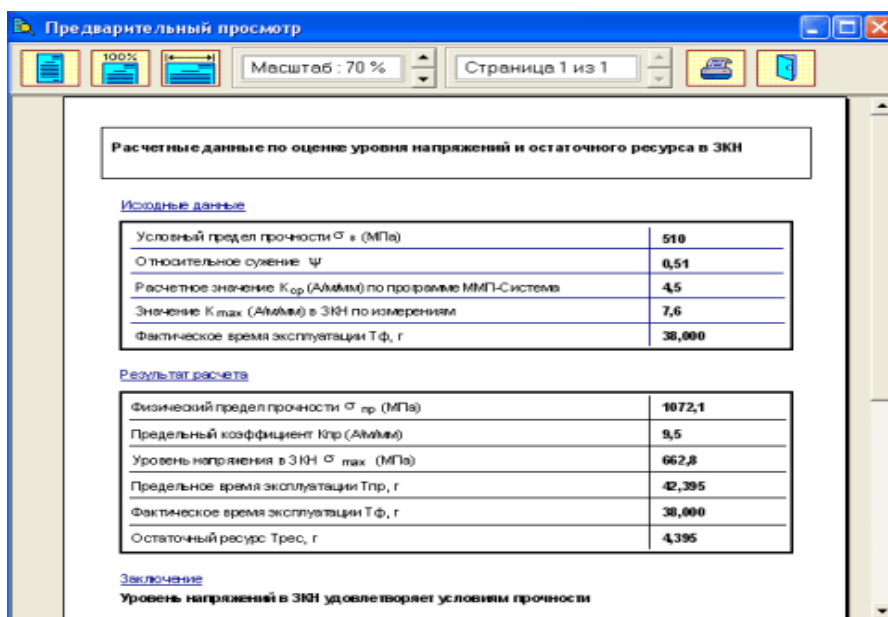
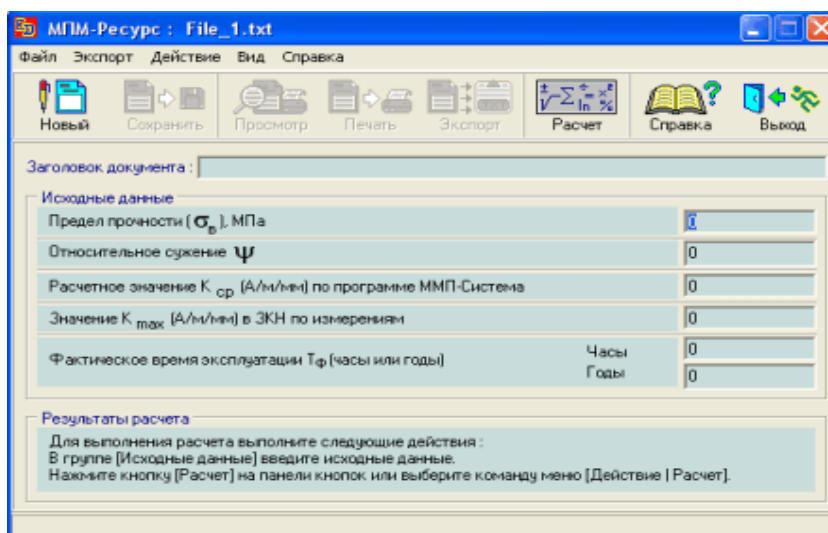
Программа не предназначена для оценки остаточного ресурса всего оборудования, так как это является комплексной задачей при проведении экспертизы промышленной безопасности.

Оценка остаточного ресурса нового оборудования с помощью программы "МПМ-Ресурс" не проводится.

Оценка остаточного ресурса выполняется для оборудования с ЗКН до образования (или на начальном этапе развития) микротрещины.

Оборудование с микротрещинами и макродефектами, как правило, ремонтируется или заменяется.

В программе используются справочные механические характеристики металла объекта контроля (ОК) и данные, полученные с помощью программы "ММП-Система" по результатам контроля ОК.



Достоинства и преимущества метода МПМ

Традиционные методы и средства диагностики (УЗД, МПД, рентген) направлены на поиск уже развитых дефектов и по своему назначению не могут предотвратить внезапные усталостные повреждения оборудования - основные причины аварий и источники травматизма обслуживающего персонала.

Известно, что основными источниками возникновения повреждений в работающих конструкциях являются зоны концентрации напряжений (КН), в которых процессы коррозии, усталости и ползучести развиваются наиболее интенсивно. Следовательно, определение зон КН является одной из важнейших задач диагностики оборудования и конструкций.

Процессами, предшествующими эксплуатационному повреждению, являются изменения свойств металла (коррозия, усталость, ползучесть) в зонах концентрации напряжений. Соответственно, изменяется намагничённость металла, отражающая фактическое напряжённо-деформированное состояние трубопроводов, оборудования и конструкций.

В настоящее время в России разработан и успешно внедряется на практике принципиально новый метод диагностики оборудования и конструкций, основанный на использовании магнитной памяти металла (МПМ). МПМ объединяет потенциальные возможности неразрушающего контроля (НК) и механики разрушений, вследствие чего, имеет ряд существенных преимуществ перед другими методами при контроле промышленных объектов.

Основные практические преимущества нового метода диагностики, по сравнению с известными магнитными и другими традиционными методами неразрушающего контроля (НК), следующие:

- применение метода не требует специальных намагничивающих устройств, так как используется явление намагничивания узлов оборудования и конструкций в процессе их работы;
- места концентрации напряжений от рабочих нагрузок, заранее не известные, определяются в процессе их контроля;
- зачистки металла и другой какой-либо подготовки контролируемой поверхности не требуется;
- для выполнения контроля по предлагаемому методу используются приборы, имеющие малые габариты, автономное питание и регистрирующие устройства;
- специальные сканирующие устройства позволяют контролировать трубопроводы, сосуды, оборудование в режиме экспресс - контроля со скоростью 100 м/час и более.

Метод МПМ является наиболее пригодным для практики методом НК при оценке фактического напряжённо-деформированного состояния. Поэтому использование нового метода диагностики наиболее эффективно для ресурсной оценки узлов оборудования.

Предлагаемый метод диагностики, основанный на использовании магнитной памяти металла, позволяет выполнить интегральную оценку состояния узла с учётом качества металла, фактических условий эксплуатации и конструктивных особенности узла.

Основная задача метода МПМ - определение на объекте контроля наиболее опасных участков и узлов, характеризующихся зонами КН. Затем, с использованием, например, УЗД в зонах КН определяется наличие конкретного дефекта. На основе поверочного расчёта на прочность наиболее напряжённых узлов, выявленных методом МПМ, выполняется оценка реального ресурса оборудования.

Кроме того, метод МПМ и соответствующие приборы контроля позволяют:

- выполнять раннюю диагностику усталостных повреждений и прогнозировать надёжность оборудования;
- документировать результаты контроля и составлять банк данных о состоянии оборудования;
- осуществлять экспресс-сортировку новых и старых деталей по их предрасположенности к повреждениям;
- определять на объекте контроля с точностью до 1мм место и направление развития будущей трещины, а также фиксировать уже образовавшиеся трещины;
- в отдельных случаях контролировать трубопроводы, сосуды без снятия изоляции.