

**Исследовательские испытания метода ультразвукового контроля
с использованием фазированных решеток
Степанов Е. Г.¹, Ермаков К. В.², Вялых И. Л.³, Мухаметшина Л. А.⁴**

¹Степанов Евгений Георгиевич / *Stepanov Evgenij Georgievich* - начальник
испытательной лаборатории неразрушающего контроля;

²Ермаков Константин Васильевич / *Ermakov Konstantin Vasil'evich* - начальник
отдела электромагнитной совместимости,
ООО «Энергодиагностика»;

³Вялых Игорь Леонидович / *Vjalyh Igor' Leonidovich* - кандидат технических наук,
начальник лаборатории технической диагностики трубопроводов и оборудования,
ООО «Газпром ВНИИГАЗ», г. Москва;

⁴Мухаметшина Лилия Аминовна / *Muhametshina Lilija Aminovna* - первый заместитель генерального директора,
ООО «Энергия», г. Дубна

Аннотация: в статье рассматриваются результаты исследовательских испытаний ультразвукового дефектоскопа с фазированной решеткой марки A1550 «IntroVisor» для неразрушающего контроля основного металла тела труб и сварных соединений, поиска различных нарушений сплошности и однородности металла труб на испытательном стенде ООО «Газпром ВНИИГАЗ» и оценка его основных рабочих характеристик.

Ключевые слова: ультразвуковой контроль, фазированные решетки, контроль качества сварных соединений.

Ультразвуковой контроль сварных соединений с использованием фазированной решетки - это современный и наиболее эффективный способ выявления дефектов сварных швов и основного металла. Метод ультразвуковой диагностики с применением фазированной решетки позволяет вести контроль самых сложных объектов без применения дорогостоящих методов неразрушающего контроля, таких как рентгенографический, магнитопорошковый или капиллярный метод.

В общем виде принцип ультразвукового контроля основан на способности луча отражаться от дефекта в исследуемом материале. Результат традиционного УЗК выводится в виде А-скана. Метод фазированной решетки - это множество А-сканов, количество которых зависит от числа преобразователей в фазированном датчике. В дальнейшем это множество А-сканов преобразуется в S-скан, позволяющий визуализировать структуру материала, выделяя цветом частоту амплитудных колебаний.

Метод фазированной решетки не противоречит принятым стандартам традиционного УЗК, т. к. является одним из способов генерирования ультразвуковых волн. Например, если нормативом предписан контроль датчиком с углом ввода 60° , это дает возможность использовать фазированную решетку, поскольку генерируя лучи под множеством углов, у контроллера есть возможность выбрать луч с нужным углом и другими регламентированными параметрами.

Среди основных технических преимуществ метода фазированной решетки можно выделить следующие:

- результаты контроля с применением метода фазированных решеток представляются в виде наглядного изображения, что значительно облегчает и ускоряет понимание результатов, повышая их точность;
- возможность генерации преобразователем разных углов ввода сигнала, что намного увеличивает контролируемую зону и скорость сканирования;
- гибкость при контроле изделий сложной формы;
- возможность записи данных в режиме реального времени;
- простота настройки и сохранение неограниченного числа настроек.

Цель проведения исследовательских испытаний – определение эффективности применения ультразвукового дефектоскопа с фазированной решеткой марки A1550 «IntroVisor» для неразрушающего контроля основного металла тела труб и сварных соединений (без поперечного сканирования сварного шва), поиска различных нарушений сплошности и однородности металла труб на объектах транспорта газа ПАО «Газпром» и оценка его основных рабочих характеристик.

Исследовательские испытания выполнялись на испытательном стенде ООО «Газпром ВНИИГАЗ», предназначенном для проведения испытаний оборудования неразрушающего контроля и диагностирования (далее – испытательный стенд).

Испытательный стенд расположен на открытом участке Опытно-экспериментального центра ООО «Газпром ВНИИГАЗ» и представляет собой расположенную на опорах плетень из четырех труб внешним диаметром 1420 мм с толщиной стенки 18,0 мм, 17,0 мм, 16,6 мм, 17,6 мм, имеющих естественные и искусственные дефекты в основном металле, стыковых и продольных сварных соединениях. Общая

длина стенда 45,5 метров. Общая длина участков труб стенда с паспортизованными дефектами, предназначенных для проведения испытаний, составляет 39 метров. Схема испытательного стенда приведена на рисунке 1.



Рис. 1 – Схема испытательного стенда

Испытания проводились при температуре плюс 7 °С, атмосферном давлении 768 мм рт. ст., относительной влажности воздуха 86 %, без осадков.

Технические характеристики дефектоскопа А1550 «IntroVisor» приведены в таблице 1. Прибор использовался в базовой комплектации.

Таблица 1. Технические характеристики дефектоскопа А1550 «IntroVisor» [2]

Наименование параметра	Значение
Диапазон устанавливаемых скоростей ультразвука, м/с	10 00 – 10 000
Рабочие частоты преобразователей, МГц	1,0 – 10,0
Отклонения рабочих частот от номинальных, %, не более	± 10
Диапазон измерений толщины (по стали) с прямым преобразователем, мм	4 - 900
Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерений толщины δ с прямым преобразователем, мм	$\pm(0,01 \cdot \delta + 0,2)$
Диапазон измерений глубины дефекта (по стали) с прямым преобразователем, мм	7 - 180
Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерений глубины дефекта H с прямым преобразователем, мм	$\pm(0,01 \cdot H + 0,2)$
Диапазоны измерений координат дефектов (по стали) наклонным преобразователем 65°, мм: глубины H дальности по поверхности L	3 – 40 5 - 75
Пределы допускаемых основных абсолютных погрешностей измерений координат дефектов наклонными преобразователями 65°, 70 ° мм: глубины H дальности по поверхности L	$\pm(0,03 \cdot H + 1)$ $\pm(0,01 \cdot L + 1)$
Диапазоны измерений координат дефектов (по стали) наклонным преобразователем 70°, мм: глубины H дальности по поверхности L	3 - 40 7 - 100
Диапазон измерений глубины дефекта (по стали) с антенной решеткой продольных волн, мм	10 – 90
Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерений глубины дефекта H с антенной решеткой продольных волн, мм	$\pm(0,03 \cdot H + 1)$
Диапазоны измерений координат дефектов (по стали) с антенной решеткой поперечных волн, мм: глубины H дальности по поверхности L	6 - 80 6 - 80
Пределы допускаемых основных абсолютных погрешностей измерений координат дефектов с антенной решеткой поперечных волн, мм: глубины H дальности по поверхности L	$\pm(0,03H+1)$ $\pm(0,03L+1)$
Диапазон перестройки калиброванного усилителя, дБ	0 - 80
Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерения отношений	± 0,5

амплитуд сигналов на входе приемника, дБ	
Источник питания	Аккумуляторный блок
Номинальное значение напряжения аккумуляторного блока, В	11,2
Время непрерывной работы от аккумуляторного блока при нормальных климатических условиях, ч, не менее	8
Габаритные размеры электронного блока, мм	258 x 164 x 110
Масса электронного блока, кг, не более	1,9
Средняя наработка на отказ, ч	30 000
Средний срок службы, лет, не менее	8

Дефектоскоп А1550 «IntroVisor» производства ООО «Акустические Контрольные Системы» [2] относится к ручным ультразвуковым приборам общего назначения портативного исполнения. В основе принципа работы дефектоскопа лежит цифровая фокусировка антенной решетки (ЦФА) с выводом на монитор томограмм, сфокусированных в точках сечения, для обеспечения наилучшего пространственного разрешения, максимальной чувствительности по всей визуализируемой площади и высокой точности контроля.

Специализированное программное обеспечение ADM - IntroVisor позволяет передавать сохраненные данные из прибора на внешний компьютер для дальнейшей обработки результатов контроля, документирования в виде томограмм и эхо-сигналов с параметрами контроля и последующего архивирования.

Прибор предназначен для эксплуатации при следующих условиях окружающей среды [2]:

- температура от минус 10 до плюс 55 °С;
- относительная влажность воздуха до 95 % при максимальной температуре плюс 35 °С.

Исследовательские испытания проведены в два этапа:

- а) оценка общих технических и технологических параметров ультразвукового дефектоскопа А1550 «IntroVisor», оснащенного преобразователями на основе фазированных решеток;
- б) оценка выявляемости различных типов дефектов сварных соединений при проведении ультразвукового контроля.

При проведении испытаний ультразвуковой контроль выполнялся на участке кольцевого сварного соединения № 3 испытательного стенда (стыковое сварное соединение труб № 3 и № 4), расположенном от продольного сварного соединения трубы № 3 в сторону верхней образующей трубы на длину 1100 мм (рисунок 1).

Фактическая толщина стенок труб в зоне контроля составила:

- 16,5 мм (труба № 3);
- 17,8 мм (труба № 4).

Дополнительно был проведен ультразвуковой контроль:

- локального участка кольцевого сварного соединения № 2 в зоне искусственного дефекта – сквозного сверления диаметром 1,6 мм, выполненного по центру валика усиления;
- локального участка продольного сварного шва трубы № 3 с естественным дефектом.

Перед проведением ультразвукового контроля были выполнены следующие операции:

- проверен уровень заряда аккумулятора дефектоскопа;
- проверено штатное функционирование и работоспособность всех узлов и блоков дефектоскопа;
- произведена настройка дефектоскопа.

Параметры настройки:

- контроль в томографическом режиме с применением фазированной решетки М9070 №4120002;
- рабочая частота – 4 МГц;
- скорость ультразвуковой волны – 3250 м/с;
- сектор прозвучивания от 35° до 80°;
- усиление 35 дБ;
- браковочный уровень – 2,5 мм²;
- поправка чувствительности – 0 дБ;
- опорный уровень – 90 дБ;
- режим визуализации – «пластины» и «вертикальных трещин».

Оценка эффективности использования А1550 «IntroVisor» для неразрушающего контроля основного металла тела труб и сварных соединений выполнена на основании сопоставления результатов испытаний с паспортом дефектов испытательного стенда. Оценивалась выявляемость дефектов в сварном шве и околошовных зонах и их минимальные размеры. В ходе работ установлено: фазированная решетка не имеет кронштейна для крепления датчика пути, что является существенным недостатком прибора.

Результаты ультразвукового контроля тестовой трубы прибором А1550 «IntroVisor» приведены в

таблице 2.

Таблица 2. Результаты ультразвукового контроля тестовой трубы

№ п/п	№ дефекта по паспорту дефектов	Тип дефекта	Размеры дефекта (длина, высота), мм	Результат выявления прибором «IntroVisor»
1	55	Шлаковое включение	8	не выявлен
2	57	Шлаковое включение	6	выявлен
3	59	Шлаковое включение	2	не выявлен
4	62	Непровар в корне шва	80	выявлен
5	63	Зарубка	3,5/2	выявлен
6	65	Шлаковое включение	7	выявлен
7	66	Шлаковое включение	7	выявлен
8	67	Несплавления по разделке кромок	230	выявлен
9	68	Зарубка	3,5/2	выявлен
10	69	Зарубка	3,5/2	выявлен
11	71	Зарубка	3,5/2	выявлен
12	72	Зарубка	3,5/2	выявлен
13	73	Непровар в корне шва	100	выявлен
14	74	Зарубка	3,5/2	выявлен
15	74	Зарубка	3,5/2	выявлен

Анализ данных таблицы 2 показал, что прибор позволяет выявить следующее в сварном шве и околошовных зонах кольцевого сварного соединения № 3 испытательного стенда:

- шлаковое включение диаметром 6-8 мм;
- непровар в корне шва длиной 80 и 100 мм;
- несплавление по разделке кромок длиной 230 мм;
- зарубки 3,5x2,0 мм в количестве 7 шт.

Не выявлены:

- шлаковое включение, диаметром 2,0 мм;
- зарубки 3,5x2,0 мм в околошовной зоне на расстоянии 50 мм от валика усиления шва.

Выводы по результатам ультразвукового контроля

Представленная конструкция дефектоскопа А1550 «IntroVisor» обеспечивает возможность проведения ручного контроля кольцевых сварных соединений.

Время, затраченное на ультразвуковой контроль сварного соединения с помощью дефектоскопа А1550 «IntroVisor», аналогично времени проведения ультразвукового контроля штатными дефектоскопами.

При испытаниях дефектоскопом А1550 «IntroVisor» выявлены дефекты сварного соединения, подлежащие отбраковке при ультразвуковом контроле в соответствии с [1]:

- стандартизованные искусственные дефекты (зарубки в валике усиления и околошовной зоне на расстоянии до 20 мм от валика усиления шва);
- естественные дефекты сварного шва (непровар в корне шва, несплавления по разделке кромок, шлаковые включения).

Данный прибор не позволяет выявлять дефекты в виде шлаковых включений диаметром до 2,0 мм и зарубки 3,5x2,0 мм в околошовной зоне на расстоянии 50 мм от валика усиления шва.

Литература

1. СТО Газпром 2-2.4-083-2006 «Инструкция по неразрушающим методам контроля качества сварных соединений при строительстве и ремонте промышленных и магистральных газопроводов». М.: ООО «ИРЦ Газпром» 2006. 123 с.
2. «Руководство по эксплуатации ультразвукового дефектоскопа А1550 Introvisor». М.: Акустические контрольные системы. 2013. 88 с.