

# СОВРЕМЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ



**ЕФИМОВ Иван Михайлович**

Руководитель направления,  
III уровень по УЗК, ООО «Научно-произ-  
водственный центр «Кропус», г. Ногинск

Значительная доля объема неразрушающего контроля в России приходится на объекты нефтяного и газового транспорта. Объем добычи и переработки углеводородного сырья, как и протяженность трубопроводов, колоссальные. Причем многое из действующей инфраструктуры построено еще в советское время и, как следствие, неуклонно приближается к предельному сроку эксплуатации.

Стремительное развитие средств неразрушающего конт-

роля и диагностики обусловлено сложившимся положением: происходит старение металла ответственных изделий, возникает стресс-коррозионное растрескивание, разрушаются межкристаллические связи и пр.

Ультразвуковой метод контроля (УЗК) относится к важнейшим составляющим неразрушающего контроля. Пожалуй, УЗК сварных соединений — один из самых распространенных методов контроля, в основном по причинам высокой производительности УЗК, небольших затрат на проведение контроля и достоверности результатов. Если при единичном контроле наиболее оптимальным и быстрым является обычный ручной контроль, то массовый контроль протяженных швов вручную малоцелесообразен и с точки зрения временных затрат, и в отношении достоверности. Применение фазированных решеток повышает достоверность контроля за счет удобной визуализации и отсутствия необходимости в поперечном сканировании, однако мало влияет на производитель-

ность, так как в любом случае шов требуется проконтролировать с двух сторон, следя за акустическим контактом.

Оптимальное решение здесь состоит в применении различных механизированных (МУЗК) и автоматизированных (АУЗК) систем контроля, позволяющих с помощью датчика пути записывать всю развертку сварного соединения.

Компания «Кропус» многие годы специализируется на разработке и производстве оборудования для неразрушающего контроля — ультразвукового, вихретокового, магнитопорошкового, капиллярного и других видов контроля. За эти годы разработана и внедрена в серийное производство целая линейка ультразвуковых дефектоскопов общего назначения — как классических одноканальных дефектоскопов и дефектоскопов с фазированными решетками (ФАР), так и многоканальных приборов для работы со специализированными сканерами.

Современная схмотехника сегодня позволяет уместить в ручные приборы вычислительную

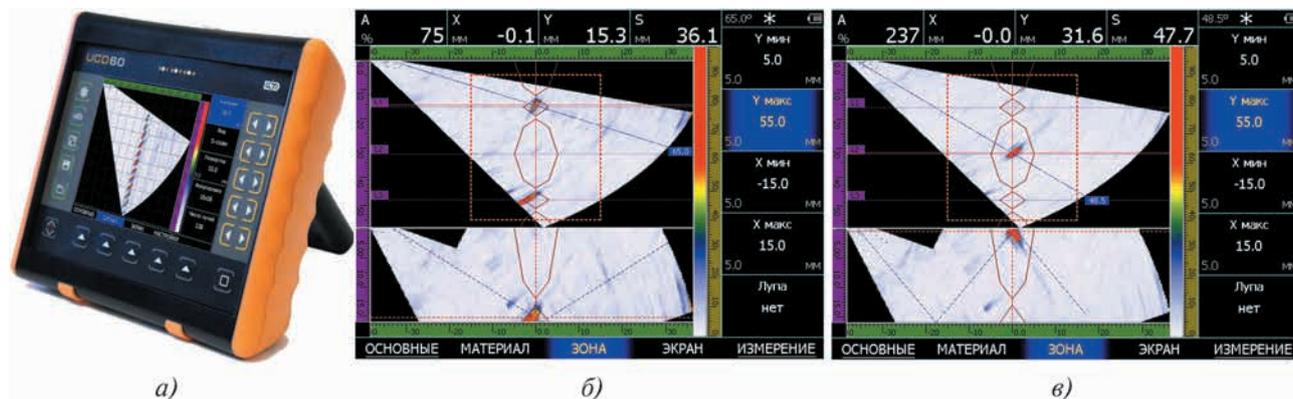


Рис. 1. Дефектоскоп УСД-60 ФР (а), наглядное изображение сварного соединения с дефектом в корне сварного соединения (б) и в верхней части шва (в)

мощность, ранее возможную только в габаритных и тяжелых устройствах. Один из примеров – ультразвуковой дефектоскоп на фазированных решетках УСД-60.ФР (рис. 1), который сочетает в себе как возможности обычного одноканального дефектоскопа, так и широкий функционал для работы с линейными 16-элементными преобразователями на фазированных антенных решетках (ФАР).

Применение стандартных 16-элементных ФАР преобразователей со съемными призмами и цифровая фокусировка апертуры с реконструкцией изображения (ЦФА/TFM) позволяют использовать любые классические методики для контроля, получая при этом с помощью компактных и недорогих 16-элементных ФАР детализацию изображения, ранее возможную только на габаритных классических ФАР-дефектоскопах с 32-элементными преобразователями.

Применение последних достижений электроники позволило создать прибор массой всего 1,4 кг в ударопрочном корпусе с защитой по IP65 для работы в полевых условиях и в морозоустойчивом (до  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) исполнении, обладающий функционалом и качеством картинки высочайшего профессионального уровня.

Встроенный список преобразователей со всеми моделями сменных призм позволяет выполнять настройку датчика «в один клик», не перестраивая законы фокусировки в зависимости от толщины изделия, а встроенный режим «Конструктор» – настроить геометрию разделки сварного шва и точно локализовать дефект в изделии (рис. 2).

В отличие от классического дефектоскопа результат контроля таким прибором получается наглядным для оператора. На рис. 3 приведены результаты контроля реальных сварных соединений различных конфигураций.

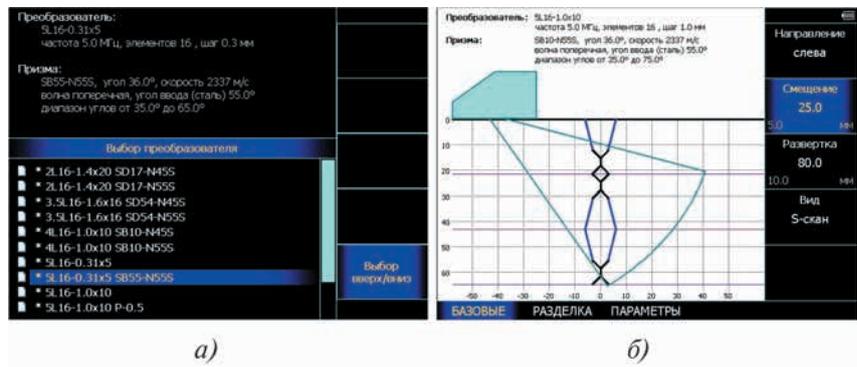


Рис. 2. База данных преобразователей (а) и встроенный конструктор шва (б)

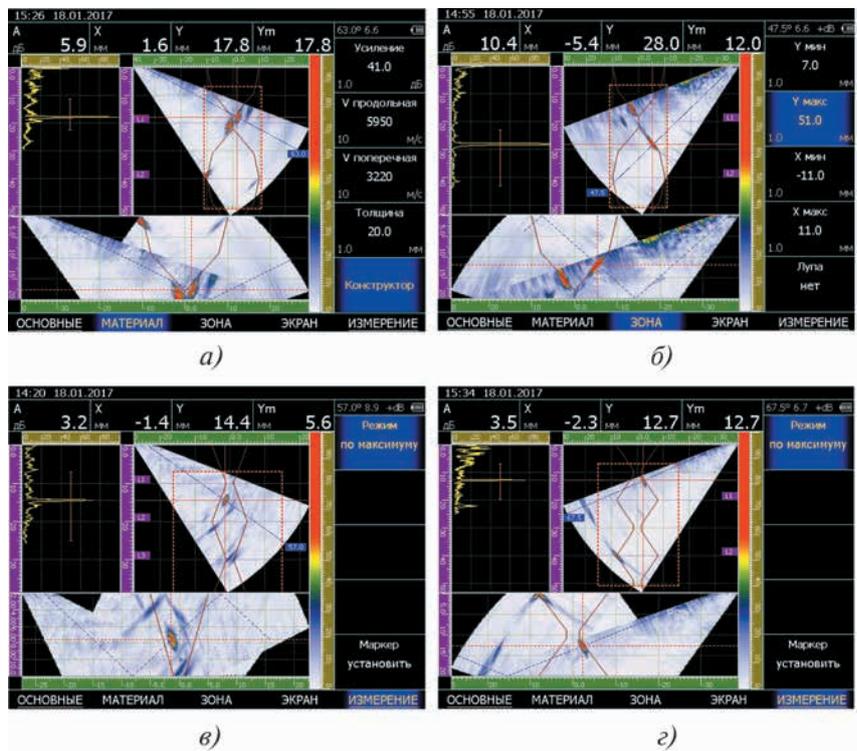


Рис. 3. Отображение реальных дефектов в стыковом сварном соединении: а – дефект в корне шва; б – несплавление по обеим кромкам шва; в – дефекты в заполнении шва; г – дефект в Х-образном шве

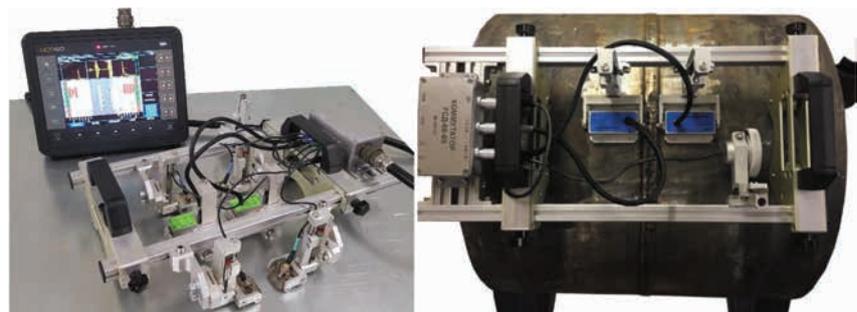


Рис. 4. Сканер-дефектоскоп УСД-60-8К

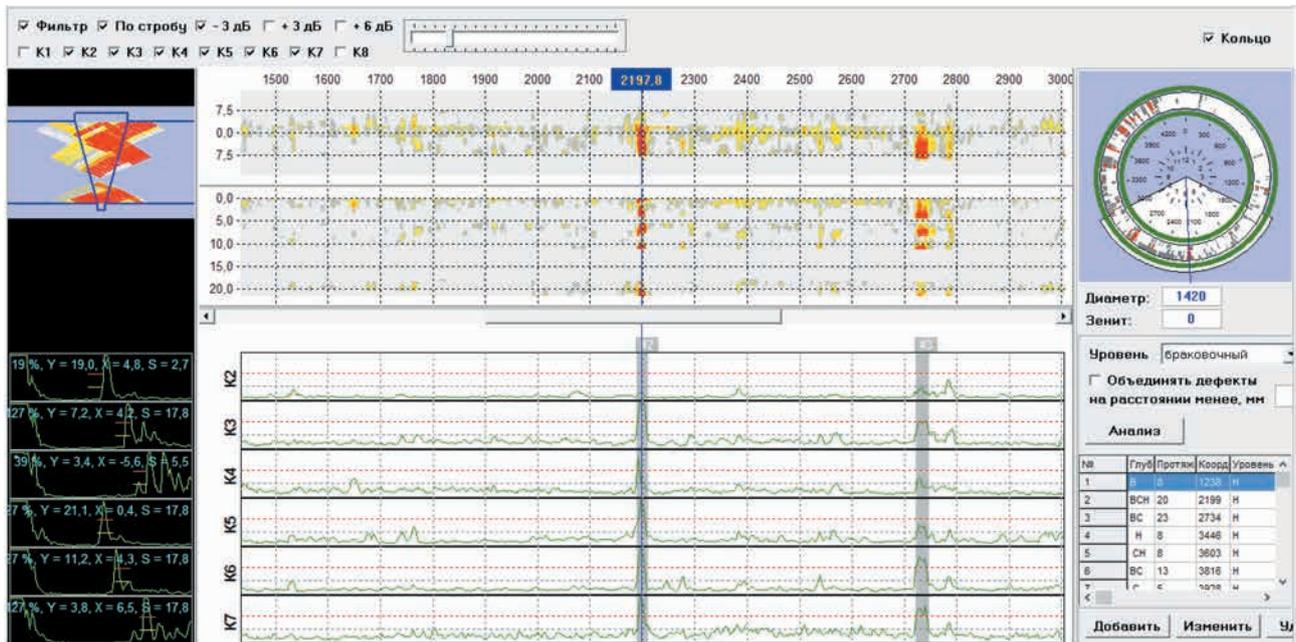


Рис. 5. Результат контроля сварного шва диаметром 1420 мм в программе УСД-60-8К-Анализ



Рис. 6. Общий вид комплекса WS-TOFD2-A6.M

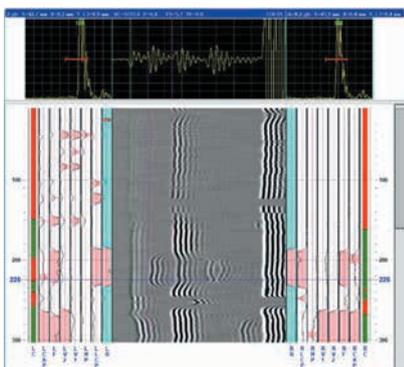


Рис. 7. Результат контроля в программе WS 16-Анализ

Для контроля сварных соединений, выполненных автоматическими и полуавтоматическими сварочными комплексами, наиболее рационально использовать современные многоканальные системы механизированного и автоматизированного УЗК. Такие системы могут иметь многоканальные преобразователи, фазированные решетки, каналы TOFD и позволяют определять условную высоту, глубину и длину дефектов кольцевых сварных соединений диаметром от 200 до

1420 мм с толщиной стенки от 4 до 40 мм.

Механизированный ультразвуковой сканер-дефектоскоп УСД-60-8К (рис. 4) – базовый и доступный по стоимости вариант МУЗК сварных швов.

Расположение специализированных акустических блоков по обе стороны сварного соединения обеспечивают его контроль за один проход, при этом мощные магнитные колеса обеспечивают уверенную устойчивость сканирующего модуля в любом положении на объекте контроля, не требуя его поддержки оператором для защиты от смещения или падения. Скорость контроля сварных соединений возможна до 3 м/мин без потери координаты и со слежением за акустическим контактом.

Оптический энкодер обеспечивает высокоточный контроль с шагом записи результатов от 0,5 мм, благодаря этому сканер может строить наглядный С-скан шва с высоким разрешением и точным определением координат дефектов (рис. 5).

Более старшая модель механизированного сканера WeldScanner

WS-TOFD2-A6.M (рис. 6) также содержит два канала TOFD, что позволяет определять условную высоту и глубину дефектов кольцевых сварных соединений.

Дефектоскоп с цветным экраном большого разрешения позволяет сконфигурировать необходимое количество каналов под любую разделку шва, в том числе выполненной автоматической сваркой с применением автоматического комплекса CRC-Evans. Для контроля используются два 6-элементных блока – для контроля корневой части и зоны заполнения шва, а также два канала TOFD для контроля вертикально ориентированных дефектов.

В программе WS16-Анализ (рис. 7) представлен результат записи контроля калибровочного блока для контроля шва толщиной 9 мм, проводившегося в процессе квалификационных испытаний данного оборудования на территории ВНИИГАЗ. По результатам этих испытаний такая конфигурация сканеров АУЗК и МУЗК внесена в реестр средств неразрушающего контроля ПАО «Газпром».

Следующим этапом развития УЗК сварных соединений является сканер WeldScanner WS-TOFD2-PA.B (рис. 8), предназначенный для автоматизированного контроля кольцевых сварных соединений труб. Сканер устанавливается на сварочный бандаж и благодаря точному позиционированию двух 64-элементных преобразователей позволяет реализовать зональный способ ультразвукового контроля, учитывающий реальную геометрию сварного шва и технологию сварки. На сканере также предусмотрены два канала TOFD для определения геометрии вертикально ориентированных дефектов.

На рис. 9 приведена схема установки датчиков для CRC-шва толщиной 25,8 мм. Используются два 64-элементных преобразователя на фазированной решетке частотой 5 МГц, пара преобразователей

Рис. 8. Общий вид сканера WeldScanner WS-TOFD2-PA.B, установленного на калибровочном блоке

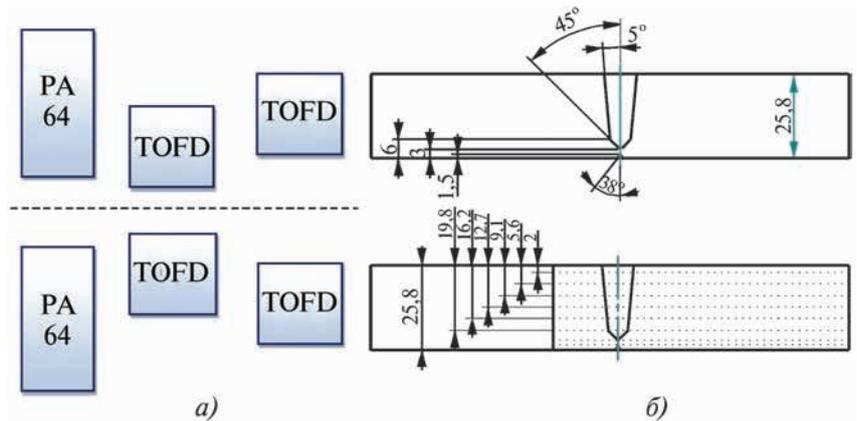
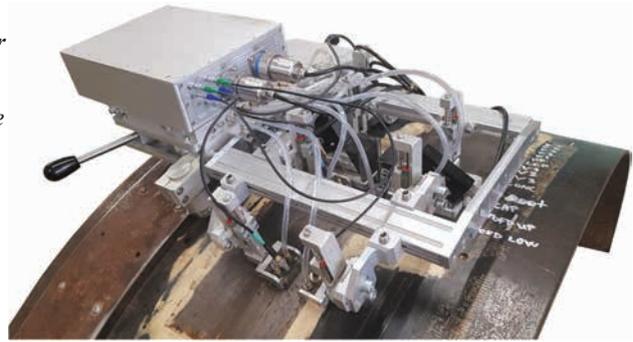


Рис. 9. Схема расположения преобразователей для контроля шва (а) и схема разбиения шва по зонам (б)

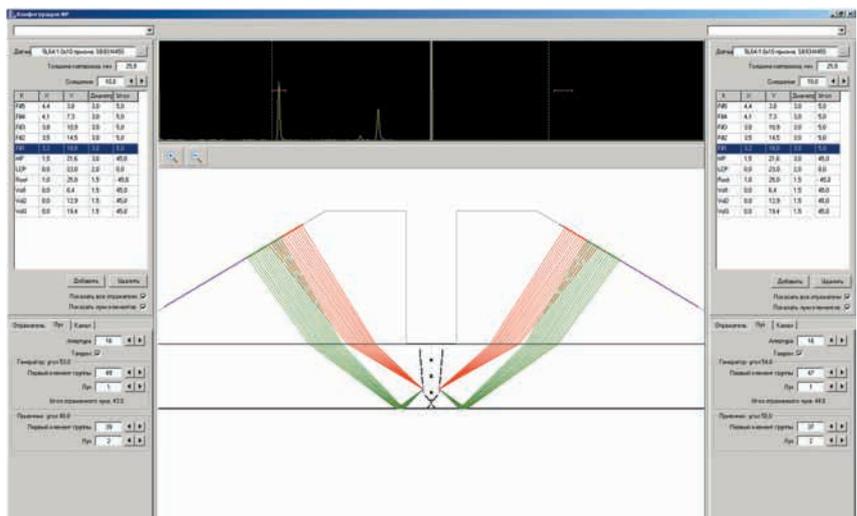


Рис. 10. Общий вид программы конфигурации при зональном контроле

TOFD с частотой 5 МГц с углами 60° и вторая пара для TOFD с частотой 10 МГц с углами 70°. При необходимости имеется возможность масштабировать сканер, добавляя дополнительные каналы (например, толщинометрии и контроля расслоений околосшовной зоны).

В соответствии с технологией сварки CRC-швов условно разбит на несколько слоев (в данном случае 9). Каждый из слоев представляет собой отдельную зону, для контроля которой настраивается тот или иной канал. Искусственные отражатели на калиб-

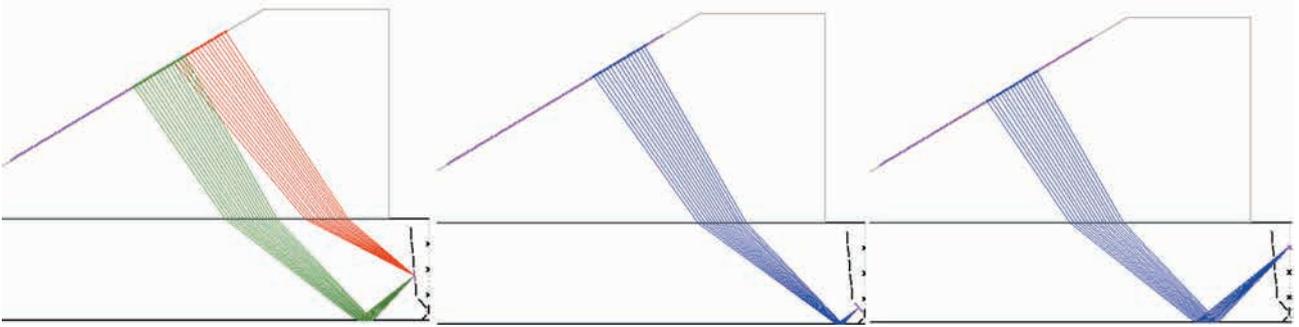


Рис. 11. Схемы прозвучивания при настройке на отражатели в различных зонах контроля



Рис. 12. Сканер-дефектоскоп УСД-60-8К-А в процессе настройки на трубу 1220 мм

ровочном блоке как раз представляют собой имитаторы дефектов в каждой такой зоне шва.

Конфигурация контролируемого сварного соединения выполняется с помощью специализированного программного обеспечения. В зависимости от технологии сварки и разделки шва в программе задается необходимое количество отражателей (рис. 10). Каждый отражатель имеет свой размер и положение в пространстве (глубина залегания  $Y$ , расстояние от центра шва  $X$ , диаметр и угол). Далее происходит создание и конфигурация канала под каждый такой отражатель (рис. 11), а именно: выбирается схема контроля — режим совмещенный или тандем, количество элементов и номер первого элемента активной апертуры, устанавливаются развертка и чувствительность канала.

Однако диагностика трубопроводов не ограничивается только

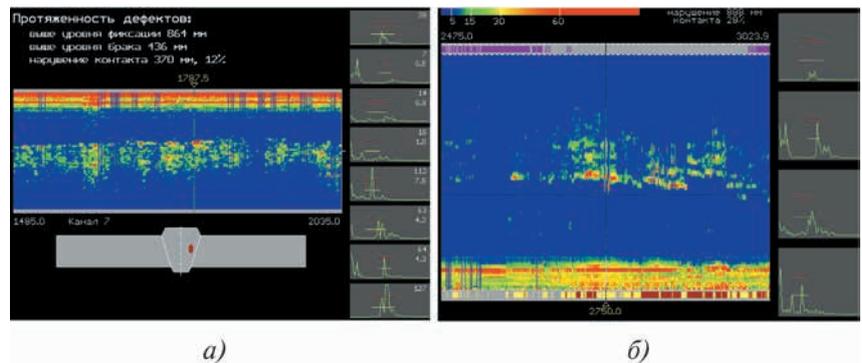


Рис. 13. Б-скан и анализ контроля продольного сварного шва (а) и анализ контроля тела трубы (б)

контролем кольцевых сварных соединений. Важное значение, особенно на протяженных участках газопроводов имеет контроль состояния основного металла трубы. Для таких целей был разработан автоматизированный ультразвуковой наружный сканер-дефектоскоп УСД-60-8К-А (рис. 12). Контроль основан на контактном способе ввода ультразвуковых волн с одновременным прозвучиванием как всего сечения продольного сварного шва, так и сечения основного металла трубы.

Транспортный модуль является универсальным сканером, управляемым вручную с панели дефектоскопа или с переносного пульта по радиоканалу (наиболее распространены модели с защищенным ноутбуком и управлением по Wi-Fi). Посредством магнитных колес транспортный модуль может передвигаться по поверхности трубы во всех пространственных положениях с линейной скоростью до 3 м/мин.

Слежение за траекторией перемещения сканера-дефектоскопа осуществляется специальным датчиком слежения за швом. Автономное питание обеспечивает аккумулятор, установленный непосредственно на сканере.

Специальная программа анализа дефектов позволяет визуально наблюдать за процессом контроля (рис. 13).

Многолетний опыт применения подобного оборудования на различных объектах по всей России доказал высокую эффективность и объективность такого подхода к контролю по сравнению с традиционным одноканальным УЗК. Высокая точность и достоверность, а также возможность архивирования результатов в базе данных для последующего мониторинга и анализа попутно решают задачу контроля качества проведения УЗК и обеспечивают долговечность эксплуатации и безопасность на трубопроводном транспорте. ■