

УДК 621.317

МАГНИТНЫЙ КОНТРОЛЬ ТРУБОПРОВОДОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ АЭС

А.А. Абакумов, А.А. Абакумов (мл.), Е.А. Касатов

*Обнинский государственный технический университет атомной энергетики,
г. Обнинск*



Рассмотрены физические основы магнитных методов контроля трубопроводов. Основное внимание уделено вопросам построения магнитных интроскопов. Описаны конструкция, принцип действия и характеристики магнитных интроскопов для наружного и внутритрубного контроля трубопроводов технического водоснабжения АЭС.

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ

Трубопроводы технического водоснабжения на АЭС работают в условиях действия механических напряжений, природных и технологически активных сред, инициирующих возникновение повреждений труб и приводящих со временем к нарушению их герметичности и работоспособности. Значительная часть трубопроводов технического водоснабжения АЭС отработала нормативный ресурс, и дальнейшая их эксплуатация возможна только с разрешения федеральных органов горного, промышленного и атомного надзоров России (Госгортехнадзор и ГАН) на основании тщательного обследования технического состояния трубопроводов, установления работоспособности и остаточного ресурса безопасной эксплуатации.

Особую актуальность в настоящее время в условиях увеличения сроков эксплуатации трубопроводов, роста числа аварийных ситуаций приобретает разработка и освоение современных магнитных методов и средств контроля для наружной и внутритрубной инспекции водопроводов, позволяющих осуществлять 100-процентный контроль трубопроводов через изоляционное покрытие, слой накипи, коррозионные продукты и не требующих механического контакта преобразователей магнитного поля с поверхностью трубопровода. Полученная при этом информация позволяет достоверно оценивать техническое состояние трубопроводов, определять безопасные технологические режимы их функционирования, устанавливать необходимость и очередность вывода участков трубопроводов в ремонт, прогнозировать остаточный ресурс.

В связи с этим важной задачей является разработка магнитных интроскопов для наружной и внутритрубной инспекций трубопроводов АЭС. Такие интроскопы позволяют с помощью матричных и строчных преобразователей визуализировать магнитные поля рассеяния от дефектов, получать их двух- трехмерные изображения, определять характер, форму и ориентацию дефектов в трубопроводе под слоем изоляции; измерять их геометрические размеры: длину, глубину и раскрытие. Такие интроскопы должны изготавливаться в малогабаритном исполнении для работы в полевых

© А.А. Абакумов, А.А. Абакумов (мл.), Е.А. Касатов, 2004

условиях, легко сопрягаться с внутритручными магнитными снарядами, микроЭВМ и другой современной микропроцессорной техникой.

Магнитные интроскопы являются наукоемкими и дорогостоящими устройствами. Для создания таких сложных конструкций необходимы специалисты по физике и прочности трубопроводов, механике и электротехнике, компьютерным системам и технологиям, контролю и программированию.

Рассмотрим конструкцию и технологические характеристики магнитных интроскопов, с помощью которых можно осуществлять магнитный контроль трубопроводов технического водоснабжения.

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МАГНИТНОГО КОНТРОЛЯ

Все магнитные методы контроля сплошности металла основаны на обнаружении локальных возмущений поля, создаваемых дефектами в намагниченном ферромагнетике [1, 2].

При наличии нарушений однородности структуры и сплошности трубы при ее намагничивании сразу же возникают неоднородности намагниченности и связанные с ними магнитные поля рассеяния как вблизи дефектов, выходящих на поверхность трубы, так и над внутренними дефектами, расположенными под ее поверхностью (рис.1).

На рис. 2а пунктирными линиями показано типичное поле рассеяния над поверхностным дефектом в виде прямоугольной канавки шириной S и глубиной T , а на рис. 2б - топография тангенциальной $H_{\tau\partial}$ и нормальной $H_{n\partial}$ составляющих напряженности поля этого дефекта. Кружочки с плюсами и минусами обозначают положительные и отрицательные магнитные заряды, возникающие на гранях дефекта.

Поле H_{∂} появляется при очень малой намагниченности и с увеличением H_0 растет. Вид зависимости $H_{\partial}(H_0)$ определяется размерами и формой дефекта, магнитными свойствами материала контролируемого изделия, а также координатами x, y точки наблюдения.

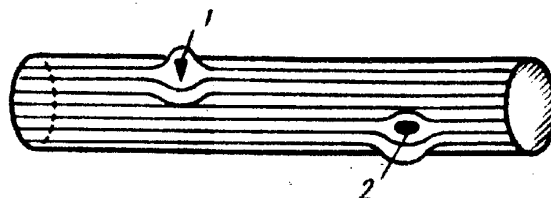


Рис. 1. Картина магнитных полей рассеяния около наружных (1) и внутренних (2) дефектов в ферромагнитной трубе

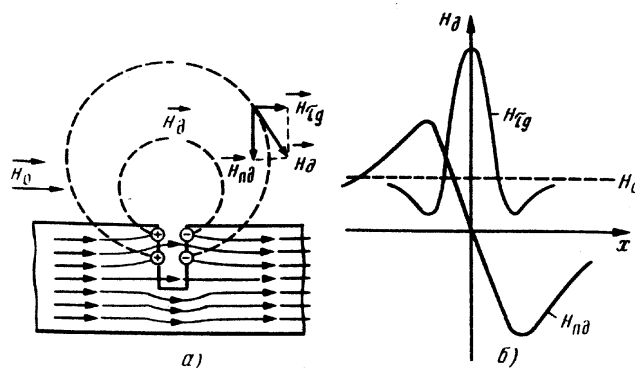


Рис. 2. Поле рассеяния над дефектом (а) и топография тангенциальной $H_{\tau\partial}$ и нормальной $H_{n\partial}$ составляющих напряженности поля дефекта (б)

Электромеханическое сканирование осуществляется с помощью линейного преобразователя магнитных полей, выполненного в виде линейки из одиночных преобразователей, образующих строку кадра. Развертка по строке такой линейки происходит с помощью комму-

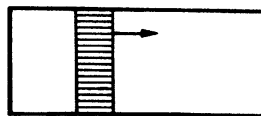


Рис. 3. Электромеханическое сканирование

татора путем синхронного подключения отдельных магниточувствительных элементов к видеоконтрольному устройству. Развертка по второй координате осуществляется за счет механического перемещения линейного преобразователя относительно трубы или наоборот.

Расположение линейного преобразователя относительно трубы показано на рис. 3. Такой способ сканирования позволяет получать практически такую же разрешающую способность и чувствительность, что и при механическом сканировании одиночным преобразователем магнитного поля, обеспечивать большую производительность контрольных операций за счет повышения скорости опроса магниточувствительных элементов линейки с помощью быстродействующего коммутатора. Для электрического сканирования труб используются также многоэлементные матричные преобразователи, в которых съем информации о магнитном рельефе трубы осуществляется путем последовательного опроса магниточувствительных элементов первой строки матрицы, затем второй, третьей и т.д. Быстродействие матричных преобразователей магнитного поля определяется инерционностью отдельных магниточувствительных элементов матрицы и может быть сопоставлено с быстродействием развертки изображения одного кадра в телевидении (0,02 с).

Электрические импульсы определенной длительности для коммутации магниточувствительных элементов по строке и по кадру вырабатываются специальными генераторами развертки. Недостатками электрического сканирования трубы являются повышенная сложность конструкций матриц и неравномерность чувствительности отдельных магниточувствительных элементов матрицы, для устранения которых разработаны специальные методы.

Известно, что при магнитном контроле трубопроводов наиболее благоприятные условия для выявления глубинных дефектов создаются при намагничивании труб постоянным магнитным полем до индукции технического насыщения, однако в производственных условиях это трудно обеспечить. Для наружного намагничивания труб чаще всего используют приставные электромагниты различных типоразмеров, состоящие из П-образного стального сердечника и катушки, на который подается постоянный ток (рис. 4).

Ток питания для намагничивающего устройства в каждом конкретном случае выбирают в зависимости от магнитных свойств и толщины контролируемого металла с таким расчетом, чтобы обеспечивалась намагниченность трубы до индукции технического насыщения. Для намагничивания возможно также использование постоянных магнитов.

Рассмотрим два варианта внутритрубных намагничивающих устройств для продольного намагничивания трубы: цилиндрический и секционный. В первом варианте труба намагничивается одним магнитом, имеющим ось симметрии, совпадающую с осью трубы. Наибольший диаметр D такого магнита, представляющего собой жесткую конструкцию, должен быть несколько меньше

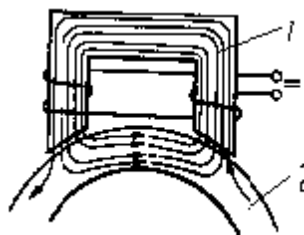


Рис. 4. Способ наружного намагничивания стенки трубы: 1 - приставной электромагнит; 2 - труба

внутреннего диаметра D_t диагностируемой трубы, иначе магнит может застрять в трубе на изогнутом ее участке или заклинить в ней при встрече с посторонним предметом, случайно не удаленным при прочистке трубопровода. При разработке внутри-трубного интроскопа для диагностики труб требуется обеспечить зазор δ между жесткими элементами магнита и трубой, равный примерно 10% диаметра трубы D . Поэтому на пути магнитного потока появляется сопротивление, определяющееся двумя такими зазорами общей длиной $0,2 D$. Это довольно большое магнитное сопротивление и на его преодоление необходима значительная магнитодвижущая сила. Сопротивление зазора может быть уменьшено в 5-10 раз заполнением его щетками из железной проволоки (такие щетки почти не уменьшают проходимость интроскопа в трубах).

Другим вариантом может быть секционное намагничивающее устройство с поперечным намагничиванием, в котором вместо одного магнита используется несколько небольших магнитов, каждый из которых скользит по внутренней поверхности контролируемой трубы с достаточно малым зазором между полюсами магнита и трубой.

Магнитное сопротивление зазора в этом случае будет значительно меньше, чем в предыдущем случае. Для пропуска препятствий и прохождения изгибов трубы магниты могут быть смонтированы на рычагах, позволяющих им отходить от поверхности трубы. Каждый такой магнит с преобразователями полей дефектов представляет собой самостоятельный интроскоп, контролирующий полосу определенной ширины. Поскольку между магнитами неизбежно окажутся некоторые зазоры, между контролируемыми полосами останутся непроконтролируемые зоны. Это приводит к необходимости создания еще одной группы магнитов, повернутой относительно первой группы на определенный угол. Для диагностики труб диаметром 300 мм предпочтителен цилиндрический вариант. Секционный вариант, приводящий к двухколевой шахматной системе магнитов, считается более подходящим для диагностирования труб большого диаметра.

МАГНИТНЫЙ ИНТРОСКОП МИ-20 ДЛЯ НАРУЖНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ

Интроскоп предназначен для контроля линейной части трубопроводов при наружном обследовании, в том числе без удаления защитной изоляции и остановки перекачивания продукта по трубопроводу, при плановых обследованиях и при ремонтных работах [2]. Он основан на регистрации магнитных полей рассеяния от дефектов, возникающих при намагничивании трубопроводов с помощью передвижных намагничивающих устройств, или иным методом, в том числе по остаточной намагниченности.

Регистрация осуществляется путем сканирования поверхностного магнитного поля с помощью многоэлементных датчиков, основанных на применении гальваномагнитных магниточувствительных сенсоров. Интроскоп осуществляет цифровую обработку показаний датчиков, восстановление компьютерного изображения поля рассеяния от дефектов. Обработка изображения дефектов и оценка их геометрических параметров осуществляются визуально оператором с параллельной автоматической отбраковкой (рис. 5).

Разработан прибор, позволяющий за счет использования многоэлементных датчиков и электронно-механического сканирования магнитного поля не только регистрировать дефекты, но и определять их геометрические размеры, форму, ориентацию и взаимное расположение. Компьютерная обработка информации дает возможность упростить процесс подготовки отчетов и создать систему архивирования результа-

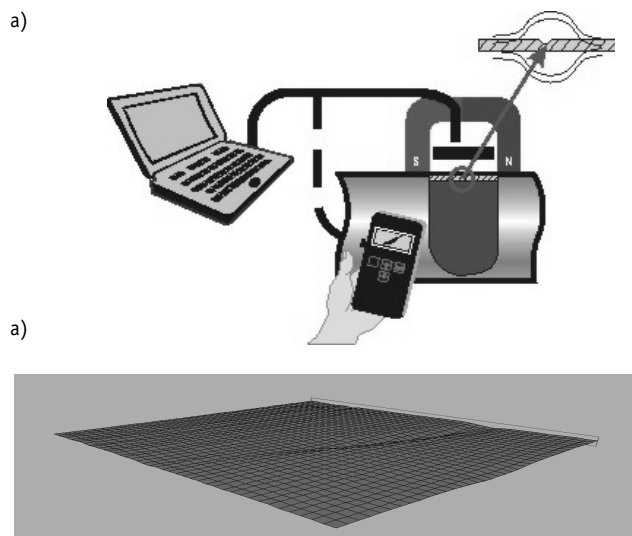


Рис. 5: а) Схема наружного обследования трубопроводов; б) изображение отпечатка трещины раскрытием 1 мм и глубиной 5 мм

тов контроля. Магнитный интроскоп позволяет проводить контроль без удаления защитной изоляции и остановки работы оборудования, что дает возможность повысить производительность и уменьшить затраты на проведение диагностических работ по сравнению с традиционными методами. Выявляются дефекты типа нарушения сплошности (коррозионные и усталостные трещины, непровары, язвы) при толщине стенки объекта до 20 мм. Интроскоп состоит из передвижного намагничивающего устройства (НУ) на постоянных магнитах (рис. 6а), сканера магнитного поля, видеоконтрольного устройства (ВКУ) для использования в полевых условиях (рис. 6б) или персонального компьютера для стационарных условий.

Использование магнитных интроскопов серии МИ-ХХ регламентировано инструкцией по магнитному контролю линейной части газонефтепродуктопроводов ВРД 39-1.11-027-2001, утвержденной постановлением Госгортехнадзора России № 10-03/4 от 15/01/2001г. Конструкции намагничивающих устройств, сканеров и электронных блоков интроскопа защищены 110 авторскими свидетельствами и патентами РФ.

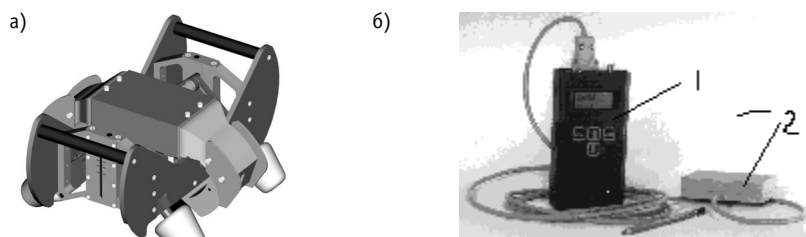


Рис. 6. Магнитный интроскоп: а) - МИ-20 с П-образным намагничивающим устройством; б) - сканер (1) и видеоконтрольное устройство (2) интроскопа

ВНУТРИТРУБНЫЙ МАГНИТНЫЙ ИНТРОСКОП МИ-31

Этот интроскоп предназначен для внутритрубного контроля линейной части водопроводов. Принцип его действия основан на намагничивании внутренней поверхности трубопроводов постоянными магнитами или электромагнитами, между полюсами которых находятся многоэлементные преобразователи магнитных полей. Внутритрубный магнитный интроскоп осуществляет сканирование магнитного рельефа,

Таблица 1

Технические характеристики

Раскрытие выявляемых дефектов	до 30 мкм
Толщина стенки контролируемых объектов:	до 20 мм
Глубина залегания выявляемых дефектов:	до 20 мм
Глубина выявляемых дефектов:	до 20% от толщины стенки
Производительность:	не менее 1 м/мин
Минимальная длина выявляемых дефектов	5 мм
Погрешности оценки	
Длины трещин	7% (при длине трещин более 20 мм)
Раскрытия поверхностных и подповерхностных трещин	15%
Глубины поверхностных и подповерхностных трещин	15%
Габаритные размеры:	
ВКУ	160x80x20
сканера	100x60x10 мм
передвижного П-образного НУ	500x400x200 мм
Масса:	
сканера и ВКУ	600 г
передвижного П-образного НУ	25 кг
Потребляемая мощность	20 мВт

возникающего под действием полей рассеяния от дефектов стенки трубопровода, перемещаясь под действием потока воды, газа или с помощью троса и лебедки. Информация о выявленных дефектах записывается в полупроводниковой памяти. Схема контроля подземных трубопроводов путем перемещения внутритрубного магнитного интроскопа с помощью троса и лебедки на расстояние до 4 км показана на рис. 7.

Такая технология требует вырезания технологических окон в подземном трубопроводе и прекращения транспорта воды. После прекращения инспекции контрольного участка трубопровода, технологические окна завариваются или заделываются с помощью отрезка трубы и болтовых соединений. При контроле действующих водопроводов на определенных участках предусматривается установка специальных камер запуска-приемки внутритрубных магнитных интроскопов.

Основное отличие внутритрубного магнитного интроскопа от известных приборов, реализующих магнитные методы диагностирования трубопроводов, заключается в

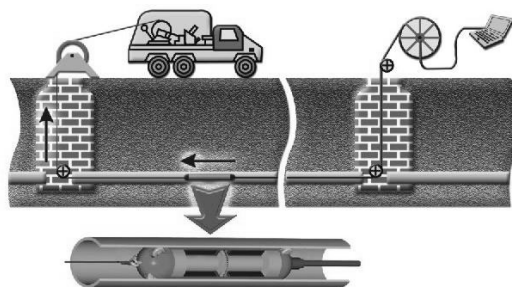


Рис. 7. Схема внутритрубного контроля подземных водопроводов

использовании многоэлементных преобразователей магнитных полей и электромеханическом сканировании поверхности трубопровода. Применены компьютерные методы оценки геометрических параметров дефектов по окончании контроля участка трубопровода. По изображению осуществляется оценка формы дефектов, их ориентации и взаимного расположения. Выявляются коррозионные, термические и усталостные трещины, язвы, шлаковые и газовые включения, непровары сварных швов.

Состав внутритрубного магнитного интроскопа: намагничивающее устройство на постоянных магнитах или электромагнитах со сканером (при секционном намагничивании их количество определяется диаметром трубопровода), электронный блок, блок питания. Производительность контроля до 0,5 м/сек, масса 44 кг. Результаты диагностики остаются в памяти компьютера либо на бумажном носителе.

Конструкция внутритрубного магнитного интроскопа приведена на рис. 8.

Для обслуживания магнитного интроскопа МИ-20 требуется 2 чел., МИ-31 – 3 чел.

Наружный интроскоп МИ-20 испытывался во ВНИИГАЗ, на промысловых нефтепроводах в АНК «Башнефть». Внутритрубный магнитный интроскоп МИ-31 использовался при обследовании распределительных газопроводов в г. Обнинске, водопроводов в Мосводоканале, обсадных колонн в Башкирии (ВНИИГИС) и Татарии (Татнефтегеофизика).

В рамках семинара «Управление ремонтным производством АЭС», проводимого в 2003 г. в ГЦИПК Минатома, интроскоп МИ-31 демонстрировался руководителям ремонтных служб АЭС. Было принято решение о рекомендации интроскопа к использованию на предприятиях концерна «Росэнергоатом» для контроля трубопроводов технического водоснабжения.

Литература

1. Абакумов А.А. Магнитная интроскопия. - М.: Энергоатомиздат, 1996. - С. 282.
2. Абакумов А.А., Абакумов А.А. (мл.) Магнитная диагностика газонефтепроводов. - М.: Энергоатомиздат, 2001. - С. 434.

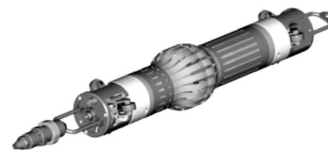


Рис. 8. Конструкция внутритрубного магнитного интроскопа МИ-31

Поступила в редакцию 7.07.2003

ABSTRACTS OF THE PAPERS

УДК 621.039.524.46

Industrial Heavy-Water Reactor Technology Creation Experience and Development Prospects \V.V. Petrunin; Editorial board of journal "Izvestia vissikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2004. – 14 pages, 4 illustrations, 5 tables. – References, 7 titles.

The development of heavy-water reactor technology is presented in the report. The distinctive features of industrial heavy-water reactors and the introduction stages of radioactive isotopes fabrication at L-2 reactor are given. The concept of new heavy-water industrial reactor is presented. New HWR creation economic efficiency is analysed. Multiversion calculation of HWR economics was performed by Ail-Russian method using the certified TEO-INVEST code, developed by Russian Academy of Science Institute of Management Problems. Calculation results allowed making a conclusion that at the present level of world prices for isotope products the investment project of new HWR has high profitability and payback indices. The predicted increase of the world prices for isotope products caused by the demand rise allows additionally to improve project characteristics and to increase its stability to financial risks.

УДК 621.039.58

The Modern Approach to Methodology of Probabilistic Safety Analysis \Yu.V. Shvyryaev; Editorial board of journal "Izvestia vissikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2004. – 8 pages. – References, 11 titles.

The brief description of probabilistic safety analysis (PSA) methodology which is used in present time for the development of the safety decisions at the designing and operation nuclear power plants (NPP) with WWER reactors.

PSA methodology includes the common probabilistic model describing the arising of NPP accident states exceeding the setting value of limiting accident consequences, list of the probabilistic safety indicators (PSI), the definition of basic tasks, methods, approaches, data base and computer codes to define full population of accident states and to perform PSI quantification and the approach for complex qualitative and quantitative estimation of safety level based on PSA results.

УДК 621.317

Magnetic Inspection of Pipelines in Industrial Water-Supply of NPPs \A.A. Abakumov, A.A. Abakumov (junior), E.A. Kasatov; Editorial board of journal "Izvestia vissikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2004. – 7 pages, 8 illustrations, 1 table. – References, 2 titles.

The physical principles of magnetic methods of inspection of pipelines is reviewed. The main notice is given to problems of magnetic introsopes construction. The construction, principle of operation and performances of magnetic introsopes for external inspection of pipelines in industrial water-supply of NPPs is depicted.

УДК 621.039.53

The analysis of temperature distribution in front of a shock wave in metals \A.I. Trofimov, M.A. Trofimov, V.V. Hudasko; Editorial board of journal "Izvestia vissikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2004. – 7 pages, 4 illustrations. – References, 9 titles.

Theoretical research of distribution of temperature in front of a shock wave in metals with the account convection, heat conductivities of a atomic lattice and electrons, an exchange of energy between a atomic lattice and electrons for a substantiation of a noncontact method of measurement of the intense status of metal of designs of the atomic power station is carried out on the basis of the phenomenon of occurrence EMF at shock loadings