

## СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ АКУСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ СВАРКИ

Н. П. АЛЕШИН

Федеральное Государственное автономное учреждение «Сварка и контроль» при МГТУ им. Н.Э.Баумана.  
РФ. 105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, 5. E-mail: aleshin@bmstu.ru

Рассмотрены современные отечественные и зарубежные высокоинформативные виды оборудования для акустического контроля сварных соединений трубопроводов. Отмечены их возможности и недостатки. Описаны преимущества разработанного МГ ФГАУ «Сварка и контроль» совместно с предприятием «Молния» комплексного сканера, в котором реализованы ультразвуковой, вихретоковый и визуальный методы контроля. Приведены примеры применения для контроля сварных соединений в атомной энергетике системы АВГУР, а также портативного прибора АСБАТ, прошедшего межведомственные испытания и внедренного на объектах ОАО «Газпром». Табл. 1, рис. 11.

*Ключевые слова:* акустический контроль, сварные соединения трубопроводов, сканер-дефектоскоп, характеристики систем контроля, портативный прибор, головная волна

В связи с большой изношенностью (более 65 %) технологического оборудования и необходимостью надежной диагностики сооружаемых объектов значение неразрушающих методов контроля весьма велико.

В США стоимость контрольных операций при производстве отдельных изделий ВПК достигает 25...35 % от общей стоимости изделий. В строительной индустрии эти затраты составляют 10...12 %. В России же затраты на контроль и диагностику ниже в 15...20 раз, вследствие чего число аварий на объектах различного назначения на порядок выше, чем на Западе.

Потребность в надежном высокоинформативном оборудовании особенно актуальна для топливно-энергетического комплекса, где аварии сопряжены не только с большими экономическими потерями, но и катастрофическими последствиями.

Из всего многообразия способов диагностики при изготовлении, строительстве и эксплуатации конструкций наибольшее применение нашли акустические. При оценке технического состояния магистральных трубопроводов, газгольдеров, резервуаров наиболее эффективными средствами контроля качества сварных швов являются автоматизированные ультразвуковые сканеры-дефектоскопы Автокон-АР-МГТУ.

Автономная роботизированная система представляет собой механизм передвижения, на котором расположены 32-канальный ультразвуковой дефектоскоп с управляющим процессором и акустическая система, состоящая из двух 16-элементных совмещенных преобразователей (ИП), реализующих технологию контроля с использованием

фазированных решеток с апертурой качания луча в диапазоне  $40^\circ$  при частоте 8 МГц (рис. 1).

Два других 16-элементных преобразователя, работающих в раздельном режиме, обеспечивают технологию контроля с использованием дифракционно-амплитудно-временного метода (ТОFD) (рис. 2, а).

При ТОFD фиксируют и записывают сигналы, рассеянные на краях дефектов и отображают на экране В-скан (рис. 2, б).

Система устанавливается на контролируемом изделии и перемещается вдоль сварного стыка, автоматически отслеживая его без каких-либо дополнительных приспособлений. Механизм сканирования удерживается на поверхности трубы встроенными в колеса постоянными магнитами. Установка малогабаритна, проста в эксплуатации, обслуживается двумя операторами.

Сравнительные характеристики роботизированных систем приведены в таблице.

Отечественный прибор, наряду с отмеченными

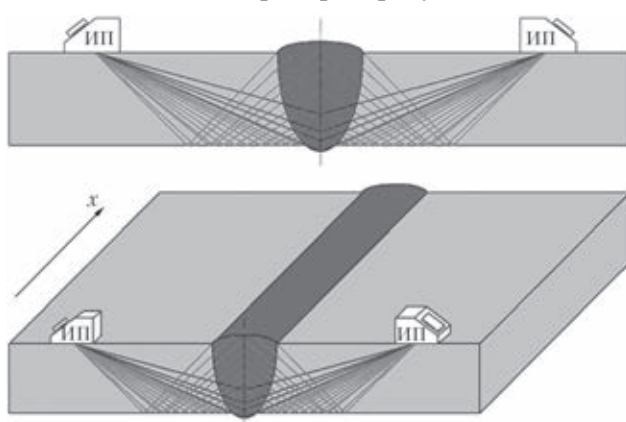


Рис. 1. Акустическая система сканера-дефектоскопа Автокон-АР-МГТУ с фазированными решетками

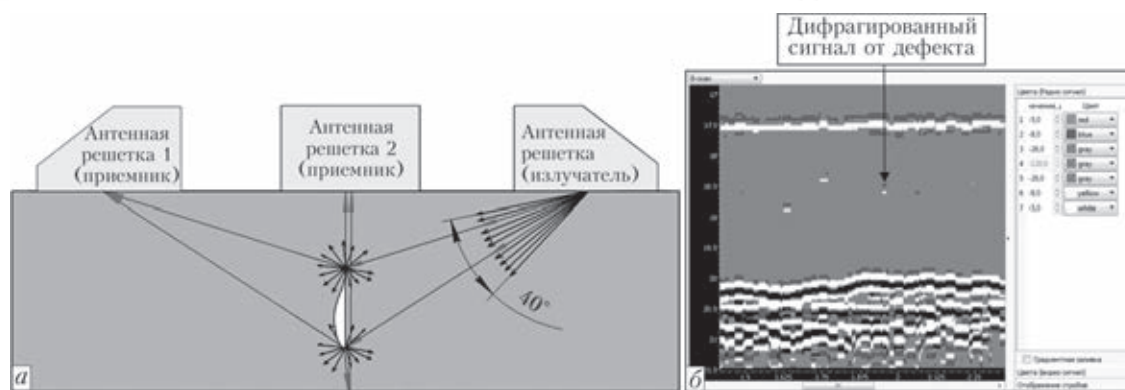


Рис. 2. Акустическая система сканера-дефектоскопа Автокон-АР-МГТУ с антенной решеткой типа «дуэт» (а) и дифрагированные сигналы (б)

выше преимуществами (таблица), позволяет контролировать изделия любой формы (плоские листы, резервуары, газгольдеры и т. д.). Пример дефектоскопии кольцевых стыков трубы приведен на рис. 3.

Следует отметить, что существующий лучший зарубежный аналог Pipe WIZARD-PA (фирма RTD) может контролировать только кольцевые стыки (рис. 4) магистральных трубопроводов.

Существующие ультразвуковые сканеры Автокон-АР-МГТУ, «Сонет», УСД-60 и др. не позволяют с высокой степенью вероятности обнаруживать стресскоррозионные повреждения в магистральных трубопроводах. С целью исклю-

чения указанного недостатка и увеличения выявляемости наружных и внутренних дефектов в МГ ФГАУ «Сварка и контроль» при МГТУ им. Н. Э. Баумана совместно с НПЦ «Молния» разработали комплексный сканер, в котором реализованы ультразвуковой, вихретоковый и визуальный методы контроля (рис. 5, а). Он предназначен для контроля трубопроводов диаметром 720...1420 мм с толщиной стенки до 35 мм при температуре от -40 до +40 °С. При движении по винтовой линии скорость до 3 м/мин, ширина зоны сканирования составляет 280 мм за один оборот. Результаты диагностирования представляют в виде сканограммы (рис. 5, б).

**Сравнительные характеристики роботизированных систем контроля Pipe WIZARD-PA (RD TECH™) и Автокон-АР МГТУ**

Параметр или характеристика	Pipe WIZARD-PA	Автокон-АР-МГТУ	Примечание
Автономность	В пределах длины кабеля связи перемещаемого блока и шланга для подачи контактной жидкости	Полная	При контроле трубопроводов основной блок Pipe WIZARD-PA размещают на автомобиле, длина кабеля и шланга ≥ 20 м
Способ сканирования	Автоматический, вдоль направляющей, устанавливаемой на сварной шов	Автоматический, без дополнительных приспособлений	АВТОКОН-АР-МГТУ снабжен датчиком слежения за валиком усиления шва или гибкой ленты
Масса, кг	Более 50 кг без учета массы внешнего компьютера, сосуда с контактной жидкостью, шлангов и кабелей	≤ 18	Pipe WIZARD-PA не может транспортироваться вручную
Диапазон контролируемых толщин основного металла трубопровода, мм	7...32	6...35 (при замене акустических блоков)	В основном толщина основного металла трубопроводов ≥ 8...30 мм
Диапазон рабочих температур, °С	-15...+30	-40...+50	Контролировать чаще всего приходится при отрицательных температурах
Основные результаты контроля	Обнаружение дефектов, определение их местоположения и измерение условных размеров	Обнаружение дефектов, определение их местоположения и измерение условных размеров	—
Функция слежения за акустическим контактом	Да (отдельный преобразователь по отражению от внутренней поверхности трубы)	Да (при каждом запуске любого канала без использования дополнительной аппаратуры)	—
Объем контроля	Кольцевые швы	Кольцевые и продольные швы, тело трубы	—

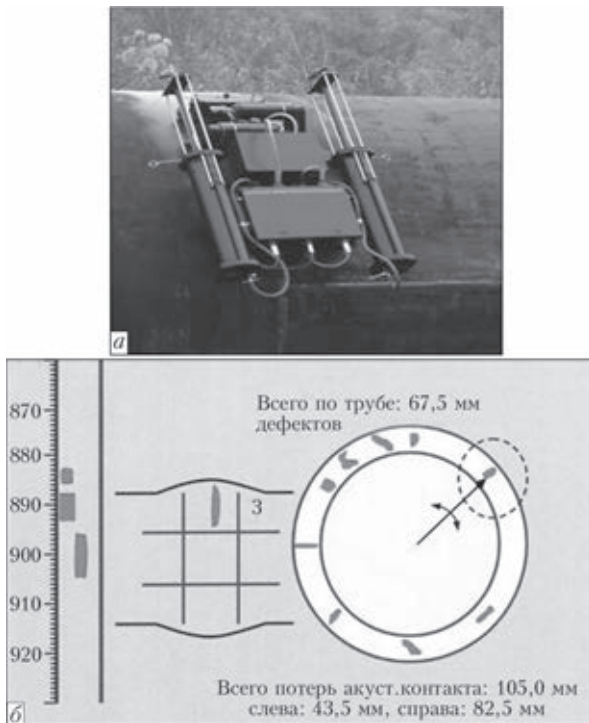


Рис. 3. Сканер-дефектоскоп Автокон-АР-МГТУ (а) и отображение результатов контроля на экране монитора (б)

При контроле качества сварных стыковых соединений трубопроводов первого контура реактора ВВР-1000 наиболее эффективными являются системы АВГУР 5.2 (рис. 6), разработанные в НПО «Эхо+».

Для этих соединений характерны большая толщина (72 мм) и наличие галтели, от которой чаще всего зарождаются трещины в процессе эксплуатации. Система Авгур 5.2 с высокой достоверностью выявляет встречающиеся дефекты и позволяет уверенно идентифицировать их размеры и конфигурацию (рис. 7).



Рис. 4. Сканер Pipe WIZARD-PA

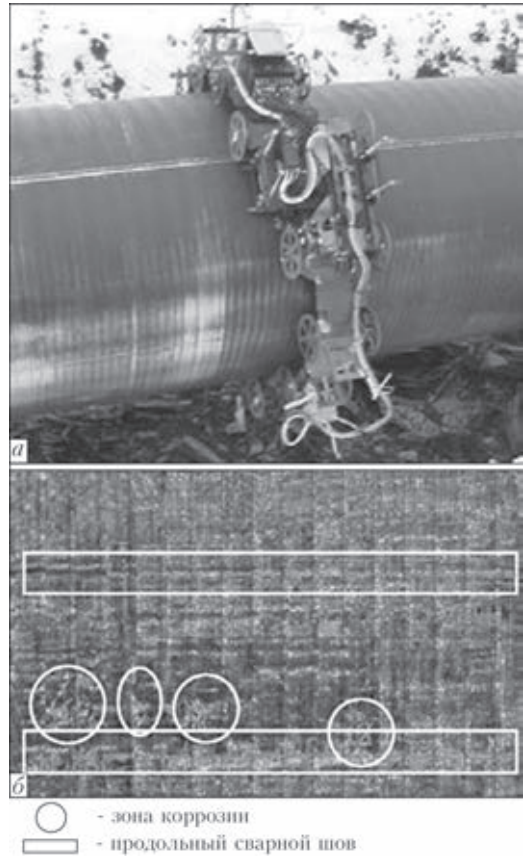


Рис. 5. Автоматизированная комплексная система для контроля магистральных трубопроводов (а) и сканогрмма дефектов (б)

Система АВГУР 5.2 при незначительном перекомплектовании успешно используется для контроля гибов трубопроводов первого контура реактора ВВР-1000 (рис. 8).

Для оценки работоспособности объекта не всегда достаточно знать форму, размеры и координаты дефектов. Значительное влияние на уровень напряжен-

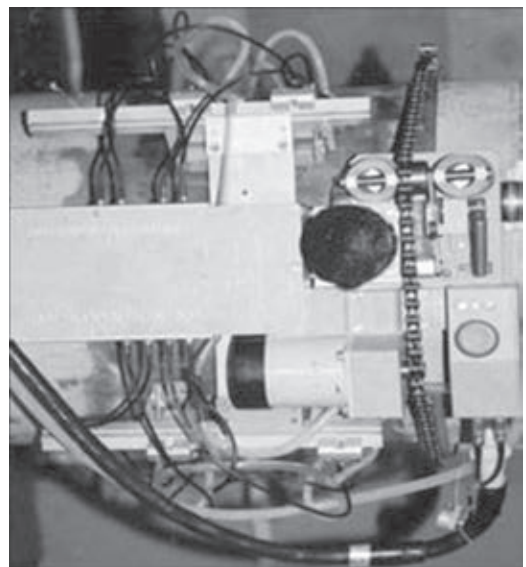


Рис. 6. Система АВГУР 5.2 для автоматизированного ультразвукового контроля кольцевых сварных стыковых соединений трубопроводов первого контура реактора ВВР-1000

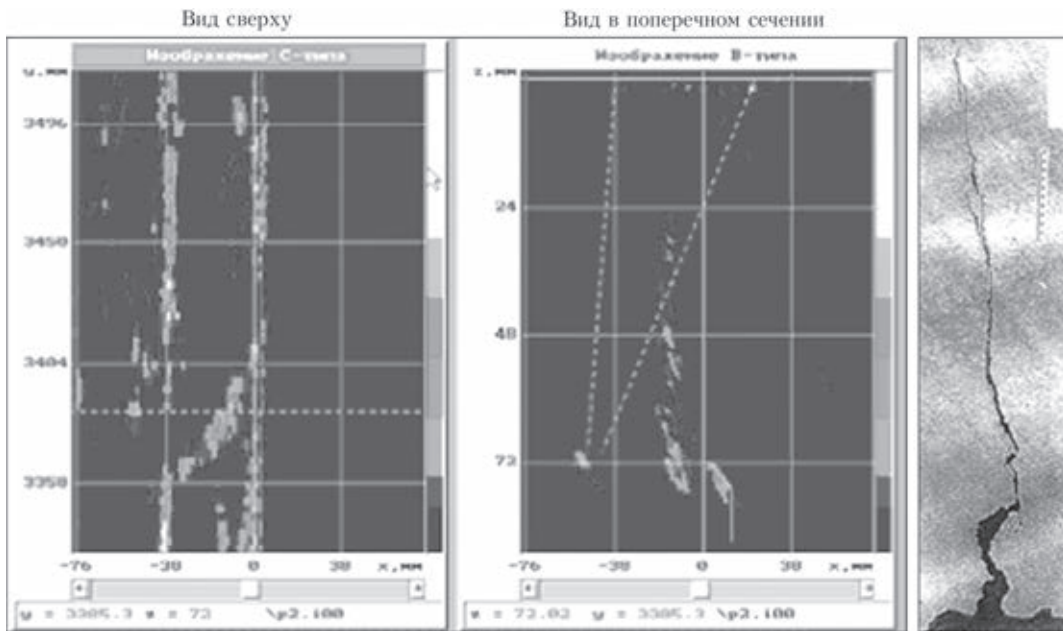


Рис. 7. Изображение дефекта в сварном соединении с углом ввода ПЭП 400



Рис. 8. Система АВГУР 5.2 для автоматизированного ультразвукового контроля гибов трубопроводов первого контура реактора ВВР-1000

но-деформированного состояния оказывает наличие остаточных напряжений в различных элементах конструкций, особенно в зоне дефектов.

Известно множество приборов для оценки остаточных напряжений, действие которых основано на измерении различных характеристик магнитных, электромагнитных или ультразвуковых полей. Общим их недостатком является низкая точность измерения (20...25%). Из известных систем измерения внутренних напряжений наиболее совершенной является установка LZM-USJzfp (Институт неразрушающего контроля Германии), принцип действия которой основан на измерении поперечных скоростей УЗ-волн во взаимно перпендикулярном направлении. При этом возбуж-

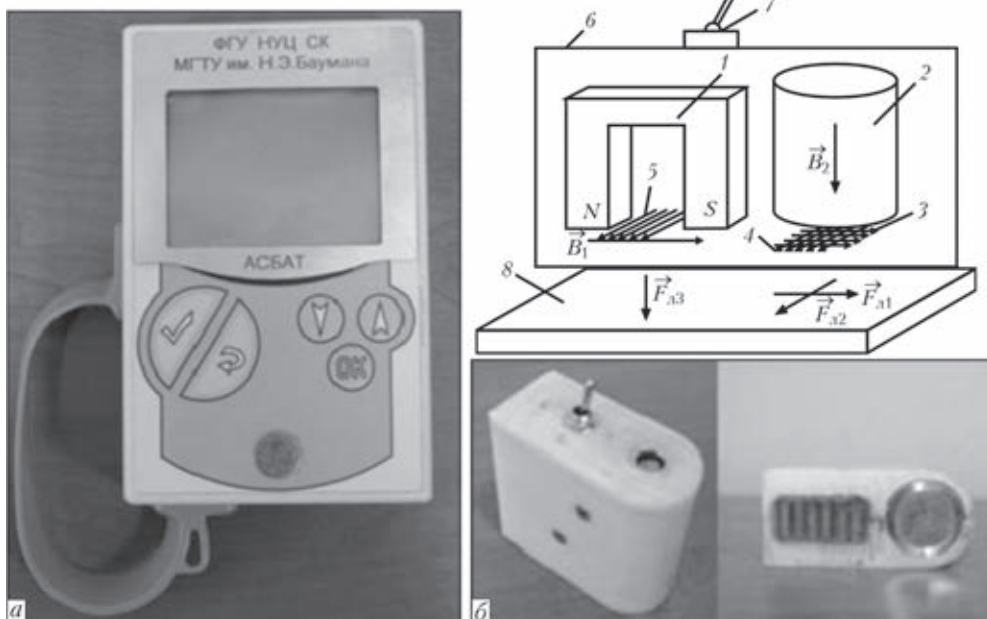


Рис. 9. Аппаратное средство бесконтактной акустической тензометрии (АСБАТ) (а) и комплексный датчик (б) (1–7 – см. в тексте)

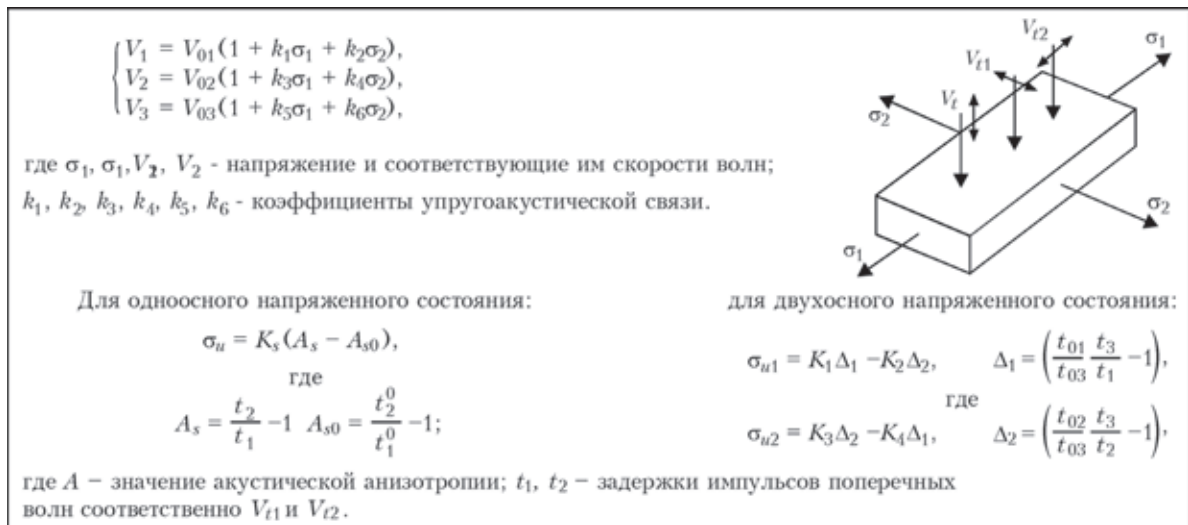


Рис. 10. Методика определения интегрального по толщине значения механических напряжений

ление SH-волн осуществляется ЭМА-преобразователями. Данная система позволяет измерять только одноосно-напряженное состояние с точностью 5 м/с, что не всегда удовлетворяет заказчика.

В МГ ФГАУ «Сварка и контроль» при МГТУ им. Н. Э. Баумана разработан портативный прибор АСБАТ (рис. 9, а) для оценки значений механических напряжений при одно- и двухосном напряженно-деформированном состоянии по толщине объекта путем измерения скоростей трех типов волн: две поперечные волны с взаимно перпендикулярной поляризацией и продольная. Направление распространения этих волн перпендикулярно плоскости действия напряжений (рис. 10).

Метод основан на эффекте двулучепреломления, т. е. явлении разложения в анизотропных средах звуковой волны на две составляющие, где

колебания частиц в этих двух волнах взаимно перпендикулярны (рис. 10). Для реализации этого эффекта разработан комплексный ЭМА-преобразователь (рис. 9, б).

В едином корпусе 6 расположены две магнитные системы 2 и 1. Магнитная система 2 (с катушкой переменного тока 3) предназначена для возбуждения поперечной волны в объекте контроля 8 под действием силы Лоренца  $F_{л2}$ . Магнитная система 2 (с катушкой переменного тока 4) предназначена для возбуждения поперечной волны в объекте контроля 8 под действием силы Лоренца  $F_{л1}$ . Катушки 3 и 4 расположены друг под другом и ориентированы взаимно перпендикулярно для возбуждения поперечных волн со взаимной перпендикулярной поляризацией. Магнитная система 1 (с катушкой переменного тока 5) предназначена для возбуждения в объекте

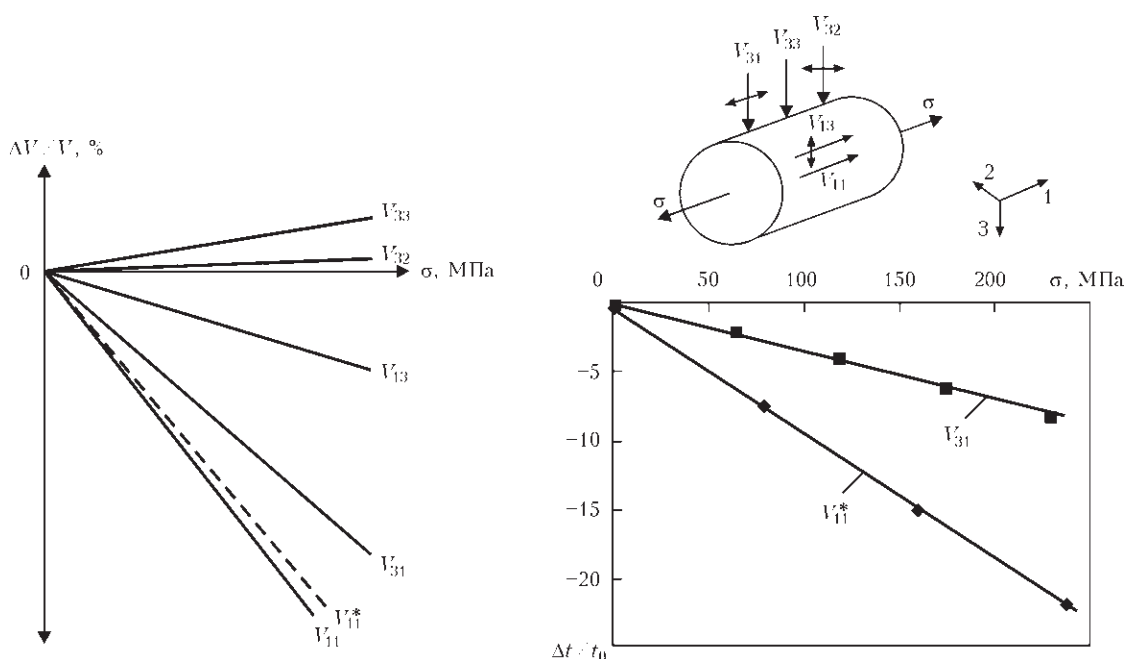


Рис. 11. Зависимость чувствительности головной волны от механического напряжения:  $V_{11}$  — продольная;  $V_{11}^*$  — головная;  $V_{13}$  — Рэлея;  $V_{31}-V_{33}$  — поперечные волны



контроля  $\delta$  продольной волны под действием силы Лоренца  $F_{л3}$ , направленной перпендикулярно объекту контроля. Для выбора режима предназначен переключатель 7.

Реализация многократных эхосигналов сдвиговых волн с радиальной поляризацией в анизотропных пластинах и сдвиговых волн с линейной поляризацией со смещением под углом  $45^\circ$  к направлению проката характерна тем, что в зависимости от степени анизотропии материала уже для второго-третьего эхо-сигнала четко наблюдается разделение импульсов. Это можно объяснить тем, что сдвиговые волны в процессе своего распространения расщепляются на две волны с колебательными смещениями вдоль и поперек направления проката, распространяющиеся с разными скоростями.

С увеличением степени анизотропии материала возрастает взаимное временное смещение импульсов обоих компонентов сдвиговых волн при неизменном пути их распространения в материале (толщина постоянна). При достаточно большом пути распространения сигнала относительное

время смещения импульсов волн с различной поляризацией достигает величины интервала двукратного прохождения каждой из волн по толщине слоя и превышает ее.

При приложении нагрузки к объекту контроля вдоль одной из осей анизотропии увеличивается степень анизотропии, тем самым возрастает взаимное временное смещение импульсов двух волн со взаимоперпендикулярной поляризацией. Изменение относительной разницы скоростей волн в начальном (ненагруженном) и конечном (нагруженном) состоянии пропорционально действующему напряжению.

Для обеспечения большей чувствительности к механическим напряжениям авторами предложено использовать в контактном варианте головную волну. Эксперименты и расчеты показали, что ее чувствительность по сравнению с поперечной волной для стали 30 выше в 2,7 раза (рис. 11).

АСБАТ прошел межведомственные испытания и после соответствующей сертификации внедрен на объектах ОАО «Газпром».

Поступила в редакцию 12.04.2013