

3. Горбенко Г.А., Фролов С.Д. Исследование поверхностных сепараторов струйных насосов жидкости с несущим газом. — В кн.: Вопросы газотермодинамики энергоустановок, вып. 2. Харьков, 1975.
4. Горбенко Г.А., Фролов С.Д. О характеристиках поверхностных сепараторов газожидкостных насосов. — Там же, вып. 5, 1978.
5. Вскипающие адиабатные потоки. Под ред. В.А. Зысина. М.: Атомиздат, 1976, с. 92—107.
6. Циклаури Г.В., Данилин В.С., Селезнев Л.И. Адиабатные двухфазные течения. М.: Атомиздат, 1973, с. 368.
7. Малибашев С.К. Технологические схемы и перспективы АДЭ. — В кн.: Автономные атомные энергоисточники малой мощности для децентрализованного теплоснабжения. Научный семинар ЯО СССР. М., 1991, с. 94—111.

Поступила в Редакцию 7.09.95

УДК 621.3.014

ВИХРЕТОКОВЫЙ КОНТРОЛЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЭЛЕКТРОСВАРНЫХ (ШОВНЫХ) ТРУБ С ВИЗУАЛИЗАЦИЕЙ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ

*Чугунов А.А., Шлепнев И.О., Романов М.Л., Попов В.А.
(ГНЦ РФ — ВНИИНМ им. А.А. Бочвара)*

Сварные соединения шовных труб, используемых во многих отраслях промышленности, должны обеспечивать герметичность во время всего периода эксплуатации. Наличие в сварных швах дефектов (трещин, непроваров и др.) может привести к разгерметизации контуров в условиях воздействия давления и температуры рабочей среды. Поэтому к качеству сварных соединений предъявляются высокие требования, исключающие пропуск опасных дефектов. В работах [1, 2] рассмотрен неразрушающий контроль сварных соединений с применением ультразвукового и других методов контроля. Преимущества и недостатки ультразвукового метода хорошо известны.

В последние годы с развитием и совершенствованием технических методов и средств неразрушающего контроля и, в частности, вихретокового метода с учетом его особенностей (бесконтактность, высокая производительность, простота конструкции вихретокового преобразователя, экспрессность) появилась реальная возможность расширения области его применения, главным образом, для контроля качества сварных соединений труб.

Вихретоковый экспресс-анализ изображения контролируемой поверхности шовной трубы в отличие от качественного толкования временных диаграмм, традиционно присущего наиболее распространенным методам неразрушающего контроля, — дальнейший путь к внедрению и совершенствованию вихретокового метода контроля. В мировой практике для решения подобных задач известны исследования с применением компьютерных комплексов с цифровой обработкой данных [3]. Особенностью комплексов является высокая разрешающая способность, информативность и готовность использовать результаты в экспертных системах диагностики состояния труб.

В настоящей работе ставились три основные задачи:

определение оптимальных условий вихретокового контроля сварных соединений шовных труб и трубных заготовок;

исследование образцов шовных труб и трубных заготовок с искусственными дефектами;

визуализация и классификация сигналов вихретокового преобразователя с помощью компьютерной системы трехмерной графики.

Дефектоскопом служил вихретоковый многоканальный аналоговый прибор БЭВ-6 [4]. Эксперимент проводился с использованием ЭВМ типа IBM PC/AT; программа обработки сигнала позволяла в диалоговом (командном) режиме выбрать для обработки сигнала любую из следующих операций: фильтрация, частотный, амплитудный спектр, трехмерный частотный, амплитудный спектр, интегрирование, дифференцирование, регистрация на комплексной плоскости, трехмерная графика.

Дефектоскоп позволял использовать до шести независимых частот возбуждения в диапазоне от 6 до 200 кГц с подключением различных типов вихретокового преобразователя, каждый из которых может быть абсолютным или дифференциальным, параметрическим или трансформаторным. В память ЭВМ может быть записано одновременно до 16 различных сигналов. Программа дает возможность выводить на дисплей до шести сигналов одновременно.

В отличие от классического вихретокового метода регистрации сигналов разработанная компьютерная система вычислительной томографии с трехмерной графикой позволяет строить томографические «изображения» взаимодействия внешнего электромагнитного поля с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых преобразователем в электропроводящей трубе. Изображение строится по набору экспериментальных данных и основано на фундаментальном свойстве линейных уравнений.

На рис. 1 приведена упрощенная схема вихретоковой томографической установки с разработанной системой цифровой обработки данных.

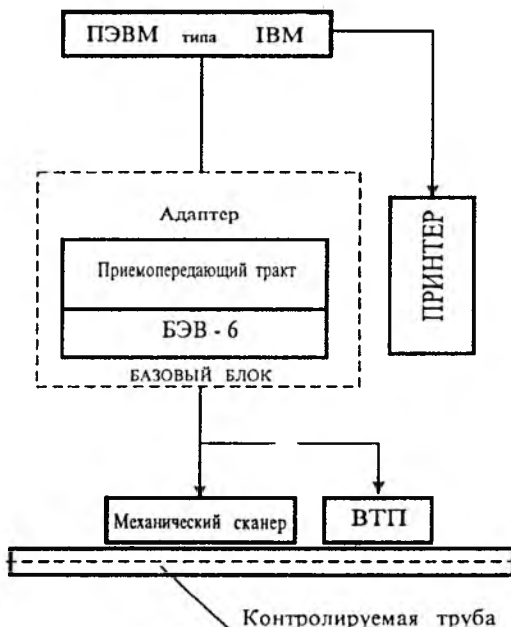
Программа компьютерной системы визуализации сигналов вихретокового преобразователя обеспечивает проведение дистанционного контроля труб и может работать в режиме обычного дефектоскопа. С ее помощью можно исследовать частотный спектр всего сигнала либо любой выделенной его части и устанавливать режимы контроля.

Программа просмотра трехмерных изображений предназначена для анализа диаграмм, полученных при двумерном сканировании.

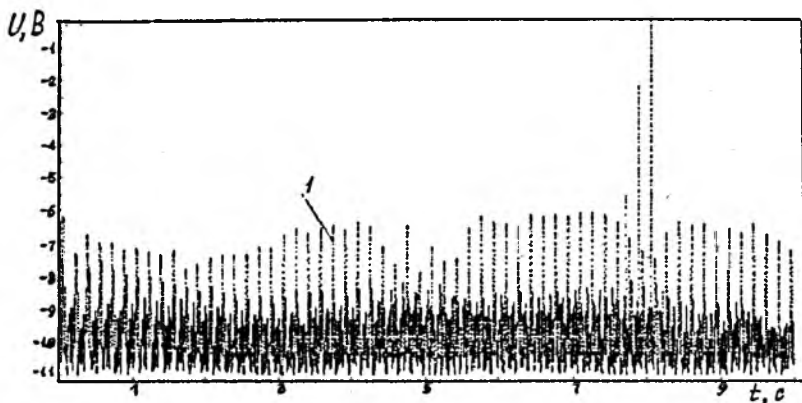
Для контроля труб использовался накладной вихретоковый преобразователь [5]. Его двухкоординатное сканирование по винтовой линии осуществлялось с помощью протяжного механизма ПР-1 [6]. В качестве объекта исследования выбраны шовные трубы из нержавеющей стали диаметром 38 мм с толщиной стенки 1,1 мм. Для контроля структуры шовных труб частота возбуждения преобразователя выбрана равной 25 кГц [7]. Настройка дефектоскопа проводилась по испытательному образцу ИО-1, представляющему собой отрезок сварной трубы с искусственным дефектом в виде сквозного радиального отверстия диаметром 2 мм.

Временная диаграмма сигнала от ИО-1, полученная традиционным способом, приведена на рис. 2. Серия периодических импульсов 1 на диаграмме обусловлена переходом накладного преобразователя через зону сварного шва. По временной диаграмме можно определить, во сколько раз электросопротивление сварного шва отличается от электросопротивления трубы, однако сделать заключение о размере сварного шва и его расположении на поверхности трубы невозможно.

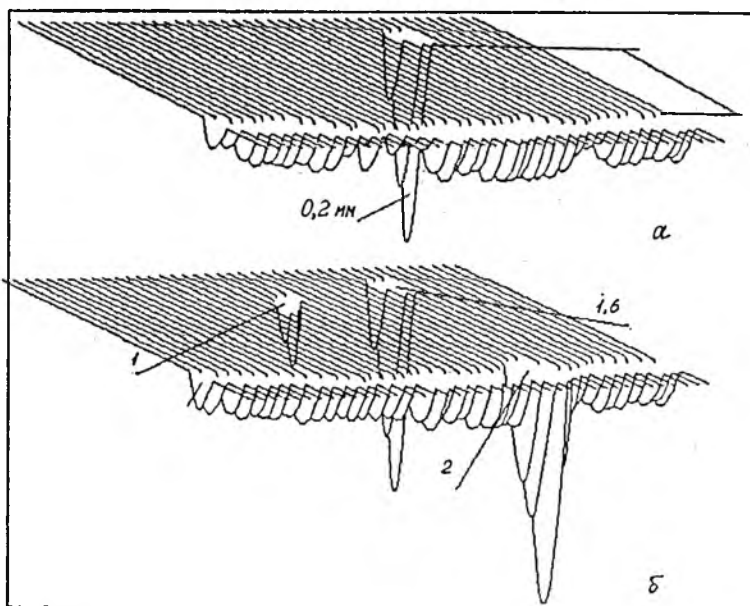
Решить поставленную задачу позволяет операция «трехмерная графика». Трехмерная диаграмма сигнала от ИО-1, полученная путем обработки временной диаграммы (рис. 2) с помощью операции «трехмерная графика», приведена на рис. 3. Диаграмма представляет собой развертку цилиндрической поверхности ИО-1 и позволяет определить место и размер сварного шва. Благодаря обработке сигнала разрешение здесь значительно выше, что позволяет различать дефекты на поверхности шовной трубы и дает графическое представление о качестве сварного шва. Трехмерное изо-



Р и с. 1. Функциональная схема вихретоковой томографической установки



Р и с. 2. Временная диаграмма сигнала от ИО-1



Р и с. 3. Трехмерная диаграмма сигнала от ИО-1 (а) и ИО-2 (б)

бражение сварного шва получено путем перемещения преобразователя по поверхности вращающейся трубы с шагом 1 мм.

Для дефектоскопии шовных труб частота возбуждения преобразователя выбрана равной 100 кГц [8].

Дефектоскоп настраивали по ИО-2, представляющему собой отрезок сварной трубы с искусственными дефектами в виде трех сквозных радиальных отверстий диаметром дефект 1 — 2 мм, дефект 2 — 1,6 мм, дефект 3 — 1 мм, причем отверстие диаметром 2 мм расположено в сварном шве.

Трехмерная диаграмма сигнала от ИО-2, полученная путем обработки временной диаграммы с помощью операции «трехмерная графика», приведена на рис. 3, б. Она представляет собой развертку цилиндрической поверхности ИО-2, на которой приведено томографическое изображение искусственных дефектов. Расположение и формы искусственных дефектов соответствуют чертежу на ИО-2 [8].

Наряду с шовными трубами были исследованы также трубные заготовки диаметром 38 мм с толщиной стенки 3 мм. Частота возбуждения накладного преобразователя была выбрана равной 25 кГц. Дефектоскоп настраивали по ИО-3, представляющему собой отрезок трубной заготовки с кондиционным сварным швом.

Серия периодических импульсов на временной диаграмме вызвана проходом преобразователя через зону сварного шва, электросопротивление которой отличается от электросопротивления заготовки, но вся диаграмма в целом недостаточно информативна. Преобразование временной диаграммы путем операции «трехмерная графика» дает возможность не только определить место расположения сварного шва, но и сделать заключение о его равномерности по длине трубы. При контроле таким методом отрезка трубной заготовки с неповаром выявлены отдельные дефекты на цилиндрической поверхности заготовки и участок неповара, где отсутствует сварной шов.

Таким образом, обработка результатов контроля с помощью компьютерной вихретоковой томографии позволяет расшифровывать и визуализировать результаты контроля с последующей их возможной классификацией.

Примеры контроля шовных труб и трубных заготовок демонстрируют существенное отличие вихретокового томографического изображения дефектов от временных диаграмм, полученных традиционным способом. Система визуализации позволяет регистрировать дефекты с большей объективностью и достоверностью при высокой разрешающей способности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ермолов И.Н., Алешин Н.П., Потапов А.И. Перазрушаючий контроль. Акустические методы контроля. Кн. № 2. М.: Высшая школа, 1991. 282 с.
2. Клюев В.В., Соснин Ф.Н., Филипов В.Н. и др. Перазрушаючий контроль и диагностика. Справочник. М.: Машиностроение, 1995. 488 с.
3. Stepinski T. Digital processing of eddy current signals and images — a review. — In: 6th European Conf. on Non Destructive Testing in Nice (France) from 24 to 28 October 1994, p. 51—54.
4. Вихретоковый дефектоскоп БЭВ-6. Паспорт 593.00.000 ПС.
5. Накладной вихретоковый преобразователь. Индекс проекта № B501.000.
6. Протяжный механизм ПР-1. Индекс проекта № B402.01.000.
7. Герасимов В.Г., Покровский А.Д., Сухоруков В.В. Перазрушаючий контроль. В 5 кн. Кн. 3. Электромагнитный контроль. Под ред. В.В. Сухорукова. М.: Высшая школа, 1995. 312 с.
8. Испытательный образец. Индекс B402.00.002.

Поступила в Редакцию 19.06.95

УДК 66.067.85:66.081.3+621.039.534

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТКИ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ НЕОРГАНИЧЕСКИМИ ГРАНУЛИРОВАННЫМИ СОРБЕНТАМИ

*Комаревский В.М., Степанец О.В., Шарыгин Л.М., Матвеев С.А.
(ГЕОХИ им. В.И. Вернадского РАН)*

Особое место в охране окружающей среды в настоящее время занимает очистка жидких радиоактивных отходов предприятий атомной промышленности и судовых установок атомного флота. К таким отходам относятся прежде всего слабозасоленные воды — следствие протечек реакторов или бассейнов выдержки отработавшего топлива, а также сточные воды судов атомного флота различного уровня засоленности и радиоактивности, содержащие в своем составе и органические соединения (нефтепродукты, поверхностно-активные вещества, комплексоны и т.д.). Основной вклад в их суммарную радиоактивность вносят долгоживущие радионуклиды продуктов деления (^{137}Cs , ^{90}Sr) и коррозионного происхождения (^{60}Co , ^{54}Mn , ^{51}Cr).

Такие воды целесообразно очищать селективными и радиационно устойчивыми сорбентами. Применяемые традиционно для очистки воды органические ионообменники в случае увеличения солености раствора резко снижают селективность извлечения радионуклидов в результате конкуренции щелочных и щелочно-земельных ме-